

BULLETIN  
OF  
YAMAGUCHI PREFECTURAL FISHERIES RESEARCH CENTER

No. 3  
March, 2005

---

---

山口県水産研究センター研究報告

第 3 号

平成 17 年 3 月

---

---

山口県水産研究センター

外海研究部：〒759-4106 長門市仙崎 2861-3

内海研究部：〒754-0893 山口市秋穂二島 437-77

Yamaguchi Prefectural Fisheries Research Center

Japan Sea Research Division: Senzaki, Nagato-city, 759-4106, Japan

Inland Sea Research Division: Aiofutajima, Yamaguchi-city, 754-0893, Japan

# 目 次

日本海南西見島周辺海域における海洋構造と魚群分布の短期変動	河野光久	1
山口県日本海沿岸域における海洋物理環境	河野光久	7
近年の山口県伊予灘及び広島湾海域における海洋環境の動向	和西昭仁	15
山口県周防灘海域における最近30年間の水質変動	和西昭仁	29
日本海南西海域産コシナガ <i>Thunnus tonggol</i> の食性	小林知吉	41
山口県瀬戸内海域におけるマダコの生態と資源変動	内田喜隆・吉村栄一・木村 博	45
日本海南西部山口県沖におけるアカアマダイの資源管理に関する研究 - I		
山口県におけるあまだい漁業の実態	河野光久・天野千絵	55
日本海南西部山口県沖におけるアカアマダイの資源管理に関する研究 - II		
アカアマダイ資源の診断と管理	河野光久	61
山口県日本海沿岸域におけるヤリイカの漁獲実態	河野光久	65
山口県日本海沿岸域におけるかれい類3種 (ムシガレイ, ソウハチ, メイタガレイ)		
の漁獲実態および生物特性に関する2, 3の知見	河野光久	69
山口県日本海沿岸の定置網で漁獲されたとびうお類未成魚の種組成と尾叉長組成	河野光久	75
周防灘における小型底びき網の漁獲物と投棄魚の変遷	木村 博・檜山節久	79
山口県瀬戸内海沿岸干潟における放流アサリの成長と生残		
	多賀 茂・和西昭仁・馬場俊典・松野 進・桃山和夫	87
かに類によるアサリの捕食	木村 博	97
異なる量の餌料を投与したアサリの産卵と摂餌	松野 進・多賀 茂・和西昭仁・河村和寛	105
山口県瀬戸内海干潟アサリの <i>Perkinsus</i> sp. 寄生状況	桃山和夫・多賀 茂	111
過酸化水素製剤と稀釈海水の海産稚魚6種に対する有害性	安部 謙・桃山和夫	119
山口県周防灘海域における漁場底質環境	和西昭仁	125
阿武川ダム下漁場における付着藻類およびアユ消化管内容物について	大橋 裕・畑間俊弘	137
 抄 録		
Decadal Signal in the Sea Surface Temperatures off the San'in Coast in the Southwestern Japan Sea (日本海南西山陰沿岸域における海面水温の10年スケール変動)		
	Tomoharu Senjyu and Toshiteru Watanabe	
	(千手智晴・渡辺俊輝)	149
Two Large Postlarvae of <i>Ateleopus japonicus</i> (Osteichthyes: Ateleopodiformes: Ateleopodidae) Collected from Senzaki Bay and Hagi Bay, Yamaguchi, Japan (山口県仙崎湾と萩湾で採取された <i>Ateleopus japonicus</i> (硬骨魚類 Ateleopodiformes: シャチブリ科) の巨大後期稚魚2個体)		
	Kunio Amaoka and Tomokichi Kobayashi	
	(尼岡邦夫・小林知吉)	150

鉗脚に指節が過剰に形成されたイシガニ .....	中谷 勇・松野 進	151
DMSP/VNIRによる夜間の海の輝度分布とレーダ観測による漁船分布の比較 .....	杉原滋彦・渡辺俊輝・吉田 剛	152
Detection of White Spot Syndrome Virus (WSSV) from Small Penaeid Shrimp Species Caught in the Western Seto Inland Sea (瀬戸内海産小型エビ類からのWSSVの検出) .....	Kazuo Momoyama (桃山和夫)	153
Mortalities of Farm-raised Kuruma Prawn, <i>Penaeus japonicus</i> , Caused by High pH Ambient Water due to Blooms of a Blue-green Alga, <i>Chroococcus turgidus</i> (藍藻 <i>Chroococcus turgidus</i> の増殖に伴って上昇した高pH池水による養殖クルマエビの死亡例) .....	Kazuo Momoyama (桃山和夫)	154

## 日本海南西見島周辺海域における 海洋構造と魚群分布の短期変動

河野光久

Short-term Fluctuations in Hydrographic Condition and Distribution of Fish Schools in  
Waters around  
Mishima Island in the Southwestern Sea of Japan

Mitsuhisa KAWANO

Surveys with CTD, ADCP and fish finder were conducted to study on the short-term fluctuations of hydrographic condition and distribution of fish schools in waters around Mishima island in the southwestern Sea of Japan in August 1991 and March 1992.

In waters northeast of the island, when northwest-northeastward currents developed, a cold water mass upwelled at the bottom layer in August and a cold water region expanded from the sea surface to the bottom in March. The scale of upwelling was larger at spring tide than that at neap tide. Distributions of temperature and salinity contours changed in accordance with changes in tidal currents. In the vicinity of the island, strong currents accompanied with a slope of temperature contours were observed.

Fish schools were almost constantly distributed at the bottom layers in waters in the vicinity of the island and northeast off the island except for upwelling region. This indicates that fish schools would avoid the cold water region by upwelling. Fish schools were also found in the surface layer, but their distribution areas changed remarkably.

見島は山口県萩市の北北西23海里沖の日本海に位置する幅2.5km、面積8km<sup>2</sup>の小島で、その周辺海域はいか釣り、刺網等さまざまな漁業の好漁場となっている。

一般に浅瀬や島の周辺で好漁場が形成されることはよく知られており、それは地形性の湧昇や渦流域の形成と関連した漁場形成であると説明されることが多い<sup>1,2)</sup>。実際に、例えば浅瀬である山口県汐巻<sup>3)</sup>や鹿児島県国生曾根<sup>2)</sup>では湧昇の存在が確認されている。また福岡県沖ノ島周辺海域では、日周期性の水温低下が起き、その原因は島の背後に発生する低気圧性渦内の湧昇により冷水塊が形成されることによると考えられている<sup>4)</sup>。しかし、このような地形性の湧昇や渦流の存在を実証する研究はまだ十分に行われていないといえない。さらに、このような地形性の湧昇が魚群分布にどのように影響するのかを調べた研究はほとんど行われていないのが現状である。

本研究は1991年の夏季と1992年の春季に見島周辺海域において海洋観測と魚群分布調査を行い、見島周辺海域における湧昇の存在を確認するとともに、海洋構造の1昼夜内の短期変動と魚群分布との関係を明らかにしたので、その結果を報告する。

### 材料及び方法

見島周辺海域では、対馬暖流の強流域がほぼ100mの等深線に沿って島の西方では北東方向に流れ、その後島を迂回するように流れている<sup>5)</sup>。水深は、島の東方では浅瀬が散在するため、比較的浅く40~70mであるのに対し、島の西方では90~110mと急深になっている (Fig.1)。

調査は山口県外海水産試験場の漁業調査船黒潮丸 (149.28トン) により、成層期の1991年8月8~9日 (大潮)、8月19~20日 (小潮) 及び混合期の1992年3月18~19日 (大潮) の3回行った。観測線は島を北東

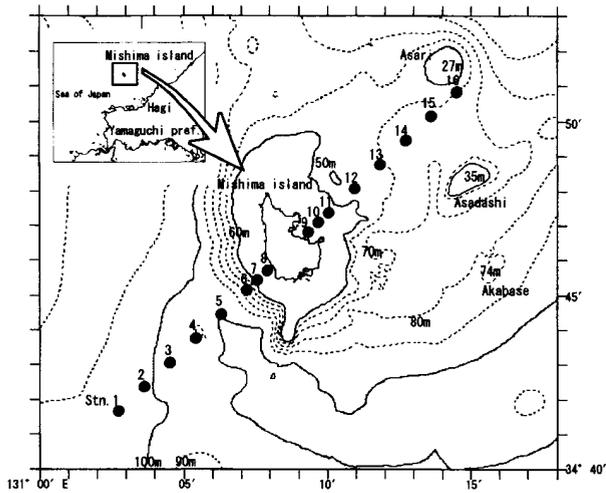


Fig.1. Map showing survey area around Mishima island in the southwestern Sea of Japan. Dots show hydrographic observation stations.

方向に横切る形で設け、測点は島の近傍約1.5海里まではより細かくデータを収集するため0.5海里間隔に設定し、それ以遠では1海里間隔に設定した (Fig.1)。各測点においてCTD (アレック電子AST1000) による水温・塩分の観測と超音波式流速計 (日本無線JLN616) による流向流速 (10m, 30m, 50mの3層) の観測を行った。また、測点間を航行中に魚群探知機 (海上電機R41A) を作動させ、魚群反応を記録紙に記録した。

以上の内容の調査を各期に4回ずつ、測点1から順番に測点16まで (Fig.1) 反復して行った。

### 結果

8月8～9日の水温、塩分及び流れの分布 8月8～9日の水温、塩分及び流れの分布をFig.2に示す。

1回目の観測では (Fig.2)、島の北東沖では水温24℃以上の相対的に高温な層 (以下、HTL1という) 及び塩分32.25以下の相対的に低塩な層 (以下、LSLという) の厚さが島の南西沖におけるそれらに比べ大きく、水温21～24℃、塩分32.25～33.25の等値線は右下がりの分布を示した。このとき、島の北東沖では0.5～1.5ノットの西流が発達していた。また、島の北東沖の測点12付近では水温21～24℃、塩分32.25～33.00の等値線が密集し、それを補償するように測点13では水温23～24℃、塩分32.25～32.50の一樣層が形成されており、渦流域の存在が示唆された。島の近傍に注目すると、島の北東側では水温・塩分の等値線が島に向かって上昇しており、この海域では0.8～1.5ノットの強い西流が観測された。また、島の南西側では水温21

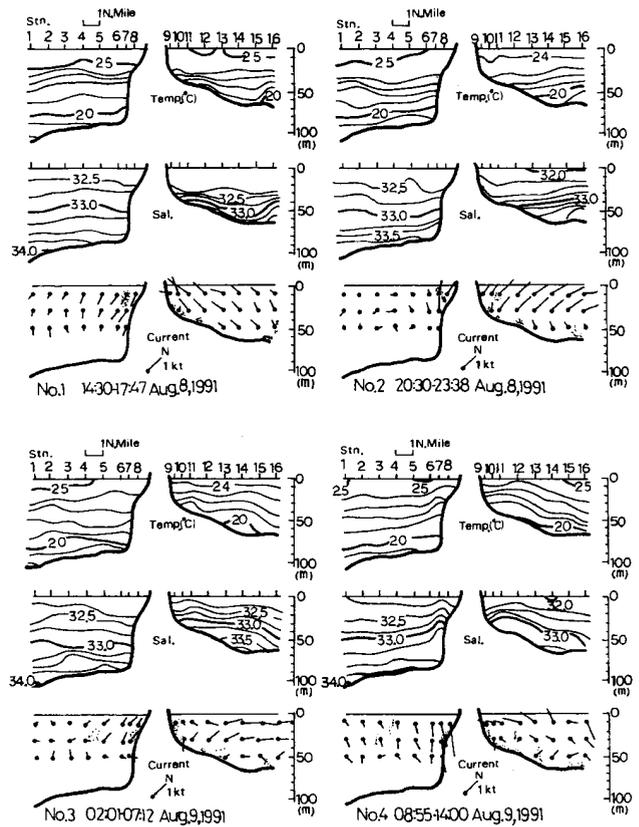


Fig.2. Vertical distributions of water temperature, salinity, current and fish schools in waters around Mishima island on August 8-9, 1991. Dotted regions in the graph of current show distributions of fish schools.

～25℃、塩分33.25～32.25の等値線がやや右下がりになっており、ここでは0.6～0.8ノットの南流が観測された。

2回目の観測では (Fig.2)、1回目の観測時とは逆に、HTL1及びLSLの厚さが島の南西沖で北東沖のそれらに比べ厚く、左下がりの等値線分布を示した。流れについて見ると測点6より北東海域の表・中層で1ノット前後の北流が発達しており、1回目の観測時より90度東方へ流向が変わっていた。島の北東沖底層では表・中層の流向と異なり、西向きの流れが観測された。そして、1回目の観測では測点15～16の底層に出現した20℃以下の相対的に低温な水 (以下、LTW1という) が、測点13の底層まで進入し、鉛直的には水深43mまで上昇した。このLTW1の分布は塩分33.50以上の高塩分水の分布とほぼ一致していた。

3回目の観測では (Fig.2)、2回目の観測時と同様な水温、塩分分布を示し、HTL1及びLSLの厚さが島の南西沖で島の北東沖のそれらに比べ厚かった。流れも2回目の観測時とよく似た分布を示し、島の北東沖

では1ノット前後の北東流が発達した。ただし、島の北東側近傍では0.3~0.8ノットの南東流が見られ、水温・塩分の等値線は島に向かって下降していた。島の北東沖のLTW1は2回目の観測時より南西方向へ移動し、その先端は測点12の底層に達した。

4回目の観測では (Fig.2), 島の北東沖では測点12付近を頂点として水温・塩分の等値線が右下がりの分布を示し、測点12~14の表・中層では0.4~1.0ノットの西流が発達した。ただし、底層付近では0.5ノット程度の北流が観測された。島の南西側では島の近傍1海里付近で水温・塩分の等値線の顕著な盛り上がりが見られ、この付近では0.5~1.9ノットという速い南東流が観測された。

8月19~20日の水温、塩分及び流れの分布 8月19~20日の水温、塩分及び流れの分布をFig.3に示す。

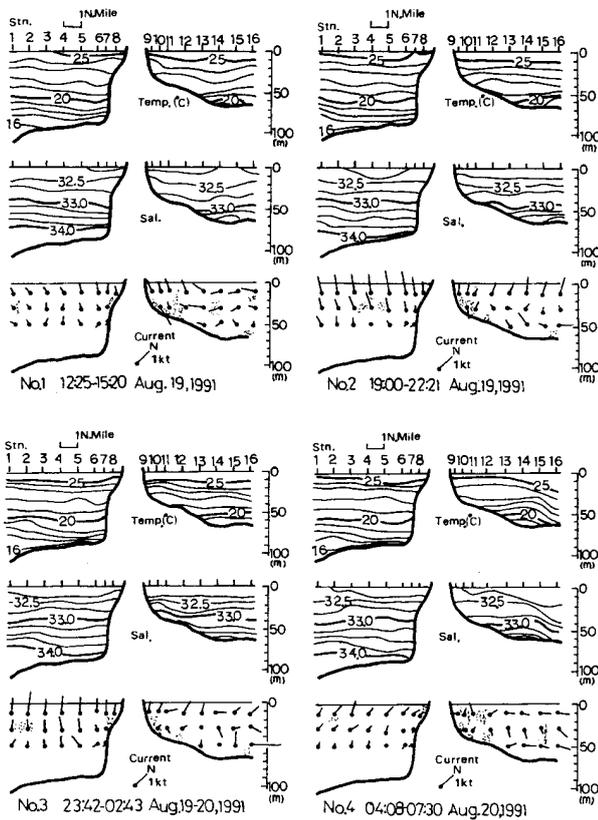


Fig.3. Vertical distributions of water temperature, salinity, current and fish schools in waters around Mishima island on August 19-20, 1991. Dotted regions in the graph of current show distributions of fish schools.

この期間は小潮に当たるため、大潮であった8月8~9日の観測時と比べ、全般的に流速が小さく、水温・塩分の等値線分布の時間による変化も小さかった

(Fig.3)。

1回目の観測では (Fig.3), 水温25℃台の等温層 (以下, HTL2という) が島の北東沖では10m以浅に広く分布したが、島の南西沖では島から4海里以内の海面付近にのみ分布した。LSLも島の北東沖では表層域に広く分布したが、島の南西沖では島から2海里以内の海面付近にのみ分布した。島の北東沖のLTW1は測点14~15の底層に出現した。水温21~24℃及び塩分33.25~32.50の等値線は、測点14~16では左下がり、それより南西側ではやや左上がりの分布を示した。このような等値線分布に対応するように、測点13~16では南西流が発達したが、それより南西沖では北西~西流が見られた。島から1.5マイル以内の下層では上層とは逆に南~東流が観測された。

2回目の観測でも (Fig.3), HTL2及びLSLは島の北東沖で南西沖に比べ広く厚く分布し、水温21~24℃及び塩分33.25~32.50の等値線はやや右下がりの分布を示した。島の南西沖表層のHTL2及びLSLは、1回目の観測時と比較すると分布域がより南西方向へ広がっていた。島の北東沖のLTW1は測点13付近の底層まで進入し、鉛直的には水深53mまで上昇していた。流れは全般的に北~北西流が観測され、島の南西沖では0.5~1.5ノットと速かった。島の近傍1.5海里内では1回目の観測時と同様に上層と下層で逆の流れを示した。このように北寄りの流れが強くなったときに、島の北東沖底層でLTW1が島に向かって分布域を広げ、かつ上昇したことは、8月8~9日の観測結果と共通しているが、今回の方が上昇の程度は小さかった。

3回目の観測では (Fig.3), HTL2及びLSLの厚さは島の北東沖で南西沖に比べやや厚かった。水温22~24℃及び塩分33.00~32.50の等値線は島の近傍の測点10付近で盛り上がり、等値線は全体的にやや右下がりとなっていた。島の北東沖底層におけるLTW1の先端は測点12と測点13の中間に達した。流れは島の南西沖では0.5~1.3ノットの北西流が発達し、島の北東沖では北西~北東流が観測された。島の南西側近傍の下層では上層と逆向きの流れを示した。

4回目の観測では (Fig.3), HTL2及びLSLが島の北東沖の測点16で最も深く水深20mに達し、水温21~25℃及び塩分32.25~33.25の等値線は右下がりの分布を示した。島の北東沖底層のLTW1は1回目の観測時と同様に測点13~15の底層に出現した。流れは島の北東沖2.5海里以遠では北東~東流、島の南西沖では北~北西流を示した。島の近傍では上層と下層で逆向き

の流れを示した。

3月18～19日の水温、塩分及び流れの分布 3月18～19日の水温、塩分及び流れの分布をFig.4に示す。

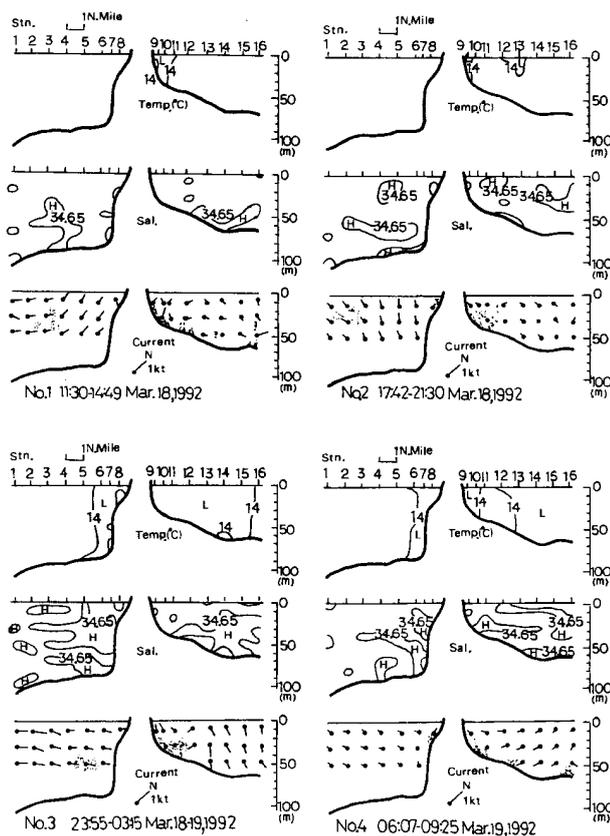


Fig.4. Vertical distributions of water temperature, salinity, current and fish schools in waters around Mishima island on March 18-19, 1992. Dotted regions in the graph of current show distributions of fish schools.

この期間は季節的に鉛直混合が盛んな時期に当たるため、水温、塩分ともほぼ均一な分布を示した (Fig.4)。

1回目の観測では (Fig.4), 13°C 台の相対的に低温な水 (以下, LTW2という。) が島の北東側の測点9～11に出現した。また、塩分34.65以上の相対的に高塩な水 (以下, HSWという。) は、島の北東沖では測点12～16に、島の南西沖では測点1, 3, 4, 7及び8の水深20m以深に見られた。流れは島の近傍を除き、島の南西沖で北東～北流, 島の北東沖で北東～東向きの弱い流れが観測された。島の近傍南西側では弱い東流, 島の近傍北東側では逆向きの北西～西流が観測された。

2回目の観測では (Fig.4), 島の北東沖でLTW2及びHSWが水深40m以浅を中心として1回目の観測時よりやや広がって出現した。LTW2は島の南西沖には

依然として出現しなかった。流れは島の南西沖では0.2～0.5ノットの西～北西流が見られ、島の北東沖では0.2ノット以下と小さく、流向も西～東と一定ではなかった。

3回目の観測では (Fig.4), LTW2は島の北東沖では測点16を除くほぼ全層を占め、島の南西沖でも島から2海里以内に初めて出現した。HSWも島の北東沖水深15m以深及び島の南西側島から3海里以内を中心として広く出現した。流れは島の南西沖では0.4～0.8ノットの北東流が発達し、島の北東沖では島の近傍を除き0.3～0.6ノットの東～南東流が見られた。島の北東側近傍では0.2～0.4ノットの西～北西流が観測された。このように北寄りの流れが発達したときに、島の北東沖で低温水の出現域が拡大したことは、8月の観測結果と共通している。しかし、低温水の出現域は、この時期が鉛直混合期であることを反映し、夏季とは大きく異なり、表層から底層まで広範囲に及ぶことが明らかになった。

4回目の観測では (Fig.4), 流れは島の北東沖では0.2～0.4ノットの南～南西流, 島の南西沖では0.2ノット以下の弱い西～南西流が観測された。LTW2及びHSWの出現域は3回目の観測時よりも全体的に北東側へやや縮小した。

魚群分布 8月8～9日には (Fig.2), 流れの向きや水温・塩分の等値線分布の変化に関係なく、4回の観測を通じて島の北東沖の底層付近と島の南西側島から1.5海里以内の底層付近で点状にまとまった魚群反応が見られた。ただし、島の北東沖の底層でも測点13～15の底層には魚群は出現しなかった。島の南西沖では表・中層に浮いた魚群反応が、3回目の観測時には測点4～5の10～20m深に、4回目の観測時には測点2～4の10～40m深に出現した。

8月19～20日においても (Fig.3), 島の北東沖でLTW1が出現した測点13～15を除く底層付近と島の南西側島から1海里以内の底層付近で魚群反応が見られた。表・中層に浮いた魚群反応は、調査回次ごとに出現域が異なり、1回目の観測時には測点1の20～40m深, 2回目の観測時には測点3～6の10～30m深, 3回目及び4回目の観測時には測点1～2の10～30m深に出現した。

3月18～19日も同様に (Fig.4), 島の北東沖の測点13～15を除く底層付近と島の南西側島から1海里以内の底層付近に魚群反応が見られた。島の南西沖で表・

中層に浮いた魚群反応は、8月の観測時よりも深い水深にも出現し、1回目の観測時には測点2～4の20～50m深に、2回目の観測時には測点1～3の10～30m深に、3回目の観測時には測点4～6の40～60m深に出現した。

## 考 察

本研究により見島の北東海域では北寄りの流れが発達したときに、成層期の8月には低温水(20℃以下)が島の北東沖の測点14～16底層から島に向かって南下し、かつ上昇すること(Figs.2, 3)、及びその上昇の規模は小潮期よりも大潮期に大きいこと(Figs.2, 3)が明らかになった。測点16の北側直近には浅瀬(Fig.1, アサリ)が存在することから、底層の低温水はこの浅瀬の西側を迂回して南下してくると思われる。また、鉛直混合期の3月においても、北寄りの流れが発達したときに見島の北東海域で表層から底層まで広範囲に低温化した(Fig.4)。このような低温化現象は各調査日とも1日以内で北寄りの流れが発達したときに顕著に起きたことから、福岡県沖ノ島周辺海域<sup>4)</sup>と同様に日周期的な湧昇現象が起きていたと考えられる。

夏季における水温・塩分の等値線分布は、対馬海峡において北東-南西方向に卓越する潮流<sup>5)</sup>に伴う流れの変化に対応して変化した(Figs.2,3)。すなわち、西寄りの流れが発達したときには、等値線は右(島の北東側)下りの傾斜を示し、逆に東寄りの流れが発達したときには右上りの傾斜を示した(Figs.2,3)。また、島から1.5海里内では等値線が上昇あるいは下降して傾斜が大きくなることもあり、その時は周辺海域に比べ強い流れや上層と下層とで異なる流れが観測された(Figs.2,3)。このような現象は小潮期よりも流れの速い大潮期に顕著に見られた(Figs.2,3)。これらの事実は、強い流れが発達したときに島から1.5海里内の規模で渦流域が形成されやすいことを示していると考えられる。

これまで湧昇に伴う海洋構造の短期変動と魚群分布との関係を直接調べた報告はほとんど見あたらない。本研究では、見島周辺海域における海洋構造と魚群分布の短期変動を同時に調査した結果、魚群は島から1.5海里以内の底層と島の北東沖の底層に出現することが多かった(Figs.2,3,4)。ただし、島の北東沖底層でも低温水が島に向かって進入し、温度変化が大きくなる海域には魚群はほとんど出現しなかった(Figs.2,3)。このことから、局所的な低温水の湧昇は必ずしも魚群

を誘引する作用を持つとはいえず、むしろ湧昇に伴う急激な低温化は魚群を忌避させる可能性があると考えられた。このような低温水の出現域を除けば、底層の魚群は流れの変化や水温・塩分分布の変化に関わりなく比較的安定して出現した(Figs.2,3)。

これら底層の魚群の出現位置と海底地形との関係を見ると、底層の魚群は水深50m以浅の島棚を中心として分布していることがわかる(Figs.2,3,4)。これらの魚群について直接漁獲はしていないが、漁業者への聞き取りによると、見島北東海域では、イサキ、ウマヅラハギ、ササノハベラ、スズメダイなどの瀬付き魚が釣られていたことから、底層の魚群はイサキ、ウマヅラハギなどの瀬付き魚であった可能性が高い。

一方、表・中層に浮いた魚群の出現域は安定したものではなく(Figs.2,3,4)、これらの魚群は見島近海でまき網や棒受網で漁獲されるマアジやいわし類などの回遊魚であったと推測される。表・中層の魚群は8月には10～40mに出現したが(Figs.2,3)、3月には10～60mとより深い水深まで出現し(Fig.4)、鉛直混合期の春季には、水温躍層が形成される夏季に比べ鉛直的な移動が大きくなることが示唆された。

## 文 献

- 1) 宇田道隆(1960):海洋漁場学。恒星社厚生閣、東京、85-86。
- 2) 永田豊・深沢理郎(1980):浅瀬付近の微細海況と漁場。水産土木、16(2)、1-6。
- 3) 水産庁水産工学研究所・山口県外海水産試験場(1983):礁による湧昇流の実態把握現地調査報告書-山口県汐巻地区現地観測-。1-65。
- 4) HONJI, H., A.KANEKO, K.KAWATATE, S.MIZUNO, M.KAMACHI, and M.TAKAHASHI(1989):The Daily Decrease in Water Temperature around a Small Island in the Tsushima Strait. Reports of Research Institute for Applied Mechanics, 36(106), 15-22。
- 5) KATOH, O.(1994):Short-Term Fluctuations of the Tsushima Current in Waters Northwest of Yamaguchi Prefecture. Journal of Oceanography, 50, 51-64。
- 6) ODAMAKI, M.(1989):Tides and tidal current in the Tsushima Strait. Journal of the Oceanographic Society of Japan, 45, 65-82。

## 山口県日本海沿岸域における海洋物理環境

河野光久

### Physical Environment in Coastal Waters off Yamaguchi Prefecture, Southwestern Sea of Japan

Mitsuhisa KAWANO

Physical environment in coastal waters off Yamaguchi Prefecture, southwestern Sea of Japan was studied based on data of bottom topography, texture of sediments, currents, water temperature and salinity. Median diameters ( $Md \phi$ ) were smaller than 2 in waters around Okinoshima island, Mishima island and Tsunohima island where strong current region existed. In waters shallower than 100 m depth, current velocities were small ( $<10\text{cm/sec}$ ) and current directions were almost along isobathes except for waters near coast. Water temperatures at 50m depth and bottom were lowest in February and highest in September-October. Salinity at 50m depth and bottom were highest in February-April and lowest in July-November. The standard deviations of water temperature at bottom were large in waters off northwest of Mishima island, suggesting a bottom cold water often expanded there.

山口県日本海沿岸域における海洋物理環境データは、沿岸漁場整備開発事業の事前調査等により長年収集・蓄積されてきた<sup>1,14)</sup>。

立石<sup>15)</sup>は、これらのデータを取りまとめるために、文献調査を行い、データの内容と出所を整理し、それを基に山口県・東和科学株式会社<sup>16)</sup>はデータを取りまとめた報告書を作成している。しかし、この報告書では主に調査海域毎の環境図を寄せ集めただけで、データベースの構築及びそれを基にした山口県日本海沿岸域全体を俯瞰した解析はなされなかった。

本研究は、これまで収集された底質、流れ、水温及び塩分データのデータベースを構築し、それらの分布図を作成することにより、山口県日本海沿岸域の海底地形、底質、流れ、水温及び塩分分布の特徴を明らかにした。

#### 材料及び方法

海底地形及び底質 山口県沿岸域の海底地形図は、GISソフトMarine explorer ver.4(株式会社環境シミュレーション研究所)の詳細等深線データを使って作図した。

底質の資料は、主として山口県外海水産試験場が

1972~1989年に山口県日本海沿岸域の762点 (Fig.1, Table1) で、スミスマッキンタイヤ型採泥器を用いて採泥し、粒度分析により得られた中央粒径値 ( $Md \phi$ )、淘汰係数 ( $So$ ) 及び歪度係数 ( $Sk$ ) の値を用いた。

なお、 $Md \phi$ は重量積算曲線で50%に当たる $\phi$ 値 ( $\phi = -\log_2 Md$  (mm)) である。また、 $So$ は積算曲線の2つの四分位数の $Q_1$  (25%値)と $Q_3$  (75%値)によ

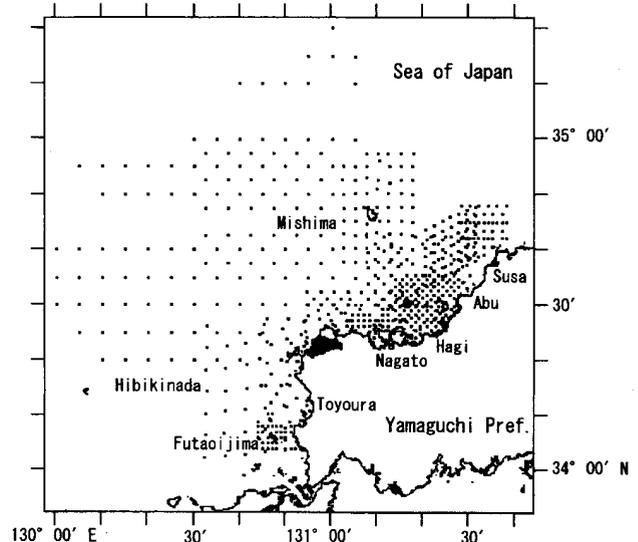


Fig.1. Sampling stations for bottom sediment in coastal waters off Yamaguchi Prefecture.

Table1. An outline of sediment sampling in coastal waters off Yamaguchi Prefecture (see Fig.1), southwestern sea of Japan.

Observation dates	Survey area	Number of sampling stations	Source*
June-Aug.,1972	Hibikinada	39	1
May-June,1976	Off Abu	50	2
Nov.,1978-Jan.,1979	Off Nagato	114	3
July,1979	Off Futaojima	10	4
Oct.,1980	Off Nagato	26	5
Aug-Sept.,1982	Off Susa	51	6
June-July,1984	Off Toyoura	36	7
June,1985	Off Hagi	161	8
June,1986	Off Hohoku	20	9
July-Oct.,1987	Off Mishima	148	10
Sept.,1987-Jan.,1988	Off Mishima	72	11
July,1989	Off Futaojima	35	12

\*Sources: 1, Nakahara et al.<sup>1)</sup>; 2, Yamaguchi Pref.<sup>2)</sup>; 3, Yamaguchi Pref.<sup>3)</sup>; 4, Yamaguchi Pref.<sup>4)</sup>; 5, Yamaguchi Pref.<sup>5)</sup>; 6, Yamaguchi Pref.<sup>6)</sup>; Japan Coast Guard<sup>7)</sup>; 8, Yamaguchi Pref.<sup>8)</sup>; 9, Yamaguchi Pref.<sup>9)</sup>; 10, Fisheries Agency<sup>10)</sup>; 11, Yamaguchi Pref.<sup>11)</sup>; 12, this study.

て求められ、 $S_0=(Q_1/Q_3)^{1/2}$ である。Skは $Sk=(Q_1 \cdot Q_3 / Md^2)^{1/2}$ で求められる。

流れ 資料は、海流板追跡の結果得られた流跡図及び定置測流の結果得られた調和定数を用いた。海流板追跡は1979~1989年に山口県外海水産試験場が小川<sup>17)</sup>が使用したものとほぼ同型の海流板を山口県日本海沿岸海域の1~10m深に投入し、山口県漁業調査船黒潮丸で追跡することにより実施したものである (Table2)。定置測流のデータは、山口県外海水産試験場が1976~1991年に山口県日本海沿岸域の18点 (Fig.2) で実施した1昼夜観測 (Table3) 及び1981~1988年に13点 (Fig.2) で実施した15昼夜観測 (Table4) で得られたものである。なお、1昼夜観測の流向流速計は、st.1では富洋産業社製GEK, st.2ではMT-5型自記潮流計, st.3, 4, 5, 6, 9, 11では東邦電探社製CM-2, st.7, 8, 10, 12, 13, 14, 15, 18では日本無線株式会社製超音波流速計JLN616, st.16, 17ではユニオンエンジニアリング社製RU-2を使用した。また、15昼夜観測の流向流速計は、st.A, B, Cではベルゲン型流向流速計, st.D, E, F, G, H, I, J, K, Lではアンダー社製RCM-4, st.Mではアレック電子社製HCM8Mを使用した。

解析にあたっては、各観測点における調和定数の値及び潮型指標 (F) を比較した。Fは、主要4分潮 $K_1, O_1, M_2, S_2$ の振幅をそれぞれHK, HO, HM, HSとすると、 $F=(HK+HO)/(HM+HS)$ で求められる。そして、 $F<0.25$ ならば半日周潮型、 $0.25<F<1.50$ ならば混合潮型、 $1.50<=F$ ならば日周潮型に分類される。

水温及び塩分 水温及び塩分のデータは、1979~2001年に山口県外海水産試験場が山口県日本海沿岸域の調査点 (Fig.3) で実施した卵稚仔調査及び魚群探索調査で得られたものを使用した (Table5)。観測は1988年まではナンゼン採水器、1989~1991年はSTD

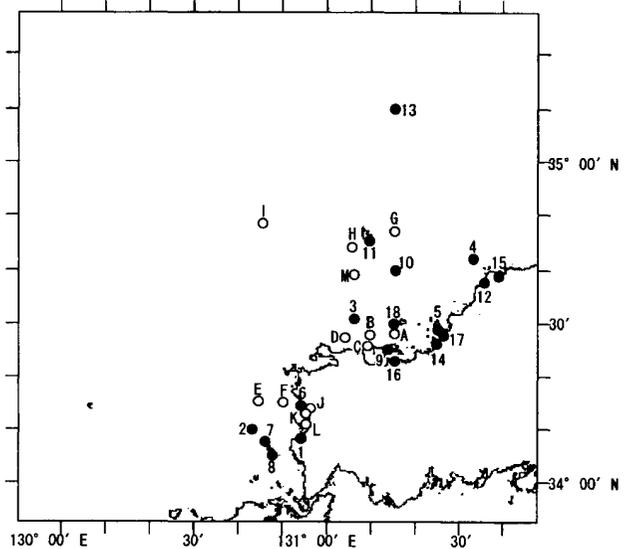


Fig.2. Locations of current meter mooring in coastal waters off Yamaguchi Prefecture. Closed circles and open circles show one-day observation stations and fifteen-day observation stations, respectively.

Table2. An outline of the results of current-drogue tracking in coastal waters off Yamaguchi Prefecture, southwestern Sea of Japan.

Dates	Location		Recovery	Layer (m)	Duration (h)	Source*
	Launching	Recovery				
July16-17,1979	34°10.00'N 130°42.50'E	34°14.58'N 130°39.11'E	5	25	1	
July17-18,1979	34°13.00'N 130°44.00'E	34°14.72'N 130°42.89'E	5	20	1	
July17-18,1979	34°07.00'N 131°41.00'E	34°10.08'N 130°34.23'E	5	22	1	
Aug28-28,1980	34°26.78'N 130°57.88'E	34°30.22'N 130°49.77'E	5	48	2	
Aug28-29,1980	34°27.02'N 131°07.92'E	34°30.72'N 131°03.11'E	5	24	2	
Aug29-30,1980	34°27.87'N 131°16.69'E	34°28.63'N 131°16.87'E	5	14	2	
Sept.2,1980	34°26.84'N 130°57.83'E	34°25.76'N 130°58.35'E	5	10	2	
Sept.2-3,1980	34°28.38'N 130°58.63'E	34°25.57'N 131°09.40'E	5	22	2	
Sept.2-3,1980	34°28.51'N 131°00.32'E	34°28.15'N 131°13.12'E	5	17	2	
Sept.3-4,1980	34°28.03'N 131°13.92'E	34°31.31'N 131°15.27'E	5	24	2	
Sept.3-5,1980	34°29.27'N 130°58.01'E	34°31.95'N 131°18.69'E	5	48	2	
Nov25-27,1981	34°30.05'N 131°13.90'E	34°37.20'N 131°18.50'E	5	44	3	
Feb.12-13,1982	34°33.70'N 130°53.70'E	34°36.00'N 130°36.00'E	5	19	3	
Feb.18-19,1982	34°36.40'N 130°57.50'E	34°39.50'N 131°02.70'E	5	19	3	
Feb.22-23,1982	34°39.60'N 131°02.70'E	34°43.70'N 131°04.70'E	5	32	3	
March11-12,1982	34°35.10'N 131°05.00'E	34°43.70'N 131°07.20'E	5	32	3	
March19,1982	34°35.00'N 131°15.00'E	34°40.00'N 131°16.40'E	5	11	3	
June24-25,1985	34°28.65'N 131°17.65'E	34°29.52'N 131°17.45'E	5	23	4	
July8-9,1985	34°27.19'N 131°19.45'E	34°34.72'N 131°27.24'E	5	23	4	
Aug19-20,1985	34°42.20'N 131°03.50'E	34°41.43'N 131°09.18'E	5	25	4	
Aug20-21,1985	34°48.58'N 131°11.28'E	34°48.89'N 131°08.69'E	5	27	4	
June22-23,1988	34°12.40'N 130°50.00'E	34°25.08'N 130°46.04'E	1	25	5	
June22-23,1988	34°12.40'N 130°50.00'E	34°23.64'N 130°48.69'E	10	25	5	
Aug18-19,1988	34°07.30'N 130°44.85'E	34°22.18'N 130°42.03'E	1	25	5	
Aug18-19,1988	34°07.30'N 130°44.85'E	34°19.17'N 130°42.23'E	10	25	5	
May22,1989	34°00.00'N 130°49.48'E	34°01.41'N 130°59.00'E	10	8	5	
May22-23,1989	34°03.18'N 130°50.00'E	34°04.61'N 130°49.68'E	10	5	5	
May23,1989	34°05.30'N 130°50.35'E	34°09.88'N 130°51.03'E	10	13	5	
June12-13,1990	34°27.70'N 131°16.40'E	34°28.08'N 131°20.72'E	10	25	6	

\*Sources: 1, Yamaguchi Pref.<sup>1)</sup>; 2, Yamaguchi Pref.<sup>2)</sup>; 3, this study; 4, Yamaguchi Pref.<sup>3)</sup>; 5, Yamaguchi Pref.<sup>4)</sup>; 6, Yamaguchi Pref.<sup>5)</sup>.

Table3. Results of harmonic analysis for one-day observed data in coastal waters off Yamaguchi Prefecture, southwestern Sea of Japan.

Observation dates	Station No.	Location	Layer (m)	M1		M2		M4		Constant	
				Amp. (cm/sec)	Phase (deg)						
Dec.14-15,1976	1	34°08.64'N 130°54.21'E	3 N-comp.	3.1	17	1.1	156	1.7	124	0.2	0.2
				E-comp.	5.3	230	5.3	289	1.1	154	4.0
Sept.5-6,1979	2	130°43.00'E	20 N-comp.	3.9	112	2.2	9	1.5	74	-9.4	-9.4
				E-comp.	3.9	116	12.9	8	0.8	216	-1.8
Dec.17-18,1980	3	34°31.01'N 131°06.05'E	2 N-comp.	1.0	64	1.1	131	0.4	345	1.5	1.5
				E-comp.	2.9	335	2.6	29	0.2	119	-9.0
Oct.27-28,1982	4	34°42.00'N 131°33.00'E	2 N-comp.	3.0	219	4.1	71	1.6	141	4.6	4.6
				E-comp.	11.5	168	6.7	54	3.0	10	1.9
Apr.16-17,1984	5	34°28.11'N 131°25.80'E	5 N-comp.	1.4	168	3.2	328	1.8	316	1.0	1.0
				E-comp.	1.1	331	7.8	337	2.3	175	2.9
Dec.10-11,1984	6	34°14.60'N 130°54.29'E	5 N-comp.	2.3	176	4.1	222	3.6	55	3.1	3.1
				E-comp.	10.1	252	8.9	343	2.0	350	-5.9
Aug.23-24,1989	7	34°07.46'N 130°46.00'E	10 N-comp.	13.4	292	5.8	35	4.3	358	0.5	0.5
				E-comp.	11.6	304	5.5	315	1.1	276	3.6
March13-14,1990	8	34°05.20'N 130°47.58'E	10 N-comp.	5.6	241	4.7	116	0.9	230	2.1	2.1
				E-comp.	4.4	58	2.5	327	1.5	142	1.8
June21-22,1990	9	34°25.16'N 131°15.50'E	5 N-comp.	2.0	202	1.4	224	5.0	340	0.4	0.4
				E-comp.	0.6	243	1.2	49	3.3	164	1.1
Oct.15-16,1990	10	34°40.00'N 131°15.00'E	10 N-comp.	26.3	160	3.0	123	1.4	36	23.8	23.8
				E-comp.	17.0	85	1.3	103	2.3	29	10.7
Oct.18-19,1990	11	34°45.39'N 131°09.17'E	7 N-comp.	4.1	131	2.5	291	5.9	225	7.8	7.8
				E-comp.	2.5	81	6.3	48	5.4	158	2.1
Sept.10-11,1991	12	131°24.81'E	10 N-comp.	1.4	297	9.1	257	4.0	119	0.7	0.7
				E-comp.	4.1	181	0.3	149	1.4	185	-3.0
Sept.17-18,1991	13	35°10.00'N 131°15.00'E	10 N-comp.	17.8	175	3.2	356	1.6	324	2.7	2.7
				E-comp.	20.4	126	7.5	47	3.0	214	-3.5
Sept.24-25,1991	14	34°26.19'N 131°24.81'E	10 N-comp.	7.8	80	11.6	320	3.0	109	-1.9	-1.9
				E-comp.	1.2	33	14.1	212	1.9	186	-2.1
Sept.25-26,1991	15	34°39.42'N 131°38.92'E	10 N-comp.	2.6	22	0.9	111	1.4	317	1.5	1.5
				E-comp.	1.1	2	0.8	166	0.5	190	-2.1
Oct.16-17,1991	16	34°23.08'N 131°15.03'E	5 N-comp.	1.6	338	0.7	256	2.4	228	0.2	0.2
				E-comp.	1.2	14	0.4	186	1.5	237	1.6
Oct.22-23,1991	17	131°24.79'E	10 N-comp.	2.8	172	8.4	358	3.1	214	-0.8	-0.8
				E-comp.	2.9	259	3.0	20	0.5	214	2.2
Oct.24-25,1991	18	34°30.00'N 131°15.00'E	10 N-comp.	2.5	263	9.1	314	3.1	322	0.7	0.7
				E-comp.	4.6	355	3.4	357	1.0	193	-1.7

\* see Fig.2

(アレック電子社製AST1000), 1992年以降はCTD (Sea Bird 社製SBE19) を用いて行った。これらのデータについて、月別に50m深及び底層の水温及び塩分の平均値と標準偏差を求め、各々の水平分布図を作成した。

## 結果

海底地形 山口県日本海沿岸域 (Fig.4) には広大な大陸棚が存在し、200mの等深線は距岸50~60海里以遠の北緯35度30分付近に見られる。また、100m等深線は福岡県沖ノ島から見島北沖にかけて北東方向に向かった後、八里ヶ瀬を迂回し見島東沖では南東方向に向かっている。見島の西側は急深な海底地形となっているのに対し、見島の北~東方には多くの浅瀬が存在している。特に見島の北方約10海里沖には八里ヶ瀬、さらに北方には千里ヶ瀬と比較的大きな浅瀬が存在している。

Table4. Tidal current harmonic constants in coastal waters off Yamaguchi Prefecture, southwestern Sea of Japan.

Observation dates	Station <sup>#2</sup>	Location	Layer <sup>#1</sup> (m)	M2		S2		O1		K1		Constant r <sup>2</sup>
				Comp	Phase (deg)	Comp	Phase (deg)	Comp	Phase (deg)	Comp	Phase (deg)	
Oct.21-Nov.5,1981 <sup>#3</sup>	A	34°28'17"N 131°15'00"E	30 N-comp	8.6	16	5.4	359	6.0	24	7.0	73	-2.0 0.93
			E-comp	2.1	22	0.9	42	0.4	291	1.5	60	-0.8
Oct.21-Nov.5,1981 <sup>#3</sup>	B	34°28'00"N 131°08'30"E	30 N-comp	8.8	14	6.3	0.1	7.3	17	7.7	72	-1.5 0.81
			E-comp	2.3	5	1.0	359.8	0.8	335	0.5	18	2.5
Oct.21-Nov.5,1981 <sup>#3</sup>	C	34°25'70"N 131°09'00"E	30 N-comp	8.7	356	4.2	358	4.9	350	4.4	327	-3.9 1.01
			E-comp	3.0	335	1.8	283	2.7	355	4.6	350	-3.1
Oct.21-Nov.5,1981 <sup>#3</sup>	D	34°27'40"N 131°03'80"E	30 N-comp	10.6	10	8.1	249	7.8	4	9.2	51	-3.3 0.93
			E-comp	1.7	302	0.7	87	1.7	88	1.6	296	-0.7
July 19-Aug.2,1988	E	34°15'30"N 131°44'03"E	40 N-comp	3.5	350	0.7	221	8.3	280	3.8	280	8.1 0.88
			E-comp	13.5	355	6.5	38	6.0	258	7.5	299	4.1
July 19-Aug.2,1988	F	34°15'30"N 130°50'00"E	40 N-comp	0.8	84	2.3	235	1.8	288	1.8	133	3.7 0.73
			E-comp	12.8	342	4.8	38	7.7	283	7.7	283	2.7
July 20-Aug.4,1987	G	34°47'20"N 131°14'92"E	40 N-comp	13.8	358	5.8	36	11.1	329	11.5	10	-9.5 1.11
			E-comp	11.9	344	5.2	41	10.4	287	10.4	322	1.6
Aug.10-25,1987	H	34°44'07"N 131°05'48"E	40 N-comp	7.2	28	2.4	58	7.5	315	7.5	34	3.5 2.01
			E-comp	6.0	308	1.8	17	3.5	170	8.8	259	13.0
July 20-Aug.4,1987	I	34°48'37"N 130°45'40"E	40 N-comp	12.4	4	5.7	28	5.3	306	8.6	332	12.3 0.71
			E-comp	10.7	334	6.8	346	4.7	278	7.0	288	15.0
July 10-25,1988	J	34°13'43"N 130°55'20"E	7 N-comp	0.9	318	1.0	338	0.8	291	0.9	153	0 0.35
			E-comp	5.3	328	2.6	357	1.4	287	1.0	164	-0.4
July 10-25,1988	K	34°13'05"N 130°55'03"E	7 N-comp	3.1	308	1.4	332	0.8	248	0.8	148	-1.1 0.22
			E-comp	6.5	305	3.0	340	1.0	281	1.0	199	-2.1
July 10-25,1988	L	34°10'87"N 130°55'25"E	2 N-comp	1.2	348	1.8	142	1.6	241	1.4	180	-1.5 0.24
			E-comp	10.2	315	5.5	354	2.1	68	1.1	82	-1.2
July 15-30,1988	M	34°38'10"N 131°05'80"E	73 N-comp	11.0	351	4.7	342	10.1	37	5.1	87	0.2 0.90
			E-comp	13.7	28	1.7	313	8.1	81	5.2	77	0.6

#1 Source: Yamaguchi Pref<sup>1)</sup>, others, this study.  
#2 see Fig.2.  
#3 F=(M<sub>2</sub>+O<sub>1</sub>)/(M<sub>2</sub>+H<sub>1</sub>).

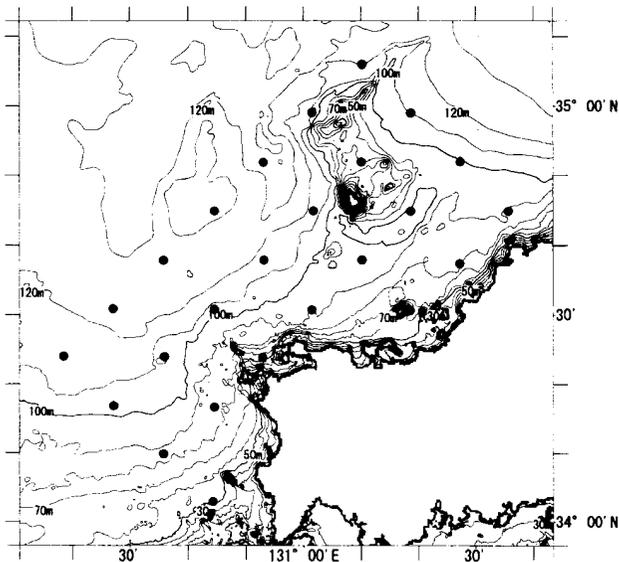


Fig.3. Hydrographic observation stations in coastal waters off Yamaguchi Prefecture.

Table5. Periods of the CTD surveys conducted in coastal waters off Yamaguchi Prefecture (see Fig.3), southwestern Sea of Japan.

Year	Feb.	Apr.	May	June	July	Aug.	Sept.	Oct.	Nov.
1979									15-24
1980							23-25		
1981	16-17	6-7					21-24		
1982	15-16	5-6	11-12						
1983	14-16								
1984	13-14	16-17			3-5		10-13		
1985	12-16	15-16		5-7	16-17	7-8	18-20	25-29	
1986	17-20	14-17		23-24	14-16	19-21			
1987		13-15			13-14	17-21			10-25
1988	20-23	13-16		20-23		22-24	19-21	24-26	14-15
1989	13-14	17-19		21-22		9-11	18-21	25-27	20-21
1990	13-14	24-26	15-17	20-22	16-18	28-30	10-11	15-17	26-27
1991		15-17		25-26	16-18				18-19
1992		13-14	18-20	15-17	13-15		15-17	19-20	16-18
1993			14-16			18-20	20-22	18-19	15-16
1994	14-15	17-18			18-19	8-9	27	18-19	
1995	17-18	23-24	19-21		18-19	17-18	21-22	17-18	22-23
1996	15-16	14-15	26-27			12-13	17-18	14-15	25-26
1997	16-17	19-20	16-17			18-19	18-19	16-17	19-20
1998	14-15	14-15	15-16			16-17	24-25	12-13	
1999	15-16	13-14					13-14		
2000				12-13	25-26			16-17	
2001		23-24						22-23	

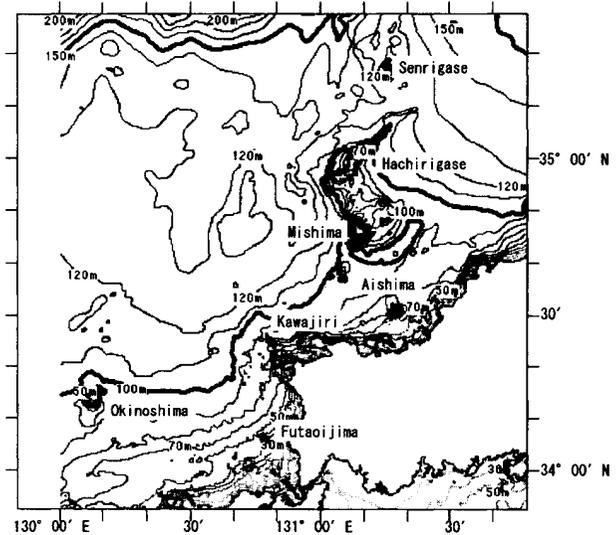


Fig.4. Map showing isobathes in coastal waters off Yamaguchi Prefecture.

底質 中央粒径値 (Mdφ) は (Fig.5), 4 以下で砂質域が広く分布している。細かく見ると、沖ノ島北沖、見島周辺海域及び角島北西沖では中央粒径値が 1 以下で粗粒砂が分布し、その周辺海域の中央粒径値は 1~2 で中粒砂が分布している。見島北西沖30海里付近では中央粒径値が 3 以上の細粒砂の海域が見られる。

淘汰係数は (Fig.6), 3 以下で淘汰が良好な海域が広がっている。特に距岸40海里内の沿岸域で淘汰係数が 1.5 以下と小さく、淘汰が極めて良好な海域が多く見られる。

歪度係数は (Fig.7), 角島以東の海域で 1 以上の海域が広く広がり、中央粒径値より粗い粒径で淘汰が悪くなっていることがうかがえる。他方、角島以西の海域では歪度係数が 1 より小さい海域が広がっており、

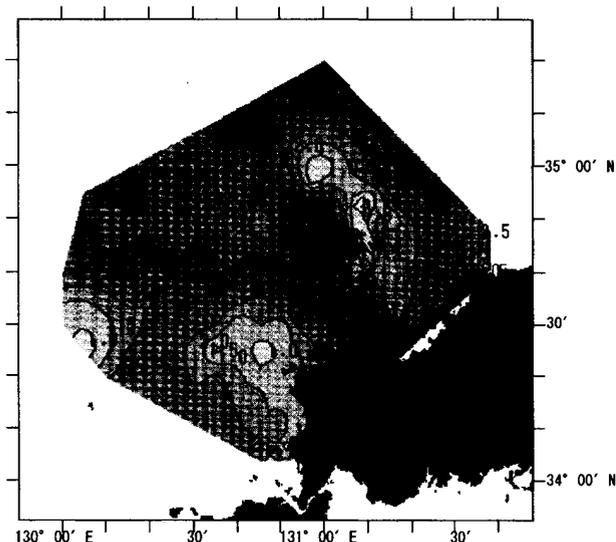


Fig.5. Distribution of median diameters ( $Md\phi$ ) in coastal waters off Yamaguchi Prefecture.

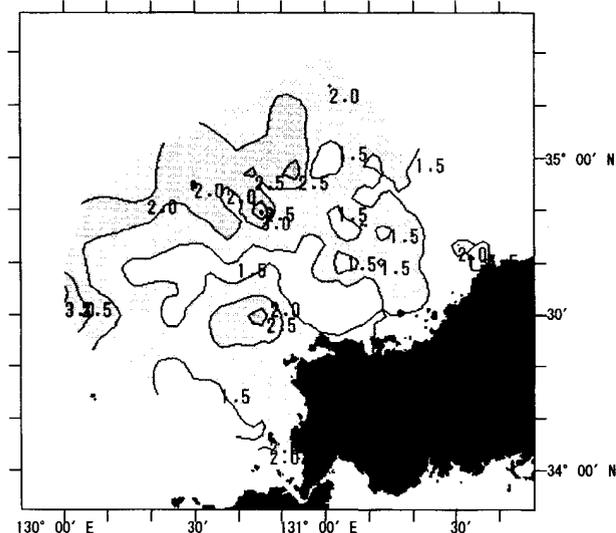


Fig.6. Distribution of sorting coefficients ( $So$ ) in coastal waters off Yamaguchi Prefecture.

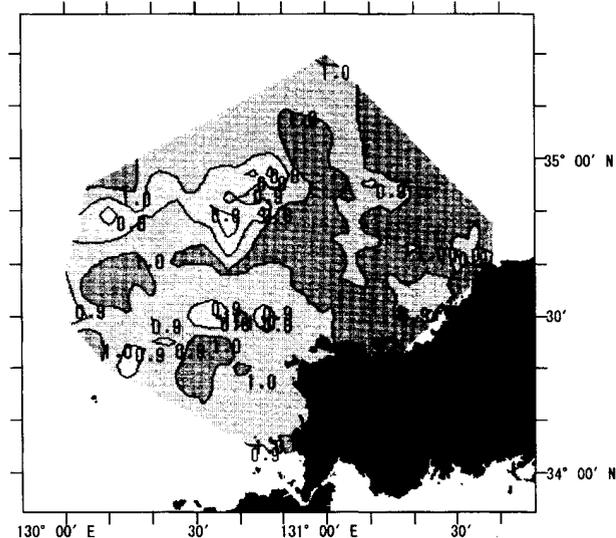


Fig.7. Distribution of skewness coefficients ( $Sk$ ) in coastal waters off Yamaguchi Prefecture.

中央粒径値より細かい粒域で淘汰が悪くなっていることがわかる。

流況 山口県日本海沿岸域における海流板の軌跡を Fig.8に示す。

海流板はほぼ等深線 (Fig.4) に沿って流れ、下関市～豊浦郡沿岸域では北向き、油谷町～萩市沿岸域では東向き、そのやや沖側では東北東～北東方向の流れになっている。ただし、岸寄りの海域では逆向きの流れも認められる。相島の南側、見島周辺海域、蓋井島西沖及び川尻岬沖では反転する流れが見られる。

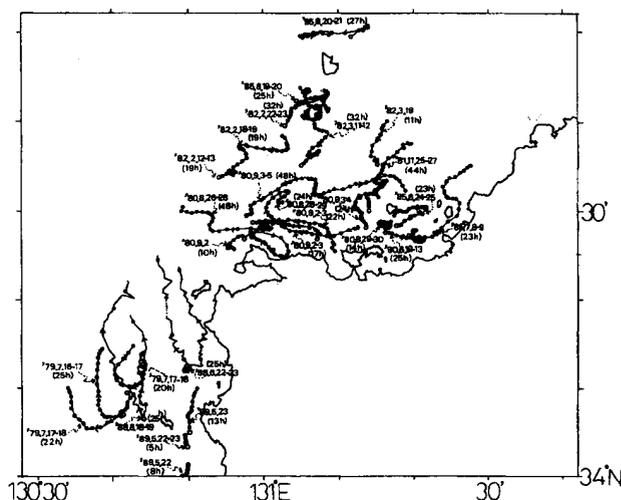


Fig.8. Trajectories of current drogues in coastal waters off Yamaguchi Prefecture.

15昼夜潮流観測による調和定数を Table 4 に示す。

潮型指標 ( $F$ ) は (Table 4), 豊浦町地先の st.K 及び st.L, 及び見島西沖の st.H を除き 0.25～1.25 で、日周潮と半日周潮の混合潮型の潮型となっている。st.K 及び st.L では  $F$  はそれぞれ 0.22 及び 0.24 で半日周潮が卓越し、st.K では  $F$  は 2.01 で日周潮が卓越している。

恒流成分について見ると、流速が 10cm/sec 以上を示したのは見島周辺海域の st.10, st.H 及び st.I のみである。他の測点では恒流成分は 10cm/sec 以下と潮流成分に比較して小さく、特に岸寄りの海域では 5cm/sec 以下と小さい (Table 3, 4)。

水温 50m 深水温の平均値は (Fig.9), 2 月には 12.5～13.5℃ で、年間で最低を示す。4～5 月には水温は 14.0～16.5℃ を示し、西部沖合域で相対的に高温となっている。6～8 月には岸側で相対的に高温な分布を示し、7～8 月には見島より沿岸域では 20.0℃ 以上に昇温する。9～11 月には西部沖合域で相対的に

高温な分布を示す。水温は20.0~23.0℃で、9月には23.0℃台の水域が西部沖合域に広がり、年間で最高水温となる。

50m深水温の標準偏差は (Fig.10), 7~9月には沖合域を中心として1.0以上を示し、その他の月に比べ水温変動が大きい。特に9月には1.0~3.0と大きな値を示している。

底層水温の平均値は (Fig.11), 2月には12.5~

13.5℃で、年間で最低を示す。4月には水温は見島北沖を除き14.0~14.5℃で、見島北沖では13.5℃とやや低くなっている。5~11月には岸寄りの海域ほど相対的に高温な分布を示す。県西部沿岸域では県北部沿岸域に比べ水深が浅い海域に観測点があるので、5~10月には県西部沿岸域で県北部沿岸域に比べ水温が高くなっている。年間最高水温は50m深より1ヶ月遅れて10月に見られ、見島より沿岸域では20.0~22.0℃の水

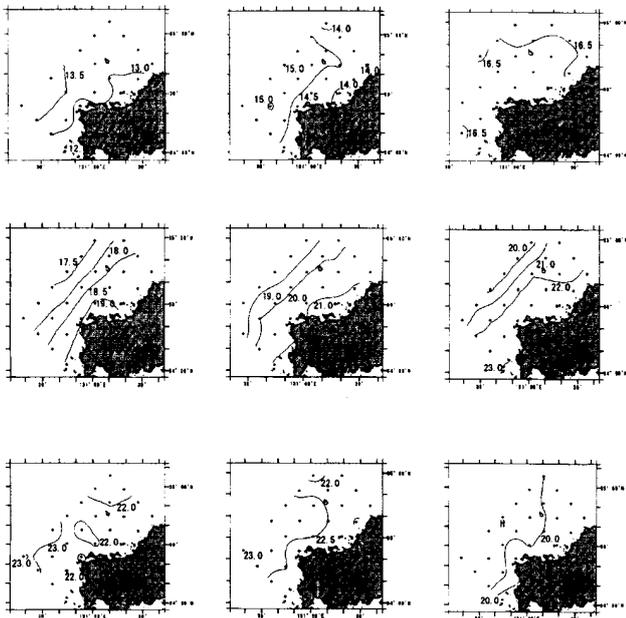


Fig.9. Distribution of monthly mean temperature (°C) at 50 m depth in coastal waters off Yamaguchi Prefecture.

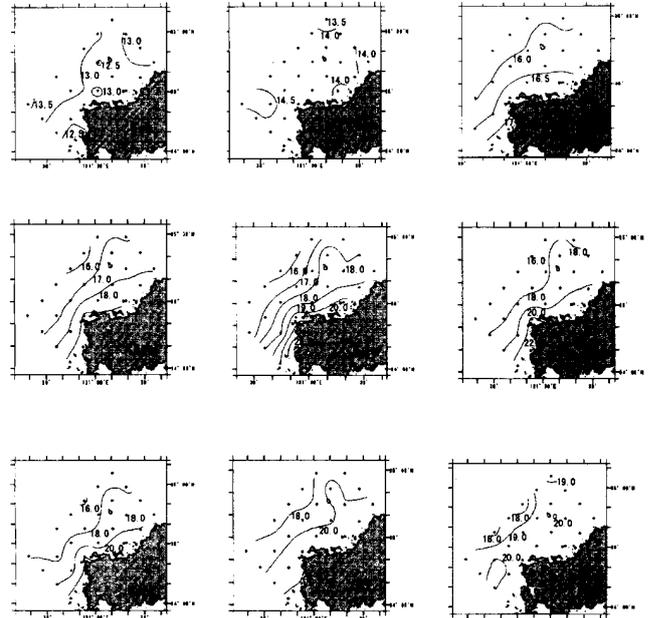


Fig.11. Distribution of monthly mean temperature (°C) at bottom in coastal waters off Yamaguchi Prefecture.

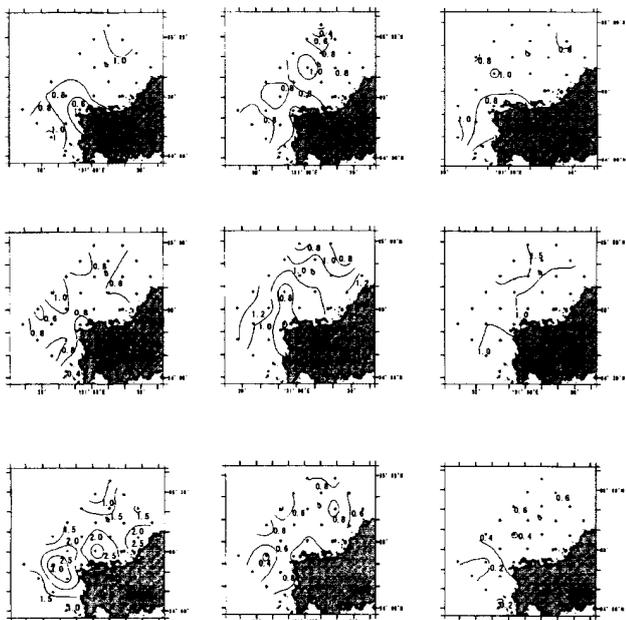


Fig.10. Distribution of monthly standard deviations of water temperature (°C) at 50m depth in coastal waters off Yamaguchi Prefecture.

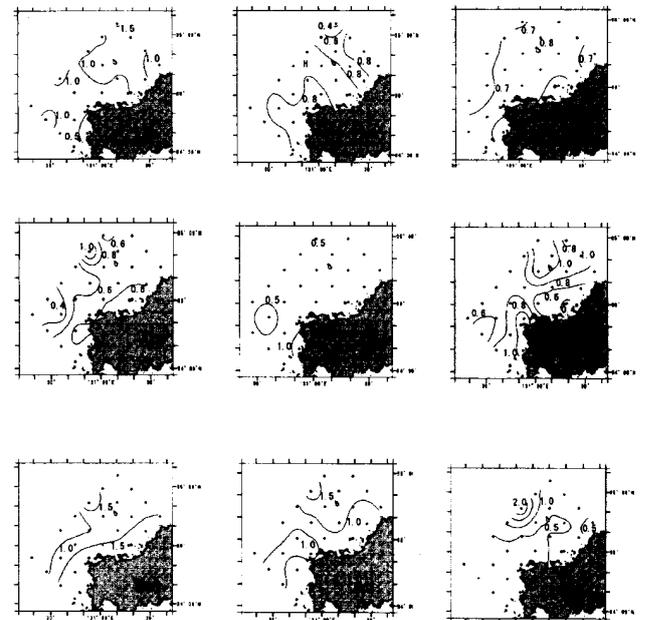


Fig.12. Distribution of monthly standard deviations of water temperature (°C) at bottom in coastal waters off Yamaguchi Prefecture.

域に広く覆われている。

底層水温の標準偏差は (Fig.12), 9~10月には1.0以上の海域が広く広がり, 他の月に比べ水温変動が大きい。見島北西沖を中心とした見島周辺海域では2月, 6月及び8~11月に局所的に標準偏差が1以上と大きくくなっている。

塩分 50m深塩分の平均値は (Fig. 13), 期間を通じて西部沖合域を中心とした沖合域で相対的に高い値を示す。年間の最高値 (34.5~34.6) は2月及び4月に見られる。7~11月にかけては, 沿岸域を中心として塩分34.0以下の海域が広がり, 9~10月に低塩化 (33.7~33.9) が最も顕著である。

50m深塩分の標準偏差は (Fig. 14), 2月, 4~6月及び11月にはほぼ0.1と小さいが, 7~10月には0.2~0.5と大きい。特に, 9月及び10月には見島北沖で標準偏差が0.3~0.5と大きくくなっている。

底層塩分の平均値も (Fig.15), 期間を通じて沖合域で高い値を示す。2月及び4月には塩分は34.5~34.6と年間で最高となる。5月及び6月にも塩分は34.4~34.5と比較的高い値を示す。7~11月には岸寄りの海域で塩分が34.0以下 (33.6~34.0) に低下する。

底層塩分の標準偏差は (Fig. 16), 7~10月には沿岸域で11月には沖合域で0.2以上と比較的大きい。他方, 2月及び4~6月には標準偏差はほぼ0.1と小さい。

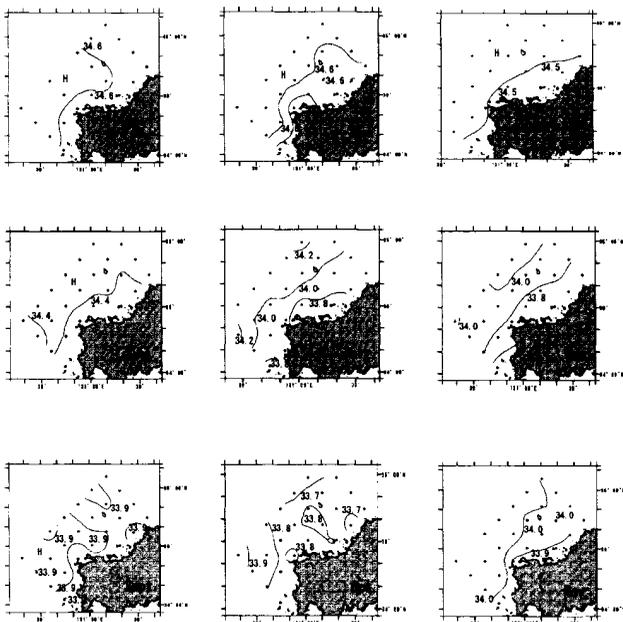


Fig13. Distribution of monthly mean salinity at 50 m depth in coastal waters off Yamaguchi Prefecture.

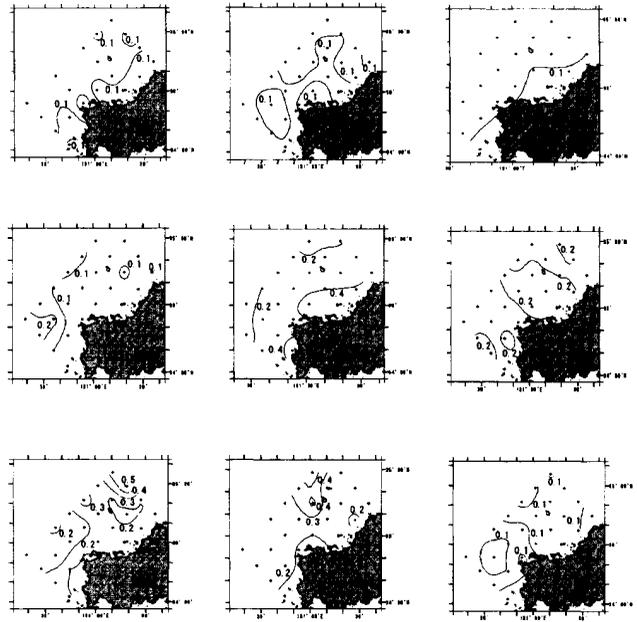


Fig14. Distribution of monthly standard deviations of salinity at 50 m depth in coastal waters off Yamaguchi Prefecture.

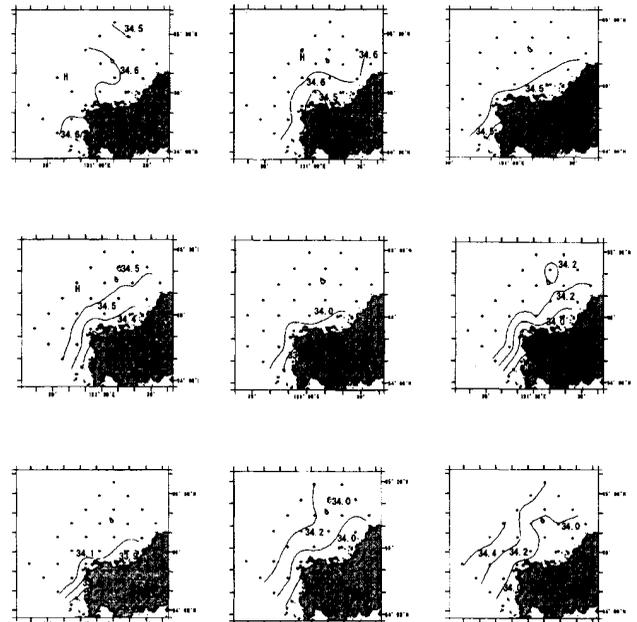


Fig15. Distribution of monthly mean salinity at bottom in coastal waters off Yamaguchi Prefecture.

### 考察

KATOH<sup>18)</sup> は山口県日本海沖でADCP観測を行い, 対馬暖流第1分枝の強流域は100m等深線に沿い, 第2分枝の強流域は100m深の等温線密集部に沿って存在することを明らかにした。しかし, 100深より浅海域の流れについては, 観測例が少なく, 十分に明らかにされているとはいえない。本研究では, 海流板追

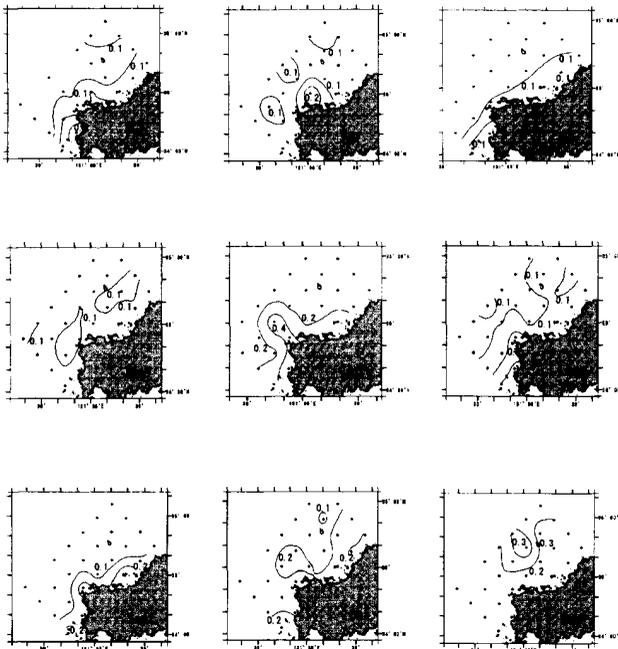


Fig16. Distribution of monthly standard deviations of salinity at bottom in coastal waters off Yamaguchi Prefecture..

跡データと定置測流データから、(1) 100m深よりも浅海域でも基本的には等深線に沿って北～東向きの流れが存在するが (Fig.8), (2) 島や岬の周辺海域では反流が形成されやすいこと (Fig.8), (3) 恒流成分は10cm/sec以下と小さく、潮流成分と比較して小さいこと (Tables3, 4), 特に (4) 岸寄りの海域では流速は5cm/sec以下で、流向が安定しなくなること (Fig.8, Tables3, 4) が明らかになった。これらの事実から、100m深に近づくほど対馬暖流が強くなり海底地形に沿った流れが比較的安定するが、岸寄りの海域では潮汐や萩沿岸域で見られたように海上風の影響を受けて<sup>19)</sup> 流向が安定しなくなると考えられる。

底質データを整理した結果、沖ノ島北沖、見島周辺海域及び角島北西海域における粒径が、その他の海域に比較して大きくなっていった (Fig.5)。これらの海域のうち沖ノ島北沖及び見島周辺海域では100m等深線が走っており (Fig.4)、対馬暖流第1分枝の強流域が存在する<sup>18)</sup>。また、角島周辺海域では汐巻と呼ばれる天然礁が存在し、潮流が極めて速い<sup>20)</sup>。以上のように流れの速い海域で粒径が大きくなっていることが確認された。

これまで山口県北部沿岸域の表中層水温・塩分分布については小川<sup>17)</sup>が報告しているが、山口県西部沿岸域の水温・塩分分布については断片的な知見しかなかった。特に底層水温・塩分分布は底魚類の漁場形成を検討する上で重要になるが、山口県日本海沿岸域

を網羅してデータ解析したものはなかった。本研究では50m深だけでなく底層についても水温・塩分の平均的な季節変化とその変動場を明らかにすることができた。底層水温分布で注目されるのは、見島北西沖で6月及び8～11月に底層水温の標準偏差が比較的大きかったことである (Fig.16)。この原因としては、この海域は海谷の先端部に位置するため (Fig.3)、陸棚上に張り出してくる底部冷水<sup>21)</sup>の影響を受け、水温変動が大きくなるためと考えられる。実際に、1987年8月、11月及び1988年6月には見島北西沖の海谷に水温15℃以下の底部冷水の存在が確認されている<sup>22)</sup>。見島北西沖では細粒砂の海域が存在するが、これについても底部冷水の進入の影響が推察される。

本研究を行う過程で山口県日本海沿岸域においてこれまで断片的に得られていた海底地形、底質、流れ、水温及び塩分のデータを総合し、さらに人工魚礁の位置データも併せたデータベースを構築することができた。このデータベースはMarine explorerのフィルタ機能を利用して、任意の変数や海域について分布図を作成することが可能である。作成した分布図は、今後さまざまな魚種の漁場形成条件等を解明するためのベースマップとして利用できる。例えば、本県における重要魚種の1つであるアカアマダイは、林<sup>23)</sup>によれば、巣穴の中に生息する習性があり、東シナ海では主漁場が砂質泥または泥質砂で水深が60～200mの海域に形成されることがわかっているが、山口県日本海沿岸域における本種の漁場形成条件については十分に明らかにされているとはいえない。また、まき網漁業の重要な漁獲対象種であるマアジについては沖合回遊性のものと瀬付性のものがあり<sup>24)</sup>、海底地形や水温条件が漁場形成条件として重要であると考えられるが、本種についても漁場形成条件は未解明のままである。今後はデータベースをこのような重要魚種の漁場形成条件の解明に利用していきたい。

## 謝 辞

解析に用いた長年の海洋物理データは、主として前山口県漁業調査船黒潮丸及び若潮丸の乗組員の方々及び歴代調査員の方々のご尽力により得られたものである。ここに記して、感謝する。

## 文 献

- 1) 中原民男・藤井泰司・五嶋繁・高木和昭 (1973) : 沿岸漁場開発調査. 昭和47年度山口県外海水産試

- 験場事業報告. 4-8.
- 2) 山口県 (1977) : 昭和51年度人口礁漁場造成事業調査報告書. 1-90.
  - 3) 山口県 (1983) : 長門海域総合開発事業設計調査報告書. 1-158.
  - 4) 山口県 (1980) : 昭和54年度豊閑地区人工礁漁場造成事業調査報告書. 1-28.
  - 5) 山口県 (1981) : 昭和55年度大津地区人工礁漁場造成事業調査報告書. 1-35.
  - 6) 山口県 (1983) : 昭和57年度須佐地区人工礁漁場造成事業調査報告書. 1-111.
  - 7) 海上保安庁水路部 (1985) : 5万分の1沿岸海の基本図 海底地形地質調査報告 角島. 1-30.
  - 8) 山口県 (1987) : 地域沿岸漁場開発モデル調査報告書 (萩地域). 1-147.
  - 9) 山口県 (1987) : 外海南部地区人工礁漁場造成事業調査結果報告書. 1-39.
  - 10) 水産庁・社団法人全国沿岸漁業振興開発協会 (1989) : 昭和63年度特定地域沿岸漁場開発調査山口県見島周辺地域調査報告書. 1-183.
  - 11) 山口県 (1988) : 見島地区人工礁漁場造成事業調査結果報告書. 1-40.
  - 12) 山口県 (1981) : 長門海域総合開発調査報告書. 1-174.
  - 13) 山口県 (1990) : 広域型増殖場造成事業調査報告書-豊閑地区マダイ-. 1-70.
  - 14) 山口県 (1991) : 広域型増殖場造成事業調査報告書-萩湾地区マダイ-. 1-47.
  - 15) 立石 健 (1991) : 沿岸漁場総合整備開発基礎調査事業. 平成2年度山口県外海水産試験場事業報告, 195-227.
  - 16) 山口県・東和科学株式会社 (1991) : 沿岸漁場総合整備開発調査委託 (外海地区) 報告書. 1-158.
  - 17) 小川嘉彦 (1981) : 日本海南西沿岸水域の海況特性とその漁業生物学的意義. 山口県外海水産試験場研究報告, 18, 1-96.
  - 18) KATO, O. (1994) : Short-Term Fluctuations of the Tsushima Current in Waters Northwest of Yamaguchi Prefecture. *Journal of Oceanography*, 50, 51-64.
  - 19) 河野光久 (1998) : 山口県萩沿岸海域の流況. 山口県外海水産試験場研究報告, 27, 1-10.
  - 20) 水産庁水産工学研究所・山口県外海水産試験場 (1983) : 礁による湧昇流の実態把握現地調査報告書—山口県汐巻地区現地観測—. 1-65.
  - 21) 森脇晋平・小川嘉彦 (1988) : 底部冷水の海況学的特性. 東北区水産研究所研究報告, (50), 25-47.
  - 22) 河野光久 (1997) : 日本海南西部山口県沖における魚群分布. 山口県外海水産試験場研究報告, 26, 71-77.
  - 23) 林 泰行 (1985) : 東シナ海産アカアマダイの漁業生物学的研究. 山口県外海水産試験場研究報告, 20, 1-95.
  - 24) 畔田正格・落合 明 (1962) : 若狭湾産マアジの系群に関する研究. *日本水産学会誌*, 28 (10), 967-978.

## 近年の山口県伊予灘及び広島湾海域における海洋環境の動向

和西昭仁

### Recent trends of marine environment in the Iyo-Nada region and Hiroshima Bay off Yamaguchi Prefecture

Akihito WANISHI

The environment of the coastal waters was monthly investigated in the Iyo-Nada region and Hiroshima Bay off Yamaguchi Prefecture from 1996 to 2003. The variations of the parameters such as water temperature, dissolved oxygen (DO), dissolved inorganic nitrogen (DIN), phosphate (PO<sub>4</sub>-P), chemical oxygen demand (COD) and chlorophyll-a were analyzed.

Water temperature had peaks in 1998-1999 and 2001-2002, and years showing higher annual average temperature tended to be warmer especially from March to May in particular than lower temperature years. DO and chlorophyll-a concentration showed tendencies to increase, while transparency, nutrients concentration and COD showed tendencies to decrease.

To maintain successful fisheries industry, we should clarify the impacts of environmental changes on marine organisms and ecosystems in more detail, and discuss what are the suitable conditions of the waters for fishery in this area.

**Key words:** marine environment, water temperature, DO, nutrient, COD, chlorophyll-a

山口県の瀬戸内海側においては、周防灘海域で1972年から浅海定線調査が開始され、30年以上にわたってデータが蓄積されてきた<sup>1, 2)</sup>。日本の場合、このような調査は海洋に面した全ての都道府県で実施されているが、世界的にはあまり例がないらしく、我が国ほど長期間継続されているのは特異的と言える<sup>3)</sup>。

しかしながら、そうした周防灘海域とは対照的に、山口県の伊予灘及び広島湾海域においては、山口県瀬戸内海区の漁獲量<sup>4)</sup>の約4割(1996年; 光市以東の合計)、漁労体数<sup>4)</sup>の約6割(同)を占める水産上重要な海域であるにも関わらず、長い間定期的な海洋調査が行われていなかったが、地元漁業者からの要望を受け、1994年5月に調査が開始された。

開始当初は年に数回程度の調査であったが、1996年以降はほぼ毎月1回にわたって調査が行われるようになり、その結果、水温や塩分をはじめとする様々なデータが得られ、それらを漁業者等に情報提供することにより漁業生産にも寄与してきた。

重田ら<sup>5)</sup>は広島湾に出現する魚類を調査し、温暖化の進行に伴って暖海性魚類や外海性魚類が多数出現す

るようになり、その傾向は今後も加速するであろうと予想した。事実、山口県下においても、従来はあまり見かけなかったナルトビエイがしばしば目撃されるようになり、アサリ漁業等に深刻な影響を与えるようになった。

そのような中、調査が開始されて10年が経過した。そこで、海洋環境の長期的な変動傾向を把握するには些か期間が短い、1つの区切りとして1996~2003年の8年間における調査結果を取りまとめ、山口県の伊予灘・広島湾海域における海況を振り返ってみたので、その結果について報告する。

#### 資料及び方法

今回用いたのは、Fig.1に示す4定点(緯度、経度等はTable 1)において、1996年1月~2003年12月の8年間、毎月1回の調査によって得られた(1)水温(0.5・B-1m(底上1m)深)、(2)塩分(同)、(3)透明度、(4)溶存酸素量(0・B-1m深、以下「DO」)、(5)酸素飽和度(同、以下「SDO」)、(6)溶存無機態窒素(同、以下「DIN」)、(7)リン酸態リン(同、以下「PO<sub>4</sub>-P」)、(8)

化学的酸素要求量(同, 以下「COD」), (9)クロロフィル-a(同)の観測データである。これより0m深のことを「表層」, 5m深のことを「5m層」, B-1m深のことを「底層」と表記する。

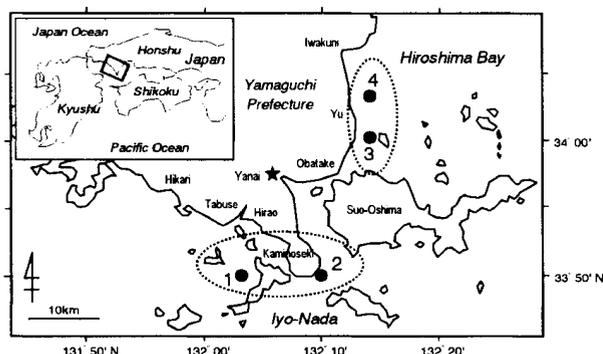


Fig.1. Map showing the sampling stations (closed circles, St.1~4) in two zones (dotted lines, Iyo-Nada and Hiroshima Bay), and the meteorological observation point (closed star, Yana).

Table 1. Location and average depth of each sampling station. Latitude and longitude are shown by World Geodetic System

Station No.	Zone	Location		Depth (m)
		Latitude N	Longitude E	
1	Iyo-Nada	33° 50' 12"	132° 02' 04"	34
2	Iyo-Nada	33° 50' 12"	132° 09' 48"	49
3	Hiroshima Bay	34° 00' 12"	132° 14' 51"	28
4	Hiroshima Bay	34° 04' 23"	132° 14' 51"	32

なお, 1994年及び1995年のデータは, 調査が年に数回であり, 実施月も様々であったため, 今回の解析には用いなかった。

水温及び塩分は1998年10月まで棒状温度計及びサリノメータ(株鶴見精機MODEL 3-G)で測定し, 1998年11月以降はいずれもメモリー式水温塩分計(アレック電子(株)AST-500)を用いて測定した。また, DOはWinkler法<sup>6)</sup>, 栄養塩類はアンモニア態窒素(以下「NH<sub>4</sub>-N」), 硝酸態・亜硝酸態窒素(以下「NO<sub>3</sub>-N+NO<sub>2</sub>-N」), 亜硝酸態窒素(以下「NO<sub>2</sub>-N」), PO<sub>4</sub>-Pを日本海洋学会<sup>7)</sup>の方法に準じてオートアナライザー(ブラン・ルーベ(株)TRAACS800)を用いて測定し, NH<sub>4</sub>-N, NO<sub>3</sub>-N, NO<sub>2</sub>-Nを合計してDINとした。CODはアルカリ性過マンガン酸カリウム-ヨウ素滴定法<sup>8)</sup>, クロロフィル-aは吸光度法<sup>6)</sup>に準じて分光光度計(島津製作所(株)UV-160)を用いて測定し, Jeffrey and Humphrey<sup>9)</sup>の3点法で算出した。

一方, 当該調査は和西<sup>1, 2)</sup>が報告した浅海定線調査

とは異なり, 月ごとの調査日が一定していない。そのため, 本来ならば基準日(例えば毎月1日)の値に換算して解析すべきかもしれないが, 調査の間隔が最大で約50日に及ぶ場合もあり, 基準日の値に換算することは必ずしも適切でないと判断し, 各月の調査日に観測された値をもって各月の観測値とすることにした。ただし, 期間中に数回の欠測があったので, それらの月に限っては, 前後の月の観測値から線形補間によって計算したデータを用いた。

次に, 各定点の観測値をもとに, 海域別(Fig.1の点線内)の特性を明らかにする目的で, 伊予灘海域(St.1及びSt.2)と広島湾海域(St.3及びSt.4)とに分けて海域内の平均値を月ごとに求め, 基本データセット(96ヶ月分)を作成した。そして, 基本データセットに12ヶ月の移動平均を施し, 季節変動成分を除去したデータセット(84ヶ月分)を作成した。また, 年ごとに1~12月の観測値を平均したものを年平均値とした。なお, 各月の年平均値は1996~2003年における平均値を用いた。

また, 水温については, 広島湾海域における研究事例<sup>10, 11)</sup>と比較するため, それらの解析方法に倣って各年の海域別, 観測層別の年間変動パターン求めた。すなわち, 水温の年変動の振幅を求めるために1年周期を与えて,

$$f(d) = a + b \cdot \cos(d \cdot 2\pi \cdot 365^{-1}) + c \cdot \sin(d \cdot 2\pi \cdot 365^{-1})$$

から平均二乗誤差が最少になるように係数a~cを決定することから, いわゆる最少二乗法による最確値正弦曲線を求めたことになる。この方法については, 友定<sup>12)</sup>の報告と同じく, 観測日が様々であるような場合に有効な手法として採用した。なお, 係数aは年平均水温, b及びcは余弦及び正弦に係る振幅, dはユリウス日数である。

一方, 水温と気温との関連性を探るため, 気温(月平均気温)のデータを気象庁のWEBサイト「電子閲覧室(<http://www.data.kishou.go.jp/>)」からダウンロードして解析に供した。

## 結 果

### 1. 水温

伊予灘では, 表層10~26℃, 5m層及び底層10~25℃, 広島湾では, 表層10~27℃, 5m層10~26℃, 底層10~25℃の範囲で推移し, 両海域とも1998~1999年及び2001~2002年に極大傾向が見られた(Fig.2)。

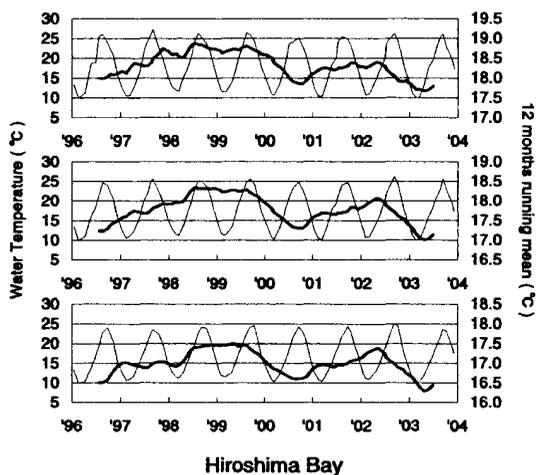
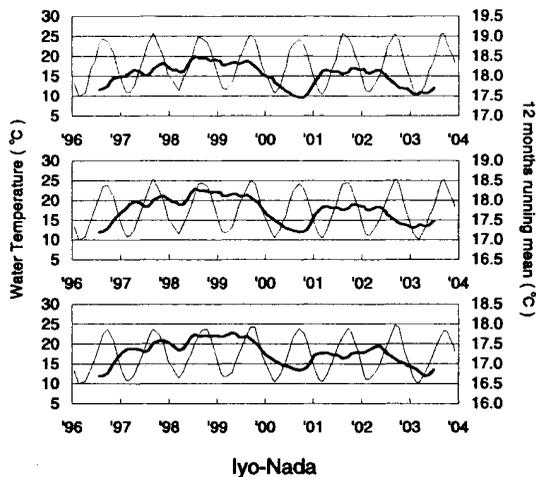


Fig.2. Changes in water temperature (°C). Thin and thick lines represent the monthly values and 12 months running means, respectively. upper, surface layers; middle, 5 meters layers; lower, bottom layers.

各月の平年値は、両海域とも3月に最低値、9月に最高値となった (Fig.3)。表層と底層との差は4月から拮がり始め、7月に最大 (伊予灘2.4°C, 広島湾4.5°C) となった後、10月には鉛直混合により差が見られなくなった。

年平均値は、表層では広島湾>伊予灘、底層では伊

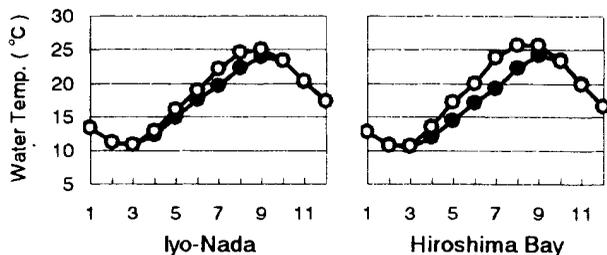


Fig.3. Changes in monthly averages of water temperature (°C). open circles, surface layers; closed circles, bottom layers.

予灘>広島湾という傾向で推移した (Fig.4)。両海域の各層とも1998年に最高値であった。広島湾では各層ともに2003年が最も低かったのに対し、伊予灘の場合、表層は2000年、5m層及び底層は1996年に最も低かった。

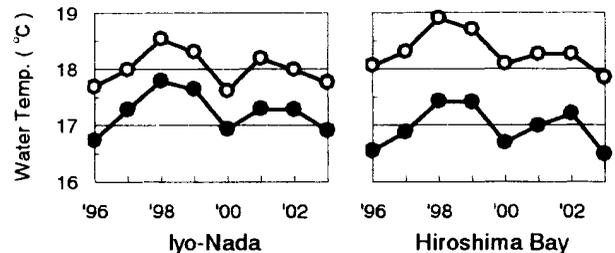


Fig.4. Changes in annual averages of water temperature (°C). open circles, surface layers; closed circles, bottom layers.

定点ごとの平年値のうち、各季節ごと (3月, 6月, 9月及び12月) の水平分布 (5m層) を見てみると、水道部に位置するSt.2が6月及び9月に最も低く、12月及び3月に最も高かった (Fig.5)。

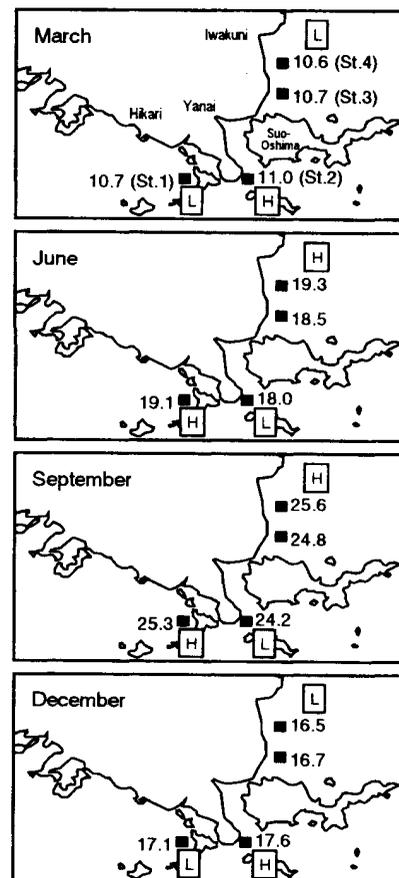


Fig.5. Horizontal distributions of water temperature (°C) at the depth of 5 meters in each season. Numerals represent the averages of each month from 1996 to 2003. H, higher temperature region; L, lower temperature region.

一方、両海域で成層が最も発達する夏季（7月）の鉛直分布として2003年を例に見ると、St.2では成層がほとんど形成されず（水深44mに対して表層・底層の水温差0.4℃）、対照的にSt.4では水深（29.5m）に対して水温差（4.3℃）が比較的大きかった（Fig.6）。

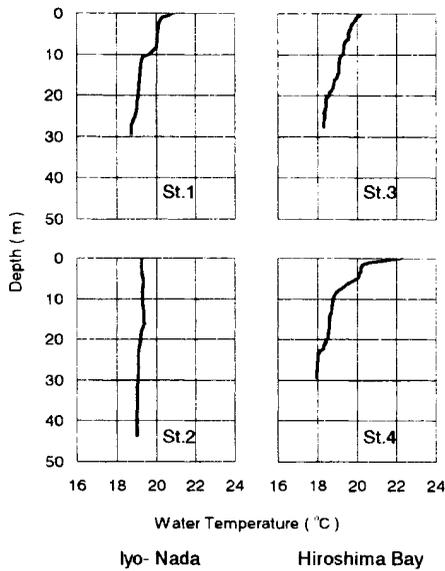


Fig.6. Vertical distributions of water temperature (°C) on July 2003.

一方、水温の観測値を式  $f(d)$  によって近似したところ、各海域・各層の式  $f(d)$  における係数  $a$  の値は、観測値の平均から求めた年平均値との間に有意な正の相関 ( $r=0.91\sim 0.96$ ,  $P<0.001$ ) が認められた。一方、 $a$  値が大きかった1998年（高水温年）と小さかった1996年（低水温年）について、式  $f(d)$  による水温近似値の推移を比較すると、差が最大となるのは、伊予灘3～4月（各層1.9～2.4℃）、広島湾3～5月（同1.6～1.9℃）、逆に差が最小となるのは、伊予灘9～10月（同0.3～0.6℃）、広島湾9～11月（同0.4～0.7℃）であった（Fig.7）。

また、水温が初めて20℃を超える日を求めると、高水温年の場合、伊予灘では6月下旬（表層）～7月中旬（底層）、広島湾では6月上旬（表層）～7月中旬（底層）であるのに対して、低水温年の場合は高水温年よりも表層で1週間、底層で2週間程度遅れる傾向があった。

## 2. 塩分

広島湾では、夏季に表層で30psu以下にまで低下することがあったのに対し、伊予灘では表層でも32psuを下回ることは滅多になく（8年間で1ヶ月のみ）、

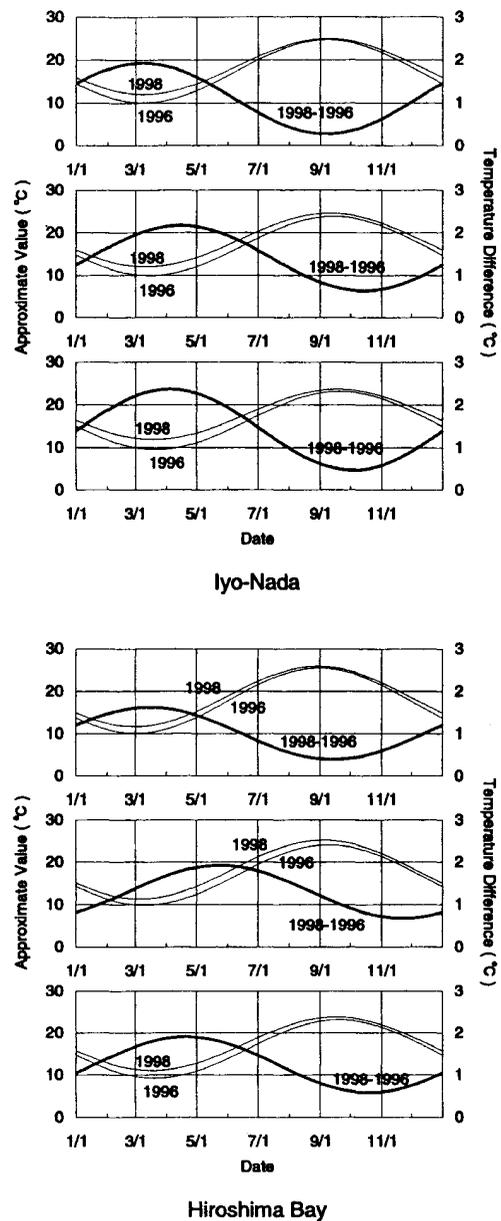


Fig.7. Changes in approximate values of water temperature (thin lines, °C) in 1996 and 1998 and differences between two years (thick lines, °C). upper, surface layers; middle, 5 meters layers; lower, bottom layers; Approximate values were calculated by the formula  $f(d)$  as follows ( $a\sim c$ , coefficients for amplitude;  $d$ , Julian day Number).  $f(d) = a + b \cdot \cos(d \cdot 2\pi \cdot 365^{-1}) + c \cdot \sin(d \cdot 2\pi \cdot 365^{-1})$

各層とも概ね32.1～34.0psuで推移した（Fig.8）。したがって、年較差も両海域でかなり開きがあり、表層の場合、伊予灘が0.7～2.9psu（平均1.4psu）であるのに対し、広島湾では2.2～6.1psu（平均3.5psu）であった。

各月の年平均値は、両海域とも表層では3月に最高値、7～8月に最低値、底層では表層よりやや遅れて4月に最高値、10月に最低値となった（Fig.9）。広島湾では5～9月に表層塩分が32psuを下回って推移

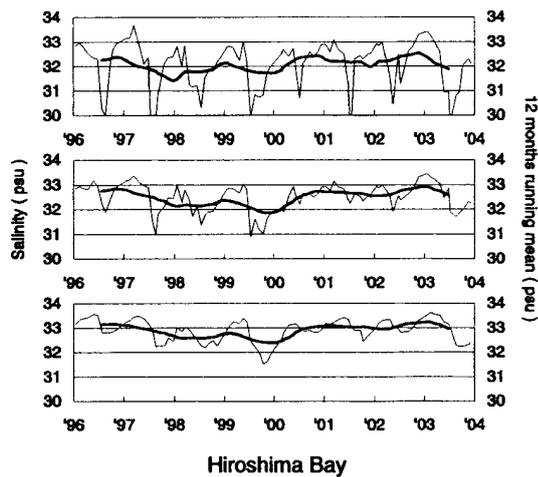
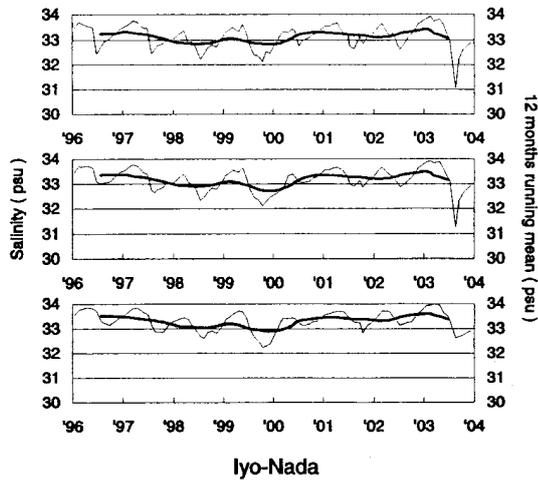


Fig.8. Changes in salinity (psu). Thin and thick lines represent the monthly values and 12 months running means, respectively. upper, surface layers; middle, 5 meters layers; lower, bottom layers.

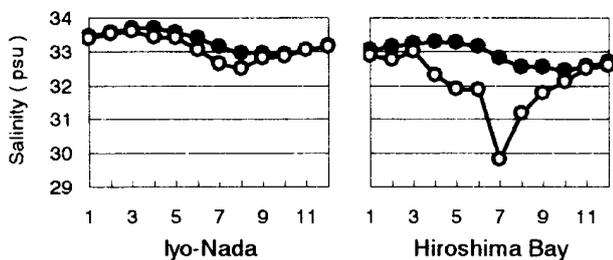


Fig.9. Changes in monthly averages of salinity (psu). open circles, surface layers; closed circles, bottom layers.

し、中でも7月には29.8psuまで急低下したことに伴い、表層と底層との差が最大(3.0psu)となった。

年平均値は、両海域とも期間の中頃(1998~1999年)が相対的に低く、各年の値が滑らかな曲線に載っているような推移を示した(Fig.10)。また、伊予灘では表層と底層との差が比較的小さかった(0.1~0.3psu)の

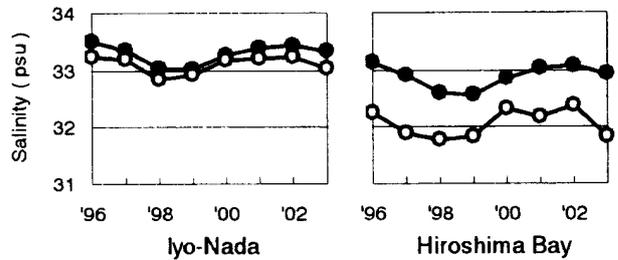


Fig.10. Changes in annual averages of salinity (psu). open circles, surface layers; closed circles, bottom layers.

に対し、広島湾では0.5~1.1psuの差で推移した。

定点ごとの平年値のうち、各季節ごと(3月、6月、9月及び12月)の水平分布(5m層)を見てみると、いずれの月も伊予灘(St.1・2)のほうが広島湾(St.3・4)より高かった(Fig.11)。

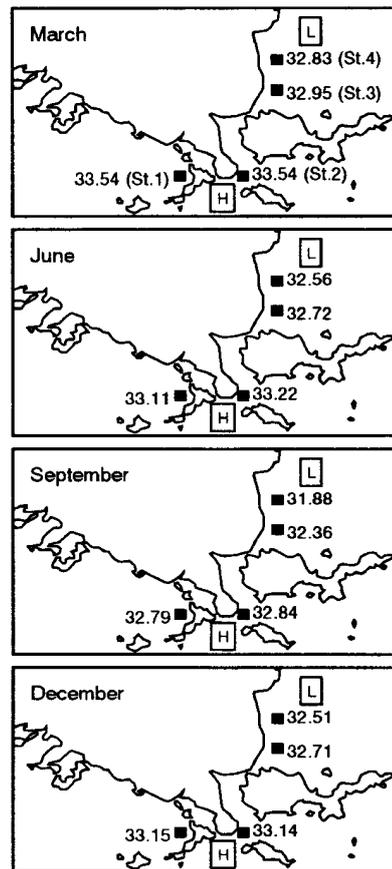


Fig.11. Horizontal distributions of salinity (psu) at the depth of 5 meters in each season. Numerals represent the averages of each month from 1996 to 2003. H, higher salinity region; L, lower salinity region.

また、水温と同様に、成層が最も発達する夏季(7月)の鉛直分布として2003年を例に見ると、伊予灘では表層と底層との差が0.4psu(水深29.5及び44m)しかなかったのに対し、広島湾では1.7~5.2psu(水深28

及び29.5m)と顕著であった (Fig.12)。

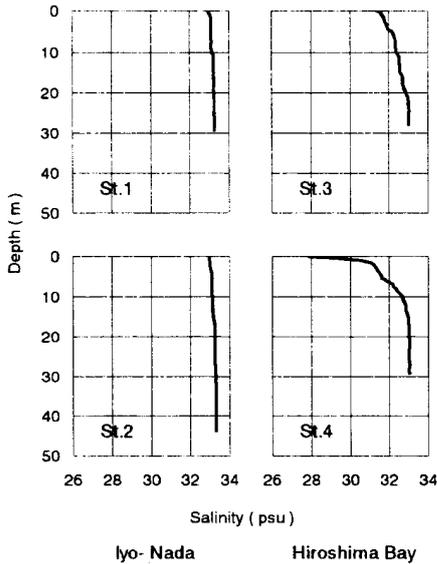


Fig.12. Vertical distributions of salinity (psu) on July 2003.

### 3. 透明度

ほとんどの月で伊予灘が広島湾よりもやや高い傾向 (平均差2.0m) にあり, 両海域とも全体的に減少傾向であった (Fig.13)。

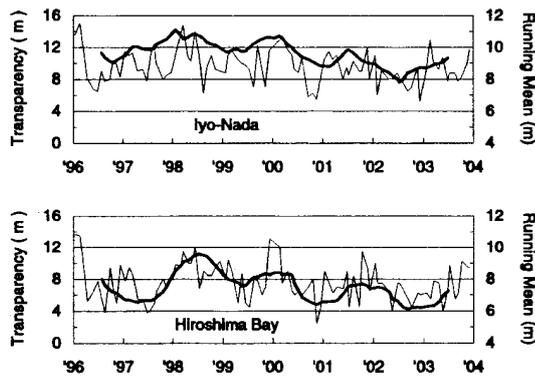


Fig.13. Changes in transparency (m). Thin and thick lines represent the monthly values and 12 months running means, respectively.

各月の平年値は, 1~3月に伊予灘11~12m, 広島湾9~10mで最高値となったのに対し, 伊予灘では5月以降は約9mで横ばい傾向, 広島湾では7月に約6m (最低値) まで低下し, その後再び上昇に転じた (Fig.14)。

年平均値は, 伊予灘が広島湾を1.2~3.3m上回って推移し, 両海域とも1998年に最高値となった後は緩やかに減少した (Fig.15)。

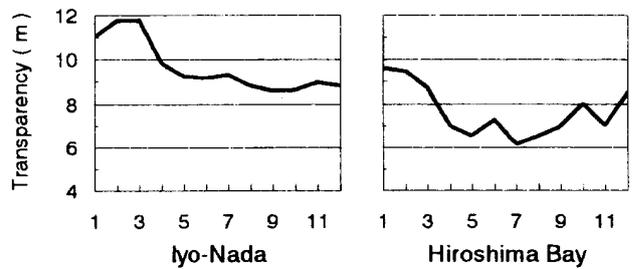


Fig.14. Changes in monthly averages of transparency (m).

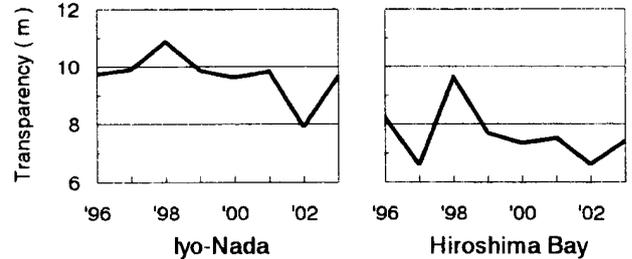


Fig.15. Changes in annual averages of transparency (m).

### 4. DO

表層では, 広島湾が伊予灘をやや上回るか同程度 (平均差0.4ppm) で推移することが多かった (Fig.16)。底層では, 1997~1999年の夏季に広島湾で5ppmを下回ることもあったが, それ以外の期間は両海域ともほぼ同じ値で推移した。2000年以降緩やかな上昇傾向にあり, 特に広島湾の底層では, 夏季におけるDOの低下が2000年以降はそれほど極端に現れず, その結果, 移動平均値としては0.3ppm程度高いほうにシフトした。

各月の平年値は, 両海域とも3月に最高値, 9~10月に最低値となり, 表層では年間を通じて広島湾>伊予灘, 底層では4~10月に伊予灘>広島湾, その他の期間は広島湾>伊予灘という傾向で推移した (Fig.17)。伊予灘の場合, 表層と底層との差が年間を通じて小さい (0.5ppm以下) のに対して, 広島湾では7~9月の間に1.4ppmの差が見られた。

年平均値は, 表層では広島湾>伊予灘, 底層では伊予灘>広島湾という傾向で推移した (Fig.18)。表層と底層との差が, 伊予灘の場合0.2ppm以下で推移したのに対し, 広島湾では0.4~0.9ppmと大きかった。

### 5. SDO

伊予灘では変動幅が比較的小さく, 表層・底層とも概ね90~110%で推移したのに対し, 広島湾では変動幅が比較的大きく, 表層では概ね90~140%, 底層で

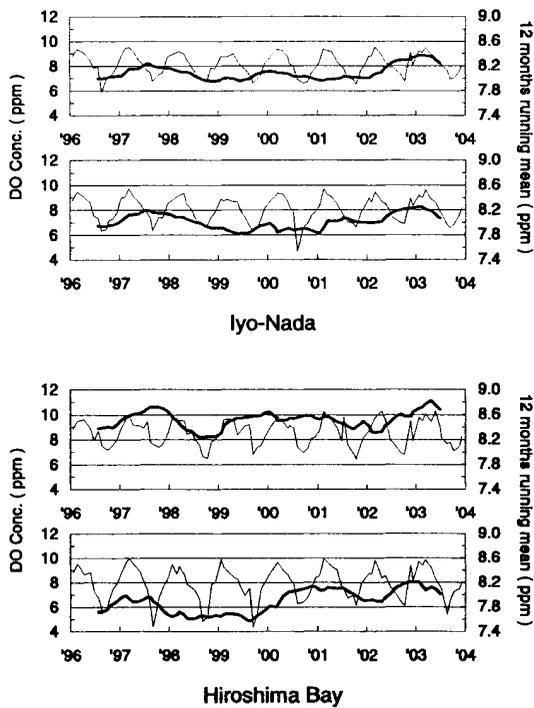


Fig.16. Changes in dissolved oxygen concentration (DO Conc., ppm). Thin and thick lines represent the monthly values and 12 months running means, respectively. upper, surface layers; lower, bottom layers.

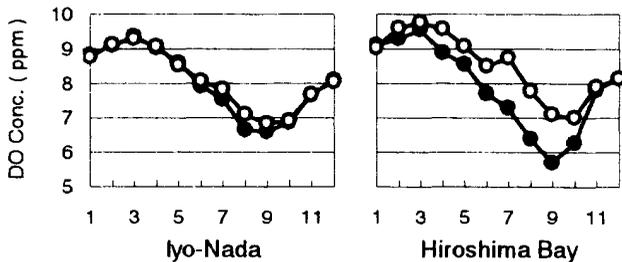


Fig.17. Changes in monthly averages of dissolved oxygen concentration (DO Conc., ppm). open circles, surface layers; closed circles, bottom layers.

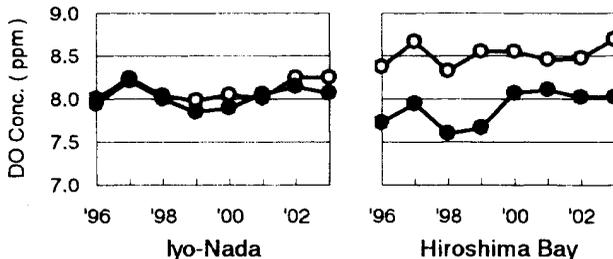


Fig.18. Changes in annual averages of dissolved oxygen concentration (DO Conc., ppm). open circles, surface layers; closed circles, bottom layers.

は概ね60~110%で推移した (Fig.19)。2000年以降緩やかな上昇傾向または横ばい傾向にあり、特に広島湾の底層では、夏季におけるSDOの低下が2000年以降

はそれほど極端に現れず、その結果、移動平均値としては5%程度高いほうにシフトした。

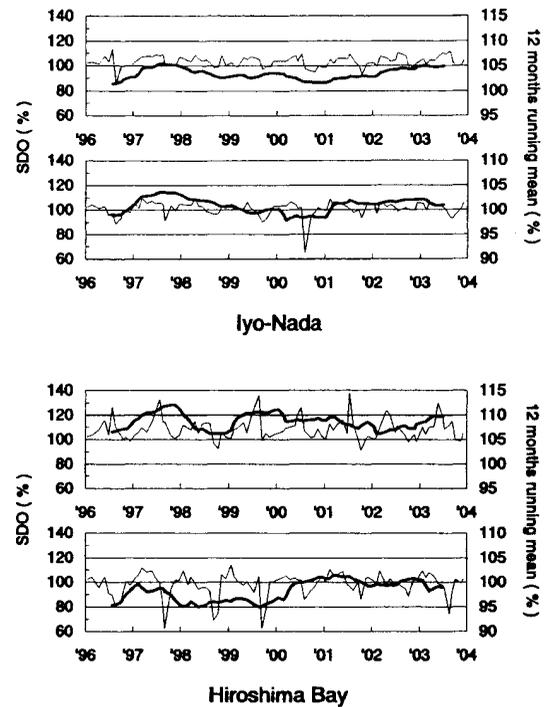


Fig.19. Changes in saturated dissolved oxygen (SDO, %). Thin and thick lines represent the monthly values and 12 months running means, respectively. upper, surface layers; lower, bottom layers.

各月の平年値は、表層では両海域とも7月に最高値、10月に最低値、底層では3月(広島湾)~5月(伊予灘)に最高値、また8月(伊予灘)~9月(広島湾)に最低値となった (Fig.20)。伊予灘では表層と底層との差が最大10% (8月) しか生じないのに対して、広島湾では4~10月の間10~27%の範囲で推移した。

表層では年間を通じて広島湾>伊予灘、底層ではほとんどの年が伊予灘>広島湾という傾向で推移した (Fig.21)。表層と底層との差が、伊予灘の場合4%以下で推移しているのに対し、広島湾では7~14%と大きかった。

## 6. DIN

両海域とも各層同程度の値で推移し、いずれも減少傾向が顕著であった (Fig.22)。移動平均値から見積もると、伊予灘は4割(表層)~5割(底層)減少、広島湾は3割(表層)~5割(底層)減少しており、底層での減少傾向がやや強かった。

各月の平年値は、各層とも、伊予灘では4月、広島湾では3月に最低値となり、伊予灘では11月、広島湾

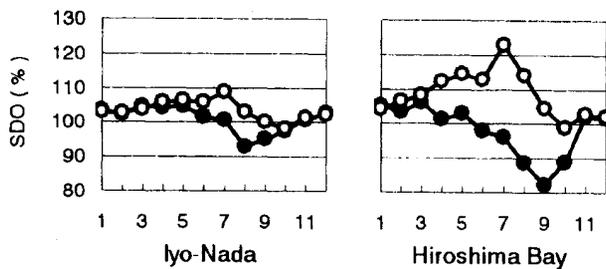


Fig.20. Changes in monthly averages of saturated dissolved oxygen (SDO, %). open circles, surface layers; closed circles, bottom layers.

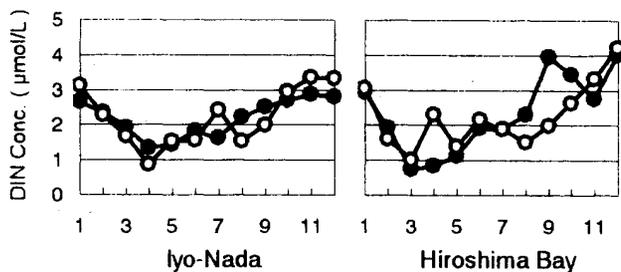


Fig.23. Changes in monthly averages of dissolved inorganic nitrogen concentration (DIN Conc.,  $\mu\text{mol/L}$ ). open circles, surface layers; closed circles, bottom layers.

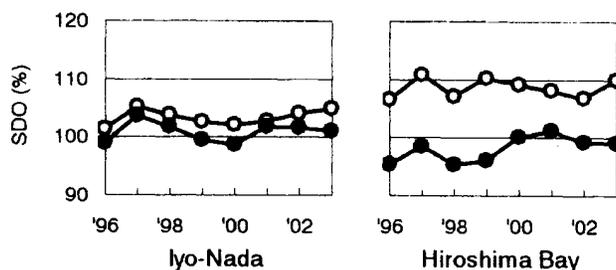


Fig.21. Changes in annual averages of saturated dissolved oxygen (SDO, %). open circles, surface layers; closed circles, bottom layers.

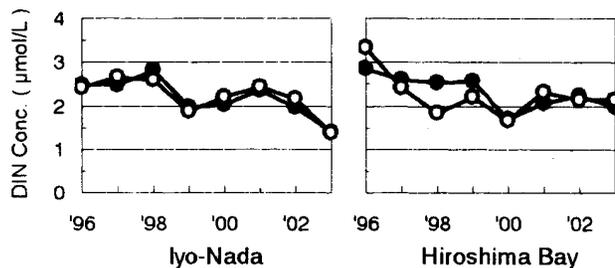


Fig.24. Changes in annual averages of dissolved inorganic nitrogen concentration (DIN Conc.,  $\mu\text{mol/L}$ ). open circles, surface layers; closed circles, bottom layers.

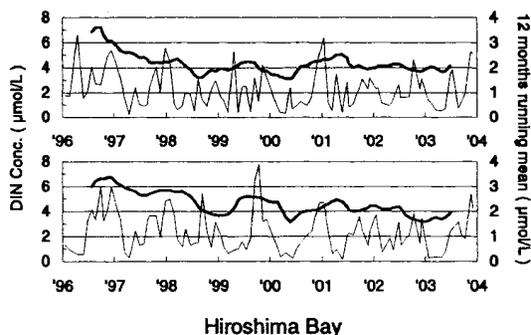
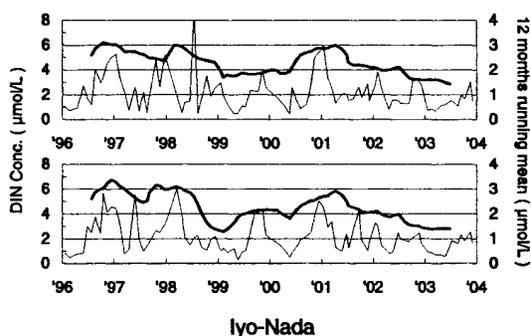


Fig.22. Changes in dissolved inorganic nitrogen concentration (DIN Conc.,  $\mu\text{mol/L}$ ). Thin and thick lines represent the monthly values and 12 months running means, respectively. upper, surface layers; lower, bottom layers.

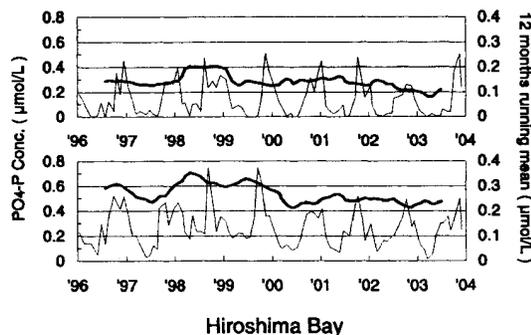
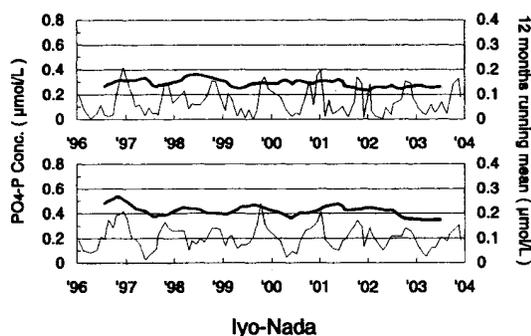


Fig.25. Changes in phosphate concentration ( $\text{PO}_4\text{-P}$  Conc.,  $\mu\text{mol/L}$ ). Thin and thick lines represent the monthly values and 12 months running means, respectively. upper, surface layers; lower, bottom layers.

では12月に最高値となった (Fig.23)。

年平均値は、両海域とも表層と底層が同じような推移を示し、いずれも減少傾向であった (Fig.24)。

### 7. PO<sub>4</sub>-P

両海域とも、表層は同程度の値で推移した (Fig.25)。底層でも概ね同程度の値で推移したが、9~10月の間は広島湾で約0.5 $\mu$ mol/Lまたはそれ以上の値を示すことが多く、この期間については伊予灘の約2倍になることもあった。移動平均値から見積もると、伊予灘は各層とも2割減少、広島湾は各層とも3割減少しており、いずれも広島湾での減少傾向が強かった。

各月の年平均値は、伊予灘では各層とも4月に最低値、10月に最高値、広島湾では3月(底層)~4月(表層)に最低値、9月(底層)~10月(表層)に最高値であった (Fig.26)。広島湾の底層では9月に約0.5 $\mu$ mol/Lまで急増し、表層でも翌10月に約0.3 $\mu$ mol/Lまで急増した。

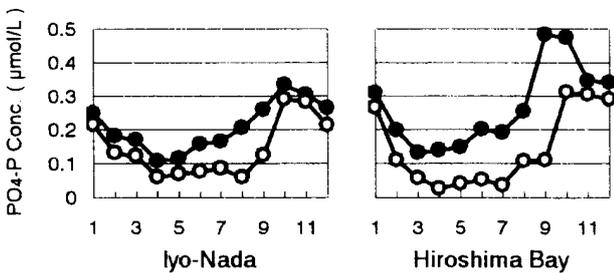


Fig.26. Changes in monthly averages of phosphate concentration (PO<sub>4</sub>-P Conc.,  $\mu$ mol/L). open circles, surface layers; closed circles, bottom layers.

年平均値は、両海域とも減少傾向にあり、表層と底層との差が、伊予灘では約0.1 $\mu$ mol/L、広島湾では0.1~0.2 $\mu$ mol/Lで推移した (Fig.27)。

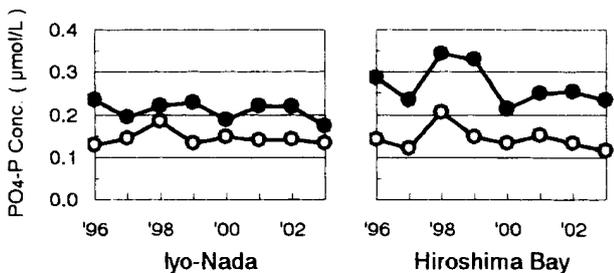


Fig.27. Changes in annual averages of phosphate concentration (PO<sub>4</sub>-P Conc.,  $\mu$ mol/L). open circles, surface layers; closed circles, bottom layers.

### 8. COD

表層では広島湾が伊予灘を上回って推移する傾向が

やや強かったが(平均差0.2ppm)、底層ではほぼ同程度か広島湾がやや高めで推移した (Fig.28)。移動平均値から見積もると、両海域とも1割(表層)~3割(底層)減少しており、いずれも底層での減少傾向のほうが強かった。

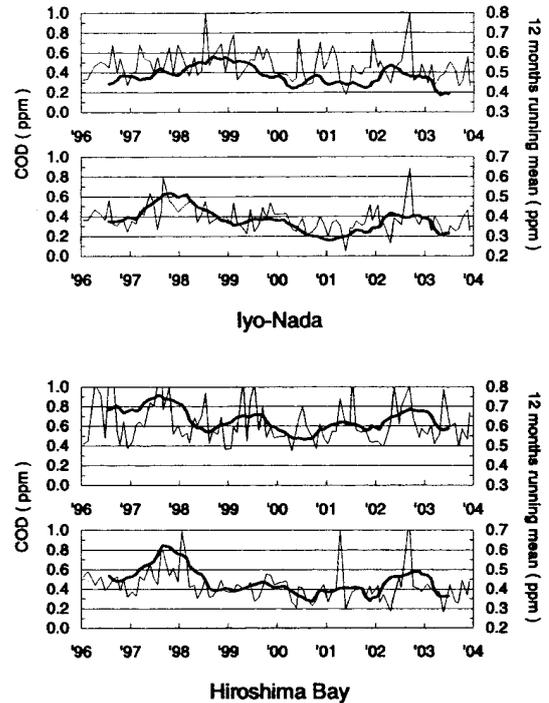


Fig.28. Changes in chemical oxygen demand (COD, ppm). Thin and thick lines represent the monthly values and 12 months running means, respectively. upper, surface layers; lower, bottom layers.

各月の年平均値は、両海域ともほとんど全ての月で表層が底層を上回った (Fig.29)。広島湾では4月から表層と底層との差が拡がり始め、7月に最大(約0.4ppm)となった後、9月には比較的小さくなった。

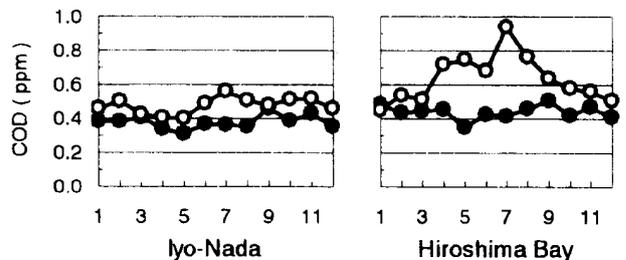


Fig.29. Changes in monthly averages of chemical oxygen demand (COD, ppm). open circles, surface layers; closed circles, bottom layers.

年平均値は、両海域とも減少傾向にあり、表層と底層との差が、伊予灘では0~0.2ppm、広島湾では0.1~0.2ppmで推移した (Fig.30)。

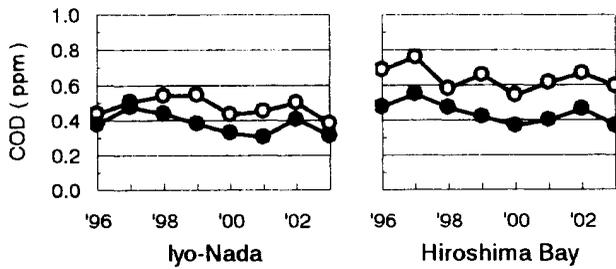


Fig.30. Changes in annual averages of chemical oxygen demand (COD, ppm). open circles, surface layers; closed circles, bottom layers.

### 9. クロロフィル-a

表層・底層ともに広島湾のほうがやや高めに推移し、特に表層（平均差約1 $\mu\text{g/L}$ ）でその傾向が強かった（Fig.31）。移動平均値から見積もると、伊予灘では表層で1割増加、底層で1割の減少であったが、広島湾の表層では4割増加、底層では2割減少した。

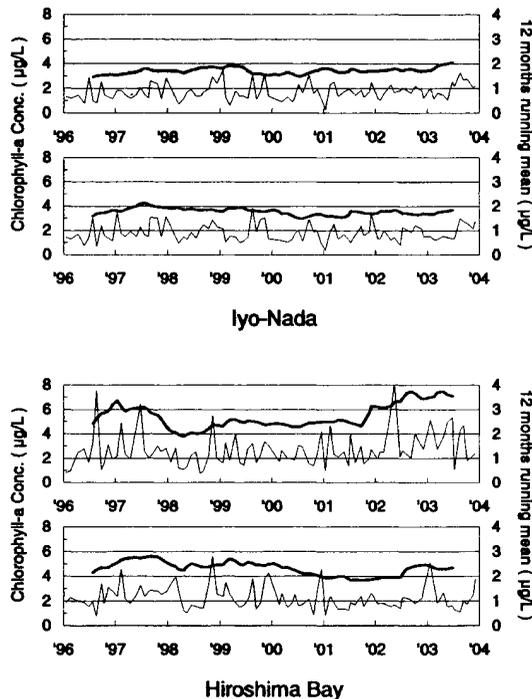


Fig.31. Changes in chlorophyll-a concentration ( $\mu\text{g/L}$ ). Thin and thick lines represent the monthly values and 12 months running means, respectively. upper, surface layers; lower, bottom layers.

各月の平年値は、伊予灘の場合、表層と底層との差がほとんど見られず（6月の0.5 $\mu\text{g/L}$ が最大）、各層とも5月に最低値、9月に最高値であった（Fig.32）。広島湾では4～8月の間に表層と底層との差が発達し（0.9～1.8 $\mu\text{g/L}$ ）、表層では1月に最低値、5月に最高値、底層では5月に最低値、12月に最高値となった。

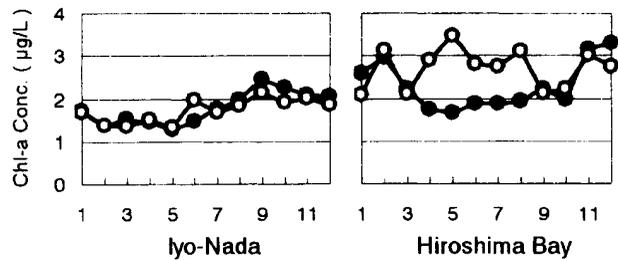


Fig.32. Changes in monthly averages of chlorophyll-a concentration (Chl-a Conc.;  $\mu\text{g/L}$ ). open circles, surface layers; closed circles, bottom layers.

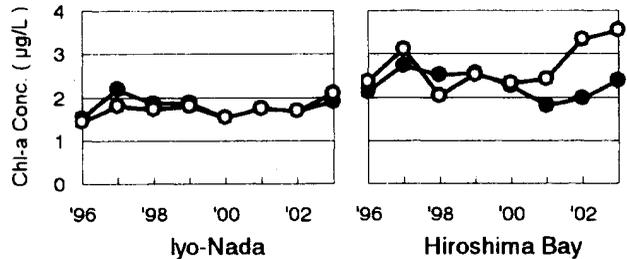


Fig.33. Changes in annual averages of chlorophyll-a concentration (Chl-a Conc.,  $\mu\text{g/L}$ ). open circles, surface layers; closed circles, bottom layers.

年平均値は、伊予灘ではほぼ横ばい傾向であるのに対し、広島湾の表層では増加傾向（特に2002年以降）、底層では緩やかな減少傾向であった（Fig.33）。

### 考 察

水温は、伊予灘・広島湾ともに1998～1999年及び2001～2002年に極大値が見られたが、同様の傾向は山口県の周防灘海域<sup>1)</sup>でも見られており、山口県の瀬戸内海側全般に共通する現象であった。

次に、隣接する広島県の広島湾海域における研究事例<sup>10, 11)</sup>に倣って、各年の水温値を式f(d)で近似し、年平均水温（係数a）の経年変化を求めたところ、同じようなパターンで変動しているのが確認された。また、いわゆる高水温年と低水温年とで水温の推移を比較すると、9～10月には差が比較的小さかった（ $< 1^{\circ}\text{C}$ ）のに対し、3～5月には高水温年のほうが $2^{\circ}\text{C}$ 前後高めであった（Fig.7）。このことから、高水温年と低水温年との相違は、上昇へと転換した直後（3～5月）の水温の動向とより大きな関連があると言える。これに関しては、広島県の広島湾中央部<sup>10)</sup>でも低水温期（ $14^{\circ}\text{C}$ 以下）の短縮が水温上昇につながっているとの見方があるほか、山口県の周防灘海域<sup>1)</sup>でも同様の現象が確認されている。

一方、両海域の表層水温を、対象海域のほぼ中央に位置する柳井市（Fig.1の★印）の月平均気温と比較

してみたところ、有意な正の相関 ( $r=0.84$ , 1%水準で有意) が認められ、山口県の周防灘海域<sup>1, 13)</sup>と同様に、気温の影響を強く受けながら推移しているという結果が得られた。

塩分の推移は、伊予灘と広島湾とで異なった様相を呈し、水平的には年間を通じて伊予灘>広島湾という明白な傾向が見られた (Fig.5) ほか、鉛直的には定点によって状況がかなり異なり、伊予灘のSt.2では夏季でも成層がほとんど発達しなかったのに対し、広島湾のSt.4では表層と底層との温度差が大きかった (Fig.6)。

水温と塩分の観測結果を見ても、伊予灘側と広島湾側の特徴がかなり異なっていた。そこで、同一月 (2003年7月) のSTDデータ (1mピッチ) をもとに、水温と塩分の散布図 (TS図, Fig.34) を作成した。この手法は図上にプロットした観測値の分布傾向から、水塊の性質を研究・議論するために広く行われているものである。それによると、同一海域 (伊予灘または広島湾) の定点どおし (St.1とSt.2またはSt.3とSt.4) では互いに類似した傾向を示し (Fig.34の楕円で囲んだ部分)、ほぼ一線上に並ぶ形の分布となったが、海域が異なると分布傾向が全く異なり、両海域の水塊構造には大きな違いが認められた。

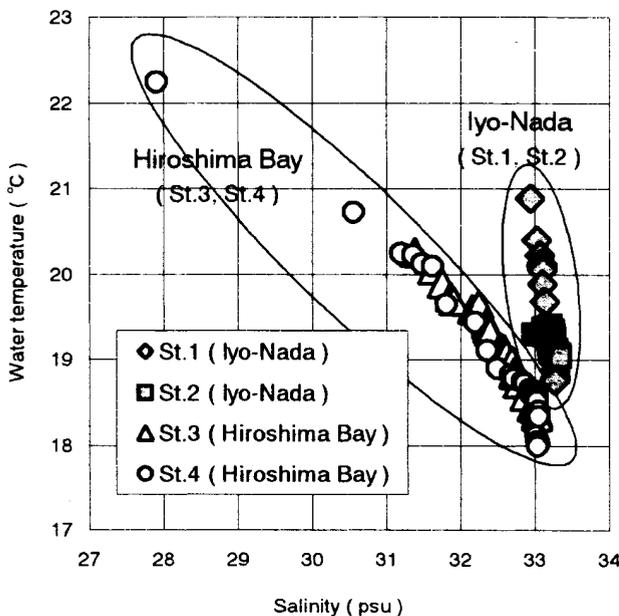


Fig.34. T-S diagram of each sampling station on July 2003.

透明度は全体的に減少傾向であったが、透明度に影響を与える要因の1つとしてプランクトンの現存量が考えられる<sup>14)</sup>ことから、表層のクロロフィル-aと透明

度との関係を見ると、有意な負の相関 ( $r=-0.50$ , 1%水準で有意) が認められた (Fig.35)。表層のクロロフィル-aは両海域とも8年間に増加傾向にあるため、この傾向が続けば透明度がさらに低下することも予想される。

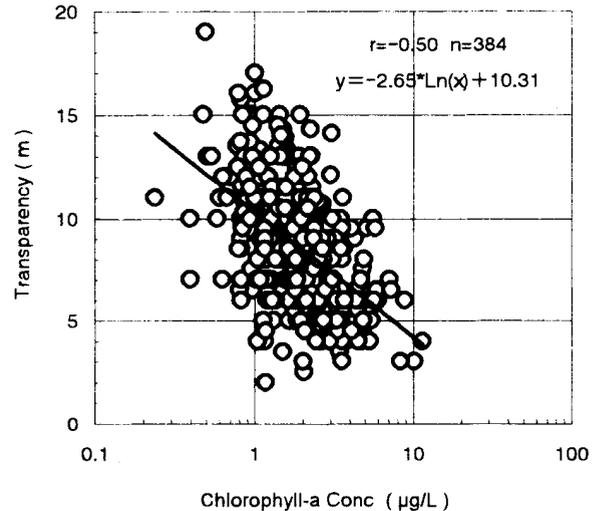


Fig.35. Relationship between chlorophyll-a concentration ( $\mu\text{g/L}$ ) and transparency (m).

DO及びSDOはほぼ上昇傾向であった。広島湾の底層でも2000年以降は夏季のDO低下が過度に進まず、年間の最低値も概ね6 ppm以上を維持していた (Fig.16)。本報では8年間のデータしかないが、30年間の変動傾向を解析した山口県の周防灘海域<sup>2)</sup>でも貧酸素が観測される頻度が大幅に減ってきているほか、大阪湾<sup>15)</sup>でも貧酸素水塊が長期的に解消されつつある。これらは、瀬戸内海環境保全特別措置法の施行などに伴う汚濁負荷量削減<sup>14)</sup>による成果とも考えられる。

また、水産用水基準<sup>16)</sup>においては、底生生物に悪影響を及ぼす底層のDOは4.3ppm (3.0mL/L) 以下とされている。各定点ごとにこれに該当する値を調べたところ、8年間に伊予灘で1回 (3.17ppm, 2000年8月のSt.2)、広島湾で3回 (3.61~3.97ppm, 1998年9月及び1999年9・10月のSt.4) 確認された。ただし、2001年以降は両海域とも例がなかったことから、両海域のDO環境は、生物にとって改善の方向に向かっていると考えられる。

栄養塩類はDIN, PO<sub>4</sub>-Pとも減少傾向にあり、特にDINの減少傾向が顕著であった。2001年に策定された第5次水質総量規制では、新たに窒素 (全窒素) 及びリン (全リン) も規制対象として追加された。こうした社会的背景から判断すると、栄養塩類の減少は今後

Table 2. Occurrence of red tides and damages to fishery (parentheses) in the Iyo-Nada region and Hiroshima Bay off Yamaguchi Prefecture from 1996 to 2003<sup>17, 18)</sup>

Year	Red tide causing organisms						Total
	Dinophyceae			Bacillariophyceae		Protozoa	
	N.s. <sup>1)</sup>	K.m. <sup>2)</sup>	G.p. <sup>3)</sup>	T.d. <sup>4)</sup>	mix <sup>5)</sup>	M.r. <sup>7)</sup>	
1996	2 (0)	1 (1)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	3 (1)
1997	2 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	1 (0)	3 (0)
1998	3 (0)	0 (0)	1 (0)	1 (0)	0 (0)	0 (0)	5 (0)
1999	1 (0)	1 (1)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	1 (0)	3 (1)
2000	2 (0)	1 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	3 (0)
2001	2 (0)	2 (1)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	4 (1)
2002	1 (0)	1 (1)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	2 (1)
2003	1 (0)	1 (1)	0 (0)	0 (0)	1 <sup>6)</sup> (0)	0 (0)	3 (1)
Total	14 (0)	7 (5)	1 (0)	1 (0)	1 (0)	2 (0)	26 (5)

<sup>1)</sup> *Noctiluca scintillans*. <sup>2)</sup> *Karenia (Gymnodinium) mikimotoi*. <sup>3)</sup> *Gonyaulax polygramma*.

<sup>4)</sup> *Thalassiosira diporocyclus*. <sup>5)</sup> cases caused by several diatom species.

<sup>6)</sup> mix of *Chaetoceros* spp., *Skeletonema costatum* and *Leptocylindrus danicus*.

<sup>7)</sup> *Mesodinium rubrum*.

も続きそうであるが、栄養塩類の多寡はその海域の基礎生産を左右しかねないため、栄養塩レベルの低下がこれ以上続けば、漁業生産に与える影響も無視できないであろう。また、山口県の周防灘海域<sup>2)</sup>でもそうであったが、海洋環境の調査結果を踏まえて、その海域の水産業にとってどの程度の栄養塩レベルが適切であるのかについて、今後さらに詳しく議論されなければならない。

一方、山口県の伊予灘・広島湾海域における赤潮の発生件数(1996~2003年)<sup>17, 18)</sup>を集計すると、年間に2~5件の発生(うち漁業被害は年間0~1件)が見られた(Table 2)。ただし、これらの海域では発生件数自体があまり多くないため、変動傾向については現段階で確かなことが言えないが、1999年以降は有害種である*Karenia (Gymnodinium) mikimotoi*による赤潮が毎年発生し、それに伴う漁業被害も発生している。こういった生物現象と海況との関係については、今後さらにデータを精査して解析を進めていきたい。

CODは全体的に緩やかな減少傾向であった。山口県の周防灘海域<sup>2)</sup>においても、最近30年間に減少傾向が見られており、DOや栄養塩類などと同様に、諸規制に伴う汚濁負荷量の削減努力が関与していると思われる。

クロロフィル-aについては、伊予灘では変動が緩やかであったが、広島湾の場合、表層では上昇傾向であるのに対し、底層では緩やかに減少していた。栄養塩類が減少傾向にある中で、今後どのように変化してい

くか、注目すべき項目の1つでであろう。

以上、短期間かつ少定点のデータであったにも関わらず、各項目について興味深い現象がいくつか明らかになった。しかしながら、地球温暖化のように時間的にも空間的にもスケールの大きい現象を解明するためには、各海域で行われている海洋定線観測を継続していくとともに、それらのデータについて海域を越えて解析する研究体制の構築が望まれる。

また、山口県の周防灘海域における解析<sup>1, 2)</sup>でもそうであったが、環境データの解析結果を漁業生産等と関連付けて精査する必要がある。そこで今後は、水温等の変動が生物に与えている、または与えてきた影響についても検討を重ねたい。

## 要 約

1996~2003年の8年間に山口県の伊予灘及び広島湾海域で観測された各項目について解析を行った。

水温は1998~1999年及び2001~2002年に極大傾向が見られた。近似式を用いて高水温年と低水温年の水温を比較すると、高水温年には3~5月の水温が2℃前後高め傾向が見られた。

塩分は伊予灘と広島湾とで異なった推移を見せ、広島湾の表層では夏季に30psu以下に低下することもあった。透明度は、伊予灘が広島湾よりやや高く、両海域とも減少傾向であった。DO及びSDOは緩やかな上昇傾向または横ばい傾向にあり、中でも広島湾の底層DOは2000年以降改善の傾向が見られた。

栄養塩類は減少傾向にあり、PO<sub>4</sub>-PよりもDINのほうが傾向が顕著であった。CODも減少傾向、クロロフィル-aは伊予灘ではほぼ横ばい傾向、広島湾では表層で増加傾向、底層で緩やかな減少傾向であった。

海洋環境と漁業生産との関連については、今後とも精査する必要があり、環境変化が生物に与える影響とともに、当該海域の水産業にとって適切な環境条件については今後さらなる議論を要する。

### 引用文献

- 1) 和西昭仁 (2004) : 山口県周防灘海域における最近30年間の水温変動. 山口県水産研究センター研究報告, **2**, 1-6.
- 2) 和西昭仁 (2005) : 山口県周防灘海域における最近30年間の水質変動. 山口県水産研究センター研究報告, **3**, 29-40.
- 3) 友定 彰 (2002) : 海洋観測の継続を期待する. 月刊海洋, **34** (11), 751-756.
- 4) 山口統計情報事務所 (1997-2004) : 山口農林水産統計年報, **44** (1996) ~ **50** (2002).
- 5) 重田利拓・吉川浩二・薄 浩則・石津敏之・徳村守 (2003) : 7. 広島湾における暖海性魚類の出現とこれに伴う新たな問題 (第5回広島湾研究集会プログラム). 水産海洋研究, **67** (4), 273-277.
- 6) 気象庁編 (1990) : 海洋観測指針. 日本気象協会, 東京, 428pp.
- 7) 日本海洋学会編 (1979) : 海洋環境調査法. 恒星社厚生閣, 東京, 666pp.
- 8) 日本水産資源保護協会編 (1980) : 水質汚濁調査指針. 恒星社厚生閣, 東京, 552pp.
- 9) Jeffrey, S. W. and G. F. Humphrey (1975) : New spectrophotometric equations for determining chlorophylls a, b, c, and c in higher plants, algae and natural phytoplankton. *Biochimie Physiologie Pflanzen*, **167**, 374-384.
- 10) 高辻英之 (2003) : 2. 過去30年間の広島湾の水温・塩分の変遷 (第5回広島湾研究集会プログラム). 水産海洋研究, **67** (4), 263-265.
- 11) 樽谷賢治 (2003) : 沿岸・内湾域における近年の水温上昇について. 瀬戸内水研ニュース, **10**, 11-12
- 12) 友定 彰 (1984) : 日本周辺の水温変動-水産における定線観測から-. 資源, **218**, 49-61.
- 13) 吉岡貞範 (1987) : 周防灘の海況と水質の経年変化. 山口県内海水産試験場報告, **14**, 31-44.
- 14) 岡市友利・小森星児・中西 弘 編 (1997) : 瀬戸内海の生物資源と環境-その将来のために-. 恒星社厚生閣, 東京, pp. 1-40.
- 15) 藤原建紀・岸本綾夫・中嶋昌紀 (2004) : 大阪湾の貧酸素水塊の短期的及び長期的変動. 海岸工学論文集, **51**, 931-935.
- 16) 日本水産資源保護協会 (2000) : 水産用水基準 (2000年版). 96pp.
- 17) 馬場俊典ほか (1999-2000) : 赤潮発生状況. 山口県内海水産試験場報告, 27-29.
- 18) 馬場俊典ほか (2001-2004) : 赤潮発生状況. 山口県水産研究センター事業報告. 平成11-15年度.

## 山口県周防灘海域における最近 30 年間の水質変動

和西昭仁

### Variations in the quality of the coastal waters during recent 30 years in the Suo-Nada region off Yamaguchi Prefecture

Akihito WANISHI

The quality of the coastal waters was monthly investigated in the Suo-Nada region off Yamaguchi Prefecture from 1973 to 2003. The long-term variations of the parameters such as transparency, dissolved oxygen (DO), dissolved inorganic nitrogen (DIN) and phosphate (PO<sub>4</sub>-P) were analyzed.

Generally speaking, the water pollution in this area by plant effluent and living drainage have been gradually decreasing. For example, transparency and DO concentration at the bottom layers showed tendencies to increase or level off, while nutrients concentration and chemical oxygen demand (COD) showed tendencies to decrease or level off. Chlorophyll-a concentration in the surface layers, which represents the primary productivity of the waters, has also decreased. From the remarkable decline of the recent fisheries production, the present quality of the waters in this area may be relatively poor to maintain successful fisheries industry. Therefore, we should continue to make thorough investigations and discuss what are the suitable conditions of the waters for fishery in this area.

**Key words:** water quality, DO, DIN, PO<sub>4</sub>-P, chlorophyll-a, long-term variation, Suo-Nada

周防灘海域では1972年から浅海定線調査が開始され、30年以上にわたってデータが蓄積されてきた。その間、周防灘の漁獲量<sup>1-4)</sup>は1972年の106千トンが2002年には18千トンまで激減し (Fig. 1), 産業として危機的な局面を迎えている。そうした中、あらためて過去の海洋環境を振り返る時、30年間のデータがいかに貴重なものであるかを実感することになる。

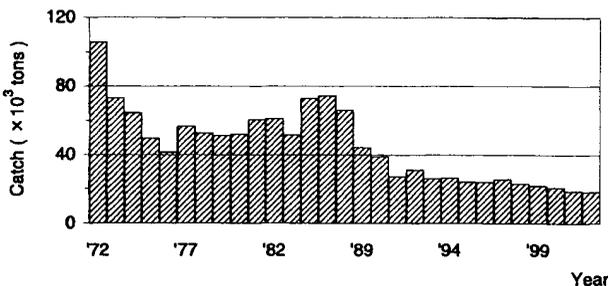


Fig.1. Changes in total catch (x 10<sup>3</sup> tons) of fish and shellfish in the Suo-Nada.

筆者は、山口県の周防灘海域で最近30年間に水温が約0.7℃上昇し、それには冬季水温の上昇がより深く関わっていることなどを明らかにした<sup>5, 6)</sup>。近県海域

においても同様の報告<sup>7, 8)</sup>があり、20~30年前からの水温の長期的な上昇傾向は、瀬戸内海西部海域に共通した現象と考えられる。

また、環境問題への関心が高まるとともに、「海洋環境の変化が生物相にどのような影響を与えてきたか」ということに対する答えが求められるようになった。すなわち、水温の上昇<sup>5)</sup>や瀬戸内海環境保全特別措置法の施行による化学的酸素要求量 (COD) や窒素・リンの負荷量削減<sup>9)</sup>などに象徴されるように、海洋環境は最近の20~30年間に大きく様変わりし、その間、周防灘ではアサリ漁獲量の激減、クラゲ類の大量発生、ナルトビエイの出現など海洋生物にも変化が見られている。

そこで今回の報告では、周防灘の海洋環境と漁業生産等との関係を調べるための前段階として、既に報告した水温<sup>5)</sup>以外の各調査項目について、30年以上に及ぶ長期的な変動傾向と項目間の関連性を明らかにすることを目的とした。

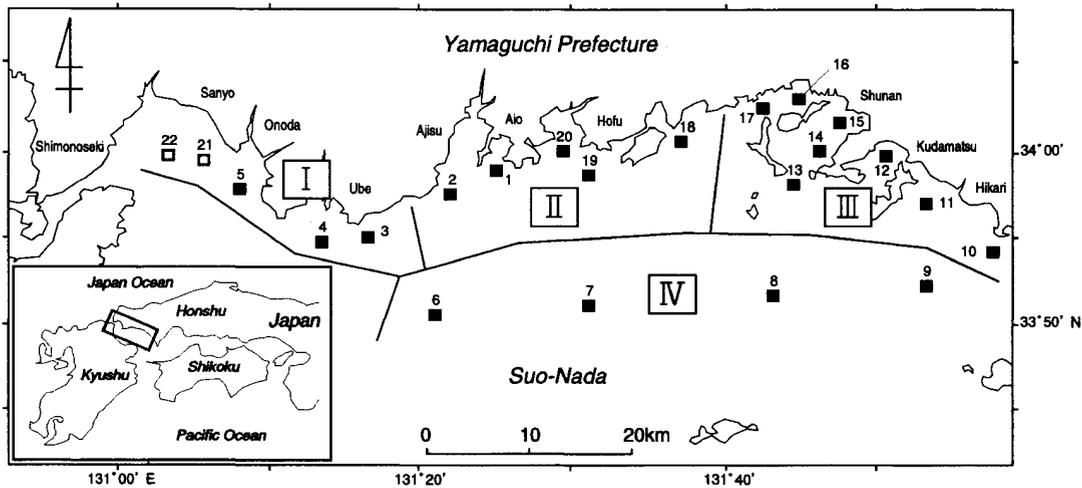


Fig.2. Sampling stations (squares, St.1~22) and divided zones (I~IV). closed squares, stations investigated from 1973; open squares, stations investigated from 1981.

### 資料及び方法

今回用いた資料は、Fig. 2 の22定点（詳細はTable 1）において、1973~2003年の31年間（372ヶ月間）、毎月1回の浅海定線調査で得られた(1)塩分(0・B-1m(底上1m)深)、(2)透明度、(3)溶存酸素量(0・B-1m深)、(4)酸素飽和度(同)、(5)溶存無機態窒素(同、以下「DIN」)、(6)アンモニア態窒素(同、以下「NH<sub>4</sub>-N」)、(7)硝酸態・亜硝酸態窒素(同、以下「NO<sub>3</sub>-N」及び「NO<sub>2</sub>-N」)、(8)リン酸態リン(同、以下「PO<sub>4</sub>-P」)、(9)化学的酸素要求量(同、以下「COD」)、(10)クロロフィル-a(同)のデータである。なお、これより0m深のことを「表層」、B-1m深のことを「底層」と表記する。

分析方法等の変遷についてはTable 2のとおりである。途中で分析方法が変わっている項目もあるが、そ

れに伴う測定精度の差は、変更時のクロスチェックにより無視できるものと仮定して扱うこととした。

このうち、塩分は1998年10月までサリノメータで測定し、1998年11月以降はメモリー式水温塩分計(アレックス電子(株)AST-500)を用いて測定した。溶存酸素量はWinkler法<sup>10)</sup>で測定した。栄養塩類はNH<sub>4</sub>-N、NO<sub>3</sub>-N+NO<sub>2</sub>-N、NO<sub>2</sub>-N、PO<sub>4</sub>-Pを日本海洋学会<sup>11)</sup>の方法に準じて測定し、NH<sub>4</sub>-N、NO<sub>2</sub>-N、NO<sub>3</sub>-Nを合計してDINとした。CODはアルカリ性過マンガン酸カリウム-ヨウ素滴定法<sup>12)</sup>、クロロフィル-aは吸光光度法<sup>10)</sup>に準じて測定し、Jeffrey and Humphrey<sup>13)</sup>の3点法で算出した。

さらに、山口県の周防灘海域を沿岸3海域(西からI・II・III)と沖合1海域(IV)の計4海域に分けて、これらの海域ごとにデータを整理することにした

Table 1. Location and average depth of each sampling station. Latitude and longitude are shown by World Geodetic System

Station No.	Zone No.	Location		Depth (m)	Station No.	Zone No.	Location		Depth (m)
		Latitude N	Longitude E				Latitude N	Longitude E	
1	II	33° 58' 48"	131° 25' 09"	8	12	III	33° 59' 36"	131° 50' 39"	10
2	II	33° 58' 06"	131° 22' 15"	9	13	III	33° 57' 54"	131° 45' 09"	30
3	I	33° 54' 24"	131° 17' 15"	9	14	III	33° 59' 42"	131° 46' 09"	15
4	I	33° 54' 06"	131° 13' 03"	9	15	III	34° 01' 10"	131° 48' 16"	12
5	I	33° 57' 24"	131° 08' 51"	7	16	III	34° 03' 12"	131° 44' 15"	8
6	IV	33° 50' 18"	131° 21' 03"	27	17	III	34° 02' 30"	131° 42' 03"	11
7	IV	33° 50' 36"	131° 31' 09"	33	18	II	34° 00' 42"	131° 36' 51"	13
8	IV	33° 51' 24"	131° 43' 21"	44	19	II	33° 58' 36"	131° 31' 09"	17
9	IV	33° 51' 54"	131° 53' 45"	38	20	II	34° 00' 12"	131° 29' 27"	10
10	III	33° 54' 12"	131° 57' 45"	33	21	I	33° 58' 48"	131° 05' 21"	6
11	III	33° 56' 54"	131° 53' 15"	23	22	I	33° 59' 12"	131° 03' 21"	7

Table 2. Changes in number of sampling stations, measuring methods and vessels

Year	No. of stations	Measuring method					Vessel ( gross tonnage )
		Water Temp.	Salinity	DO <sup>*2</sup>	Nutrient	COD <sup>*3</sup>	
1973	20	stick thermometer	salinometer	Winkler method	manual analysis	alkaline method	MIDORI (18.21t)
1974						absorption spectrometer	
1975							
1976							
1977							
1978					auto analyzer		
1979							
1980							
1981	22						
1982							
1983							
1984							
1985							
1986							
1987							SETO (40.25t)
1988							
1989							
1990							
1991							
1992							
1993							SETO (33.83t)
1994							
1995							
1996							SETO (30t)
1997							
1998		STD <sup>*1</sup>	STD <sup>*1</sup>				
1999							
2000							
2001							
2002							

\*1 Salinity Temperature Depth recorder. \*2 dissolved oxygen. \*3 chemical oxygen demand. \*4 chlorophyll-a.

(Fig. 2 のⅠ～Ⅳ)。なお、これら海域の区分に際しては、水温等のコンタ図や過去の知見<sup>14)</sup>を参考に、適当な範囲及び定点数を検討した。

また、調査は原則として毎月上旬に実施されたが、天候等の都合によって中旬や下旬に延期されたり、前の月の下旬に前倒して実施されたこともあった。そうした観測日のばらつきに対応するため、前後の観測値から線形補間によって毎月1日の値を求め、毎月(1日)の各定点における基本データセット(372ヶ月分)を作成した。

次に、Ⅰ～Ⅳの各海域ごとに月平均値を372ヶ月分求め、これらから季節変動成分を除去するために12ヶ月移動平均を施した。さらに長期的な変動傾向を調べるため、12ヶ月移動平均に36ヶ月の移動平均を施したデータセット(324ヶ月分)を作成した。

また、月ごとの平均値を調査年ごとに平均(1～12月)したものを年平均値とし、1973～2003年の月ごと

平均値を調査月ごとに平均したものを平年値として用いた。

## 結 果

### 1. 塩分

表層では、梅雨期に急激な塩分低下が見られ、沖合域(海域Ⅳ)でも30psuを下回ることがあった。海域間には海域Ⅳ>Ⅲ>Ⅱ>Ⅰという傾向があり、各海域とも期間全体としてはあまり変化がなかった(Fig.3)。

底層では、海域Ⅰで30psuを下回ることがあったが、その他の海域は31psu以上で推移した。表層と同じく海域Ⅳ>Ⅲ>Ⅱ>Ⅰという傾向があり、期間全体としてはあまり変化がなかった(Fig.3)。

### 2. 透明度

海域Ⅳ>Ⅲ・Ⅱ>Ⅰという傾向で推移し、海域間で差が大きかった。各海域とも1985～1986年に明瞭

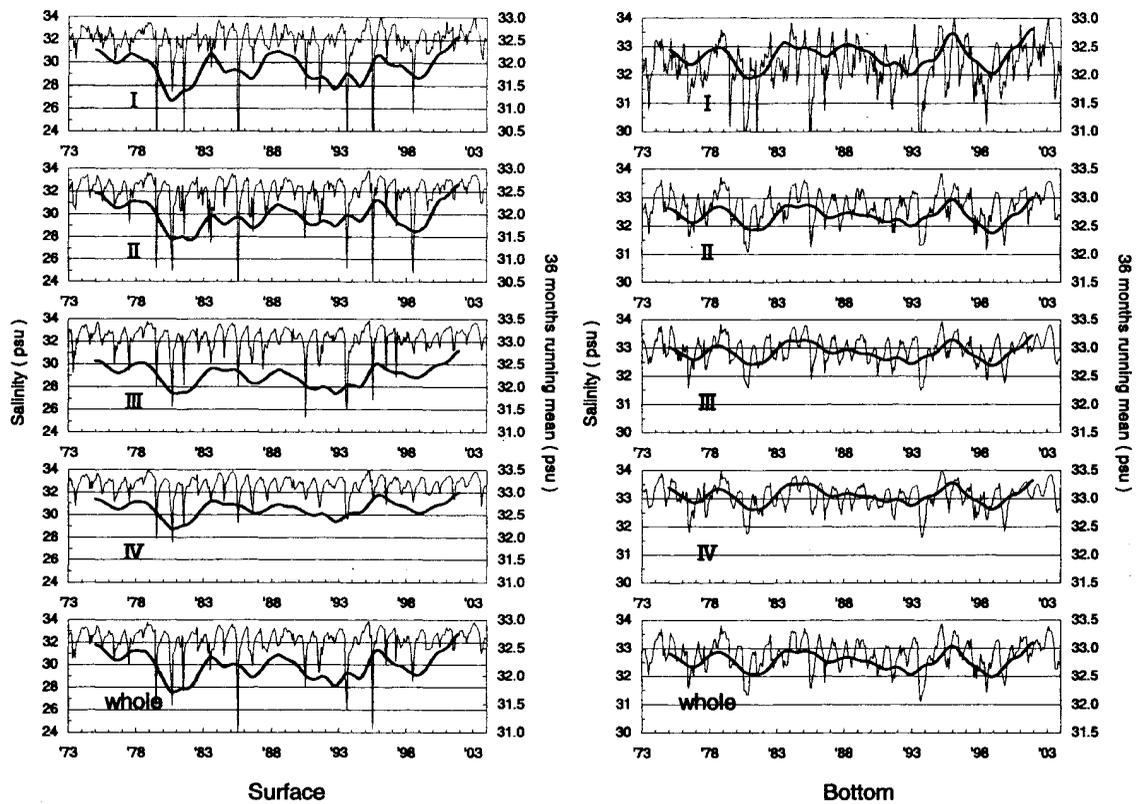


Fig.3. Changes in salinity (psu) in each zone. Thin and thick lines represent the monthly values and 36 months running means, respectively.

な極小期があったが、それ以降は上昇傾向にあった (Fig.4)。

### 3. 溶存酸素量

表層では、1990年代前半の数年間、各年の最低値があまり下がらなかったことから年間の較差が相対的に減少し、1992年頃に極大値となった (Fig.5)。その後2~3 ppmほど減少した時点から横ばいに推移したが、1990年以前の値と比べると約2 ppm低めであり、海域Iを除くと全体的に減少傾向であった。

底層では、ほぼ横ばいか緩やかに減少した後、1990年代前半に年間の較差が相対的に減少したため増加に転じ、1992年頃極大値となったが、その後はあまり大きく減少せず、長期的にはほぼ横ばいか緩やかな増加傾向であった (Fig.5)。

### 4. 酸素飽和度

表層では、溶存酸素量と同じような傾向で推移し、海域Iを除くと全体的に減少傾向であった (Fig.6)。

底層でも、溶存酸素量と同じような傾向で推移し、長期的にはほぼ横ばいか緩やかな増加傾向であった (Fig.6)。

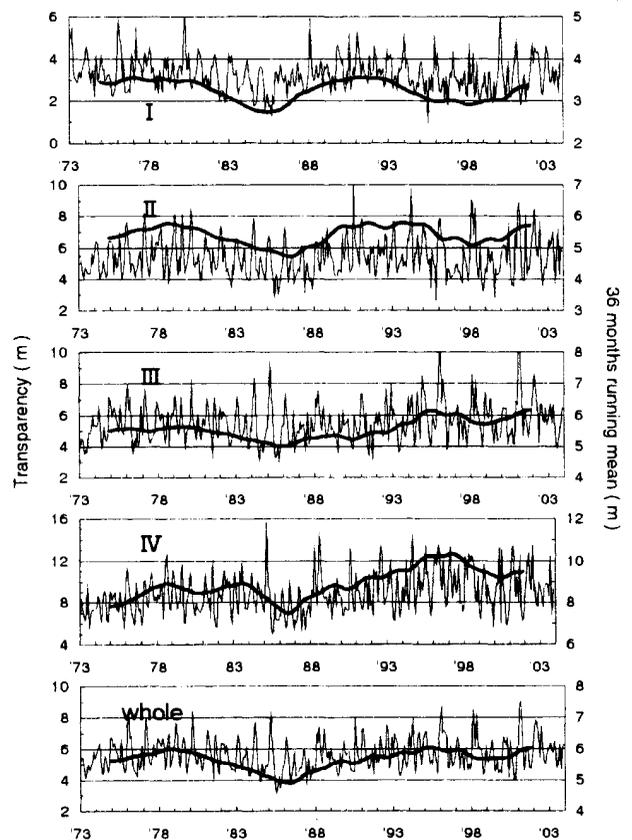


Fig.4. Changes in transparency (m) in each zone. Thin and thick lines represent the monthly values and 36 months running means, respectively.

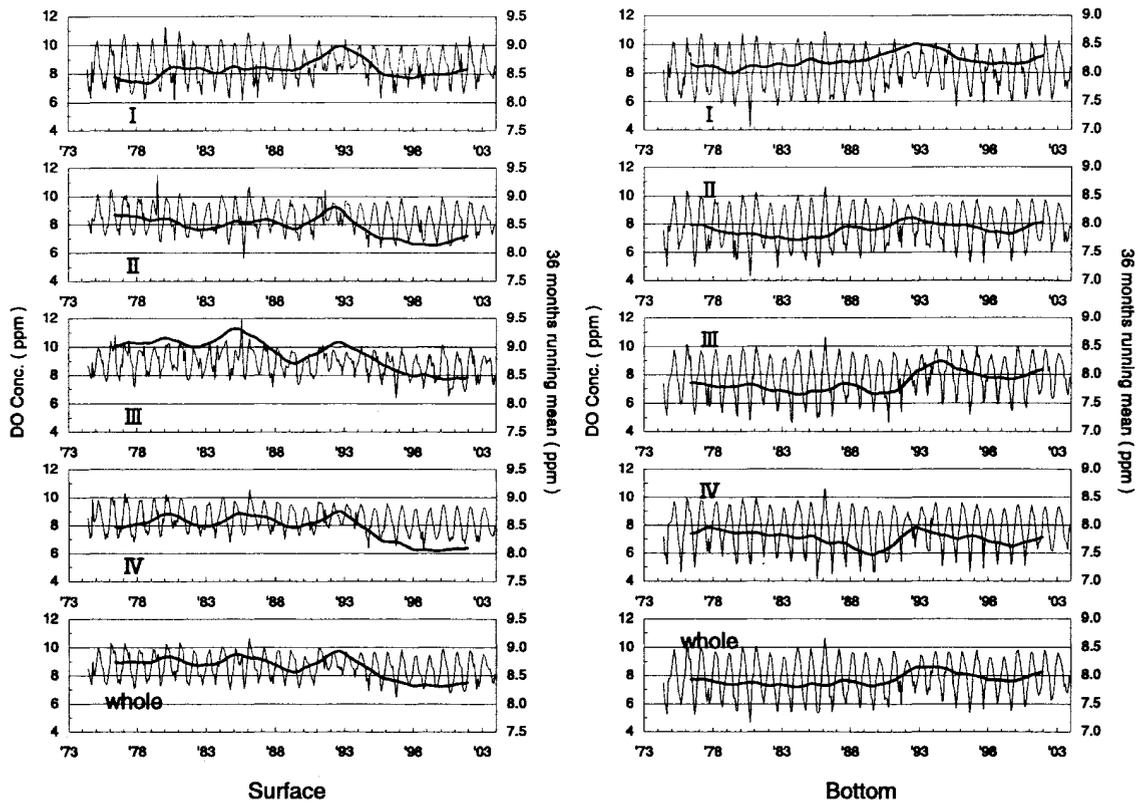


Fig. 5. Changes in dissolved oxygen concentration (DO Conc., ppm) in each zone. Thin and thick lines represent the monthly values and 36 months running means, respectively.

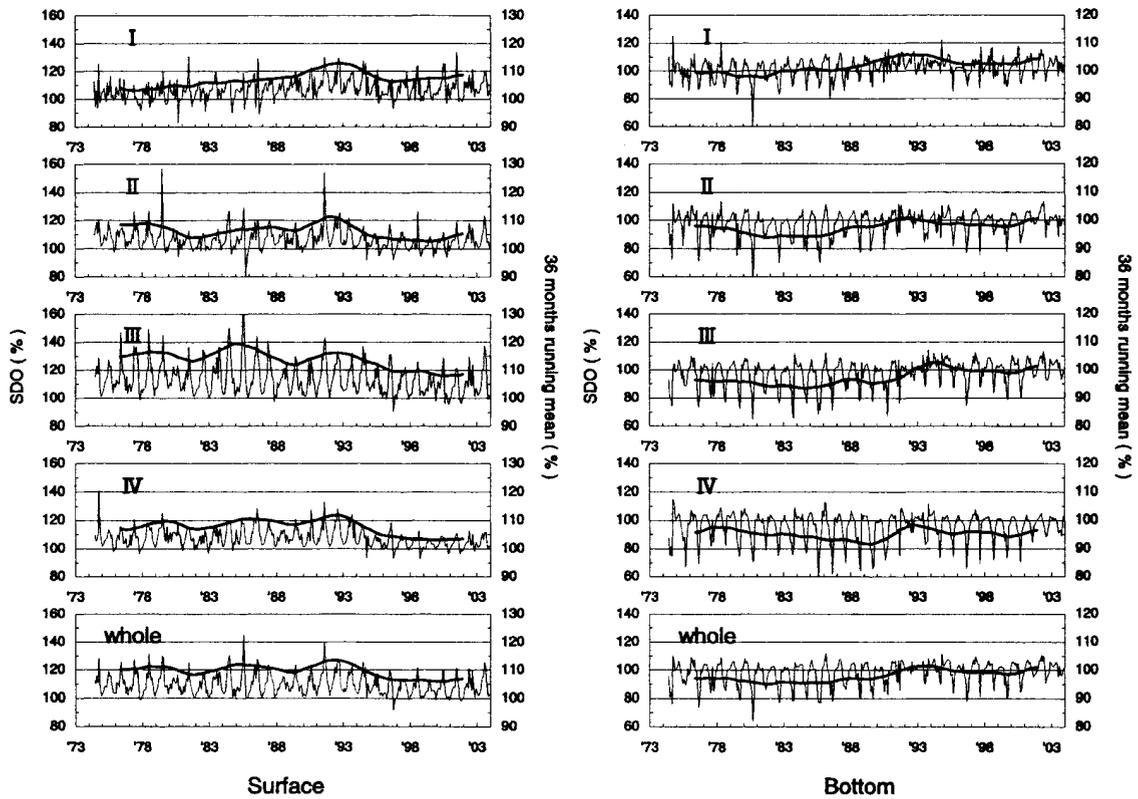


Fig.6. Changes in saturated dissolved oxygen (SDO, %) in each zone. Thin and thick lines represent the monthly values and 36 months running means, respectively.

## 5. DIN

表層では、海域Ⅰ・Ⅱで $20 \mu\text{mol/L}$ を超えるような極端に高い値を示すこともあった (Fig.7)。各海域とも数年周期の変動を繰り返しながら長期的に減少傾向であり、もともと高かった海域Ⅰ・Ⅱで減少傾向が最も顕著であった。また、2000年代に入ってから各海域間に大きな差は見られなくなった。

底層でも、全ての海域で数年周期の変動を繰り返しながら減少しており、特に海域Ⅱ～Ⅳでは減少傾向が顕著であった (Fig.7)。また、1990年代以降の減少が著しかった。

さらに、DINの推移を構成要素ごとに調べた結果は次のとおりであった。

### (1) $\text{NH}_4\text{-N}$

表層では、減少傾向が次第に強くなっており、1990年代に入ってから減少が著しかった。30年間で沿岸では約6割、沖合では約4割減少した (Fig.8)。

底層では、表層と同じく1990年代に入ってから減少が著しかった。特に海域Ⅱ～Ⅳで顕著であり、30年間で7～8割減少した (Fig.8)。

### (2) $\text{NO}_2\text{-N} + \text{NO}_3\text{-N}$

表層では、 $\text{NH}_4\text{-N}$ のような明確な変動傾向は見られ

なかったが、海域Ⅲでは緩やかな増加傾向が見られた (Fig.9)。

底層では、各海域とも1986～1987年に減少傾向に転じ、その傾向は緩やかに推移した (Fig.9)。

## 6. $\text{PO}_4\text{-P}$

表層では、各海域とも減少傾向であったが、海域Ⅰ・Ⅱにおいては1980年代後半にそれまでの半分程度の値に急激に減少しており、30年間に約5～8割の減少、その他の海域でも約2割減少した (Fig.10)。

底層では、表層よりも減少傾向が顕著で、各海域とも1980年代後半～1990年代前半に急激に減少した (Fig.10)。30年間に海域Ⅰで約7割の減少、その他の海域でも4～5割減少した。

## 7. COD

表層・底層とも1980年頃から年間の較差が小さくなり減少傾向になったが、1987年頃から微増し、1990年代は横ばいで推移した (Fig.11)。30年間では緩やかな減少傾向であった。

## 8. クロロフィル-a

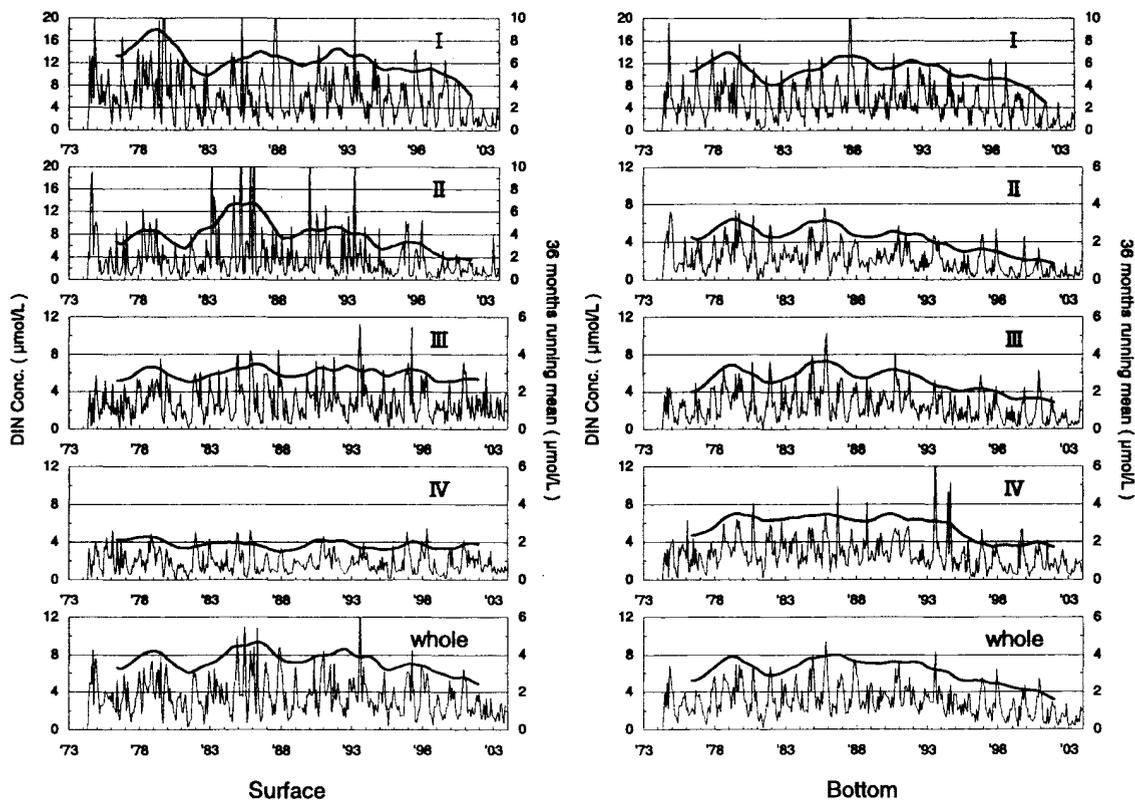


Fig.7. Changes in dissolved inorganic nitrogen concentration (DIN Conc.,  $\mu\text{mol/L}$ ) in each zone. Thin and thick lines represent the monthly values and 36 months running means, respectively.

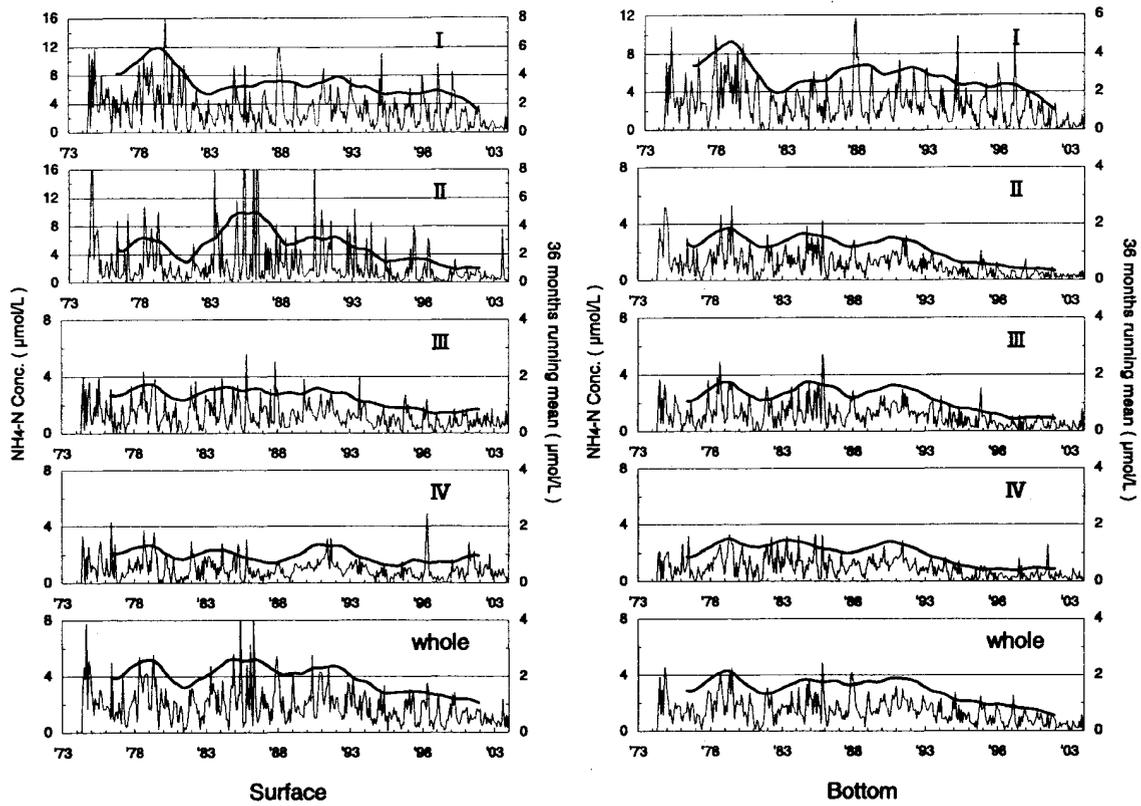


Fig.8. Changes in ammonia nitrogen concentration ( $\text{NH}_4\text{-N Conc.}, \mu\text{mol/L}$ ) in each zone. Thin and thick lines represent the monthly values and 36 months running means, respectively.

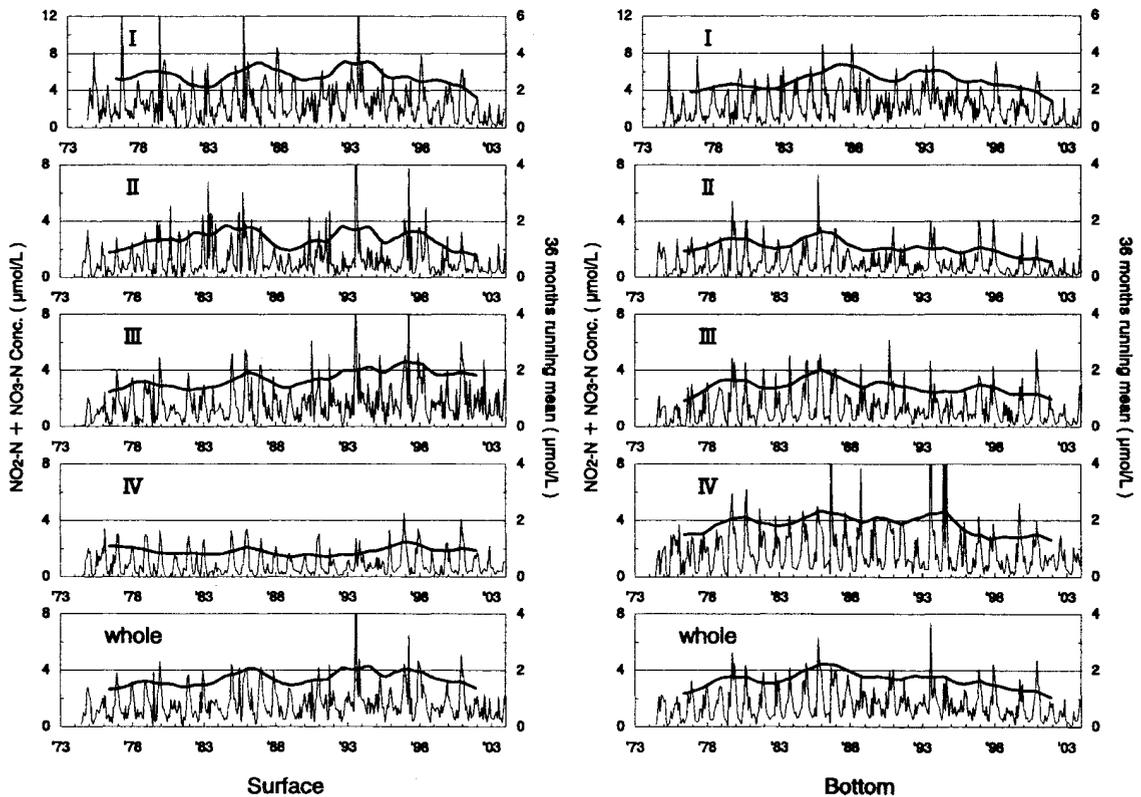


Fig.9. Changes in nitrite and nitrate nitrogen concentration ( $\text{NO}_2\text{-N} + \text{NO}_3\text{-N Conc.}, \mu\text{mol/L}$ ) in each zone. Thin and thick lines represent the monthly values and 36 months running means, respectively.

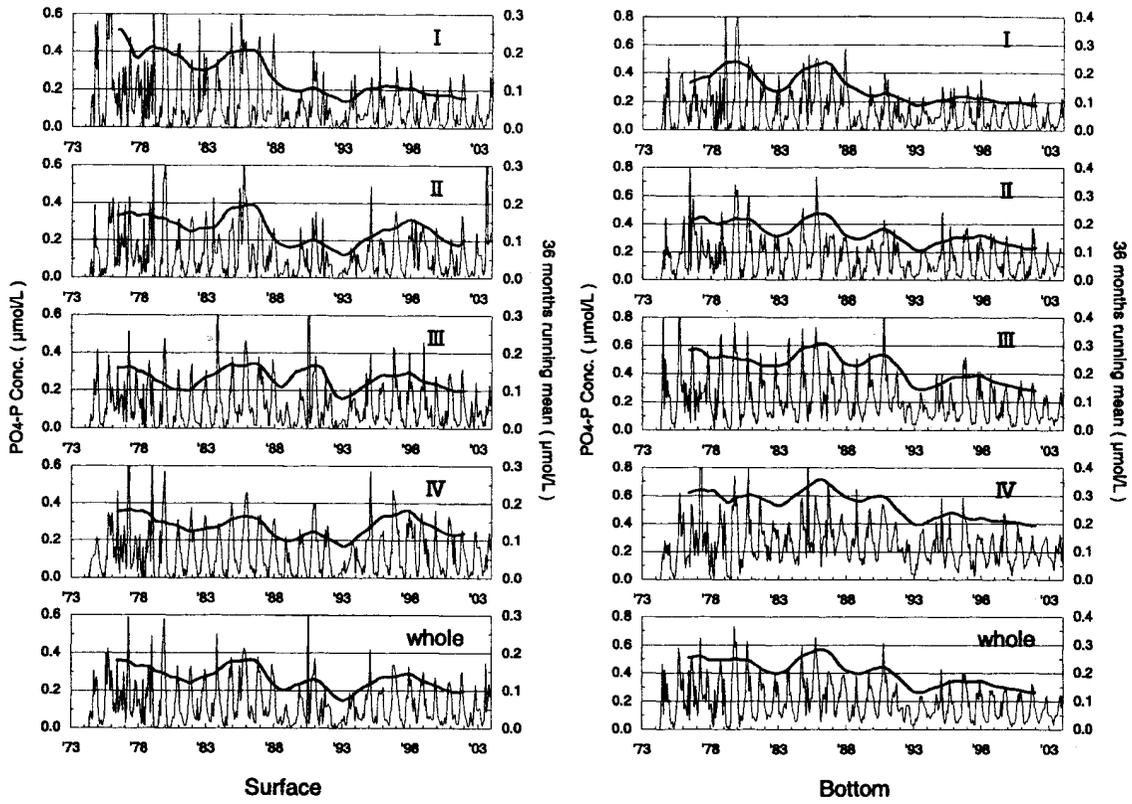


Fig.10. Changes in phosphate concentration ( $\text{PO}_4\text{-P Conc.}, \mu\text{mol/L}$ ) in each zone. Thin and thick lines represent the monthly values and 36 months running means, respectively.

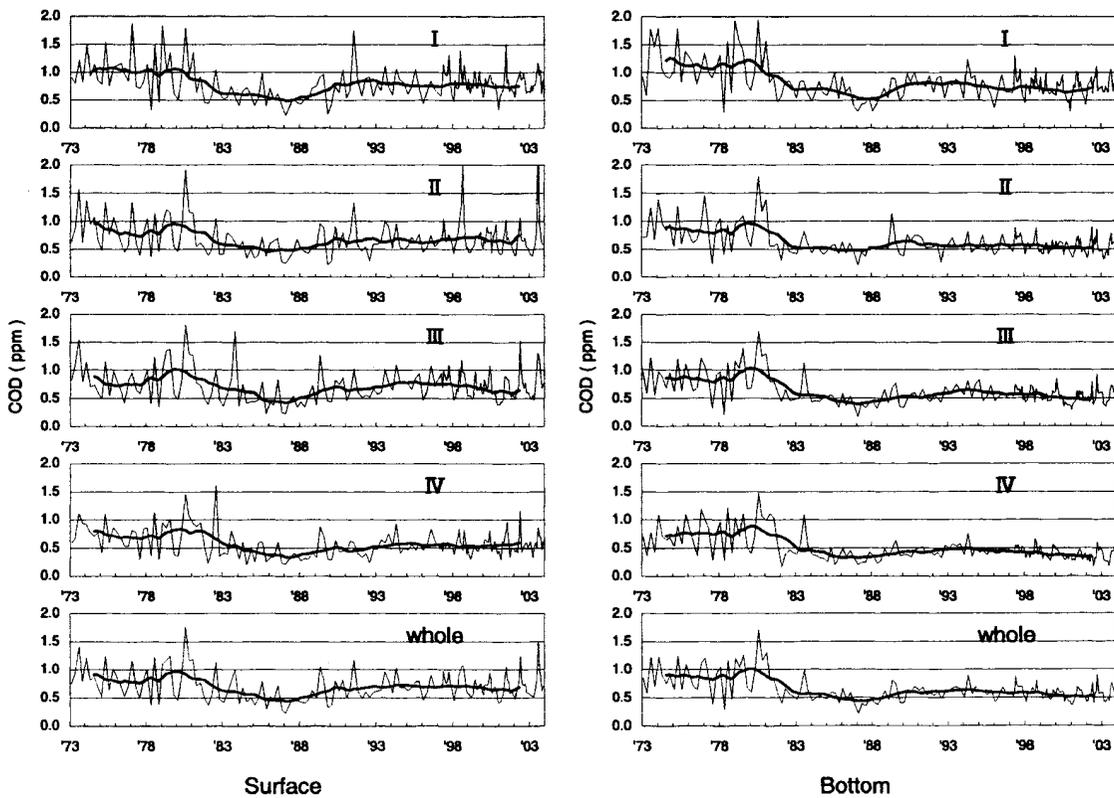


Fig.11. Changes in chemical oxygen demand (COD, ppm) in each zone. Thin and thick lines represent the monthly values and 36 months running means, respectively.

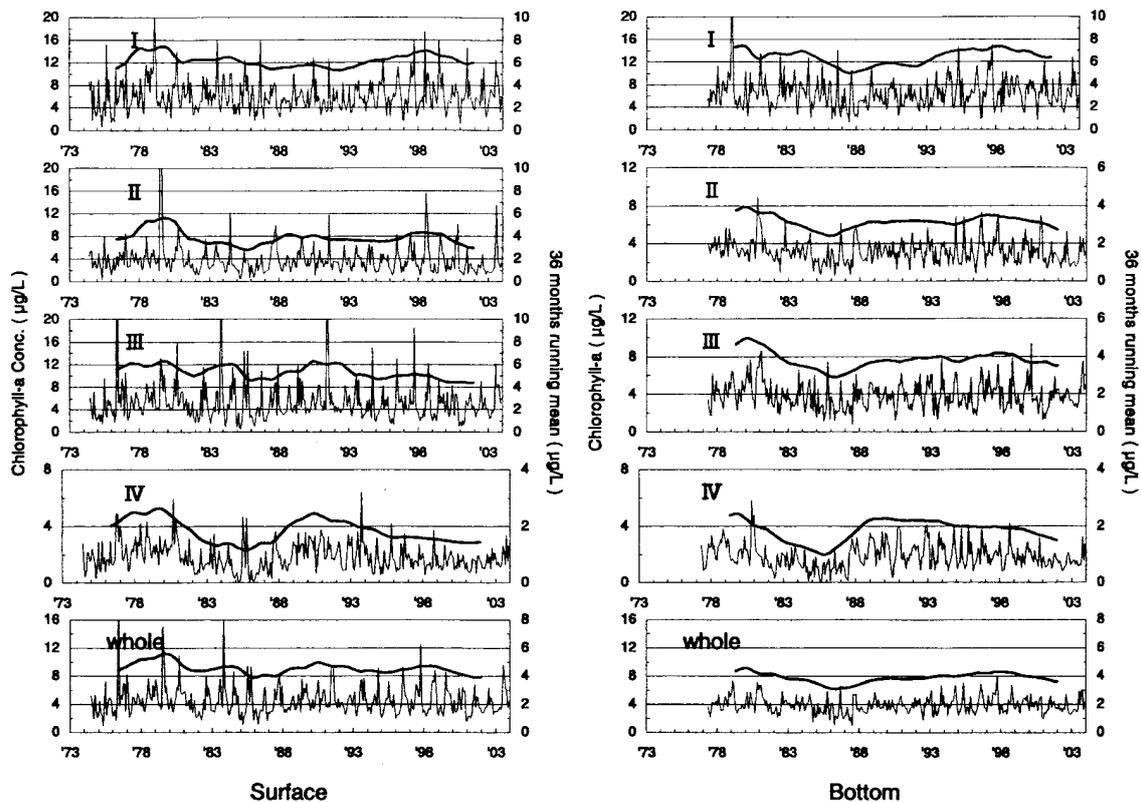


Fig.12. Changes in chlorophyll-a concentration ( $\mu\text{g/L}$ ) in each zone. Thin and thick lines represent the monthly values and 36 months running means, respectively.

表層では、海域によって変動傾向に若干の違いが見られたが、各海域とも減少傾向にあり、特に海域Ⅱ～Ⅳでは30年間に2～3割減少した (Fig.12)。

底層では、各海域の変動傾向が比較的良好一致していた。すなわち、1980年代半ばに著しく減少し、その

後は1990年代後半まで増加した後、再度減少に転じた (Fig.12)。全体的には30年間でほぼ横ばいであった。

なお、以上の結果を踏まえて、各測定項目について、データ期間を大まかに前期、中期、後期の3つに分けた場合、海域全体としての変動傾向がどのように推移

Table 3. Tendency\*1 of variations in each parameter at surface and bottom layers

Parameter	Surface layer				Bottom layer			
	Period				Period			
	'73~'82	'83~'92	'93~'03	whole	'73~'82	'83~'92	'93~'03	whole
Salinity	-	.	+	.	.	.	.	.
Transparency	-	+	.	.	.	.	.	.
Dissolved Oxygen concentration	.	.	-	-	.	.	+	+
Saturated Dissolved Oxygen	.	.	-	-	.	+	.	+
DIN*2 conc. (NH <sub>4</sub> -N*3 conc.)	.	-	-	-	.	-	-	-
(NO <sub>2</sub> -N+NO <sub>3</sub> -N*4 conc.)	.	.	.	.	+	-	-	.
PO <sub>4</sub> -P*5 conc.	-	-	-	-	-	-	-	-
COD*6	-	.	.	-	-	.	.	-
Chlorophyll-a conc.	-	+	-	-	-	+	.	.
Water Temperature <sup>5)</sup>	-	+	+	+	-	+	+	+

\*1 tendency to increase (+), to decrease (-) and to level off (•).

\*2 dissolved inorganic nitrogen. \*3 ammonia nitrogen. \*4 nitrite and nitrate nitrogen. \*5 phosphate. \*6 chemical oxygen demand.

してきたかをTable 3にまとめた。

### 考 察

塩分は、沖合域（海域Ⅳ）でも非常に低下することがあった。周防灘は半閉鎖的な海域であるため<sup>9)</sup>、負荷された淡水が塩分に与える影響が比較的大きいと予想される。そこで、下関市（Fig.2）の年降水量を気象庁のWEBサイト「電子閲覧室」からダウンロードし、海域全体の塩分の年平均値（表層及び底層の平均）と比較すると、両者の間には有意な負の相関（ $r=-0.637$ ,

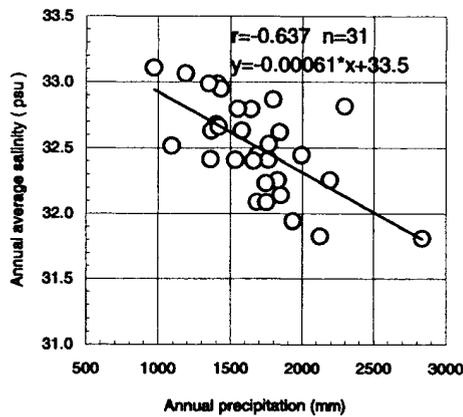


Fig.13. Relationship between annual precipitation (mm) in Shimonoseki (Fig.1) and annual average salinity (psu) of both layers (surface and bottom) in the Suo-Nada Region.

1%水準で有意)が見られた（Fig.13）。

透明度は海域によって横ばいまたは緩やかな上昇傾向であった。透明度に影響を与える要因の1つとしてプランクトンの現存量が考えられる<sup>9)</sup>。そこで、透

明度が最も高くなる3月及び最も低くなる10月において、表層のクロロフィル-aとの関連（Fig.14）を求めると、両者の間には有意な負の相関（ $r=-0.787 \sim -0.654$ , 1%水準で有意）が見られた。近年における表層のクロロフィル-aの漸減傾向がまだ続くとするれば、透明度はさらに高くなることも予想される。

水産用水基準<sup>15)</sup>においては、底生生物に悪影響を及ぼす底層の溶存酸素量は4.3ppm（3.0mL/L）以下とされている。そこで、各海域ごとにこれに該当する値を検索したところ、1988年以前は海域Ⅱ～Ⅳを中心にのべ56定点もあったのに対し、1989年以降はのべ17定点であり、3分の1以下に減少した（Table 4）。また、大阪湾<sup>16)</sup>では貧酸素水塊が長期的に解消の方向にあることが報告されており、周防灘においても汚濁負荷量の削減努力が底層の環境改善に結びついている可能性が高いと思われる。

一方、栄養塩はほぼ横ばいで推移している場合もあるが、大半の場合は減少傾向にあった。最近、漁業関係者から「昔と比べ海が変わった」という話を耳にす

Table 4. Number of stations observed low dissolved oxygen concentration (bellow 4.3ppm) at the bottom layers

Year	Zone				
	I	II	III	IV	whole
1975~1988 (minimum)	2 (3.70)	10 (3.44)	29 (1.81)	15 (2.85)	56 (1.81)
1989~2002 (minimum)	0 (-)	1 (4.23)	9 (2.13)	7 (3.71)	17 (2.31)

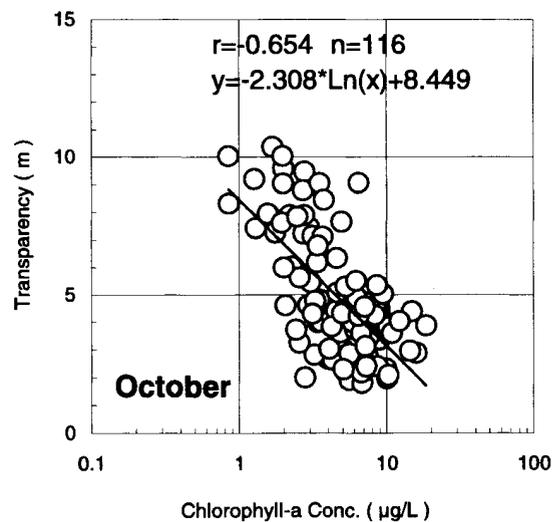
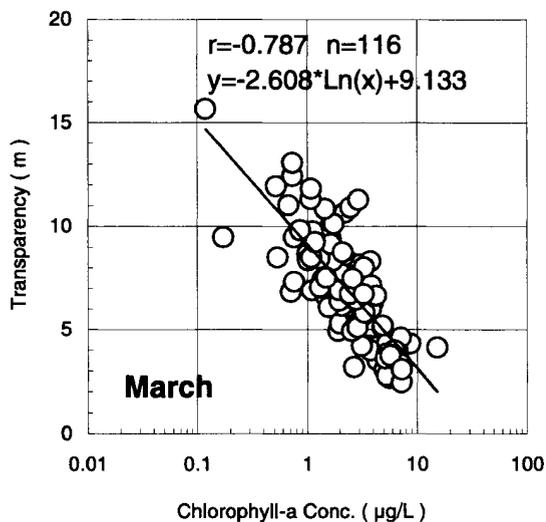


Fig.14. Relationships between chlorophyll-a concentration ( $\mu\text{g/L}$ ) and transparency (m) in March (left) and October (right).

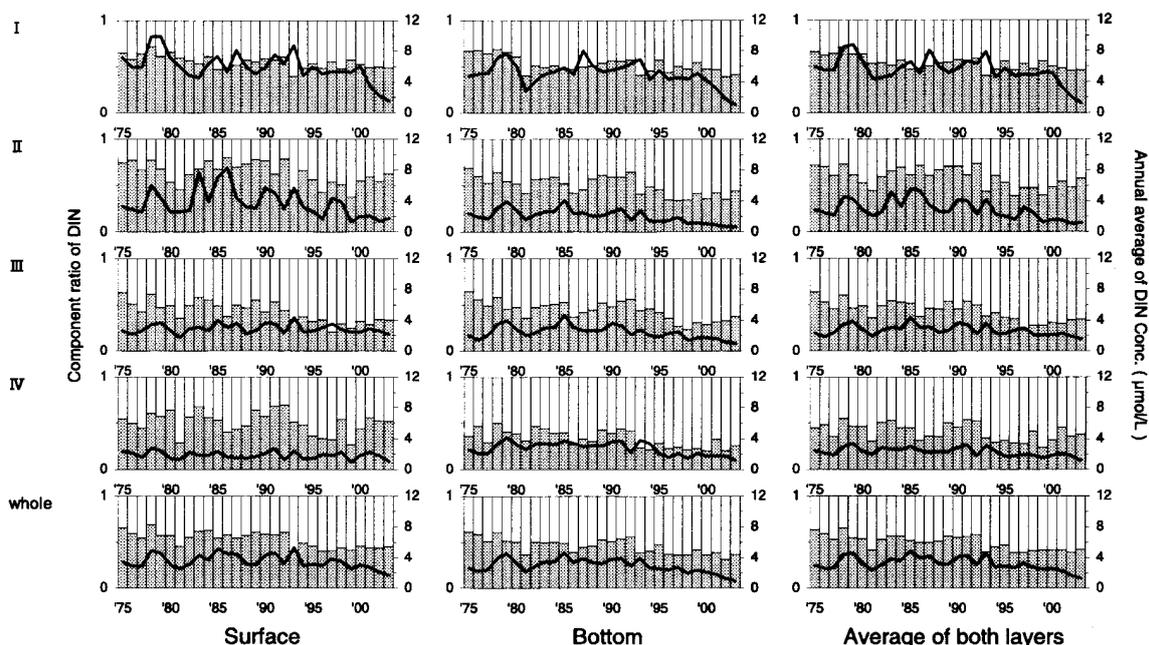


Fig.15. Changes in component ratios of DIN and annual averages of DIN concentration ( $\mu$  mol/L) at each zone. gray-columns,  $\text{NH}_4\text{-N}$ ; white-columns,  $\text{NO}_2\text{-N}+\text{NO}_3\text{-N}$ ; thick lines, annual averages of DIN concentration.

ることがある。基礎生産に直結する栄養塩の変化は、海洋環境や生態系のバランスに変調をきたす一因となる可能性があることから、瀬戸内海の水産業にとってどの程度の栄養塩レベルが適切であるのかについては、今後詳しく議論する必要がある。

また、DINの構成要素 ( $\text{NH}_4\text{-N}$ ,  $\text{NO}_2\text{-N}+\text{NO}_3\text{-N}$  : Fig.15) に注目すると、DIN自体の減少傾向に加えて、期間の初めには概ね半分以上を占めていた $\text{NH}_4\text{-N}$ の割合が徐々に低下していた。この一因として下水道の整備等による陸域からの供給量の減少が考えられ、山口県の場合、下水道普及率は全国的に低いほうであるが、それでも1973年度末には約10%であった普及率が、2003年度末には約50%にまで伸びており（山口県都市計画課ホームページよりデータ参照）、今後も $\text{NH}_4\text{-N}$ の減少傾向が続くものと思われる。

一方、 $\text{PO}_4\text{-P}$ については底泥からの溶出も重要な供給源とされ、低酸素条件下でその溶出が促進される<sup>17)</sup>ことから、溶存酸素量が比較的低い夏季（7～9月）において、底層の溶存酸素量と $\text{PO}_4\text{-P}$ との関連を調べた (Fig.16)。その結果、両者間には有意な負の相関 ( $r=-0.618$ , 1%水準で有意) が認められ、これは30年間の底層の溶存酸素量が緩やかな増加傾向にあり、リンが減少傾向であることと一致する。

CODは1980年代初めに大きく減少しているが、この時期はちょうど瀬戸内海環境保全特別措置法によ

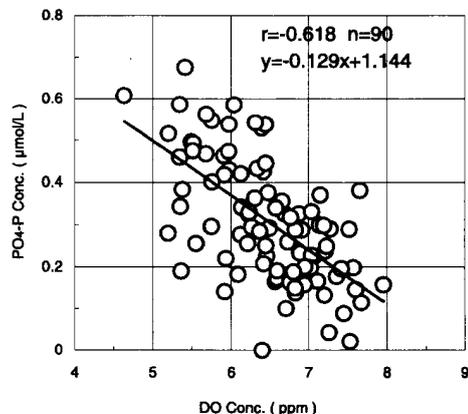


Fig.16. Relationship between dissolved oxygen concentration (DO Conc., ppm) and phosphate concentration ( $\text{PO}_4\text{-P}$ ,  $\mu$  mol/L) at the bottom layers during summer (from July to September).

る総量規制が始まった直後にあたる。両者の因果関係は今回のデータだけでは説明できなかったが、CODが短い期間内に0.5ppm近くも減少し、その状態がしばらく継続している状況から見ても、総量規制に伴うCODの減少があったと考えられる。

クロロフィル-aは、1980年代前半に大きく落ち込んだ。一方、この数年後、アサリの漁獲量<sup>1-4)</sup>が大きく減少していることから、両者の関連性を検討してみたが、クロロフィル-aだけではアサリ漁獲量の変化をうまく説明するまでには至らなかった。

以上、約30年間における山口県周防灘海域の水質環

境の変化について述べた。一言で言えば「海はきれいになってきている」ということであろうが、水産業の立場から見れば「海はきれいになりすぎている」ということかもしれない。

いずれにしても、30年間という期間は、地球温暖化などスケールの大きな現象の解明のためには1つの通過点にすぎず、今後もモニタリングを継続していかなければならないことは言うまでもない。また、それと併せて、環境データと生物データとをリンクさせて考え、環境の変化が生物に与えてきた影響を評価し、今後の施策につなげることも急務である。

## 要 約

山口県の周防灘海域で30年以上継続されてきた浅海定線調査のデータ(1973~2003年調査分の水温<sup>5)</sup>以外の項目)を取りまとめ、最近30年間で水質は改善しつつあることが判った。

塩分は海域Ⅳ>Ⅲ>Ⅱ>Ⅰという傾向で推移し、降水量との間に有意な負の相関が見られた。透明度は海域Ⅳ>Ⅲ≒Ⅱ>Ⅰという傾向で推移し、長期的にはほぼ横ばいか緩やかな上昇傾向であった。溶存酸素量は表層では減少傾向、底層ではほぼ横ばいか緩やかな増加傾向にあった。

栄養塩は減少傾向であった。DINは数年周期の小変動を繰り返しながら減少傾向であり、中でもNH<sub>4</sub>-Nの減少が大きかった。PO<sub>4</sub>-Pも減少傾向が著しかった。

CODは1980年代初めに減少し、期間全体では緩やかな減少傾向で推移した。クロロフィル-aは1980年代前半に大きく減少し、期間全体ではほぼ横ばいまたは減少傾向で推移した。

水質は向上しつつある反面、この海域の水産業にとってどのような状態が最適な環境なのかについては、今後さらなる議論を要する。

## 引用文献

- 1) 水産庁瀬戸内海区水産研究所(2001): 瀬戸内海の漁獲量(1952~1999年の灘別魚種別漁獲統計), 178pp.
- 2) 中国四国農政局統計情報部(2001): 瀬戸内海区及び太平洋南区における漁業動向(2000年), pp. 104-105.
- 3) 中国四国農政局統計情報部(2002): 瀬戸内海区

及び太平洋南区における漁業動向(2001年), pp. 110-111.

- 4) 中国四国農政局統計情報部(2003): 瀬戸内海区及び太平洋南区における漁業動向(2002年), pp. 110-111.
- 5) 和西昭仁(2004): 山口県周防灘海域における最近30年間の水温変動. 山口県水産研究センター研究報告, 2, 1-6.
- 6) 和西昭仁(2004): 海の生き物の異変に学ぶこと~水温の長期変動の巻~. 山口県水産研究センター内海研究部だより「ないかい」, 14, 1-2.
- 7) 田村勇司(2003): 伊予灘・別府湾の水温等の長期変動. AQUA NEWS, 17, 4.
- 8) 樽谷賢治(2003): 沿岸・内湾域における近年の水温上昇について. 瀬戸内水研ニュース, 10, 11-12.
- 9) 岡市友利・小森星児・中西弘編(1997): 瀬戸内海の生物資源と環境-その将来のために-. 恒星社厚生閣, 東京, pp. 1-40.
- 10) 気象庁編(1990): 海洋観測指針. 日本気象協会, 東京, 428pp.
- 11) 日本海洋学会編(1979): 海洋環境調査法. 恒星社厚生閣, 東京, 666pp.
- 12) 日本水産資源保護協会編(1980): 水質汚濁調査指針. 恒星社厚生閣, 東京, 552pp.
- 13) Jeffrey, S. W. and G. F. Humphrey (1975): New spectrophotometric equations for determining chlorophylls a, b, c, and c in higher plants, algae and natural phytoplankton. *Biochimie Physiologie Pflanzen*, 167, 374-384.
- 14) 神戸海洋気象台海洋課(1985): 周防灘の海況-1982~1983年特殊観測結果-. 神戸海洋気象台彙報, 204, 23-37.
- 15) 日本水産資源保護協会(2000): 水産用水基準(2000年版), 96pp.
- 16) 藤原建紀・岸本綾夫・中嶋昌紀(2004): 大阪湾の貧酸素水塊の短期的及び長期的変動. 海岸工学論文集, 51, 931-935.
- 17) 日本海洋学会海洋環境問題委員会(2002): 有明海環境悪化機構究明と環境回復のための提言2. 海の研究, 11, 631-636.

## 日本海南西海域産コシナガ *Thunnus tonggol* の食性

小林知吉

Food habits of the longtail tuna, *Thunnus tonggol*  
from the south western region of Sea of Japan

Tomokichi KOBAYASHI

Number of specimens of long tail tuna were 242. Range of fork length and body weight of the specimens was 410 - 600mm and 1,327 - 3,886g respectively. On 242 fishes examined, 147 (61%) had organisms in their stomachs, including a variety of fishes and squids. The main diet was fish. Especially, jack mackerel, *Trachurus japonicus* (46 - 112mmSL), japanese anchovy, *Engraulis japonica* (40 - 60mmSL), round herring, *Etrumeus teres* (60 - 82mmSL) and bottom perch, *Apogon semilineatus* were found often in their stomachs. The ratio of stomach content weight to body weight ranged from 0.01 to 5.75%.

**Key words :** longtail tuna, food habits

近年、日本海南西海域へのコシナガ *Thunnus tonggol* の来遊が顕著で、とりわけ、1999年頃から来遊量が急増している。しかし、当海域におけるコシナガの生態的知見は乏しく、特に、食性に関する知見は見当たらない。筆者は日本海南西海域に属する山口県日本海沿岸域で漁獲される本種の食性について調査したので、ここに報告する。

### 材料と方法

供試魚は1999年7月から2003年8月に定置網、曳き縄釣り、棒受け網、中型まき網およびさびき釣りにより漁獲された242個体である (Table 1)。供試魚の入手数が7~9月に集中しているが (Table 2)、これは当該海域への本種の来遊盛期がこの時期に当たる<sup>1)</sup> ことによる。測定項目は尾叉長、体重および胃内容物重量とした。胃内容物は可能な限り種の段階まで同定することに努め、体長計測が可能な個体は測定に供した。

Table 1. Number of specimens obtained by each fishing method

Fishing method	Set net	Trolling line	Stic-held dip net	Medium type purse seine	Angling
No. of specimens	209	15	12	2	4

Table 2. Number of specimens obtained in each month

Month	June	July	Aug.	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.
No. of specimens	1	44	59	95	29	5	9

### 結 果

供試魚の尾叉長範囲は410-600mm、体重範囲は1,327-3,886gで、それぞれのモードは460mm台および1,900g台にあった (Fig.1およびFig.2)。

供試魚242個体について胃内容物の有無を調べたところ、147個体が摂餌個体で、残る95個体は空胃個体であったことから、摂餌個体の出現率は61%となった。漁業種類別にみた摂餌個体の出現率は定置網では58%、棒受け網、さびき釣りおよび中型まき網で100%、曳き縄釣りでは93%となっていた (Fig.3)。

胃内容物として確認された生物の出現状況を出現頻度法<sup>2)</sup> により、その値であるF-value (%)を求めた。胃内容物は魚類、十腕類、甲殻類、海藻および不明に区分され、それぞれのF-valueは80%、8%、5%、2%および8%と、圧倒的に魚類の出現頻度が高かった。次に、各生物群について種のレベルでのF-valueを求めた (Fig.4)。魚類で

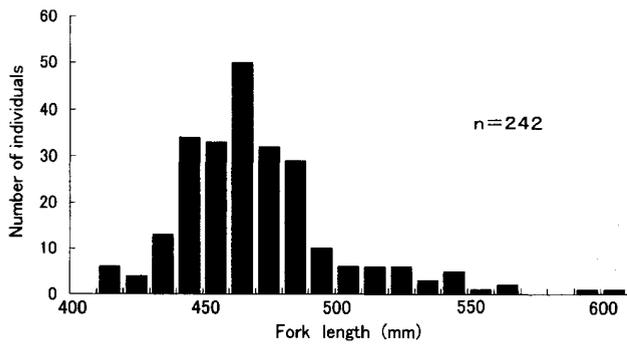


Fig. 1. Frequency distribution of fork length of longtail tuna, *Thunnus tonggol*

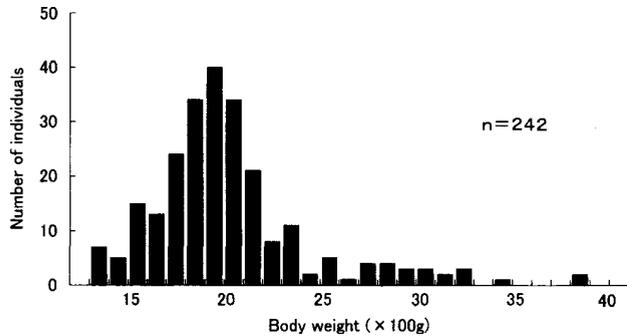


Fig. 2. Frequency distribution of body weight of longtail tuna, *Thunnus tonggol*

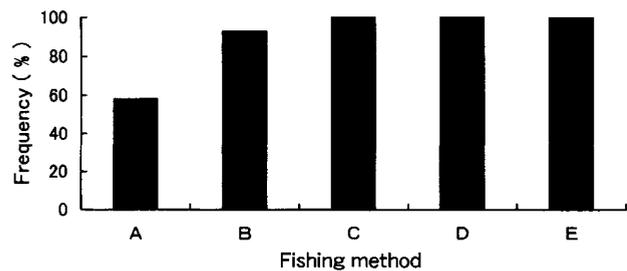


Fig. 3. Percentage frequency of occurrence of feeding individuals of longtail tuna, *Thunnus tonggol* caught by several kinds of method of catch

A, Set net B, Trolling line C, Stic-held dip net D, Medium type purse seine E, Angling

は約15種が確認できたが、そのうちの上位4種を列記するとマアジ *Trachurus japonicus* (40.6%), カタクチイワシ *Engraulis japonica* (20.3%), ウルメイワシ *Etrumeus teres* (16.8%), ネンブツダイ *Apogon semilineatus* (14.0%) であった。

体重に占める胃内容物重量割合 (以下、摂餌量指数<sup>3)</sup>と記す) の頻度分布をみると、分布範囲は0.01~5.75%にあり、0.5%未満の個体が総摂餌個体の48% (70個体) を占めていた (Fig. 5)。次に、漁業種類別に摂餌個体の摂餌量指数の平均値をみると、定置網0.69%, 曳き縄釣り0.39%, 棒受け網2.92%, 中型まき網2.28%, さびき釣り2.37%であった。

出現した魚類のうち体長計測が可能な個体を測定した結果、最大体長はアカカマス *Sphyraena pinguis*

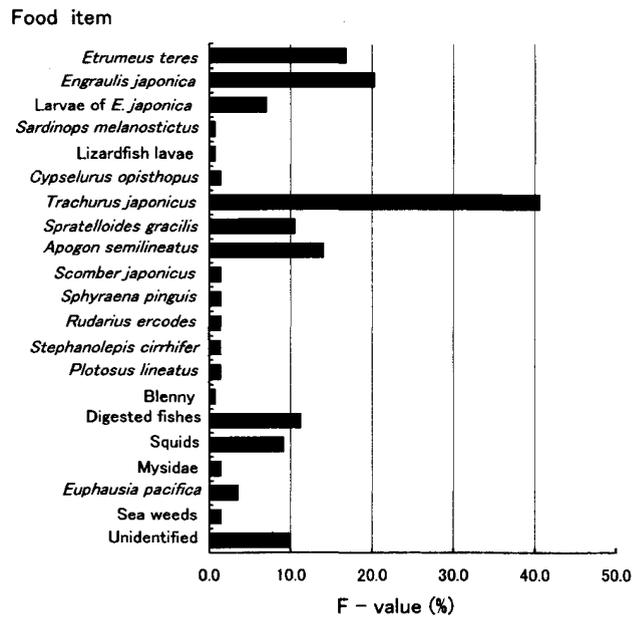


Fig. 4. Percentage frequency of occurrence of food item in the diet of longtail tuna, *Thunnus tonggol*

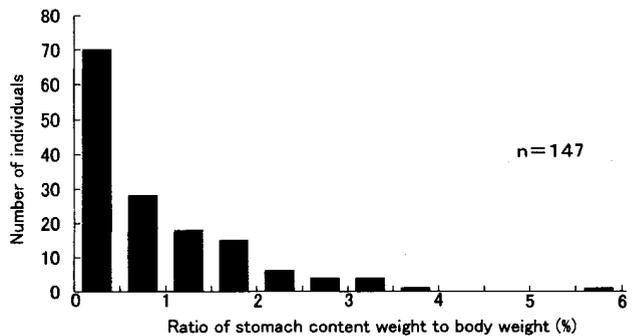


Fig. 5. Frequency distribution of the ratio of stomach content weight to body weight of longtail tuna, *Thunnus tonggol*

の166mmSLで、マアジ46~112mmSL, カタクチイワシ40~60mmSL, ウルメイワシ60~82mmSL, キビナゴ *Spratelloides gracilis* 70mmSL, マサバ *Scomber japonicus* 65mmSLとなっていた。なお、ネンブツダイは測定しなかったが、すべて成魚とみられるサイズであった。

## 考 察

今回の漁業種類別にみた摂餌個体出現率は定置網では58%であったが、供試魚数が少ないものの、曳き縄釣りでは93%, 棒受け網, 中型まき網およびさびき釣りではそれぞれ100%となっていた。全体では、供試魚の61%が摂餌個体であった。山口県日本海沿岸産の若齢クロマグロ ( $0^+ \sim 1^+$ 歳、通称よこわ、以下“よこわ”と記す) では摂餌個体出現率が74%である<sup>4)</sup>ことを考慮すると、コシナガは“よこわ”とほぼ同程度

の摂餌活動を行っていると思われる。なお、棒受け網、中型まき網で漁獲されたコシナガは、同漁法での主要漁獲物であるカタクチイワシやマアジを摂取していることから、これら漁法での摂餌個体出現率が高い要因としては入網中における摂餌が考えられ、また、さびき釣りでは、撒き餌の摂取が無視できない。

胃内容物組成から本種は魚食性に偏った肉食性魚類であると言える。また、F-valueの上位魚種であるマアジ、カタクチイワシ、ウルメイワシは表・中層を遊泳する集群性の魚類であるが、これら被食魚の体長が112mmSL以下であり、カタクチイワシについては仔稚魚(シラス)のF-valueも高いことから(Fig. 4)、コシナガは表・中層を遊泳しつつ、これら魚種の若齢群を主対象として捕食していると思われる。

山口県日本海沿岸産“よこわ”の胃内容物組成は魚類と十腕類で占められ、魚類ではカタクチイワシ、ウルメイワシ、マイワシ、マサバ、キビナゴおよびネンブツダイが確認されており、カタクチイワシとウルメイワシのF-valueはそれぞれ27%および17%と高位であった<sup>1)</sup>。このことからコシナガと“よこわ”は餌料においては競合関係にあると言えよう。しかし、コシナガと“よこわ”の本県日本海沿岸への来遊時期が前者では6~10月(盛期:7~9月<sup>1)</sup>)、後者で10~12月(盛期:11~12月<sup>1)</sup>)とずれていることから、同時的な餌料競合は回避されている。

まぐろ類の摂餌量指数については横田ら<sup>3)</sup>の報告がある。これによると、曳き縄で採捕された日本近海産クロマグロでは、摂餌量指数0-0.5%の区間で最も出現頻度が高く、これが自然な状態での一般的な摂餌状況としている。山口県日本海産若齢クロマグロ<sup>4)</sup>や今回のコシナガもこれと類似した傾向がみられた。しかし、これを自然な状態での一般的な摂餌状況とするには、摂餌時刻、飽食量および消化速度などに基づいた検証が必要と考える。

## 引用文献

- 1) 小林知吉・渡辺俊輝(2003):山口県日本海沿岸に来遊するコシナガ *Thunnus tonggol* について. 西海ブロック漁海況研報, 第10号, 15-20, 別刷.
- 2) Hynes, H. B. N. (1950): The food of freshwater sticklebacks (*Gasterosteus aculeatus* and *Pygosteus pungitius*), with a review of methods used in studies of the food of fishes. J. Anim. Ecol., 19, 36-58.
- 3) 横田滝雄・通山正弘・金井富久子・野村星二(1961): 魚類の食性の研究. 南海区水産研究所報告, 第14号, 1-234.
- 4) 小林知吉(2000):山口県日本海産若齢クロマグロ *Thunnus thynnus* の摂餌状況. 2000年度水産海洋学会研究発表大会講演要旨.

## 山口県瀬戸内海域におけるマダコの生態と資源変動

内田喜隆・吉村栄一・木村博

Ecology and stock fluctuation of *Octopus vulgaris* in the Seto Inland Sea coast, Yamaguchi Prefecture

Yoshitaka Uchida, Eiichi Yoshimura and Hiroshi Kimura

Adult and subadult *Octopus vulgaris* were collected with octopus-pots and baited-baskets in the northern Iyo-Nada region from May 2003 to March 2004. From the gonadal observations spawning season was supposed to be from February to October, mainly in September. Sex ratios of baited-basket catches were always biased toward male except in March, and no female was caught in September. While there was no such bias in the sex ratios of octopus-pot catches. Protein content in *O. vulgaris* obviously dropped in September probably due to spawning, indicating that September is the worst month for taste. The relationship between CPUE of octopus-pot fishing (index of the population) in the Seto Inland Sea region of Yamaguchi Prefecture and sixteen environmental and two reproductive factors were tested by multiple regression analysis. The results suggest that parental population level (previous year CPUE) and high sea water temperatures increase the octopus population, conversely, extreme typhoons and harmful red tides decrease it.

**Key words:** *Octopus*, sex ratio, maturation, nutritional composition, stock- recruitment relationship, environmental factor

マダコ *Octopus vulgaris* は山口県瀬戸内海域（以下山口内海と略す）の重要な水産資源である。マダコのみを扱った統計資料は無いが、山口県農林水産統計年報によると2001年の山口内海の漁業生産額97億円のうち「たこ類」の生産額は6億円であった。近年では山口内海東部海域のマダコを「周防瀬戸のタコ」と名付け、ブランド化を図ろうという取り組みも行われている。

瀬戸内海のマダコについては、愛媛県伊予灘での坂口ら<sup>1-5)</sup>の精力的な調査を始め、兵庫県播磨灘<sup>6-8)</sup>や岡山県備讃瀬戸<sup>9)</sup>などで生態・資源に関する調査が行われている。しかし、山口内海産マダコについては、前川<sup>10)</sup>が秋穂地先における漁獲物の体重組成の季節変化や産卵保護用タコツボの利用率を調べた報告があるに過ぎない。本研究では山口内海東部産マダコの生態と旬について情報を得るとともに、山口内海全域のマダコ資源変動要因について検討したので、ここに報告する。

### 材料および方法

材料の入手 山口内海東部の中でもマダコ漁業が盛んである伊予灘海域に位置する柳井市の平郡漁業協同組合（以下平郡と略す）と周防大島町の安下庄漁業協同組合（以下安下庄と略す）の漁獲物を調査対象とした（Fig.1）。平郡では海底に仕掛けられた壺（餌は用いない）に入ったマダコを漁獲する「たこつぼ」漁業が、安下庄では籠にイワシ等の餌を仕掛けてマダコを誘引して漁獲する「雑魚かご」漁業が、主な漁法となっている。なお、両漁協とも初夏から晩夏にかけての期間では、ほぼ同じ海域を主漁場としている。

平郡から「たこつぼ」漁業者1名、安下庄から「雑魚かご」漁業者1名の協力を得て、漁獲物の中から基本的に毎月約30尾を無作為に抽出してもらい、これを買って上げてサンプルとした。但し、平郡の5月29日・6月12日、安下庄の5月28日では調査意図が伝わらず、無作為抽出したとは言えないサンプルとなってしまった。なお、平郡では体重500g以下、安下庄では400g以下のマダコを資源保護のため採捕禁止としている

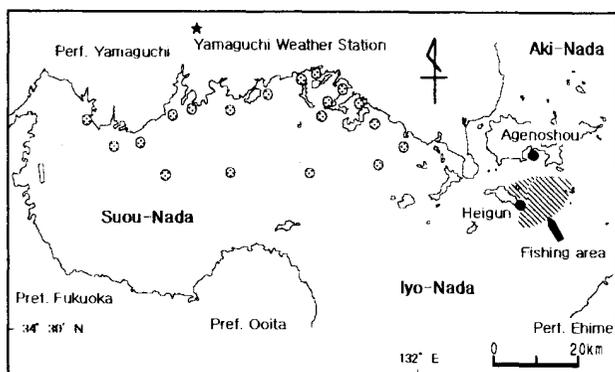


Fig.1. The map showing the study area, the western Seto Inland Sea. Shaded circles indicate the stations of temperature and salinity in the bottom waters were measured.

が、今回は調査のために両漁業協同組合の了解を得て小型個体もサンプルに加えた。

漁獲されたマダコは山口県漁業協同組合連合会柳井支部の集荷施設（柳井市）で1晩蓄養された後、凍結させた保冷剤と共にクーラーボックスに収容して水産研究センター内海研究部に搬入された。

なお、以下の文中では、平郡の「たこつば」漁業で漁獲されたマダコを「たこつばマダコ」、安下庄の「雑魚かご」漁業で漁獲されたマダコを「雑魚かごマダコ」と略して表記する。

**体サイズの測定** 搬入されたマダコについて体重・外套腹面長（外套後端から外套腹面開口部までの長さ）・卵巣重量を測定した。なお、マダコの体サイズの指標としては外套腹面長が用いられることが多いが、マダコの長さを正確に測定することが困難であること、漁業・流通の現場では体重を目安として取り扱われることから、本研究では体重を体サイズの指標とした。

体重から外套腹面長を予測する式を得るため、今回得られたデータに関数  $L = a \times W^b$  を当てはめる非線形回帰を行った。同様に、外套腹面長から体重を予測する式を得るため、関数  $W = a \times L^b$  を当てはめる非線形回帰を行った。ここで、Wは体重、Lは外套腹面長、a,bは定数項を表す。分析には、世界中の統計研究者によって開発され、インターネットを通じて無料配布されているオープンソース統計ソフト「R」(<http://www.r-project.org/>)を使用した。

**成熟関連形質** 成熟の指標としてメスの生殖腺重量指数 (GSI) を求めた。

$$GSI = (OW / BW) \times 100$$

ここで、OWは卵巣重量 (g) を、BWは体重 (g) を表す。なお卵巣重量は輸卵管を除いた値である。

GSIとは別の成熟の指標として、最大卵径を測定した。具体的には、卵巣を水道水中で振りほぐし、遊離した卵母細胞を実体顕微鏡下で観察し、1視野（視野半径約5.5mm）の中で最も大きい卵母細胞の短径を接眼マイクロメータで計測した。この作業を視野を変えて5回繰り返し、最大の値をその個体の最大卵径とした。

**体成分** 同程度の体重のマダコを毎月5個体ずつ選び（8月31日の「たこつばマダコ」については大中2サイズに分けた合計10個体）、内臓・ぬめり・体表面の水分を除去した可食部を細断・混和してミートチョッパーに3回通した試料を作製した。これを-40℃で冷凍保存した後、一般成分分析に供した。なお、「たこつばマダコ」・「雑魚かごマダコ」とも5月下旬のサンプルでは体成分測定試料の調整の前に塩もみを行ってぬめりを除去したが、塩もみが体成分に与える影響を考慮して以後のサンプルではペーパータオルでぬめりを除去した。

一般成分の分析は吉中・佐藤<sup>11)</sup>に従い以下の方法で行った。水分:常圧乾燥法、粗タンパク質:ケルダール法、粗灰分:電気炉法、粗脂肪:ソックスレー法、炭水化物:差し引き法。

**資源変動** 瀬戸内海産マダコの資源動向を知るため、山口県農林水産統計年報から、山口内海における「たこ類漁獲量」(1953~2002年分)、「たこつば漁業漁獲量」・「たこつば漁業出漁のべ日数」(1974~2002年分)のデータを抽出し、「たこつば」漁業の単位漁獲努力量あたり漁獲量 (CPUE) を求めた。

山口内海におけるマダコの資源変動要因を明らかにするために「たこつば」漁業CPUEを目的変数とする重回帰分析を統計ソフト「R」を用いて行った。

説明変数としては、環境データ16変数と再生産関係データ2変数を用いた。環境データとして海鳴りネットワークホームページ (<http://www.uminari.pref.yamaguchi.jp/>) から入手した浅海定線調査による周防灘19定点 (Fig.1) の季節別平均底層水温・塩分、馬場ら<sup>12)</sup> から抽出した山口内海での有害赤潮発生件数<sup>\*1</sup>、気象庁ホームページ ([\\*1 \*Karenia \(Gymnodinium\) mikimotoi\*, \*Chattonella\* spp., \*Heterosigma akashiwo\*による赤潮の発生件数。](http://www.data.</a></p>
</div>
<div data-bbox=)

kishou.go.jp/) から入手した山口測候所の季節別合計降水量・最大瞬間風速40m/s以上の暴風記録を用いた(1975~2002年分データ, 有害赤潮発生件数のみ1976~2002年分)。なお, 季節区分は冬期1~3月, 春期4~6月, 夏期7~9月, 秋期10~12月としたが, 水温・塩分データについては1月に欠測があったため2~3月を冬期とした。再生産関係データとしては, 前年「たこつば」漁業CPUE(1975~2001年分)と再生産関係式(1975~2002年分データによるBeverton-Holtモデル)による「たこつば」漁業予測CPUEを用いた。

## 結果

体重組成 平郡(たこつば)では2003年5月29日~8月31日まで5サンプル合計128個体, 安下庄(雑魚かご)では2003年5月29日~2004年3月29日まで10サンプル合計287個体が得られた(Fig.2)。なお, 平郡で材料入手期間が短かったのは, 平郡では産卵保護のため組合内部の取り決めで9月を禁漁としていること, および2003年冬期の「たこつば」漁業が極端な不漁であったことによる。

マダコの体重範囲は「たこつばマダコ」のメスで

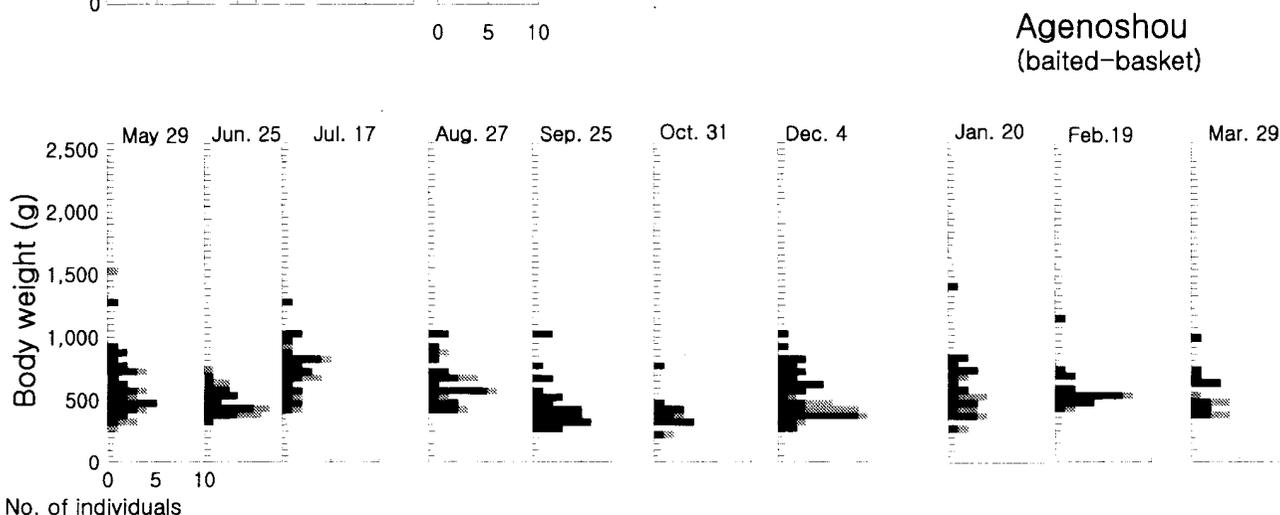
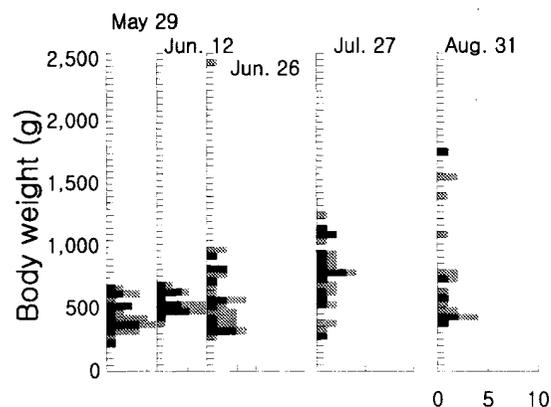


Fig.2. Frequency distribution of body weight of *O. vulgaris* collected in northern Iyo-Nada from May 2003 to March 2004. Closed and Shaded columns indicate male and female individuals, respectively.

205~2448g, オスで191~1727g, 「雑魚かごマダコ」のメスで187~1491g, オスで183~1384gであった。

体重500g以下の小型個体の混獲率は, 無作為な抽出が行われた6月下旬~8月下旬の「たこつばマダコ」で35.1%, 同時期の「雑魚かごマダコ」で37.1%, 9月下旬~3月下旬の「雑魚かごマダコ」で60.2%であった。また, 400g以下の混獲率は, 6月下旬~8月下旬の「たこつばマダコ」で20.1%, 同時期の「雑魚かごマダコ」で17.3%, 9月下旬~3月下旬の「雑魚かごマダコ」で40.4%であった。

今回得られたデータ(414個体, 体重範囲183~2448g, 外套腹面長範囲41.6~148.0mm)を用いて, 体重から外套腹面長を推定する下記の式が得られた。

$$L = 7.07 \times W^{0.383}$$

同様に外套腹面長から体重を推定する式は, 以下の通り求められた。

$$W = 0.0575 \times L^{2.09}$$

この両式においてLは外套腹面長(mm), Wは体重(g)を表す。

成熟 マダコの卵母細胞は短径1mm程度までは先

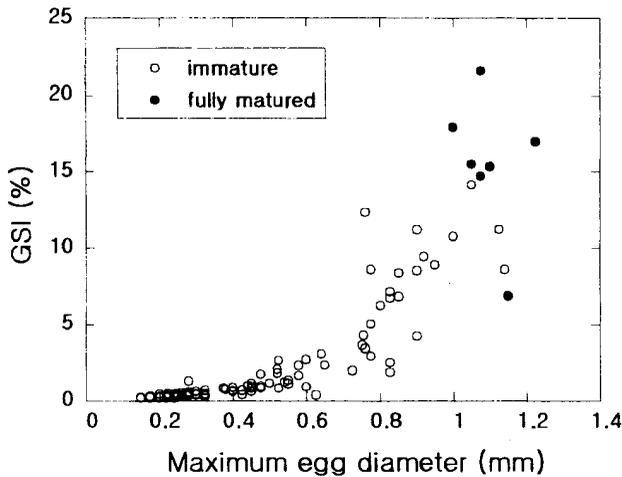


Fig.3. Relationship between maximum egg diameter and GSI of *O. vulgaris* collected in northern Iyo-Nada from May 2003 to March 2004.

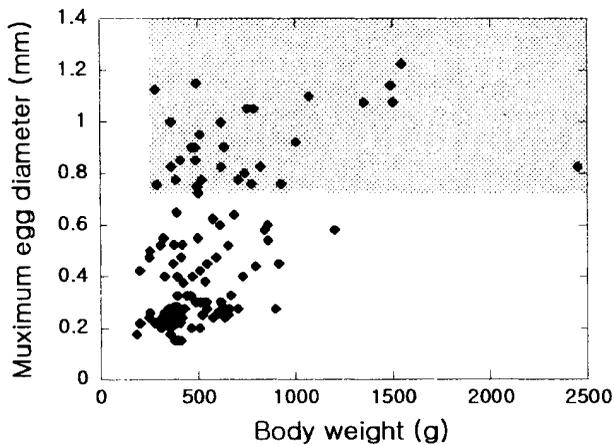


Fig.5. Relationship between maximum egg diameter and body weight of *O. vulgaris* collected in northern Iyo-Nada from May 2003 to March 2004. Shaded area indicates mature eggs (over 0.75mm in diameter).

の太い棍棒状で不透明であるが、1 mmを超えると半透明の長楕円球に紐状の付着器が付く形状のものが現れ、産卵時<sup>13)</sup>と同様の形態となる。そこで、この様な形態のものを完熟卵と判断した。完熟卵はそれ以前の卵母細胞とは明瞭に形態が異なり、肉眼で容易に識別可能であった。

マダコの最大卵径とGSIの関係をFig.3に示した。最大卵径が概ね0.75mmを超えるとGSIが急増し、GSIが5%を超える個体が多く出現した。なお、完熟卵を持つ個体の最大卵径は1.00~1.23mmの範囲であった。

最大卵径が0.75mmを超える個体は5月下旬~8月下旬、翌年1月下旬、3月下旬に出現した(Fig.4)。また完熟卵を持つ個体の出現は8月下旬に限られた。

最大卵径が0.75mmを超えていた個体は幅広い体重

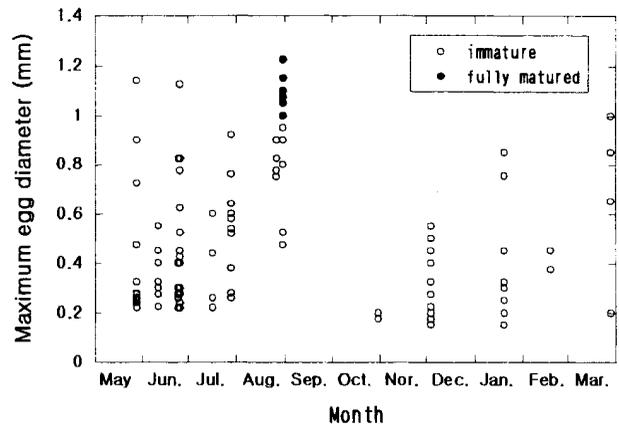


Fig.4. Seasonal fluctuation of maximum egg diameter of *O. vulgaris* collected in northern Iyo-Nada from May 2003 to March 2004.

範囲で出現し、その最小サイズは体重283gであった(Fig.5)。

性比「たこつばマダコ」の観察性比(メスの割合)は38.1~68.4%の範囲を推移した(Fig.6)。「たこつばマダコ」の性比について採集日ごとに二項検定を行ったところ、全ての採集日について95%水準でメス=50%の帰無仮説は棄却されなかった。一方、「雑魚かごマダコ」の観察性比は0~29.4%の範囲で推移し、採集日ごとに二項検定を行ったところ、3月29日を除いて95%水準で有意に性比がオスに偏っていた。さらに9月25日の「雑魚かごマダコ」のサンプルでは観察性比がメス0%、95%信頼上限でメス9.5%と極端に性比がオスに偏っていた。なお、全サンプルのメス比率は「た

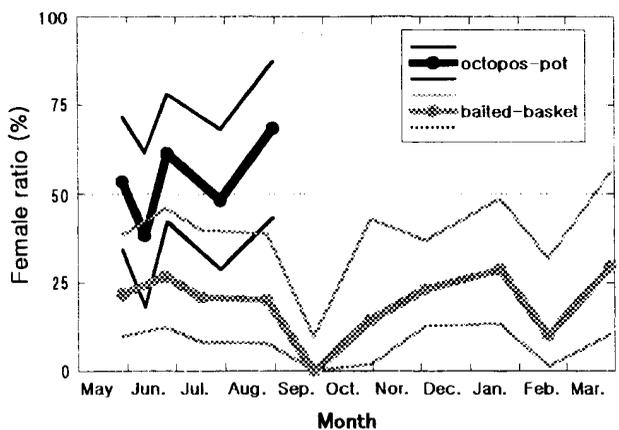


Fig.6. Seasonal fluctuation of female ratio of *O. vulgaris* collected in northern Iyo-Nada from May 2003 to March 2004. For catching *O. vulgaris*, octopus-pots and baited-baskets were used by Heigun and Agenoshou fishermen's cooperative association, respectively. Thick and thin lines indicate observed ratios and 95% confidence limit, respectively.

Table 1. Body composition of *O. vulgaris* collected in the northern Iyo-Nada from May 2003 to March 2004

Catch date	Fishing gear	Female ratio (%)	Average body weight (g)	Body composition (%)				
				Protein	Lipid	Carbohydrate	Ash	Water
29-May-03	octopos-pot*	20	538	13.8	0.5	0.7	2.9	82.1
29-May-03	baited-basket*	20	757	13.7	0.4	1.0	2.6	82.3
12-Jun-03	octopos-pot	40	606	14.7	0.4	0.5	1.7	82.7
25-Jun-03	baited-basket	40	612	14.7	0.5	0.6	1.7	82.5
26-Jun-03	octopos-pot	40	715	12.1	0.4	0.4	1.5	85.6
17-Jul-03	baited-basket	0	930	14.4	0.3	0.1	1.8	83.4
29-Jul-03	octopos-pot	60	1,067	15.5	0.5	0.9	1.7	81.4
27-Aug-03	baited-basket	0	883	13.9	0.4	0.1	1.8	83.8
31-Aug-03	octopos-pot (medium)	100	675	14.5	0.4	0.0	1.7	83.4
31-Aug-03	octopos-pot (large)	80	1,441	11.0	0.3	0.3	1.9	86.5
25-Sep-03	baited-basket	0	791	10.1	0.2	0.5	1.8	87.4
31-Oct-03	baited-basket	0	457	15.3	0.5	0.5	1.8	81.9
4-Dec-03	baited-basket	0	840	14.0	0.6	0.7	2.0	82.7
20-Jan-04	baited-basket	0	774	13.6	0.5	0.3	2.1	83.5
19-Feb-04	baited-basket	0	756	13.3	0.7	0.6	2.3	83.1
29-Mar-04	baited-basket	0	729	12.8	0.6	0.8	2.2	83.6
Average		25.0	785.6	13.6	0.5	0.5	2.0	83.5

\*Body compositions were determined after removing the slime on the body with salt. The other samples were cleaned with paper.

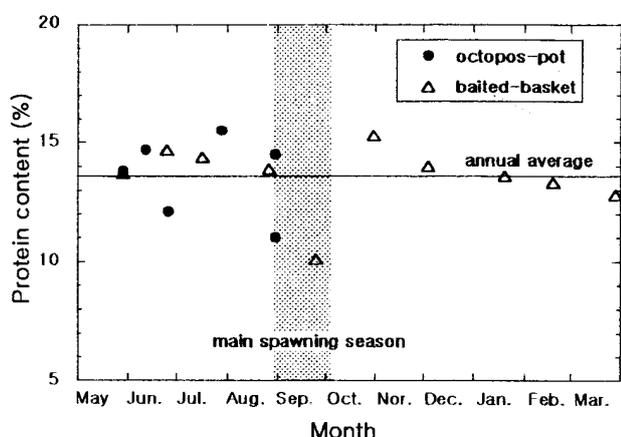


Fig.7. Seasonal fluctuation of protein content of *O. vulgaris* collected in the northern Iyo-Nada from May 2003 to March 2004. Body compositions were analyzed after removing the slime on the body with salt samples in the May. The other samples were cleaned with paper.

こつばマダコ」で53.9%、「雑魚かごマダコ」で19.4%であった。

「たこつばマダコ」5月29日と「雑魚かごマダコ」5月29日、「たこつばマダコ」6月26日と「雑魚かごマダコ」6月25日、「たこつばマダコ」7月29日と「雑魚かごマダコ」7月17日、「たこつばマダコ」8月31日と「雑魚かごマダコ」8月27日の組み合わせそれぞれについて $\chi^2$ 適合度検定を行ったところ、全ての組み合わせについて性比の違いは有意であると判定された( $p=0.03\sim 0.0007$ )。

体成分 一般成分分析の結果をTable 1に示した。マダコの体成分の年間平均値は、粗タンパク13.6%、粗脂肪0.5%、炭水化物0.5%、粗灰分2.0%、水分83.5%であった (Table 1)。

マダコの粗タンパク含量は、8月31日の「たこつばマダコ」大サイズ (11.0%)、9月25日の「雑魚かごマダコ」 (10.1%) を除いて12.1~15.5%の範囲で推移し、あまり変化がなかった (Fig.7)。

資源変動 山口内海の「たこ類」漁獲量は533~2,605tと変動が大きく、1960~1964年、1975~1978年、1990年、1994~1999年にかけて漁獲量の山が認められた (Fig.8)。「たこつば」漁業CPUEについても「たこ類」漁獲量と同様に14.2~32.9kg/隻/日と変動が大きく、1975~1978年、1994~1999年、2002年に山が認められた。

再生産関係 愛媛県伊予灘海域におけるマダコの寿命は10~16ヶ月で、主群の寿命は12ヶ月前後<sup>3)</sup>と推定されている。すなわち、ある年の「たこつば」漁業CPUEはマダコ親世代資源量の指標、翌年の「たこつば」漁業CPUEは子世代資源量の指標になると考えることができる。このことを利用して山口県内海におけるマダコの再生産関係について検討した (Fig.9)。再生産モデルとしてBeverton-Holtモデルを用い、変数変換による直線回帰法<sup>14)</sup>によってデータに当てはめ、

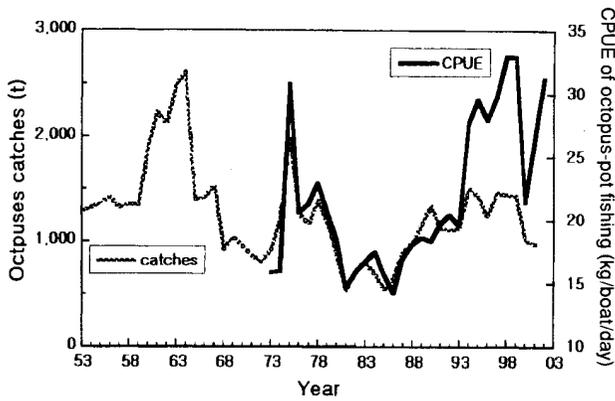


Fig.8. Changes in octopuses catches and CPUE of octopus-pot fishing in the Seto Inland Sea region of Yamaguchi Prefecture from 1953 to 2002. Octopuses catches include not only *O. vulgaris* but also other species.

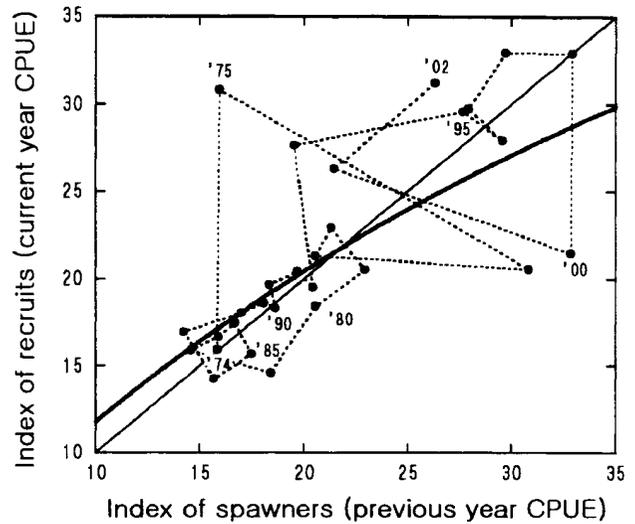


Fig.9. Reproductive relationship of *O. vulgaris* in the Seto Inland Sea region of Yamaguchi Prefecture from 1974 to 2002. Beverton-Holt model is applied for curve fitting. Rectangle line is  $y = x$  formula.

Table 2. Correlation coefficients between CPUE of octopus-pot fishing and environmental and reproductive factors

Factors	Period of data	Correlation coefficient
Bottom water temperature	previous summer	0.414*
	previous autumn	0.475*
	current winter	0.500**
	current spring	0.297
	current summer	0.564**
	current year	0.763***
Bottom water salinity	previous summer	0.082
	previous autumn	0.054
	current winter	-0.016
	current spring	0.056
	current summer	0.177
	current year	0.763***
Rainfall	previous summer	-0.091
	previous autumn	0.168
	current winter	-0.197
	current spring	-0.026
	current summer	-0.149
	current year	0.763***
Harmful red tides	current year	-0.384*
CPUE of octopus-pot fishing	previous year	0.757***
Estimated CPUE from reproductive curve	current year	0.763***

\* $p < 0.05$ , \*\* $p < 0.01$ , \*\*\* $p < 0.001$ , the number of data sets is 27.

下記の再生産関係式を得た。

$$R = 1.4 / (1.8 \times 10^{-2} + 1/P)$$

ここでRは当年「たこつば」漁業CPUE (kg/隻/日)、Pは前年「たこつば」漁業CPUE (kg/隻/日)を示す。

資源変動要因の重回帰分析 「たこつば」漁業CPUEを目的変数とした重回帰分析に用いる説明変数を絞り込むために、周防灘の季節別平均底層水温・塩分、山口内海の有害赤潮発生件数、気象庁山口測候所の季節別合計降水量、前年CPUE、再生産関係式による予測CPUE (1975~2002年データを用いた

Beverton-Holtモデル)、以上合計18変数と、当年の「たこつば」漁業CPUEとの間で単相関分析を行い、7変数について有意な相関関係が得られた (Table 2)。

続いて、上記で得られた7変数から多重共線性が認められた変数を除外し、前年夏期水温・当年冬期水温・当年夏期水温・再生産関係式による予測CPUE・当年有害赤潮件数の5変数を得た。

さらに、前述の5変数に加えて当年および前年の暴風記録の有無をダミー変数 (01データ)として追加した。この7変数についてAICを規準とした変数減少法による変数選択を行い、以下の重回帰式が得られた。

$$R = 0.80 [1.2 / (7.0 \times 10^{-3} + 1/P)] + 1.3Tw$$

$$+1.3T_s - 0.42B - 6.5W - 33.1$$

$$\text{自由度調整済決定係数: } R^2 = 0.78$$

$$\text{回帰の分散分析結果: } p = 3.5 \times 10^{-7}$$

ここでRは当年「たこつぼ」漁業CPUE (kg/隻/日)、Pは前年「たこつぼ」漁業CPUE (kg/隻/日)、 $T_w$ は当年冬期水温 (°C)、 $T_s$ は当年夏期水温 (°C)、Bは当年有害赤潮件数、Wは前年暴風記録の有無を表す。なお、[ ]内は再生産関係によるCPUE予測式<sup>\*2</sup>となっている。

各説明変数の標準偏回帰係数は、再生産関係による予測CPUE:0.68, 前年暴風記録:-0.29, 当年有害赤潮件数:-0.25, 当年冬期水温:0.19, 当年夏期水温:0.16であった。

### 考 察

**体重組成** 今回の調査では、1kgを超える大型の個体が少なかった (Fig.2)。これは無作為にサンプルを抽出することを優先したため、出現頻度の低い大型の個体がサンプルに入らなかったためと考えられる。しかし、無作為な抽出を行ったことで、秋～冬にかけて、採捕禁止サイズである500gまたは400g以下の小型個体が多く混獲されていることが確認できた。

マダコの成長については、1回に測定した個体数が30前後と少なかったことに加え、大型の個体をほとんど得ることが出来なかったため、明らかに出来なかった。しかし、モードの推移を比較的追跡しやすかった「たこつぼマダコ」の体重組成を見ると (Fig.2)、5月29日に約350gであったモードが、6月12日には約500g、6月26日には約600g、7月27日には約800gと推移し、大変早い成長をしていることがうかがわれた。

**性比** 「たこつぼマダコ」漁獲物のメスの割合は50%から外れなかったが、「雑魚かごマダコ」では3月を除いて全てのサンプルの性比がオスに偏っていた (Fig.6)。さらに $\chi^2$ 適合度検定によって月ごとの性比の差が有意であることが確認された事から、この2つの漁法の間で漁獲されるマダコの性比は異なると考えられる。

過去のマダコ性比に関する報告によると、兵庫県播磨灘<sup>7)</sup>では、「小型底びき網」漁獲物のメスの割合はサイズが大きくなるほど低下し、500g未満:44.7%, 500-999g:39.0%, 1kg以上:23.1%であったとしている。

また、愛媛県伊予灘<sup>3)</sup>でも、「小型底びき網」で500g未満:49.6%, 500-999g:44.2%, 1kg以上で34.2%, 「たこつぼ」で500g未満:48.5%, 500-999g:38.9%, 1kg以上で29.5%であったと報告している。

今回の調査におけるサイズ別のメスの割合は、「雑魚かごマダコ」で500g未満:25.0%, 500-999g:14.2%, 1kg以上:20.0%, 「たこつぼマダコ」で500g未満:54.4%, 500-999g:50.8%, 1kg以上:63.6%であった。今回の調査では1kg以上の個体数が少なかったが、兵庫県播磨灘や愛媛県伊予灘のようにサイズで性比が異なるというより、漁法による違いの方が明瞭であった。

マダコのメスは産卵床で卵を保護することから、「小型底びき網」や「雑魚かご」で性比がオスに偏る、あるいは、大型個体ほどオスに偏るといった現象は、産卵を控えたメスが産卵床に籠もって漁獲されにくくなるという説明で理解できる。しかし、愛媛県伊予灘での報告と本報告との間で、「たこつぼ」で漁獲されるマダコの性比について相反した結果が出たことは興味深い。愛媛県伊予灘の「たこつぼ」も平郡と同様の餌を使わないタイプ (坂口私信) であり、相反した結果の原因については不明である。

主産卵期の9月において「雑魚かごマダコ」のメス比率95%信頼上限はわずか9.5%であり、メスが「雑魚かご」で漁獲される可能性はほとんど無いと考えられる。マダコの再生産を確保するために主産卵期の9月を禁漁とした場合、「雑魚かご」禁漁による産卵親の保護効果は「たこつぼ」禁漁に比べて非常に薄いものと考え得る。しかし、ハナサキガニのようにメスだけを保護したのでは資源回復につながらず、オスの保護も重要であるとの指摘がされている事例<sup>15)</sup>もあり、オスの漁獲に関する評価は難しい。但し、今回の結果では、9月25日に漁獲されたオスのマダコは粗タンパク含量が顕著に低下しており (Table.1), 死期が近いものと考えられた。

坂口<sup>5)</sup>は輸卵管内の精子の有無からマダコの交接開始時期を調べ、主に性成熟の1～3ヶ月前から交接が始まっていることを明らかにした。しかし、交接が行われる回数や期間、交接によって得た精子が受精する時期などは明らかになっておらず、オスの漁獲が資源に与える影響を評価するためには、マダコの配偶システムの詳細が明らかにされる必要がある。

\* 2 重回帰分析に用いたデータ期間 (1975～2002年) のデータから算出したBeverton-Holtモデル再生産関係式であり、再生産関係の節で示したものは別の式。

成熟 卵径とGSIの関係から、卵径0.75mmを超えた個体はGSIが急上昇することが窺われ、産卵が近い成熟個体であると考えた。仮に卵径0.75mmを超えた個体は1ヶ月以内に産卵すると考えると、産卵活動は2月～10月にかけて行われると推定できる (Fig.4)。

8月下旬のメスのうち卵径0.75mm以上の卵を持つ個体が86.7%、完熟卵を持つ個体が40%に達したこと、完熟卵を持った個体は他の時期に確認されなかったこと、この海域のマダコ漁獲量のピークは夏季であることからマダコの主産卵期は9月である考えられる。平郡では9月を「たこつぼ」の禁漁にしており、この海域のマダコ産卵期の実態に適合した資源管理であると言える。

なお、今回推定した産卵期は、9月前後の大規模な産卵と冬季から夏季にかけての小規模な産卵があるという基本的な構造において、瀬戸内海における過去の知見<sup>1,3,5,7-10)</sup>と概ね合致するものであった。

今回、成熟と判定されたメスの最小個体は、6月下旬の「たこつぼ」で漁獲された体重283gの個体であった (Fig.5)。坂口ら<sup>5)</sup>はメスの成熟開始サイズは発生群によって異なり、発生群ごとの平均値で470～2000gであるとしているが、体重230gの個体が水槽内で産卵したことも報告している。体重200g以上のマダコの成熟・未熟の区別を体サイズによって判定するのは困難であると言える。

体成分 (旬) 今回の調査では5月のマダコのみ塩もみでぬめりを除去したが、その後は塩もみが体成分に与える影響を考慮してペーパータオルでぬめりを除去した後に体成分測定試料を調整した。一般成分分析の結果から、塩もみを行った試料ではその他の試料と比較して灰分がやや高く、水分が若干低くなったように見受けられた (Table 1)。しかし、その他の成分の測定値は塩もみを行わなかった試料と同傾向であり、灰分・水分以外の体成分については塩もみの影響を無視できると考えた。

魚類では一般に脂質含量が高い時期が旬であるとされるが、マダコはほとんど脂質を含まないため、脂質含量を旬の指標として使えない。季節変動を示した体成分はタンパク質と水分であったが、両者には強い負の相関関係があった ( $r = -0.92$ ,  $p = 3.1 \times 10^{-7}$ )、つまりタンパク質含量が下がると水分が増えて水っぽくなるであろうから、タンパク質含量はマダコの味の目安に

なりうると考えた。主産卵期の8月31日、9月25日のサンプルでタンパク含量が低かったことは、産卵活動に伴う疲弊が起こったことを示している (Fig.7)。さらに、メスは産卵後、オスもほぼ同時期に死ぬとされており<sup>3)</sup>、タンパク含量が極端に低いマダコは死亡間際であると考えることが出来る。味の落ちた個体が大部分をしめる9月のマダコは、ブランド化の観点から考えると出荷すべきでないだろう。

資源変動 「たこつぼ」ではマダコ以外の漁獲はほとんど考えにくく、「たこつぼ」漁業CPUEはマダコ資源量の良い指標になると考えられる。一方、山口内海の「たこ類」漁獲量と、「たこつぼ」漁業CPUEの変動はよく一致しており (Fig.8)、山口内海の「たこ類」の大部分はマダコであると推察することが出来る。このことから、「たこつぼ」漁業CPUEデータが農林水産統計年報に記載され始める以前の「たこ類」漁獲量も概ねマダコの資源変動に対応していると言えるだろう。

しかし、1994年以降の「たこつぼ」漁業CPUEはかなり高水準にあるのに対し、「たこ類」漁獲量はそれほど伸びなかった。近年の山口内海における「小型底びき網」漁業者の高齢化は著しく、1991年に13.8万日であった山口内海の「小型底びき網」出漁のべ日数は、2002年には8.6万日と4割近くも減少している\*3。これに伴い、1991年の山口内海「たこ類」漁獲量1,128tのうち48%であった「小型底びき網」の漁獲シェアは、2002年には1,100t中27%と大きく落ち込んだ\*3。このことから、「小型底びき網」努力量の減少が、1994年以降の「たこ類」漁獲量と「たこつぼ漁業」CPUEのミスマッチをもたらしたと結論できる。

資源変動要因の推定 選択された重回帰モデルに用いた環境要因と「たこつぼ」漁業CPUEの推移をFig.10に、重回帰式による推定CPUEと実績CPUEの比較をFig.11に示した。

推定CPUEと実績CPUEはよく一致しており (Fig.11)、回帰の分散分析結果が有意であったこと、自由度調整済決定係数が0.78と高かったことから、この重回帰分析に用いた説明変数でマダコCPUEの変動のかなりの部分が説明可能であると言える。また標準偏回帰係数の絶対値の比較から、「たこつぼ漁業」CPUEに与える影響の大きさは、前年CPUE (↑) > 暴風 (↓) >

\* 3 山口県農林水産統計年報のデータによる。

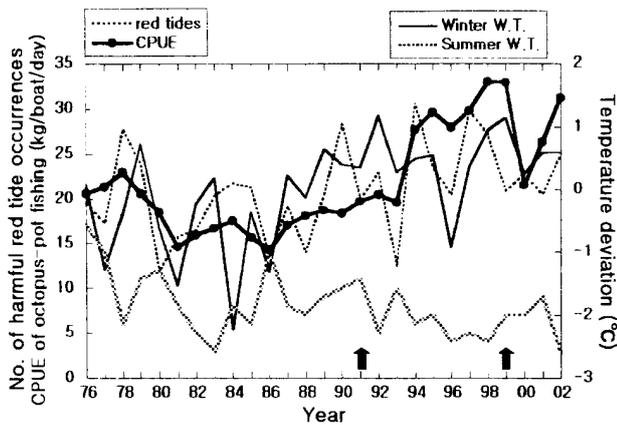


Fig.10. Changes in CPUE of octopus-pot fishing and environmental factors in the Seto Inland Sea region of Yamaguchi Prefecture from 1976 to 2002. Arrows indicate direct hits of extreme typhoons ( maximum instantaneous wind velocity was over 40m/sec at Yamaguchi weather station).

有害赤潮発生件数 (↓) > 冬期水温 (↑) > 夏期水温 (↑) の順であると判定された (↑はCPUEを増やす, ↓はCPUEを減らす要因を表す)。

前年CPUEの影響が最も大きいことは、産卵親量を増やす事が出来ればマダコ資源を増やせる可能性が高いことを示している。産卵親を確保するためには、産卵期前の親を取り残す、あるいは産卵場所を造成するといった方策が考えられる。今回得られた再生産関係式 (Fig.9) を利用すれば、産卵親量の増加率に対する子世代資源水準の増加率を推定することは可能である。しかし、現状では山口内海全体のマダコ漁獲量・資源量が不明であるため、目標の子世代資源水準増加率を得るための施策規模を決めることは出来ない。この点を明らかにするためには、山口内海のマダコ漁獲量・資源量を明らかにする必要がある。

今回、暴風の記録があるとマダコ資源に悪影響をあたえる事が示唆された。清水<sup>16)</sup>は、東京湾で卵の産み付けられたタコツボと親ダコを共に漁港内に移して観察したところ、10個中5個が台風の影響によって砂に埋もれて死亡したと報告している (孵化に成功したのは3個)。本研究で重回帰分析に用いた暴風記録は1991年の台風19号、1999年の台風18号によるもので、ともに9月下旬の記録であった。産卵保護中に大きな台風が通過すると、マダコの孵化に大きな影響を与える可能性が高いと考えられる。

また、有害赤潮もマダコ資源に負の影響を与えることが示唆され、赤潮対策の重要性が再確認された。今回は有害赤潮発生件数を説明変数としたが、赤潮1件

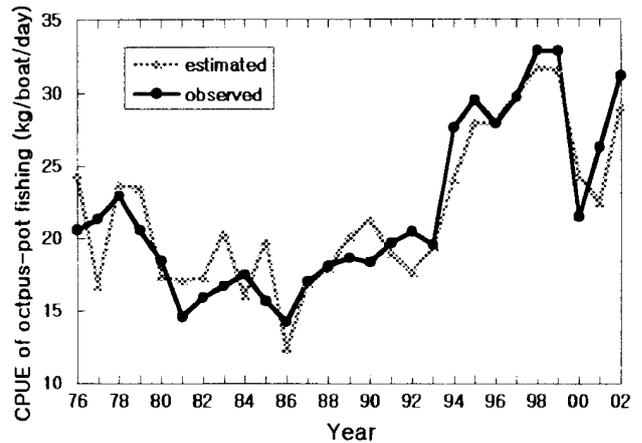


Fig.11. Comparison between observed CPUE and estimated CPUE using the selected multi-regression model.

ごとの規模は大小様々であり、赤潮の広がりや継続期間を量的に表すデータを得ることが出来れば、資源に与える影響はさらに明確になるかも知れない。

高水温がマダコにとって好適であることは、常磐海域で冬期にマダコが南下移動する<sup>17)</sup>ことや、1963年の大寒波が大阪湾・播磨灘のマダコに大きな被害を与えた<sup>6)</sup>ことから支持される。1972年以降の30年間の調査によって周防灘の水温の上昇傾向を明らかにした和西<sup>18)</sup>をはじめ、近年、地球温暖化に関する多くの報告が発表されている。温暖化が生物資源に与える影響については悲観的な意見が多いが、瀬戸内海のマダコについては今のところ温暖化が有利に働いていると考えられることが出来るだろう。

久保<sup>19)</sup>は、「たこ類」漁獲量と降水量・気温との間で単相関分析を行い、広島県・香川県の「たこ類」漁獲量と前年秋期降水量との間に強い負の相関が認められたことを報告した。また、白木<sup>20)</sup>は浮遊期の飼育マダコを用いた実験で、塩分33の条件と比べると塩分32というわずかな塩分低下であっても仔ダコの遊泳行動に影響が出たと報告している。今回の解析では降水量・塩分と「たこつぼ漁業」CPUEの間には有意な相関は認められなかった (Table.2)。今回分析に用いた周防灘19定点の夏期底層塩分の各年平均値は31.6~32.7 (全データ平均値32.5)、秋期では31.5~33.6 (同32.6)であり、周防灘の塩分は元々低めである。しかし、夏期底層で30以下の塩分が観測されたのは全1,887データ中わずか25回であり、他の季節では塩分30以下の観測記録は皆無であった。天然環境における仔ダコの生育不適塩分は不明であるが、ごく沿岸の浅場を除いて、仔ダコの生残に影響を与えるほど塩分が低下することは希なのであろう。

## 謝 辞

サンプルの入手に際して大変お世話になった、平郡漁業協同組合・安下庄漁業協同組合・山口県漁業協同組合連合会柳井支部の皆様にご心から感謝します。

有益な情報を頂いた愛媛県中予水産試験場の坂口秀雄博士、山口県柳井水産事務所の田中全氏に深く感謝します。

## 要 約

2003年5月から2004年3月にかけて山口県伊予灘海域の平郡（たこつぼ）および安下庄（雑かご）漁業協同組合で漁獲されたマダコを調査した。生殖腺の調査からマダコの産卵期は2～10月、主産卵期は9月であると推定された。「たこつぼ」漁獲物の性比に偏りは認められなかったが、「雑魚かご」漁獲物の性比は3月のサンプルを除いて常にオスに偏っていた。特に9月ではメスが全く確認されず、「雑魚かご」でメスが漁獲される可能性はほとんど無いと考えられた。マダコ可食部の粗タンパク含量は9月には顕著に低下し、産卵活動による疲弊と味の低下が窺われた。

山口県瀬戸内海域全体の資源動向と環境要因の関係を重回帰分析で検討した。その結果、マダコの資源水準は、前年の資源水準ならびに冬期・夏期の海水温が高いと増加し、猛烈的な台風の襲来と有害赤潮の発生によって低下することが示唆された。

## 文 献

- 1) 坂口秀雄・浜野龍夫・中園明信 (1999) : 伊予灘東部海域におけるマダコ浮遊期稚仔の出現状況. 水産海洋研究, **63** (4) 181-187.
- 2) 坂口秀雄・浜野龍夫・中園明信 (1999) : マダコ卵のふ化日数と水温の関係. 水産海洋研究, **63** (4) 188-191.
- 3) 坂口秀雄・浜野龍夫・中園明信 (2000) : 水揚げ組成からみたマダコの個体群構造. 水産海洋研究, **64** (4) 224-234.
- 4) Sakaguchi, H., T. Hamano and A. Nakazono (2002) : Growth of *Octopus vulgaris* in the Northeastern Iyo-Nada of the Seto Inland Sea, Japan. *Bull. Jpn. Soc. Fish. Oceanogr.*, **66** (1) 11

- 15.

- 5) 坂口秀雄・荒木 昌・中園明信 (2003) : 伊予灘北東海域におけるマダコの性成熟. 水産海洋研究, **67** (4) 254-260.
- 6) 伊丹宏三 (1964) : マダコの標識とその放流結果について. 水産増殖, **12** (2) 119-125.
- 7) 兵庫県 (1984) : 12明淡地区. 47pp, 大規模増殖場造成事業調査総合報告書, 58年度版, 水産庁.
- 8) 武田雷介 (1990) : 播磨灘におけるマダコ浮遊期稚仔の分布. 水産増殖, **38** (2) 183-190.
- 9) 篠原基之 (2000) : 備讃瀬戸中央部におけるマダコの産卵期. 岡山水試研報, **15**, 4-9.
- 10) 前川謙佑 (1961) : 瀬戸内海, 特に山口県沿海における漁業の調整管理と資源培養に関する研究. 山口内海水試調研業績, **11** (1) 1-483.
- 11) 吉中禮二・佐藤 守 (1989) : 水産化学実験法. 恒星社厚生閣, 東京, pp136.
- 12) 馬場俊典・和西昭仁・岡田知久 (2003) : 2002年の赤潮発生状況. 平成14年度山口県水産研究センター事業報告, 279-285.
- 13) 井上喜平治 (1969) : タコの増殖. 水産増殖叢書 **20**, 日本水産資源保護協会, 東京, 50pp.
- 14) 能勢幸男・石井丈夫・清水 誠 (1988) : 水産資源学. 東京大学出版会, 東京, 217pp.
- 15) 佐藤 琢 (2005) : ハナサキガニの繁殖生態と資源管理. ベントスと漁業 (林勇夫・中尾繁編), 恒星社厚生閣, 東京, pp126-136.
- 16) 清水詢道 (1984) : 東京湾のマダコ資源の研究 - II 走水地先の資源量の推定. 神水試研報, **6**, 43-49.
- 17) 秋元義正 (1980) : マダコの生態 - II 漁獲の大きさと産卵. 福島水試研報, **6**, 21-29.
- 18) 和西昭仁 (2004) : 山口県周防灘海域における最近30年間の水温変動. 山口県水産研究センター研究報告, **2**, 1-6.
- 19) 久保伊津男 (1935) : 瀬戸内海に於ける蛸の漁獲高と降水量及び気温との関係に就いて. 日水誌, **4** (4) 253-258.
- 20) 白木美聡 (2001) : マダコ (1) 屋島事業場. 平成11年度日裁協事業年報, 225-229.

# 日本海南西部山口県沖におけるアカアマダイの 資源管理に関する研究 - I 山口県におけるあまだい漁業の実態

河野光久・天野千絵

## Study on Management of Red Tilefish, *Branchiostegus japonicus*, in Waters off Yamaguchi Prefecture, southwestern Sea of Japan- I Tilefish Fishery Condition in Yamaguchi Prefecture

Mitsuhisa KAWANO and Chie AMANO

In order to collect basic information for evaluation of red tilefish resource in waters off Yamaguchi Prefecture, southwestern Sea of Japan, we studied the tilefish fishery condition in the prefecture. Total catch of the fish was 318 tons in 2003 and its 84% was occupied by catches with longlines and anglings. The main fishing period of the fish by longline fishery was in May-July and September. The fishing grounds were formed on fine sand bottom at 100-130 m depth. Composition of total length of the fish in this area was larger than that in the East China Sea, suggesting that condition of the resource in this area is not worse than that in the East China Sea.

山口県におけるあまだい類の漁獲量は、1956年までは沿岸域での漁獲が主体で、年間500トン前後で推移していたが、1957年頃から延縄漁船の東シナ海への出漁が次第に盛んになり、1970年には最高の12,460トン<sup>1)</sup>を記録した。しかし、その後乱獲により1980年代には6,000トン前後まで落ち込んだ<sup>1)</sup>。さらに、1991年に東シナ海で本県漁船に対する襲撃事件が起きてからは東シナ海への出漁船が急激に減少し、2000年に新日中漁業協定が発効してからは、ついに東シナ海への出漁船は皆無となった。このため山口県におけるあまだい類漁獲量は2002年には467トンにまで減少した<sup>2)</sup>。東シナ海から撤退した延縄漁船は、一部廃業や漁船の小型化、いか釣り漁業への転業が見られたものの、多くが日本海南西部山口県沖に戻って操業することとなった。このような情勢からみて、山口県沖におけるあまだい類に対する漁獲強度は高まっていると考えられ、今後の資源動向が危惧される。

本研究は、あまだい類の資源診断と管理手法の提示を最終目標としており、本報ではまず資源診断の基礎となる山口県沖におけるあまだい漁業の実態を明らか

にした。

### 材料および方法

漁獲量および漁獲努力量 漁獲量および漁獲努力量を明らかにするため、山口県日本海側の主要市場である山口はぎ水産物地方卸売市場（以後、山口はぎ市場という。）、山口ながと漁業協同組合仙崎地方卸売市場、豊北町水産物地方卸売市場および下関漁港地方卸売市場（Fig.1）における2003年の漁業種類別水揚量、水揚隻日数を山口県水産部の海鳴りネットワークのデータベースから集計した。また、水揚量を水揚隻日数で除したものをCPUE（1日1隻当たり水揚量）とし、漁業種類別にCPUEの経月変化を調べた。なお、山口県内の市場に水揚げされるあまだい類の内、シロアマダイは稀にしか見られず、99.9%以上がアカアマダイで占められるので、本研究では水揚量のすべてをアカアマダイと見なした。

漁場 アカアマダイの漁場を明らかにするために、2003年4月～2004年3月まで山口はぎ漁業協同組合

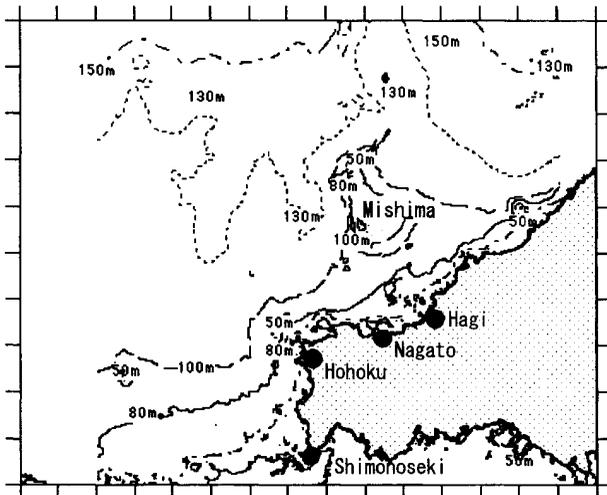


Fig.1. Map showing the depth contour and sites of major fish markets in Yamaguchi Prefecture.

の釣り（立縄）漁船1隻（A船：漁船規模10トン未満）および延縄漁船4隻（B船・E船：漁船規模10トン未満，C船・D船：漁船規模10トン以上）に操業位置およびアカアマダイの銘柄別（大：全長40cm以上，中：全長30～40cm，小：全長20～30cm，豆：全長20cm未満）漁獲量を日誌に記帳してもらい，その日誌を基に季節別（3～5月，6～8月，9～11月，12～2月），銘柄別，漁船別の漁場を調べた。

**漁獲物の全長組成** 2003年4月～2004年3月の毎月1回，山口はぎ市場に水揚げされたアカアマダイについて，箱毎に15cm物差しと一緒にデジタルカメラ（Nikon社製COOLPIX990）で写真撮影した後，画像処理ソフト（Media Cybernetics, L.P.社Image-Pro-Plus Version4.0 for Windows）を用いて全長を計測した。得られた全長データを基に漁業種類別（延縄，釣り，その他漁業）季節別の全長頻度分布図を作成した。

### 結果

**漁獲量，漁期および漁獲努力量** 2003年に山口県日本海側主要4市場に水揚げされたアカアマダイは318.3トンで，このうち延縄が198.1トン（62.2%），釣りが68.7トン（21.6%），小型底曳網1種が14.6トン（4.6%）を占めた（Table1）。

月別水揚量から盛漁期を見ると，盛漁期は延縄では5～7月および9月，釣りでは1～5月，小型底曳網1種では9～11月にあり，漁業種類毎にかなり異なっていた（Table1）。

水揚隻日数は延縄が4279，釣りが4442，小型底曳網

Table1. Monthly catch of red tilefish, number of operated fishing boats and CPUE in waters off Yamaguchi Prefecture, southwestern Sea of Japan in 2003 based on the catch statistics at the four fish markets shown in Fig.1.

Fisheries	Month												Total	%	
	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.			
Long line	C	14.7	16.8	10.1	13.2	25.5	29.0	20.4	14.9	21.0	13.6	11.4	7.5	198.1	62.2
	N	224	352	274	375	531	588	361	388	380	345	285	216	4279	
	CPUE	65.6	47.7	36.9	35.2	48.0	51.1	56.5	40.5	55.3	39.4	40.0	34.7	46.3	
Angling	C	8.5	11.4	14.1	8.1	11.5	4.6	1.3	3.4	1.1	1.9	1.2	1.6	68.7	21.6
	N	421	676	646	487	759	389	126	389	106	126	139	178	4442	
	CPUE	20.2	16.9	21.8	16.8	15.2	11.8	10.3	8.7	10.4	15.1	8.6	9.0	15.5	
Small trawl	C	0.1	0.3	0.1	0.4	1.0	0.0	0.0	1.4	3.5	3.8	2.9	1.1	14.6	4.6
	N	24	52	17	76	117	0	0	99	183	155	139	123	985	
	CPUE	4.2	5.8	5.9	5.3	8.5	0	0	14.1	18.1	24.5	20.9	8.9	14.8	
Others	C	2.2	4.9	5.6	3.5	4.9	1.3	0.7	2.2	3.0	4.4	0.6	3.8	36.9	11.6
	N	114	252	222	250	283	83	56	209	285	247	215	185	2401	
	CPUE	19.3	19.4	25.2	14.0	17.3	15.7	12.5	10.5	10.5	17.8	2.8	19.5	15.4	
Total	C	25.5	33.3	29.8	25.3	43.0	34.9	22.5	21.8	28.7	23.7	16.1	13.8	318.4	100.0
	N	783	1332	1159	1188	1690	1040	543	1065	854	873	778	702	12107	
	CPUE	32.6	25.0	25.7	21.3	25.4	33.6	41.4	29.5	30.1	27.1	20.7	19.7	26.3	

C: catch (tons); N: number of operated fishing boats (boat-day); CPUE: C/N (kg/boat-day).

1種が985，その他の漁業が2401で，各漁業種類とも盛漁期に多い傾向が窺えた（Table1）。

漁業種類別のCPUEを比較すると，釣り，小型底曳網1種およびその他の漁業はほぼ15kg/隻日と同じであったが，延縄はその約3倍の46.3kg/隻日であった（Table1）。CPUEも各漁業種類で盛漁期に高かった（Table1）。

**漁場** 標本船によるアカアマダイの漁場は1年を通して主に水深100～130mの海域に形成された（Fig.2）。

季節別に漁場の推移を見ると（Fig.2），4～6月には主漁場は見島の北沖から北東沖にかけて形成されたが，7～9月には見島北東沖での漁獲が減少し，見島北西沖および見島西方の東経130度10分付近の海域で増加した。10～12月には主な漁場は見島西方東経130度付近に形成された。1～3月になるとその辺りには漁場は形成されず，主な漁場は見島の南西から北沖および東経131度50分付近の島根県沖に形成された。

漁船別に年間の漁場を見ると，漁船規模が10トン未満のA船，B船およびE船ではそれぞれの漁場の中心から半径10海里以内で操業していたのに対し，漁船規

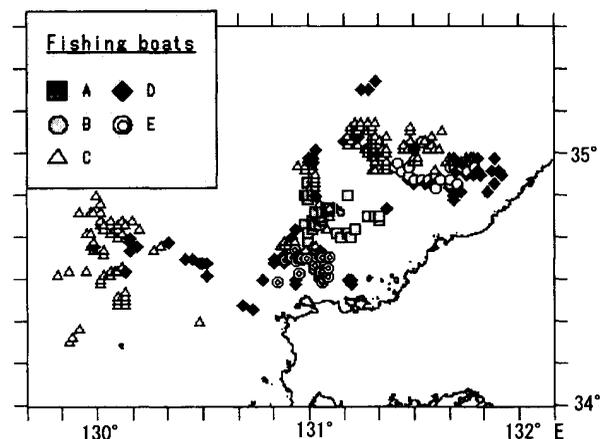


Fig.3. Distribution of fishing grounds of red tilefish by the five fishing boats shown in Fig. 2 in waters off Yamaguchi Prefecture, southwestern Sea of Japan in April 2003 to March 2004. A, B, C, D and E show different fishing boats: A, angling (<10 tons); B and E, long line (<10 tons); C and D, long line (>10 tons).

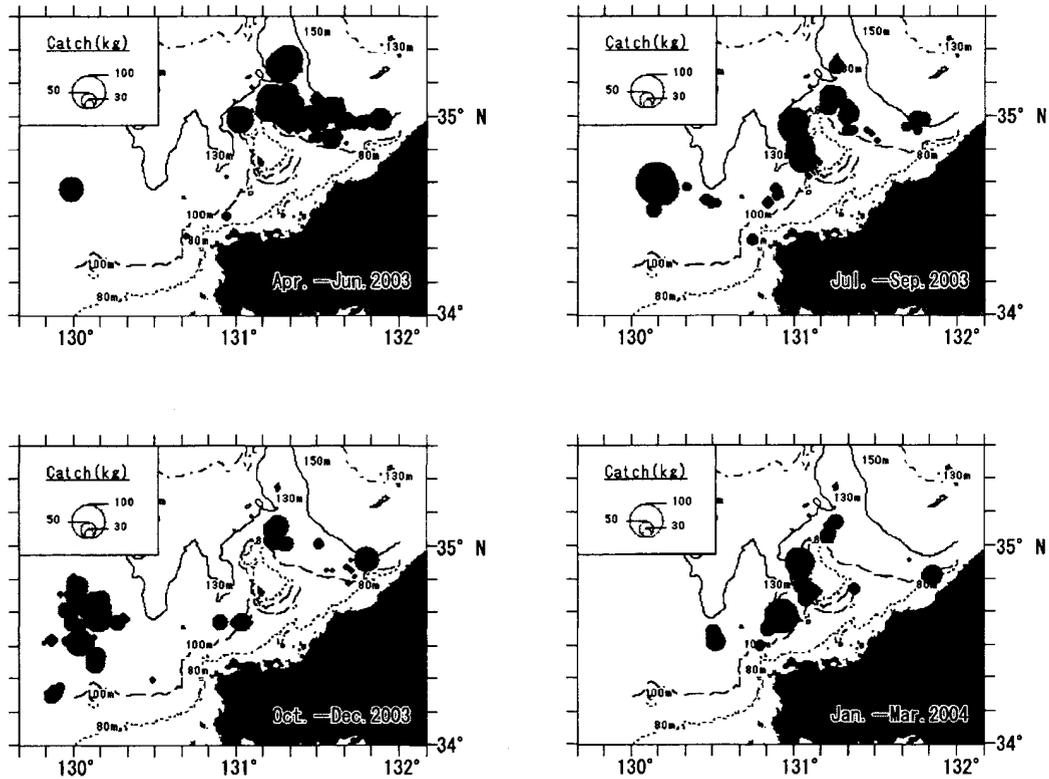


Fig.2. Seasonal distribution of catch of red tilefish by five fishing boats (four longline fishing boats and one angling fishing boat) in waters off Yamaguchi Prefecture, southwestern Sea of Japan in April 2003 to March 2004.

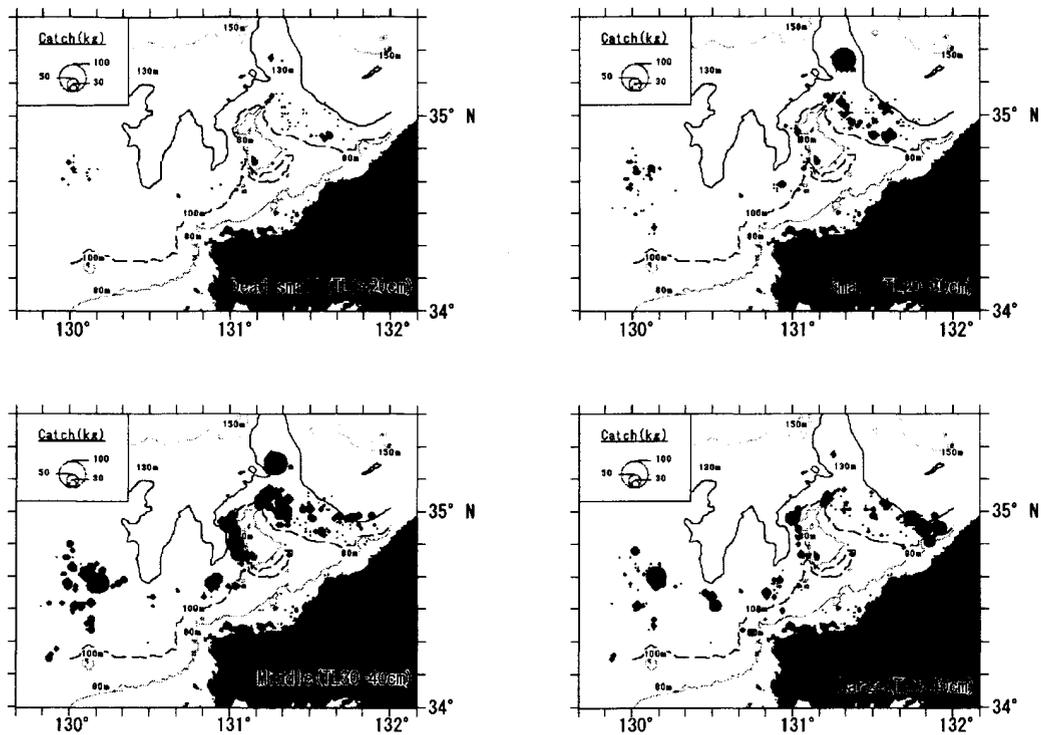


Fig.4. Distribution of catch of red tilefish by size category by the five fishing boats shown in Fig.2 in waters off Yamaguchi Prefecture, southwestern Sea of Japan in April 2003 to March 2004.

模が10トン以上のC船およびD船では、東経129度50分から132度まで広範囲に操業していた (Fig.3)。

銘柄別の漁獲量および漁場を見ると (Fig.4)、漁獲量は中、大、小、豆の順に多く、量の多寡はあるものの、漁場は銘柄間でほとんど差は無かった。

漁獲物の全長組成 漁業種類別季節別の全長組成を

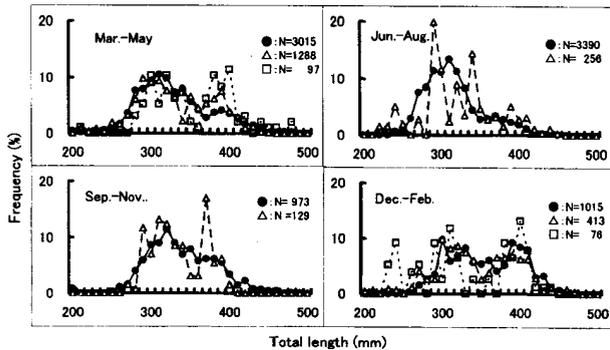


Fig.5. Frequency distributions in total length of red tilefish landed at Hagi fish market in Yamaguchi Prefecture in March 2003 to February 2004. Closed circle: catch by longline, open triangle: catch by angling, open square: catch by other fisheries.

Fig.5に示す。

各漁業種類とも漁獲されたアカアマダイの全長範囲は、期間を通してほぼ270~450mmで、主たる漁獲サイズは290~360mmであった (Fig.5)。

季節別の全長組成の特徴に注目すると (Fig.5)、6-8月および9-11月期に釣りの全長組成で290~370mmの間に3つの鋭い山が認められた。12-2月期には全漁業種類で290~360mmと同様に370~410mmの頻度もかなり高く、冬季には大型魚が漁獲されやすい傾向が窺えた。また、12-2月期にはその他の漁業で全長250~260mmの小型魚の頻度がやや高くなっているが、これは2月に小型底曳網1種により漁獲されたものである。

### 考察

日本海南西部山口県沖におけるアカアマダイの漁獲量は、そのうち約84%が延縄 (62.2%) と釣り (21.6%) によるものであった (Table1)。このため、アカアマダイを狙って操業する延縄と釣り漁業の管理をいかにするかが本種の資源管理にとって重要になる。

漁業種類別の盛漁期は、延縄では5~7月および9月、釣りでは1~5月、小型底曳網1種では9~11月と、漁業種類によって大きく異なっていた (Table1)。

これは主として各漁業の操業形態に起因していると考えられる。すなわち、延縄ではふぐ延縄との兼業する経営体が多く、10~3月はふぐ延縄に転換する漁船が増えるため、この時期のアカアマダイの漁獲量は減少するのであろう。同様に、釣りでは6月以降は、ケンサキカの盛漁期となり、いか釣りに転換する船が多いため、6月以降本種の漁獲量が減少するのであろう。また、小型底曳網1種ではかれい類やたい類を主に狙って操業しており、それらの漁場が9~11月にアカアマダイの分布域と重なることにより漁獲量が増加するのであろう。

アカアマダイの主要な漁場は、東シナ海では水深80~120m<sup>3)</sup>で底質が砂質泥又は泥質砂の海域<sup>1)</sup>に、また日向灘では水深110~130mの海域に形成される<sup>4)</sup>ことが知られている。本海域においても漁場は、主に水深100~130mに形成されていた (Fig.2)。また、この海域の底質は池原・川幡<sup>5)</sup>の底質分布図によると細砂である。このように海域は異なってもほぼ似たような条件の海域に漁場が形成されることから、海底に潜って生活する本種の漁場形成条件として水深と底質が重要な要因であると考えられた。

漁場の季節別推移を調べた結果、9月以降漁場が西方に広がる傾向が見られた (Fig.2)。しかし、これは本種の移動を示すものではなく、10トン以上の大型船が大きく移動して操業したことを示すもの (Fig.3) と考えた方がよい。10トン未満の小型船の漁場は周年、各漁場の中心から半径10海里以内に限られたこと (Fig.3)、および銘柄別の漁場を見ても、ほとんど差異はなかったことから (Fig.4)、本種は大きな移動はしないものと考えられる。

このように小型船が半径10海里内という限られた海域内で、資源を絶やさないように漁獲を続けているという事実は、漁場管理上大いに参考にすべきであろう。しかしその一方で、大型船が自らの経営を維持するためにより多くの水揚げが必要となるため、好漁場を広く探し回って操業している実態については、乱獲防止の観点から注意が必要である。

本海域における漁獲物の全長組成を東シナ海におけるそれ<sup>6)</sup>と比較すると、本海域では延縄、釣り、その他漁業とも漁獲物の全長はほぼ270~450mmで (Fig.5)、東シナ海の延縄の漁獲物の全長範囲とほぼ同一であるが、東シナ海よりも本海域の方が全長40cm前後の大型魚の頻度が高い。また、東シナ海では中国船が全長25~30cmの小型魚を主体に漁獲して

いるが、本海域ではそのような小型魚の漁獲は少ない。以上の全長組成の比較から、本海域におけるアカアマダイの資源状態は東シナ海ほど悪くないのではないかと推察されるが、詳細な資源診断については次報で行いたい。

## 文 献

- 1) 林 泰行 (1985) : 東シナ海産アカアマダイの漁業生物学的研究. 山口県外海水産試験場研究報告, **20**, 10-95.
- 2) 中国四国農政局山口統計・情報センター (2003) : 第50次山口農林水産統計年報水産編平成14~15年2002~2003. 152.
- 3) 西海区水産研究所 (2001) : 東シナ海・黄海主要資源の生物・生態特性 - 日中間の知見の比較 -, 65-76.
- 4) 黒木敏行・寺山誠人 (1993) : 日向灘におけるアカアマダイの生態と漁獲状況について. 南西外海の資源・海洋研究, (9), 53-64.
- 5) 池原 研・川幡穂高 (1986) : 北九州・山陰沖の表層堆積物. 西南日本周辺大陸棚の海底地質に関する研究. 昭和60年度研究報告書 - 響灘・見島沖海域 -, 工業技術院地質調査所, 68-102.
- 6) 山下秀幸 (2004) : 東シナ海産アカアマダイの水揚実態とY/R解析. 日本水産学会誌, **70** (1), 16-21.

# 日本海南西部山口県沖におけるアカアマダイの 資源管理に関する研究—II アカアマダイ資源の診断と管理

河野光久

## Study on Management of Red Tilefish, *Branchiostegus japonicus*, in Waters off Yamaguchi Prefecture, Southwestern Sea of Japan-II Analysis and Management of Red Tilefish Resource

Mitsuhsa KAWANO

The author analyzed red tilefish stock condition in waters off Yamaguchi Prefecture, southwestern Sea of Japan by using DOIRAP and estimated the future stock conditions by using KAFS model.

Amount of the female parent stock at present was 44.00 % of that at virgin, so the stock was considered to be slightly overfishing. The simulation results showed that closed fishing season (August) was effective for increase of the catch and stock. But the increase ratios of them in five years after management execution were small (<5 %).

前報<sup>1)</sup>では山口県におけるあまだい漁業の実態について報告した。

本報では、漁業実態調査で得られた資料および年齢、成長、成熟等に関する既往知見を基に、日本海南西部山口県沖におけるアカアマダイの資源診断を行うとともに、今後資源を維持又は増大させるための管理手法について検討した。

### 材料および方法

漁獲量および漁獲努力量 漁獲量および漁獲努力量の資料は、前報<sup>1)</sup>と同一で、山口はぎ水産物地方卸売市場（以後、山口はぎ市場という。）、山口ながと漁業協同組合仙崎地方卸売市場、豊北町水産物地方卸売市場および下関漁港地方卸売市場における2003年の漁業種類別水揚量、水揚隻数である。

年齢組成の推定 年齢組成の推定は次の通り行った。①馬場ほか<sup>2)</sup>の体長別性比を次の体長 (BL:mm) - 全長 (TL:mm)関係式により全長別性比に変換した。

$$TL=1.216BL+4.208 \quad (r^2=0.994, n=789)$$

②前報<sup>1)</sup>の市場調査で得られた漁業種類別（延縄、釣り、その他漁業）季節別（3 - 5月、6 - 8月、9 - 11月、12 - 2月）の全長組成と全長別性比を基に漁業種類別季節別雌雄別全長組成を求めた。③漁業種類別季節別雌雄別全長別調査尾数に、次の全長 (TL:mm) - 体重 (BW:g)関係式により求めた体重を乗じ、調査重量を求めた。

$$\text{♂} BW=0.000004 TL^{3.1812} \quad (r^2=0.982, n=330)$$

$$\text{♀} BW=0.000009 TL^{3.0533} \quad (r^2=0.930, n=432)$$

④漁業種類別季節別雌雄別全長別調査尾数に、漁獲量と調査重量との比を乗じて、漁業種類別季節別雌雄別全長別漁獲尾数を求めた。⑤林<sup>3)</sup>の年齢 - 体長キーを体長 - 全長関係式を基に年齢 - 全長キーに変換した。⑥漁業種類別季節別雌雄別全長別漁獲尾数と年齢 - 全長キーを基に漁業種類別季節別雌雄別年齢別漁獲尾数を求め、さらにそれを月別漁獲量で按分して漁業種類別月別漁獲尾数を算出した。

資源特性値 自然死亡係数 (M)は、田中の方法<sup>4)</sup>により求めた。

処女資源の生残率 (S<sub>0</sub>) は次の式により求めた。

$$S_0 = e^{-M}$$

現状の生残率 (S) は年齢別漁獲尾数に土井の平均年齢法<sup>4)</sup>を適用して求めた。

これらの値を用いて、次式により全減少係数 (Z)、漁獲死亡係数 (F)、および漁獲率 (E) を求めた。

$$Z = -1 nS$$

$$F = Z - M$$

$$E = (1 - S) F / Z$$

完全加入年齢より若い t 歳魚の利用度 (Q<sub>t</sub>) は、t 歳魚の漁獲量を C<sub>t</sub> とすると、M および F から次式により求めた。

$$C_t / Q_t = C_{t-1} \{ (1 - Q_{t-1}) / Q_{t-1} \} \exp(-M) + \exp(-M - F)$$

資源診断 資源診断は土井の迅速解析法(DOIRAP)<sup>5)</sup>に基づいて行った。入力データは以下の成長式、前に示した全長-体重関係式およびTable1の生物特性値

Longevity (year)	Natural mortality coefficient (year <sup>-1</sup> )	Full available age (year)	Middle of the spawning period (year)	Middle of the fishing period (year)	Catch (tons)	Amount of recruit
9	0.2	4	August	March	318	const.
Age (year)	Age composition of catch (%)	Availability (%)	Survival rate (%)	Fishing rate (%)	Sex ratio* <sup>1</sup> ♀/(♂+♀)	Maturity rate* <sup>2</sup> of females
1	1.8	2.4	81.1	0.9	0.1	0.16
2	15.1	25.9	73.0	9.9	0.4	0.61
3	30.1	67.2	58.9	25.7	0.6	0.94
4	26.4	100.0	47.8	38.3	0.8	0.98
5	15.0	100.0	47.8	38.3	0.7	1.00
6	7.2	100.0	47.8	38.3	0.6	1.00
7	2.9	100.0	47.8	38.3	0.5	1.00
8	1.1	100.0	47.8	38.3	0.3	1.00
9	0.4	100.0	47.8	38.3	0.1 <sup>3</sup>	1.00

\*1 Source: Baba et al.<sup>2)</sup>

\*2 Source: Hayashi.<sup>3)</sup>

\*3 Estimated value based on the trend of sex ratios of older than four year-old-fishes.

である。

成長式は山下<sup>7)</sup>の式における全長の単位をcmからmmに変換した次のものを用いた。

$$\delta TL(t) = 431.7 (1 - e^{-0.3044(t+0.3944)})$$

$$\text{♀} TL(t) = 382.8 (1 - e^{-0.2968(t+0.5679)})$$

なお、年齢別性比 (♀ / (♀ + ♂)) は馬場ほか<sup>2)</sup>の値を用いたが、9歳魚の性比は不明であったため、4歳以降の性比の減少傾向を基に9歳の性比は0.1とした。また、成熟率は林<sup>3)</sup>の値を用いた。

資源の将来予測 資源管理を実行した場合の資源の将来予測は、加入量を一定として、KAFSモデル<sup>8,9)</sup>の漁業モデルを使用して行った。管理手法としては、①現状の努力量、②8月に10%努力量の削減(以後、管理1という。)、③8月禁漁(以後、管理2という。)、④8月禁漁+全長25cm以下再放流(以後、管理3という。)、⑤8月禁漁+10万尾種苗放流(以後、管理4という。)の5つを採用して、漁獲量、資源尾数、雌親魚量の経年変化を予測した。漁獲努力量の削減を8月にしたのは、8月は産卵期間中であり<sup>3)</sup>、かつ魚価が安い月に当たるためである。漁業モデル入力データは資源診断に使用したデータのほかにTable2に示すものを用いた。なお、放流魚の加入までの生残率は10%、再放流魚の死亡率は90%と仮定した。

Table 2. Input data for fishery model of KAFS.

Fishery 1: long line											
Month	Catch (kg)	Fishing boats (boat-day)	Age composition								
			1	2	3	4	5	6	7	8	9
J	14671	224	1	1042	5958	7964	6005	3209	1359	511	178
F	16783	352	1	1192	6816	9111	6870	3671	1554	584	204
M	10070	274	234	3024	7737	5944	3051	1323	529	203	75
A	13197	375	307	3964	10139	7789	3998	1733	693	267	98
M	25511	531	593	7662	19600	15058	7729	3351	1339	515	190
J	28965	568	2381	21846	27318	14319	5394	1802	601	203	68
J	20422	361	1679	15403	19260	10096	3803	1270	424	143	48
A	14885	368	1224	11227	14038	7358	272	926	309	104	35
S	21003	380	199	1488	10668	14974	9484	4248	1673	631	231
O	13641	345	129	966	6929	9608	6160	2759	1087	410	150
N	11400	285	108	807	5790	8030	5148	2305	908	343	125
D	7469	216	1	530	3033	4054	3057	1634	692	260	91

Fishery 2: angling											
Month	Catch (kg)	Fishing boats (boat-day)	Age composition								
			1	2	3	4	5	6	7	8	9
J	8506	421	196	1121	3988	4867	3400	1704	723	284	105
F	11372	676	262	1499	5332	6506	4545	2278	967	380	141
M	14061	646	638	4387	10091	8357	4451	1852	678	231	76
A	8133	487	369	2538	5837	4834	2574	1071	392	134	44
M	11514	759	522	3593	8263	6843	3645	1517	555	189	63
J	4648	389	956	2561	3673	2158	1026	408	146	50	17
J	1329	126	273	732	1050	617	293	117	42	14	5
A	3151	389	689	1848	2648	1556	740	294	105	36	12
S	1142	106	0	85	632	938	566	298	63	19	5
O	1872	126	0	106	1035	1537	927	342	103	30	9
N	1229	139	0	69	680	1009	609	224	68	20	6
D	1588	178	37	209	745	909	635	318	135	53	20

Fishery 3: others											
Month	Catch (kg)	Fishing boats (boat-day)	Age composition								
			1	2	3	4	5	6	7	8	9
J	2317	138	150	840	1011	1161	897	473	193	69	23
F	5187	252	335	1872	2255	2589	2000	1055	431	155	52
M	5637	222	94	713	2632	2961	1926	974	438	191	78
A	3971	250	66	503	1854	2086	1357	686	309	135	55
M	5928	283	99	750	2768	3114	2026	1024	461	201	82
J	1272	83	35	308	675	807	354	164	72	31	12
J	729	56	20	177	687	348	203	94	41	18	7
A	3585	209	98	869	1903	1712	997	462	204	86	33
S	6563	285	80	2308	2778	3249	2716	1538	656	238	80
O	8225	247	100	2893	3487	4072	3404	1928	822	299	100
N	3459	215	42	1217	1464	1713	1431	811	346	126	42
D	4732	185	306	1715	2065	2371	1832	966	395	142	47

## 結果

漁獲物の組成 2003年の山口県日本海域におけるアカアマダイの漁業種別年齢別漁獲尾数をTable3に示す。

全漁獲尾数は約97万尾で、このうち延縄が約61万尾、釣りが21万尾を占めた (Table3)。

年齢組成は各漁業種別ともよく似ており、3~5歳が主体で約7割を占めた (Table3)。

漁獲開始年齢は1歳で (Table3)、完全加入年齢は

Table 3. Age composition of red tilefish by fishery in waters off Yamaguchi Prefecture, southwestern Sea of Japan in 2003.

Fishery	Age (year)									Total
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Long line	9885	99303	194966	161854	84732	39979	15812	5905	2110	614546
	0.016	0.162	0.317	0.263	0.138	0.065	0.026	0.010	0.003	1.000
Angling	5774	26674	61901	56198	32775	14478	5578	2022	707	206107
	0.028	0.129	0.300	0.273	0.159	0.070	0.027	0.010	0.003	1.000
Others	2117	21115	35380	38871	28507	15121	6496	2519	912	151038
	0.014	0.140	0.234	0.257	0.189	0.100	0.043	0.017	0.006	1.000
Total	17776	147092	292247	256923	146014	69578	27886	10446	3729	971691
	0.018	0.151	0.301	0.264	0.150	0.072	0.029	0.011	0.004	1.000

Upper: catch in number; lower: ratio of catch in number to total catch in number.

4歳であった (Table1)。

資源特性値 Mは、田中の方法<sup>4)</sup>により0.2が得られた。

Mの値からS<sub>0</sub>は0.819と計算された。

Sは、土井の平均年齢法<sup>5)</sup>により0.477と推定された。

これらの値から、Zは0.741, Fは0.541, Eは0.382と計算された。

利用度は、1歳2.4%, 2歳25.9%, 3歳67.2%と計算された。

資源診断 Table4に現在の資源状態と処女資源の状

Table 4. Comparison of the present stock with the virgin stock of red tilefish.

Age (year)	Present stock					Virgin stock				
	♀ body weight (g)	♀+♂ body weight (g)	Stock number (X10 <sup>3</sup> )	Catch number (X10 <sup>3</sup> )	Catch weight (ton)	Parent ♀ number (X10 <sup>3</sup> )	Parent ♀ weight (ton)	Stock number (X10 <sup>3</sup> )	Parent ♀ number (X10 <sup>3</sup> )	Parent ♀ weight (ton)
1	41.58	76.69	194.24	1.75	1.34	3.11	1.29	194.24	3.11	1.29
2	110.65	172.32	157.53	15.60	26.87	38.44	42.53	159.08	38.82	42.95
3	193.92	270.54	115.00	29.55	79.96	64.86	125.77	130.29	73.48	142.50
4	276.38	350.74	67.73	25.87	90.75	53.10	146.76	106.71	83.66	231.21
5	350.49	448.94	32.31	12.34	55.41	22.62	79.27	87.39	61.17	214.41
6	412.59	539.54	15.41	5.89	31.76	9.25	38.15	71.57	42.94	177.19
7	463.12	620.94	7.35	2.81	17.44	3.68	17.02	58.62	29.31	135.74
8	502.84	714.87	3.51	1.34	9.58	1.05	5.29	48.01	14.40	72.42
9	533.27	803.18	1.67	0.64	5.13	0.17	0.89	39.32	3.93	20.97
Total			594.75	95.79	318.23	196.26	456.98	895.23	350.83	1038.68
Present stock/virgin stock (%)			66.43	55.94	44.00					

態を比較して示す。

現状の雌の親魚尾数は、処女資源のその55.94%と50%をやや上回っているものの、現状の雌の親魚量は処女資源のその44.00%と50%を切っており (Table4), 資源は乱獲気味である。

資源の将来予測 管理1~5を行った場合の漁獲量, 資源尾数および雌親魚量の将来予測を行った結果

Table 5. Estimation of future catch and stock in the case of each management method (present:100).

Management methods	Elapsed years	Elapsed years				
		1	2	3	4	5
Present fishing efforts	Catch	100.0	100.0	100.0	99.9	99.9
	Stock number	100.0	99.9	99.9	99.8	99.8
	Parent ♀ stock weight	100.0	100.0	100.0	100.0	99.9
Method 1 <sup>1)</sup>	Catch	99.6	99.8	100.0	100.0	100.0
	Stock number	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
	Parent ♀ stock weight	100.0	100.0	100.2	100.4	100.4
Method 2 <sup>2)</sup>	Catch	96.1	98.1	98.6	100.5	100.9
	Stock number	100.0	100.9	101.3	101.5	101.6
	Parent ♀ stock weight	100.0	100.0	102.1	103.5	104.3
Method 3 <sup>3)</sup>	Catch	88.8	90.9	92.7	93.8	94.4
	Stock number	100.0	101.1	101.7	101.9	102.0
	Parent ♀ stock weight	100.0	100.0	102.3	104.1	105.1
Method 4 <sup>4)</sup>	Catch	96.1	98.1	99.6	100.6	101.2
	Stock number	100.0	101.0	101.6	101.9	102.1
	Parent ♀ stock weight	100.0	100.0	102.1	103.6	104.4

<sup>1)</sup> 10% cut of fishing efforts in August.

<sup>2)</sup> No fishing during August.

<sup>3)</sup> Method 2 and release of the fishes smaller than 25 cm in TL.

<sup>4)</sup> Method 2 and release of 100,000 individuals of the hatchery-raised fishes.

をTable5に示す。

漁獲量, 資源尾数および雌親魚量は (Table5), 現

状の努力量のままであれば5年後にそれぞれ現状の99.9%, 99.8%, 99.9%に低下すると予測された。管理1では、漁獲量は管理実施後2年目までは現状の99.6~99.8%に低下するが、3年日以降現状の漁獲量に回復すると予測された。また、資源尾数は現状維持、雌親魚量は5年目に現状の100.4%になると計算された。管理2および管理4では、漁獲量は管理実施後3年目までは現状よりやや低下 (96.1~99.6%) するが、4年日以降現状より増加し、5年目にはそれぞれ現状の100.9%, 101.2%に増加すると予測された。資源尾数は2年目から、雌親魚量は3年目から増加し、5年後には資源尾数で約102%, 雌親魚量で約104%に増加すると計算された。管理3では漁獲量の減少率が最も大きく、5年後でも現状の94.4%までしか漁獲量は回復しないと予測された。しかし、雌親魚量の増加率は最も高く、5年後には現状の105.1%になると計算された。

## 考察

アカアマダイの資源診断は、東シナ海<sup>3)</sup>, 徳島県<sup>10)</sup>, および隠岐海峡<sup>11)</sup>で行われているので、それらの結果と本研究結果を比較してみる。

まず、資源特性値について見ると、Mは推定方法の相違により0.2~0.51までの値が採用されている<sup>3,10,11)</sup>。本研究では0.2を採用した。これは漁獲量の増大により将来資源の悪化が危惧される中で、Mを小さく、Fをより大きく見積った上で資源診断を行うことにより、資源をこれ以上悪化させないようにするねらいがある。

FおよびEは、Mが小さくなれば、逆に大きくなる関係にあるので、これらの値を海域間で単純に比較することは困難である。しかし、Zは各海域とも年齢組成を基に推定されており<sup>3,10,11)</sup>, Mの値に影響されないため、海域間で比較が可能である。そこで各海域のZについて見ると、資源が乱獲状態と診断されている東シナ海<sup>3)</sup>では雄で0.89, 雌で1.47, 資源が乱獲ではないと診断されている徳島県<sup>10)</sup> および隠岐海峡<sup>11)</sup>ではそれぞれ0.6417, 0.507と推定されている。資源が乱獲気味と診断された本海域ではZは0.741と推定されており、資源状態はZの大きさに応じて悪くなっている。

加入量を一定として、漁獲量, 資源尾数, 雌親魚量の将来予測を行った結果 (Table5), 現状の努力量のまま推移すれば、5年後には漁獲量, 資源尾数, 雌親魚量は現状の99.8~99.9%に低下すると予測されたが、大きな減少ではない。これは資源がひどい乱獲状態に

ないことを反映しているものと考えられる。管理1, 2および4の手法を用いれば, 管理実施後2~3年は漁獲量が現状よりやや減少するものの, 5年目には漁獲量, 資源尾数, 雌親魚量とも現状以上に増加すると予測され, その効果は漁業規制が厳しいほど高くなると推定された。しかしながら, その効果は5年後の資源尾数で現状の約102%, 雌親魚量で現状の約104%とそれほど高いものではない。管理3については雌親魚量の増加効果は最も高いものの, 漁獲量の減少率が最も大きいので, 漁業者には受け入れ難いであろう。漁獲努力量の削減は漁業者に痛みを強いるので, 実行可能な管理手法を漁業者に決定してもらい, 当面, 最低限現状の漁獲量が維持できるよう8月の漁獲努力量を削減することを基本とした管理計画を作成することが望まれる。

管理4では, 手法の中に種苗放流を加えたが, 本県では現在, 種苗生産技術および放流技術を開発中の段階であり, 種苗放流はこれらの技術が確立されてから管理手法に加わることになる。

今回は全長データおよび漁獲データが1年分しか揃わず, 資源診断は加入量を一定とする土井の迅速解析法<sup>6)</sup>に頼らざるを得なかったが, 漁業者によれば数年おきによく獲れる年があるようなので, 加入量が一定ではない可能性がある。また, 成長や成熟・産卵に関する値は, 東シナ海における既往の知見を用いたが, 山口県沖は東シナ海とは資源状態や海域条件が異なっているため, これらについても東シナ海とは若干異なっている可能性がある。従って, とりあえず資源状態の悪化を防ぐために何らかの管理を実施しながら, 生物・漁業データを蓄積して, 必要に応じて再度資源解析を行い, 管理計画を見直す必要がある。

## 文 献

1) 河野光久・天野千絵 (2005) : 日本海南西部山口

- 県沖におけるアカアマダイの資源管理に関する研究 - I 山口県におけるあまだい漁業の実態. 山口県水産研究センター研究報告, (3), 55-59.
- 2) 馬場順子・田川希・多部田修 (1995) : 東シナ海産アカアマダイの年齢, 成長, 成熟および産卵について (予報). 平成6年度東海・黄海底魚資源管理調査委託事業報告書, 114-144.
- 3) 林 泰行 (1985) : 東シナ海産アカアマダイの漁業生物学的研究. 山口県外海水産試験場研究報告, 20, 1-95.
- 4) 田中昌一 (1960) : 水産生物のPopulation Dynamicsと漁業管理. 東海区水産研究所研究報告, (28), 1-200.
- 5) 土井長之 (1975) : 水産資源力学入門. 日本水産資源保護協会, 1-66.
- 6) 土井長之 (1977) : メキシコ産あわびの資源診断. 日本水産資源保護協会月報, (154), 5-13.
- 7) 山下秀幸 (2004) : 東シナ海産アカアマダイの水揚げ実態とY/R解析. 日本水産学会誌, 70, 16-21.
- 8) 木本秀明・檜山節久・上城義信・有江康章 (1988) : 再生産機構を組み入れた資源解析の一手法について. 日本水産学会誌, 54, 1499-1504.
- 9) 木本秀明・畔野尚史 (1990) : KAFSモデルによる実践水産資源力学. 日本エヌ・ユー・エス株式会社, 1-218.
- 10) 渡辺健一・上田幸男・城 泰彦・石田陽司 (1995) : 徳島県太平洋沿岸におけるアカアマダイ資源の研究. 平成5年度徳島県水産試験場事業報告書, 303-312.
- 11) 安達二郎 (2001) : 隠岐海峡におけるアマダイ延縄漁業とアカアマダイの資源評価. 生物資源科学, 3, 7-12.

## 山口県日本海沿岸域におけるヤリイカの漁獲実態

河野光久

### Fishing Situation of *Loligo bleekeri* in Coastal Waters off Yamaguchi Prefecture, Southwestern Sea of Japan

Mitsuhisa KAWANO

Fishing situation of *Loligo bleekeri* in coastal waters off Yamaguchi Prefecture, southwestern Sea of Japan was investigated using the catch statistics and the biological data. The squid caught with angling in January to March had matured and the females had copulated. Fishing grounds of the squid were formed in coastal waters nearer than 10n.miles from the coast. These facts show that angling fisheries catch the spawning groups in the spawnig grounds. The catch peaked in 1995-1996 and then decreased remarkably. The decrease of the catch occurred in a relatively high water temperature period, suggesting that high water temperatures influence the decrease of the catch.

ヤリイカ *Loligo bleekeri* は日本海南西部では沖合底曳網、いか一本釣、定置網等で漁獲される重要魚種である。とりわけ、山口県日本海沿岸域では、近年1～4月のケンサキイカ漁の不振が続いているため、この時期に集中して漁獲される本種の重要性が増している。しかし、山口県日本海沿岸域における本種の漁獲実態については、わずかに長門海域の人工魚礁における釣獲試験結果の報告があるだけで<sup>1)</sup>、漁獲実態について総合的にとりまとめた報告はない。

本研究では山口県日本海沿岸域におけるヤリイカの漁獲実態を調査し、いか一本釣および定置網による漁獲量変動、いか一本釣の漁場、および漁獲されたヤリイカの生物特性を明らかにしたので報告する。

#### 材料および方法

**漁獲量** 漁獲量の資料は、1985～2003年の山口なかと漁業協同組合川尻支所 (Fig.1) におけるいか一本釣および定置網による月別漁獲統計資料、および山口はぎ漁業協同組合大井湊支所 (Fig.1) のいか釣りによる漁獲量資料、通地先の定置網 (Fig.1) による月別漁獲量資料を用いた。解析にあたっては、漁業種類毎の合計漁獲量の経年変化および経月変化を調べた。

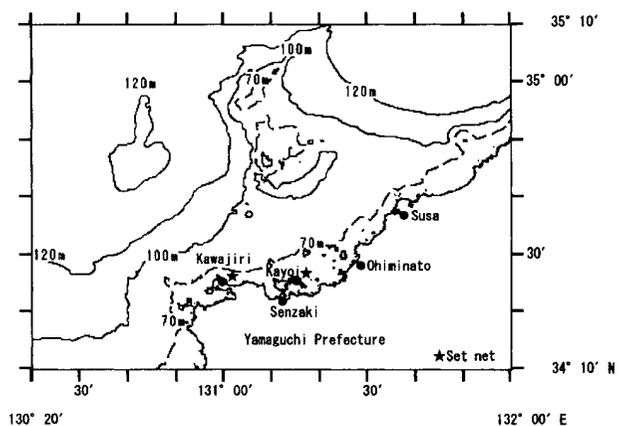


Fig.1. Major fisheries ports landed *Loligo bleekeri* by angling (closed circles) and site of set net (star marks).

**漁場** いか一本釣によるヤリイカ漁場を明らかにするために、須佐漁業協同組合 (現在山口はぎ漁業協同組合須佐支所)、萩市大井湊漁業協同組合 (現在山口はぎ漁業協同組合大井湊支所) および川尻漁業協同組合 (現在山口なかと漁業協同組合川尻支所) のいか一本釣漁船各2隻を標本船として、1985年1～5月の操業位置を日誌に記録してもらい、月別漁場位置を調べた。

生物測定 ヤリイカの測定は1994年と2004年に実施した。1994年には1～3月に山口県日本海沿岸域でいか一本釣により漁獲され、仙崎地方卸売市場 (Fig.1) に水揚げされた個体について、市場で雌雄の確認を行い、外套背長を測定した。雌雄の判定にあたっては、外見で精巣が確認できた個体を雄、確認できなかった個体を雌とした。2004年には1～3月に山口県日本海沿岸域でいか一本釣により漁獲された個体を各月1回1船分購入し、外套背長、体重、生殖腺重量 (雄では精巣重量、付属腺重量、雌ではてん卵腺重量、付属腺重量、卵巣重量) の測定、熟度の判定および胃内容物の査定を行った。なお、熟度の判定にあたっては雄では精夾嚢中に精夾が観察されるもの、雌では輸卵管内に卵粒が認められるものを成熟とした。また、雌では口器の周辺に精夾が確認された個体を交接済み個体とした。

### 結果

漁獲量および漁期 代表地区における漁獲量の経年変化をみると、1985年から1992年までは漁獲量は大きな年変動を伴いながら、次第に減少し、1992年には約2トンにまで減少した。その後1995年から1996年にかけて漁獲量は急激に増加し、1995年には48トンと期間最高を示した。しかし、1997年以降になると最高時の半分以下に減少し、低水準で推移した (Fig.2)。

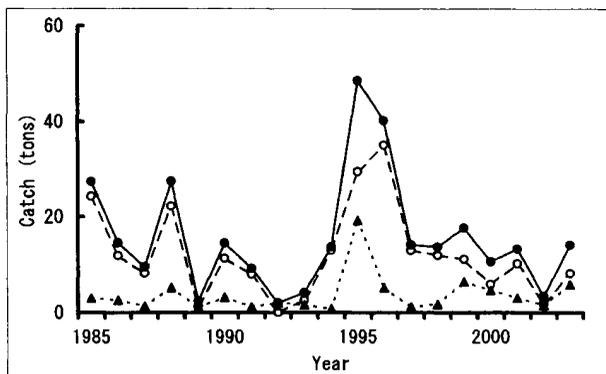


Fig.2. Yearly changes in catches of *Loligo bleekeri* landed at major fisheries ports shown in Fig.1. Open circle: catch by angling at Kawajiri and Ohiminato; closed triangle: catch by set nets off Kawajiri and Kayoi; closed circle: total catch of both fishing methods.

漁業種別に経年変化をみると (Fig.2), いか一本釣では漁獲量は上記の合計漁獲量と同様な経年変化を示した。定置網では1995年に最高の漁獲量を記録したが、その前後の年代では低水準に留まった。

次に1999年以降の漁獲量の経月変化をみると (Fig.3), ヤリイカが漁獲されたのはいか一本釣およ

び定置網ともに1～4月で、盛漁期は2～3月となる傾向がみられた。漁業種類毎の最多漁獲月を比較すると、両漁業種類とも最多漁獲月は2月または3月と同じであるが、同一年内で両者の最多漁獲月は必ずしも一致していなかった。

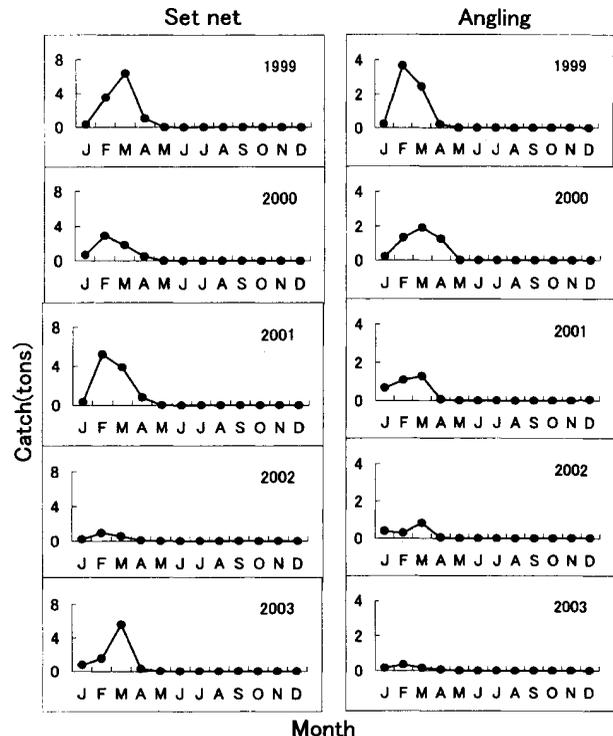


Fig.3. Monthly changes in catches of *Loligo bleekeri* at major fisheries ports in 1999-2003. Left panel: catch by set nets off Kawajiri and Kayoi. Right panel: catch by angling at Kawajiri and Ohiminato.

漁場 1985年1～5月の各月におけるいか一本釣標本船によるヤリイカ漁獲位置をFig.4に示す。

漁場は、水深120m以浅で距岸10海里以内の沿岸域および見島周辺の10海里以内の海域に形成された (Fig.4)。

月毎に漁場の推移をみると (Fig.4), 主な漁場は1月には山口県北部の岸寄りの海域にあったが、2月および3月には見島周辺海域に形成された。4月になると見島南西海域および須佐沿岸域に形成され、5月には山口県北部沿岸域にわずかに散在していた。

外套背長組成、成熟および性比 1994年の外套背長は、雄では200～390mm (モード160mm, 330～340mm), 雌では190～300mm (モード230～240mm) で、雌雄とも月による相違はほとんど認められなかった (Fig.5)。

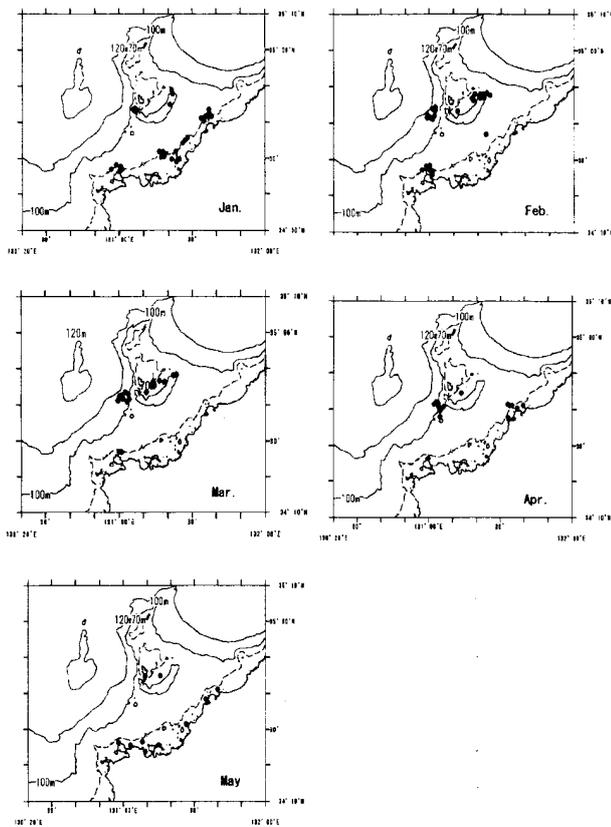


Fig.4. Monthly plots of locations of fishing operation by *Loligo bleekeri* anglers in waters off Yamaguchi Prefecture in 1985.

2004年の外套背長は、雄では160~390mm（モード280~300mm）、雌では170~270mm（モード220~230mm）で、2004年についても雌雄とも月による相違はほとんど認められなかった（Fig.5）。

このように両年とも1~3月の体長組成から成長傾向を窺うことはできなかった。

1994年の外套背長組成と2004年のそれを比較すると、2004年の組成の方が1994年のそれより小型で、モードは雄で40~50mm、雌で10~20mm小さかった（Fig.5）。

次に2004年の測定個体について成熟状況および性比をみると、雌雄ともすべて成熟しており、雌はすべて交接済みであった。また、雌の出現率は、1994年には約20%と小さかったが、2004年には約80%で、雌の方が雄よりかなり多く出現した（Fig.5）。

**胃内容物組成** 2004年の測定個体について胃内容物を調べた結果、各月とも94%以上が空胃で、1月にはいか類および魚類、3月にはえび類がわずかにみられただけであった（Table 1）。

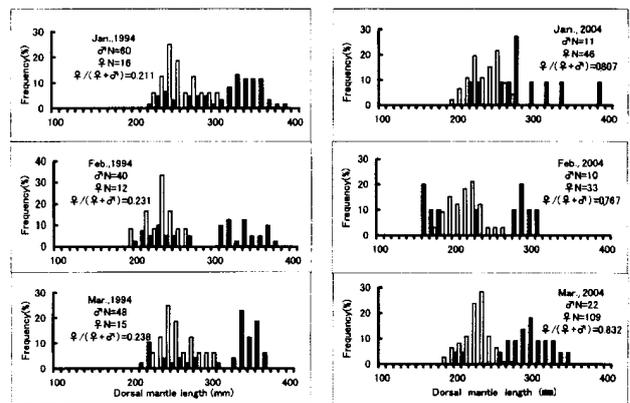


Fig.5. Frequency distributions of dorsal mantle length of *Loligo bleekeri* caught with angling in coastal waters off Yamaguchi Prefecture in 1994 and 2004. Open bar: female; closed bar: male.

Table 1. Feeding habit of *Loligo bleekeri* caught with angling in coastal waters off Yamaguchi Prefecture in 2004.

Month	Jan.	Feb.	Mar.
No. of specimens (A)	57	43	91
No. of specimens with empty stomachs (B)	54	43	90
Ratio of empty stomachs % (B/A × 100)	94.7	100	98.9
Diets (%)			
Fishes	1.8		
Squids	3.5		
Shrimps			1.1

## 考 察

本研究により、山口県日本海沿岸域で1~3月にいか一本釣で漁獲されるヤリイカは①成熟個体で、②雌については交接済み個体であること、③外套背長組成は雌雄とも月による相違がほとんどないこと、④空胃個体が多いことが明らかになった。これらの事実は、山口県日本海沿岸域では産卵期に産卵のため接岸回遊してきた群が漁獲されていること、これらの産卵群はほとんど成長せず、摂餌行動も不活発であることを示していると考えられる。

2004年に測定した雌はすべて成熟し、かつ交接済みであったこと、およびヤリイカは日没後交接した後、翌朝までには同所的に産卵することが知られていることから<sup>2)</sup>、1~3月のいか一本釣の漁場（Fig.4）は産卵場にもなっているとみなすことができる。ヤリイカの産卵場について、浜部<sup>3)</sup>は海底の岩石、海藻、岩棚の天井面、建網土俵の下面だけでなく、隠岐島周辺海域では砂底に巨大な卵囊塊を形成することもありうるであろうと推定している。山口県日本海沿岸域では、いか一本釣漁場は水深120m以浅で距岸10海里以内の海域に形成されており、この海域内には砂質底も多く含まれることから<sup>4)</sup>、山口県日本海沿岸域においても主な底質が砂質の海底に産卵している可能性がある。

産卵期に一本釣りで漁獲されたヤリイカの性比を調べた結果、性比は雌雄どちらかに著しく偏ることがわかった。性比の偏りの原因については、生簀内では雌が中層に集団を作り、雄は雌を独占するために闘争することが報告されていることから<sup>2)</sup>、産卵場においても雌雄は別々の集団を作って生簀内と同様な行動しているためではないかと考えられる。

最後に漁獲量の変動要因について検討する。我が国周辺海域におけるヤリイカの漁獲実態を調べた伊藤<sup>5)</sup>は、1970年代後半から1980年代後半の寒冷レジーム、1980年代後半から現在までの温暖レジームがヤリイカの漁獲量の増減とほぼ一致していると報告している。今回、山口県日本海沿岸域におけるヤリイカの漁獲量変動を調査した期間(1985~2002年)は、この温暖レジームに相当し、大きくみると漁獲量の減少期に相当することになる。しかし、この期間内の山口県日本海沿岸域における漁獲量の年変動はかなり大きく、1995~1996年を山として1997年以降は低水準で推移している(Fig.2)。このような地域的な年変動については山口県日本海沿岸域の水温変動が影響している可能性が考えられる。近年の山口県日本海沿岸域における水温の年変動については、1997年以降高水温期に入ったこと、およびヤリイカの産卵期にあたる3月の高温化が特に顕著であることが報告されている<sup>6)</sup>。また、諫早・高橋<sup>7)</sup>によれば水温10~12℃のふ化適温を除いた高温域ではヤリイカはふ化せず死滅することが報告されて

いる。これらのことから、1997年以降の漁獲量の減少は産卵期の沿岸域における水温の高温化が再生産に悪影響を及ぼして起きた可能性が示唆される。

## 文 献

- 1) 岩政陽夫・中谷武治(1986):人工礁漁場調査。昭和61年度山口県外海水産試験場事業報告. 138-140.
- 2) 浜部基吉・清水虎雄(1957):ヤリイカの交接行動。日本海区水産研究所年報, (3), 131-136.
- 3) 浜部基吉(1960):ヤリイカ *Loligo bleekeri* KEFERSTEINの初期発生について。日本海区水産研究所年報, (6), 149-155.
- 4) 池原研・川幡穂高(1986):北九州・山陰沖の表層堆積物。西南日本周辺大陸棚の海底地質に関する研究, 昭和60年度研究報告-響灘・見島沖海域-, 68-102.
- 5) 伊藤欣吾(2002):我が国におけるヤリイカの漁獲実態。青森県水産試験場研究報告, (2), 1-10.
- 6) 齋藤秀郎(2004):海の水温が変わってきた!水産研究センター外海研究部だよりがいかい, (68), 3-5.
- 7) 諫早隆夫(1934):イカ卵の一種について(其六)第二 ヤリイカ卵の適温試験。北海道水産試験場旬報, (249), 4-5.

山口県日本海沿岸域におけるかれい類3種  
(ムシガレイ, ソウハチ, メイタガレイ) の  
漁獲実態および生物特性に関する2, 3の知見

河野光久

Some Characteristics on Fishery and Biology of Righteye Flounders  
(*Eopsetta grigorjewi*, *Cleisthenes pinetorum herzensteini* and  
*Pleuronichthys cornutus*) in Coastal Waters off  
Yamaguchi Prefecture, Southwestern Sea of Japan

Mitsuhisa KAWANO

The author studied on fishery and biology of righteye flounders (*Eopsetta grigorjewi*, *Cleisthenes pinetorum herzensteini* and *Pleuronichthys cornutus*) in coastal waters off Yamaguchi Prefecture, southwestern Sea of Japan. The catch of the three species occupied 72 % of the total catch of righteye flounders in the prefecture and they were almost caught by small trawl. Spawning seasons of the three species were in winter and main fishing periods of *C. pinetorum herzensteini* and *P. cornutus* were in accordance with their spawning seasons. But main fishing months (May and August) of *E. grigorjewi* was not coincided with the spawning season. Larval distribution areas of the three species in the southwestern Sea of Japan were relatively different among species. It was considered that these larval distributions would be influenced by distributions of their spawning adults.

日本海南西山口県沖には全国でも屈指の大陸棚が広がっており、かれい類、アカムツ *Doederleinia berycoides*, アンコウ *Lophiomus setigerus* などさまざまな底魚類が生息している<sup>1)</sup>。これらの底魚類の中でもかれい類は小型底曳網漁業の最重要種となっている。本海域におけるかれい類の生態については、中原<sup>1)</sup>が1964～1967年に北緯35度以北の山口県日本海沖(以後、山口県日本海沖合域という。)でトロール調査を行い、ムシガレイ *Eopsetta grigorjewi*, ソウハチ *Cleisthenes pinetorum herzensteini*, ヤナギムシガレイ *Tanakius kitaharai*, ヒレグロ *Glyptocephalus stelleri*, ミギガレイ *Dexistes rikuzenius*, メガレイ *Pseudorhombus dupliciocellatus* の分布, 成長, 産卵, 食性等について報告している。しかし、北緯35度以南の山口県日本海沿岸域(以後、山口県日本海沿岸域という。)における近年のかれい類の漁獲実態についてとりまとめた報告はない。

本研究は、かれい類の中でも特に重要度の高いムシ

ガレイ, ソウハチおよびメイタガレイ *Pleuronichthys cornutus* の3種を対象として、山口県日本海沿岸域におけるこれらの漁獲実態および全長組成, 産卵期, 性比, 仔魚の分布を調べ、各種の生物特性とその種間の相違を明らかにすることができたので報告する。

#### 材料および方法

漁獲統計資料 漁獲実態の解析に用いた漁獲統計資料は、山口県水産部の海鳴りネットワークで収集した2003年の山口はぎ地方卸売市場 (Fig.1; 以下、山口はぎ市場という。) の日々の水揚げデータを魚種別漁業種類別に集計したものである。また、ムシガレイおよびソウハチについては2003年4月～2004年3月に操業した小型底曳1種標本船1隻, メイタガレイについては1993年4月～1994年3月に操業した小型底曳1種標本船5隻の月別銘柄別漁獲箱数から月別銘柄別漁獲尾数を推定した。

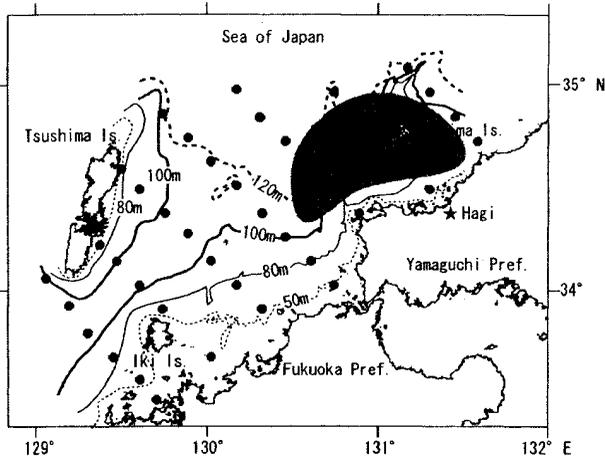


Fig.1. Sampling stations (dot symbols) of larvae of righteye flounders and fishing grounds (shaded region) of Yamaguchi prefectural small trawls in the southwestern Sea of Japan. Contours show depth lines. Star mark shows the location of Hagi Fish Market.

生物測定資料 生物測定に用いたかれい類は、山口県日本海沿岸域 (Fig.1) で小型底曳1種により漁獲されたもので、ムシガレイは1993年1月から2002年4月に漁獲された2,475個体、ソウハチは1993年1月から2000年4月に漁獲された3,581個体、メイタガレイは1991年1月から1994年3月に漁獲された435個体である。これらの全長 (TL), 体重 (BW), 生殖腺重量 (GW) を計測し、生殖腺熟度指数 (GSI) を、

$$GSI = GW / BW \times 100$$

により求めた。

各魚種の月別の全長組成は、銘柄別全長組成に小型底曳1種標本船による月別銘柄別漁獲尾数を乗じて求めた。

仔魚分布資料 かれい類仔魚の採集資料および水温、塩分に関する資料は、1984年、1985年、1986年および1987年の各4月に山口県北沖から対馬周辺海域に至る日本海南西海域 (Fig.1) で山口県外海水産試験場調査船黒潮丸により得られたもので、詳細は河野<sup>2)</sup>が報告している。仔魚の分布量は、河野・中原<sup>3)</sup>に従い、海面10m<sup>2</sup>下の個体数で表した。

## 結果

水揚量および盛漁期 2003年の山口はぎ市場におけるかれい類の水揚量は173,802kgで、このうちム

シガレイ、ソウハチおよびメイタガレイの3種の水揚量はかれい類水揚量の72%、125,123kgを占めた (Table1)。魚種別の水揚量は、ムシガレイが72,072kg (41.5%)、ソウハチが29,007kg (16.7%)、メイタガレイが24,044kg (13.8%) であった (Table1)。

Species	Fishery						Total
	Small trawl I	Small trawl II	Long line	Gill net	Angling	Others	
<i>Eopsetta grigorjewi</i>	63326	31	7871	45	613	186	72072
<i>Cleisthenes pinetorum herzensteini</i>	28168	173	436	202	0	28	29007
<i>Pleuronichthys cornutus</i>	23928	41	0	0	0	75	24044
Others	31858	7914	2400	1137	314	5056	48679
Total	147280	8159	10707	1384	927	5345	173802

漁業種類別の水揚量についてみると、各魚種ともほぼ90%以上が小型底曳1種によるものであった。小型底曳1種以外の漁業では延縄の水揚量が比較的多く、ムシガレイでは約10%が延縄で水揚げされた (Table1)。

主たる漁業である小型底曳1種による月別水揚量から盛漁期をみると、盛漁期はムシガレイでは禁漁期 (6~7月) をはさんだ5月および8月、ソウハチでは2~3月、メイタガレイでは2~5月であった (Fig.2)。

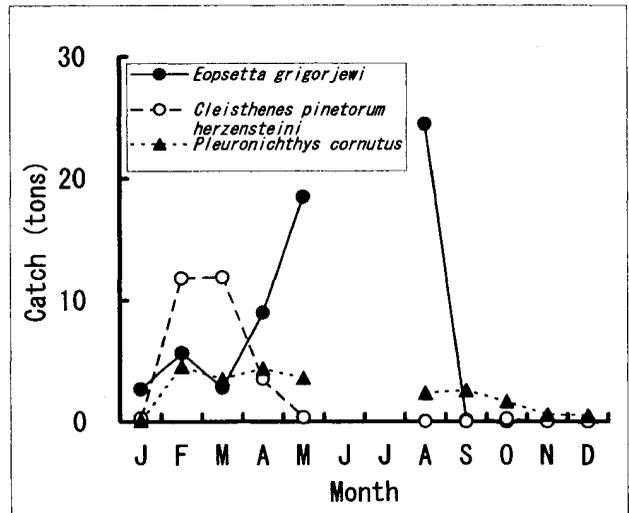


Fig.2. Monthly catch of the three species of righteye flounders by small trawl landed at Hagi Fish Market in Yamaguchi Prefecture, 2003.

小型底曳1種標本船の銘柄別漁獲尾数は、3魚種とも中または小銘柄が多かった (Table2)。月別にみると、ムシガレイでは8月、ソウハチでは3月、メイタガレイでは8月に漁獲尾数が最も多かった (Table2)。

漁獲物の全長組成 小型底曳1種により漁獲された各魚種の銘柄別全長組成をTable3に示す。銘柄別の全長モードについてみると、同一銘柄間ではムシガレイとソウハチとは大きな差はなかったが (ムシガレイ:小, 21cm;中, 23cm;大, 31cm;ソウハチ:豆, 19cm;小, 21cm;中, 26cm;大, 29cm), メイタガレ

Table 2. Number of the righteye flounders caught by samples of small trawlers operated in coastal waters off Yamaguchi Prefecture, southwestern Sea of Japan.

Fish species	Commercial size	Month												Total
		Apr.	May	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Feb.	Mar.			
<i>Eopsetta grigorjewi</i> <sup>*1</sup>	Large	122	66	951	0	0	0	0	0	155	354	199	1847	
	Middle	500	218	2306	0	0	0	0	239	631	718	4612		
	Small	243	208	2775	0	0	0	0	35	1179	1179	5819		
	Total	865	492	5032	0	0	0	0	429	2184	2096	12078		
<i>Cleisthenes pinetorum herzensteini</i> <sup>*1</sup>	Large	71	0	0	0	0	0	0	12	762	1774	2619		
	Middle	382	0	0	0	0	0	0	76	2443	4453	7354		
	Small	387	0	0	0	0	0	0	0	3928	8077	12392		
	Midget	82	0	0	0	0	0	0	0	82	494	658		
	Total	922	0	0	0	0	0	0	88	7215	14796	23022		
<i>Pleuronichthys cornutus</i> <sup>*2</sup>	Large	1837	2475	8952	2959	2387	1353	814	946	1210	2772	23705		
	Middle	4878	8118	11556	7056	3744	3060	2988	3474	4650	5742	55566		
	Small	4225	4475	4100	2375	1550	550	1800	1400	2425	5000	27700		
	Midget	1715	175	70	105	280	35	0	0	175	735	3290		
	Miscellaneous	0	0	0	0	0	41	82	0	0	861	856	1640	
	Total	12655	15242	22878	12495	8002	5080	5402	5920	9821	14905	111901		

\*1 Based on a small trawler operated from April 2003 to March 2004.

\*2 Based on five small trawlers operated from April 1993 to March 1994.

イだけはこれら2魚種に比べ顕著に小さかった(バラ・豆, 15cm;小, 18cm;中, 19cm;大, 21cm)。

魚種別銘柄別漁獲尾数 (Table2) と魚種別銘柄別全長組成 (Table3) を基に各魚種の盛漁期 (ムシガレイ:5, 8月;ソウハチ:2, 3月;メイタガレイ:2, 3月) の全長組成を推定した結果をFig.3に示す。ムシガレイの全長は15~35cmでモードは22cm, ソウハチの全長は15~40cmで, モードは21cmであった。また, メイタガレイの全長は16~22cm, モードは19cmで, ムシガレイおよびソウハチに比べ小型であった。

Table 3. Composition of total length of the righteye flounders classified by commercial size. (unit: %)

TL(cm)	<i>Eopsetta grigorjewi</i>			<i>Cleisthenes pinetorum herzensteini</i>			<i>Pleuronichthys cornutus</i>		
	Small	Middle	Large	Midget	Small	Middle	Large	Miscellaneous	
5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.44	
14	0.52	0.09	0.00	0.00	0.11	0.00	0.00	22.22	
15	2.35	0.50	0.00	0.00	0.27	0.00	0.00	28.89	
16	3.26	0.00	0.00	0.00	0.54	0.00	0.00	26.67	
17	4.05	0.18	0.17	14.24	2.86	0.00	0.00	17.78	
18	4.44	0.18	0.17	20.18	7.62	0.22	0.00	0.00	
19	10.31	1.15	0.00	30.27	13.18	0.43	0.00	0.00	
20	14.23	4.41	0.00	18.99	20.75	1.30	0.40	0.00	
21	19.32	10.23	0.66	6.53	22.91	3.03	0.00	0.00	
22	17.89	14.29	0.83	0.59	15.88	6.80	0.40	0.00	
23	14.49	15.08	2.49	0.00	9.45	9.09	0.20	0.00	
24	5.48	12.96	2.49	0.00	3.62	11.58	0.59	0.00	
25	2.81	11.39	3.65	0.00	1.76	12.55	1.38	0.00	
26	0.85	10.32	6.14	0.00	0.54	14.39	1.38	0.00	
27	0.13	10.41	7.13	0.00	0.43	13.53	4.15	0.00	
28	0.00	5.29	10.45	0.00	0.00	13.53	8.10	0.00	
29	0.00	2.91	12.94	0.00	0.00	7.14	12.06	0.00	
30	0.00	0.79	12.60	0.00	0.05	4.55	10.87	0.00	
31	0.00	0.26	13.93	0.00	0.00	0.87	10.47	0.00	
32	0.00	0.00	8.96	0.00	0.00	0.32	11.46	0.00	
33	0.00	0.09	8.29	0.00	0.00	0.11	8.10	0.00	
34	0.00	0.00	2.85	0.00	0.00	0.11	8.10	0.00	
35	0.00	0.00	2.82	0.00	0.00	0.43	5.34	0.00	
36	0.00	0.00	1.82	0.00	0.00	0.22	4.94	0.00	
37	0.00	0.00	0.66	0.00	0.00	0.00	3.95	0.00	
38	0.00	0.00	0.66	0.00	0.00	0.00	2.37	0.00	
39	0.00	0.00	0.17	0.00	0.00	0.00	2.77	0.00	
40	0.00	0.00	0.17	0.00	0.00	0.00	1.38	0.00	
41	0.00	0.00	0.17	0.00	0.00	0.00	0.40	0.00	
42	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.99	0.00	
43	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
44	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
45	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	

なお, 各魚種の雌雄別全長と体重の関係はTable4のとおりであった。

産卵期および性比 GSIの経月変化をFig.4に示す。これによるとGSIは, ムシガレイでは, 雌雄とも12月から高まり, 1~2月に最高を示した後, 3月には急激に低下した。ソウハチでは, 雌では1~4月に高い値を示したが, 5月には急激に低下した。一方, 雄では8~9月に最も高く, ついで1~3月に高かった。メイタガレイでは, 雌では1月に最高を示した後, 3月にかけて徐々に低下した。雄では雌よりも早く11月から高くなり, 1~3月にかけて高い値を示した。

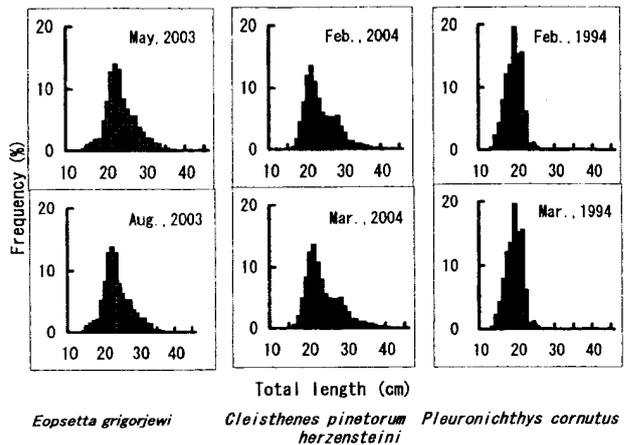


Fig.3. Frequency distributions of total length of the three species of righteye flounders by small trawl in each main fishing period.

Table4. Relationships between total length (L; mm) and body weight (W; g) on the three species of righteye flounders.

Fish species	sex	Numerical expression	R <sup>2</sup>	n
<i>Eopsetta grigorjewi</i>	Male	W=0.00000796L <sup>3.0273</sup>	0.92	1491
	Female	W=0.00000159L <sup>3.3283</sup>	0.96	948
<i>Cleisthenes pinetorum herzensteini</i>	Male	W=0.00000189L <sup>3.2672</sup>	0.95	1571
	Female	W=0.00000236L <sup>3.2549</sup>	0.93	1151
<i>Pleuronichthys cornutus</i>	Male	W=0.0000517L <sup>2.7427</sup>	0.94	221
	Female	W=0.000146L <sup>2.5474</sup>	0.93	214

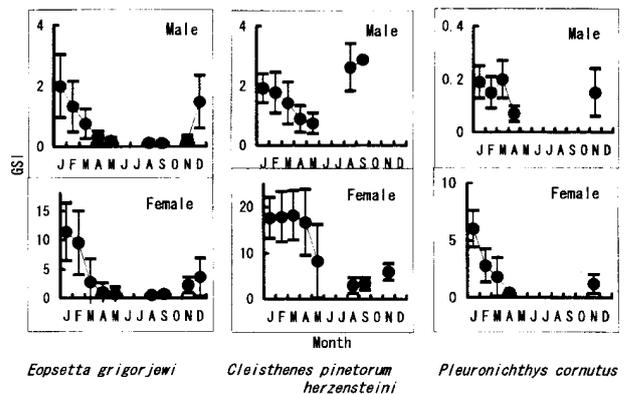


Fig.4. Monthly changes in average gonadosomatic index (GSI) of the three species of righteyeflounders. Vertical bar shows the standard deviation.

性比は (Fig.5), ムシガレイでは全長250mm以下では雌の比率が20~50%と低いが, それより大きくなると雌の比率がだいに高くなり, 320mm以上では100%が雌で占められた。ソウハチもムシガレイと同様に, 大きくなるにつれ雌の比率が高まった。すなわち, 全長210mm以下ではほとんど雄で占められ, 210mmから290mmにかけて雌の比率が急激に高まり, 290mm以上ではすべて雌で占められた。メイタガレイではこれら2魚種とは異なり, 性比は38~58%で, どちらかの性に偏ることはなかった。

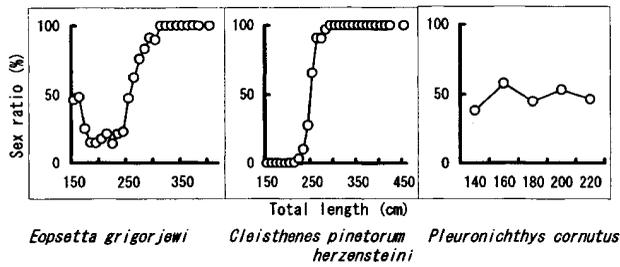


Fig.5. Sex ratio (%) of the three species of righteye flounders. Sex ratio: ♀/(♀+♂).

仔魚の分布 1984~1987年各4月の日本海南西海域における各魚種の仔魚の分布をFig.6に示す。

ムシガレイ仔魚(全長2~11mm)は、山口県日本海沿岸域から長崎県壱岐および対馬周辺海域まで広く分布した。主分布域は、1984~1986年には壱岐と山口県見島を結んだ線よりも沿岸域にあり、特に福岡県沿岸域に多く分布した。1987年には仔魚は1984~1986年よりも沖合の対馬北東から見島西沖に主に分布した。ソウハチ仔魚(全長2~9mm)は、ムシガレイおよびメイタガレイに比べ採集個体数が著しく少なく、1985年および1986年にはまったく採集されなかった。1984年には福岡県沿岸域に、1987年には福岡県沿岸域から対馬北東沖にかけて分布が見られ、壱岐以南の海域には分布しなかった。メイタガレイ仔魚(全長2~6mm)は壱岐と見島を結んだ線より沿岸域に分布し、ムシガレイやソウハチのようにそれより沖合域に分布することはなかった。

3種の仔魚の出現域の50m深水温は12~15℃、塩分は概ね34.5~34.8で、種間で大きな相違はなかった(Fig.7)。

### 考察

小型底曳1種による月別水揚量を調べた結果、盛漁期はムシガレイでは5月および8月、ソウハチでは2~3月、メイタガレイでは2~5月であった(Fig.2)。また、雌のGSIの経月変化から、産卵盛期を推定すると、ムシガレイでは1~2月、ソウハチでは1~4月、メイタガレイでは1~2月にGSIが高かった(Fig.4)ことから、これらの時期が各魚種の産卵盛期とみなすことができる。各魚種の盛漁期と産卵盛期との関係を見ると、ソウハチでは両者はよく一致しており、メイタガレイについてもほぼ一致しているが、ムシガレイについては盛漁期は産卵盛期よりかなり遅れている。ソウハチは山口県日本海沖合域では12~3月に接岸傾向を示すことが知られていることから<sup>1)</sup>、山口県日本

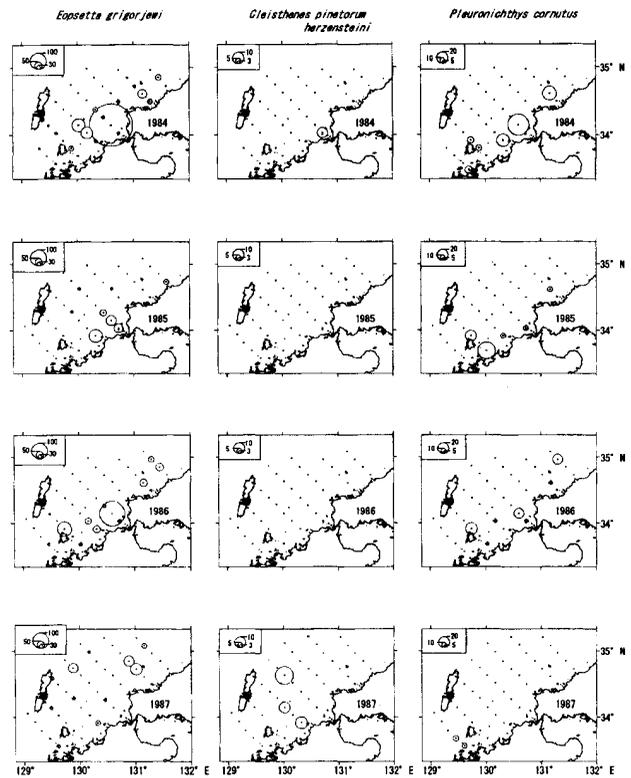


Fig.6. Distributions of larval righteye flounders (inds./10m<sup>2</sup>) in the southwestern Sea of Japan in April 1984-1987.

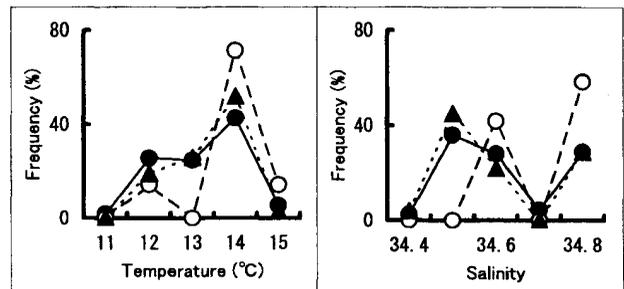


Fig.7. Frequency distributions of number of larval righteye flounders by water temperature and salinity at 50 m depth. Open circle: *Cleisthenes pinetorum herzensteini*, closed circle: *Eopsetta grigorjewi*, closed triangle: *Pleuronichthys*

海沿岸域では産卵期に沖合から産卵のために集群してくるため、漁獲されやすくなるものと考えられる。また、メイタガレイについても産卵期に山口県日本海沿岸域で集群するために漁獲されやすくなるのであろう。ムシガレイについては、今岡<sup>1)</sup>によれば主産卵場は対馬以東では農林漁区890(見島北西30~100海里、北緯35度以北の海域)にある。また、中原<sup>1)</sup>によれば、山口県日本海沖合域ではムシガレイは8月に南下を始めるとされている。小型底曳1種は山口県日本海沿岸域で操業していることから、沖合で産卵が終了した後、

沿岸域に南下し始めるときに漁獲されやすくなり、近年は5月には南下が始まっているものと思われる。

本研究で明らかにしたムシガレイおよびソウハチの産卵期および性比を (Fig.4およびFig.5)、中原<sup>1)</sup>が報告した1964~1967年の山口県日本海沖合域の調査結果と比較してみる。産卵期については、中原<sup>1)</sup>の報告によればムシガレイは2月を中心に、ソウハチは1~3月に主として産卵しており、本研究結果とほぼ同じである。性比については、中原<sup>1)</sup>においても本研究と同様に全長が大きくなるほど雌の比率が高くなっているものの、本研究の方が総じて雌の比率が低い傾向が認められる。すなわち、中原<sup>1)</sup>ではムシガレイの雌の比率は全長20cm以下では40~53%であるが、20~25cmでは83%と高くなっている。またソウハチの雌の比率は全長18cm以下では40~60%であるが、全長22cm以上で100%となっている。一方、本研究では、ムシガレイについては全長25cm以下では雌の比率はまだ20~50%と低く、ソウハチでも全長21cm以下では雌の比率はほとんど0%で、全長29cm以上でようやく100%となった (Fig.5)。ソウハチの性比については、道根<sup>3)</sup>が島根県隠岐周辺海域、浜田沖および対馬周辺海域の1990~1992年の標本について調べており、それによれば1~4月の産卵期だけ対馬周辺海域で雌の比率が高くなるとしている。また、対馬周辺海域における性比<sup>3)</sup>は本研究の山口県日本海沿岸域における性比ときわめてよく似ており、隠岐周辺海域および浜田沖における性比<sup>5)</sup>は中原<sup>1)</sup>の山口県日本海沖合域における性比とよく似ている。渡辺<sup>6)</sup>によれば、ソウハチの産卵場は浜田以西から対馬北西にわたり、東側の魚群ほど生殖能力が低くなる。これらのことから、ソウハチの性比が本研究と中原<sup>1)</sup>とで異なったのは、調査した年代の相違によるものではなく、海域による性比の相違を反映していると考えられる。すなわち、対馬周辺海域から山口県日本海沿岸域に至る主産卵場ではその周辺海域に比べ、産卵期に産卵のために雄がより多く集まり、雄の比率が高まると推察される。ムシガレイの日本海南海域における海域別の性比については十分な知見はないが、山口県日本海沿岸域とその沖合域とで性比の傾向が異なっていたことから、ソウハチと同様に産卵期に主産卵場とその周辺海域とで性比が異なる可能性がある。

メイトガレイについては、ホンメイトとバケメイトの2型があり、それぞれ産卵期や性比が異なることが知られている<sup>7,8)</sup>。すなわち、産卵期は紀伊水道および

鳥取県沿岸域においては、ホンメイトでは12月が盛期、バケメイトでは1~4月と報告されている<sup>7,8)</sup>。また、雌雄の性比は、バケメイトでは1:1であるのに対し、ホンメイトでは当歳魚で1:1.28~1.64、1歳魚以上で1:1.57~3.25と雌の比率が高いことが明らかにされている<sup>7)</sup>。本研究では2型の同定は行っていないが、1~2月が産卵盛期とみられたこと、全長が大きくなっても性比が雌雄どちらかに著しく偏ることはなかったこと (Fig.5)、および同じ山陰沿岸域である鳥取県沿岸域ではバケメイトが主対象として漁獲されていること<sup>8)</sup>から、山口県日本海沿岸域でもバケメイトが主対象となって漁獲されていると思われる。

次に漁獲物の全長組成について検討する。山口県日本海沿岸域で漁獲されたソウハチの全長は、15~40cmでモードは21cmであった (Fig.3)。道根<sup>3)</sup>の成長式によれば、全長21cmは3歳魚に相当することから、本海域では3歳魚を主に漁獲していることになる。一方、浜田沖では全長20cm以下の1,2歳魚が漁獲の中心となっており、3歳魚以上の高年齢魚はわずかしら漁獲されていない<sup>5)</sup>。ソウハチの雌は3歳から成熟することから<sup>5)</sup>、浜田沖では成熟する前の小型魚を主に漁獲し、山口県日本海沿岸域では産卵期に産卵親魚を主に漁獲していることになる。以上のことから、ソウハチは成長または成熟に伴い、浜田沖から山口県日本海沿岸域へ移動していると推察される。

本研究では漁獲されたムシガレイの全長は15~35cmでモードは22cmであった (Fig.3)。北沢ほか<sup>9)</sup>によれば、全長22cmは3歳魚に相当する。ソウハチと同様にムシガレイについても、浜田沖で底曳網により漁獲されたものは、ほぼ90%が1,2歳魚の小型魚で占められる<sup>9)</sup>。ムシガレイのこのような漁獲実態はソウハチの漁獲実態ときわめてよく似ていることから、ムシガレイについても成長に伴い浜田沖から山口県日本海沿岸域への移動が考えられる。

メイトガレイの成長は海域間および2型の間でかなり異なるため<sup>10)</sup>、山口県日本海沿岸域における漁獲物の年齢組成を推定することは難しいが、本海域のメイトガレイをバケメイトと仮定すると、松岡<sup>10)</sup>および渡辺・上田<sup>11)</sup>の成長式から、本海域における全長モードの19cm (Fig.3)は2~3歳魚とみなされる。バケメイトの成熟開始全長は鳥取県沿岸域では18cm<sup>8)</sup>、東シナ海では15cm<sup>12)</sup>であることから、本海域ではソウハチと同様に産卵期に産卵親魚を主に漁獲していることになる。本海域における全長組成を近隣の海域におけ

るバケメイトのそれと比較すると、島根県沿岸域<sup>13)</sup>および鳥取県沿岸域<sup>8)</sup>とも全長は16~22cm(島根県沿岸域ではモード18~19cm)で、本海域における全長組成(Fig.3)とよく一致していることから、本種は山口県日本海沿岸域へ東部海域から移動してくることは想定できず、各地先で成長に伴い浅深移動を行う<sup>8,13)</sup>だけであろうと考えられる。

最後に仔魚分布における種間の相違について考察する。ムシガレイの仔魚は、他の2種に比べ山口県日本海沿岸域から対馬および壱岐周辺海域まで広く分布したのに対し、ソウハチは壱岐以南の海域には分布せず、またメイトガレイは壱岐と見島を結んだ線よりも沖合域には分布しなかった(Fig.6)。このような仔魚分布における種間の相違は、基本的には以下のような各魚種の親魚分布または産卵場の相違に起因していると考えられる。(1)ムシガレイでは産卵場は山口県日本海沖合域から対馬南西海域まで広がり、主産卵場は対馬以東では農林漁区890、対馬以西では農林漁区222~233(対馬南西20~130海里)とされている<sup>1)</sup>。(2)ソウハチはムシガレイやメイトガレイに比べ北方水域に生息し<sup>14)</sup>、産卵場は浜田以西から対馬北西海域に広がる海域である<sup>6)</sup>。(3)バケメイトについては調査海域内における産卵場の知見はないが、鳥取県沖では熟卵を持つ個体は、水深40~80mの沿岸域に多く分布することが報告されている<sup>8)</sup>ので、調査海域内でも壱岐と見島を結んだ線(水深80~100m)より沿岸域で産卵していると考えられる。

## 謝 辞

標本船日誌の記帳に協力いただいた小型底曳網漁業者の皆様へ心からお礼申しあげる。また、仔魚の採集に携わった山口県前漁業調査船黒潮丸の乗組員の皆様に感謝します。

## 文 献

- 1) 中原民男(1969):山口県沖合大陸棚に分布する重要底魚類の漁業生物学的特性. 山口県外海水産試験場研究報告, 11, 1-70.
- 2) 河野光久(1997):山口県沿岸海域におけるヒラ

メの資源生物学的研究. 山口県外海水産試験場研究報告, 26, 27-40.

- 3) 河野光久・中原民男(1998):日本海南西海域におけるマイワシおよびカタクチイワシ卵・仔魚の分布と環境. 山口県外海水産試験場研究報告, 27, 11-25.
- 4) 今岡要二郎(1971):日本海西南海域およびその周辺海域産ムシガレイの漁業生物学的研究. 北海道大学提出学位審査論文, 1-117.
- 5) 道根 淳(1994):ソウハチ. 平成3~5年度水産業関係地域重要新技術開発促進事業総合報告書(重要カレイ類の生態と資源管理に関する研究), 37-66.
- 6) 渡辺 徹(1956):重要魚族の漁業生物学的研究. 日本海区水産研究所研究報告, (4), 249-269.
- 7) 渡辺健一・沼地健一・城 泰彦・上田幸男(1996):紀伊水道海域のメイトガレイ2型(ホンメイトとバケメイト)の成熟, 産卵および性比. 日本水産学会誌, 62, 17-22.
- 8) 鳥取県(1991):鳥取県資源培養管理指針. 23-24.
- 9) 北沢博夫・藤川裕司・安達二郎・田中伸和(1988):日本海南西海域およびその周辺海域における近年のムシガレイの漁獲と資源動向. 日本水産学会誌, 55, 1297-1304.
- 10) 松岡正信(1996):東シナ海・黄海産メイトガレイ類の比較研究-II, 年令と成長. 西海区水産研究所研究報告, (74), 47-54.
- 11) 渡辺健一・上田幸男(1990):播磨灘産メイトガレイの成長. 水産増殖, 38, 191-197.
- 12) 松岡正信(1996):東シナ海・黄海産メイトガレイ類の比較研究-III, 成熟と季節による分布域の変化. 西海区水産研究所研究報告, (74), 55-62.
- 13) 日本海西区資源管理型漁業推進協議会(1995):平成6年度資源管理型漁業推進総合対策事業報告書. 30-33.
- 14) 水産庁西海区水産研究所(1986):東シナ海・黄海のさかな. 378-384.

## 山口県日本海沿岸の定置網で漁獲された とびうお類未成魚の種組成と尾叉長組成

河野光久

Compositions of Species and Fork Length of Young of Flying Fish Caught by Set Nets in Coastal Waters off Yamaguchi Prefecture, Southwestern Japan Sea

Mitsuhisa KAWANO

The author examined yearly change in compositions of species and fork length of flying fish young caught by set nets in coastal waters off Yamaguchi Prefecture, southwestern Japan Sea in September, 1988, 1995 and 2004.

*Cypselurus hiraii* and *C. heterurus doederleini* occurred in each year, and *Hirundichthys oxycephalus* (tropical species) occurred in 1995 and 2004. The mean fork lengths of *C. hiraii* and *C. heterurus doederleini* in 1995 and 2004 were larger than those in 1988 (t-test,  $p < 0.05$ ). The mean sea surface temperatures in coastal waters off Yamaguchi Prefecture in summer (July-September) in 1995 and 2004 were higher than that in 1988. According to these results, the author considers that high water temperature probably accelerate the immigration of *H. oxycephalus* from East China Sea into southwestern Japan Sea and growth of *C. hiraii* and *C. heterurus doederleini*.

日本海西部沿岸域に初夏に来遊するとびうお類は、ホソトビウオ *Cypselurus hiraii* とツクシトビウオ *Cypselurus heterurus doederleini* の産卵群で<sup>1)</sup>、このうちホソトビウオが大部分を占める<sup>2)</sup>。これらは産卵後死亡し、替わってこれらの親から生まれた仔稚魚が成長し、秋に未成魚として日本海に出現する<sup>3,4)</sup>。未成魚については、これら2種のほかにホソアオトビウオ *Hirundichthys oxycephalus* やアリアケトビウオ *Cypselurus starksi* などが日本海に出現することが報告されている<sup>5,6)</sup>。

とびうお類未成魚の種組成と尾叉長組成については、これまで連続した2, 3年について調査された事例はあるが<sup>4-6)</sup>、それより長期にわたる調査結果を報告したものはない。また、それらの組成の変化と水温変動との関係を調べた報告も見当たらない。

本研究は山口県日本海沿岸の定置網で漁獲されたとびうお類未成魚の種組成と尾叉長組成を明らかにし、それらの組成の経年変化と水温の経年変動との関係について検討し、水温変化に伴い種組成と尾叉長組成が

変化した可能性が考えられたので報告する。

### 材料および方法

とびうお類の未成魚の種組成と尾叉長組成を調べるために、1988年9月28日に三見地先の定置網(Fig.1)で漁獲されたとびうお類、および1995年9月28日および2004年9月28日に黄波戸地先の定置網(Fig.1)で漁獲されたとびうお類を入手し、種の同定をした上で尾叉長を計測した。

とびうお類未成魚の種組成と尾叉長組成の経年変化と水温との関係を検討するため、1985年以降の萩市の北北西15海里点 (Fig.1) における夏季 (7~9月) の平均海面水温の経年変化を調べた。この水温資料は、山口県水産研究センターが有限会社萩海運に委託し、萩~見島間を運行するフェリーで午前9時ごろ測定したものである。なお、7~9月の海面水温資料を用いたのは、山口県日本海沿岸域でとびうお類の稚仔および未成魚が出現するのは、主として7~9月であること<sup>4)</sup>、およびとびうお類はふ化後から未成

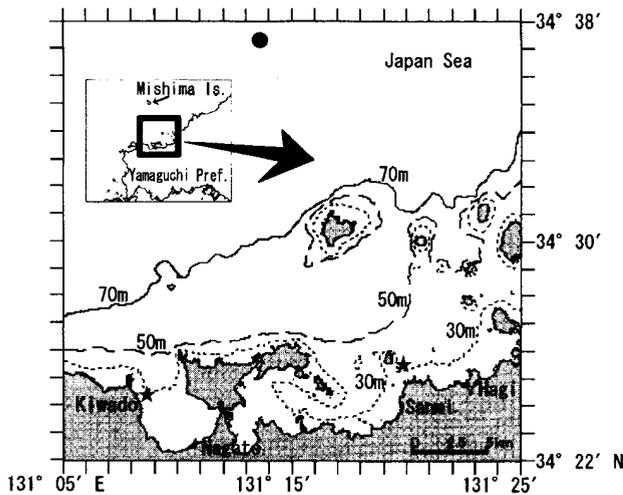


Fig.1. Locations of set nets (star marks) where flying fishes were caught and hydrographic observation station (closed circle) in coastal waters off Yamaguchi Prefecture, southwestern Japan Sea.

魚に至るまで、海面付近を生活の場としている<sup>4)</sup>ためである。

### 結果

とびうお類未成魚の種組成 調査を実施した各年の種組成についてみると (Table1), 1988年にはツクシトビウオが81.8%, ホソトビウオが残りの18.2%という比率で出現した。1995年にはホソトビウオ23.9%, ツクシトビウオ74.5%に加えて, ホソアオトビウオ1.6%が出現した。2004年には1995年に比べ, ホソトビウオ (38.9%) とホソアオトビウオ (7.2%) の比率が増加し, ツクシトビウオ (53.9%) の比率が減少した。このようにとびうお類未成魚の種組成は年によってかなり変わることが明らかになった。

Table1. Species composition (%) of flying fish caught by set nets in coastal waters off Yamaguchi Prefecture (Fig.1).

Date	Sept. 28, 1988	Sept. 28, 1995	Sept. 28, 2004
Location	off Sanmi	off Kiwado	off Kiwado
Species			
<i>Cypselurus hiraii</i>	18.2	23.9	38.9
<i>C.heterurus doederleini</i>	81.8	74.5	53.9
<i>Hirundichthys oxycephalus</i>	0.0	1.6	7.2
Number of specimens	22	687	293

とびうお類未成魚の尾叉長組成 魚種ごとに尾叉長組成をみると (Fig2), ホソトビウオではモードが1988年には120mm, 1995年には135mm, 2004年には155mmと経年的大きくなっていった。各年の尾叉長平均値の差を調べた結果, 2004年>1995年>1988年の順で尾叉長平均値が大きかった (t検定,  $p<0.05$ )。

ツクシトビウオについても, 2004年 (モード160mm) および1995年 (モード165mm) のモードが1988年 (モー

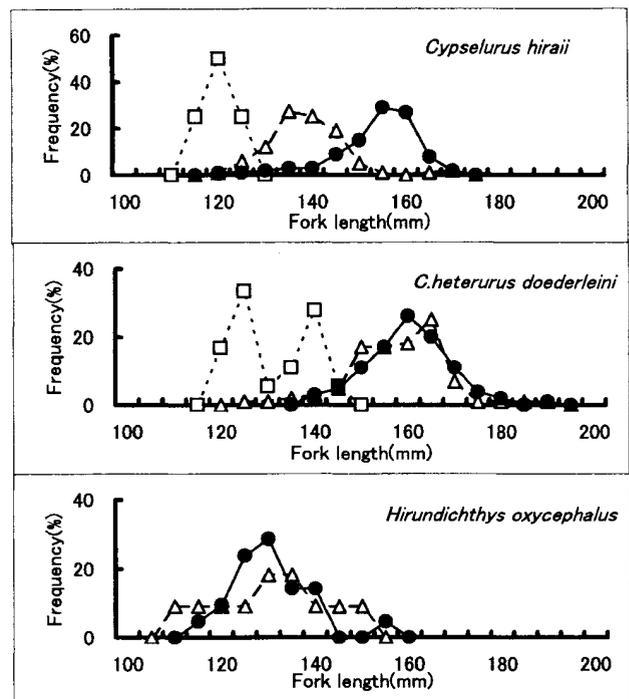


Fig.2. Fork length compositions of *Cypselurus hiraii*, *C. heterurus doederleini* and *Hirundichthys oxycephalus* caught by the set nets in 1988, 1995 and 2004. Open squares, triangles and closed circles show fork lengths in 1988, 1995 and 2004, respectively.

ド135mm) のそれよりも大きくなっていった。t検定の結果, 2004年および1995年の尾叉長平均値は1988年のそれより有意に大きかった (t検定,  $p<0.05$ )。

ホソアオトビウオでは, 1995年, 2004年ともモードは130mmで, 尾叉長平均値についても差はなかった (t検定,  $p>0.05$ )。

種組成および尾叉長組成の経年変化と水温との関係 萩市北北西15海里点 (Fig.1) における1985年以降の夏季の平均海面水温は, 累年平均値25.2°C, 標準偏差0.9°Cで2~5年の周期で変動した (Fig.3)。

とびうお類未成魚が得られた各年の水温について累年平均値を基準としてみると (Fig.3), 1988年 (24.6°C) は低温年, 1995年 (25.7°C) および2004年 (26.2°C) は高温年であった。また, 2004年の水温の方が1995年の水温より0.5°C高かった。

水温とホソアオトビウオの出現との関係を見ると, 本種は低温年の1988年には出現せず, 高温年の1995年および2004年に出現していたこと, およびその比率は水温がより高い2004年の方が1995年よりも高かったことがわかる (Table1およびFig.3)。

水温と尾叉長組成との関係を見ると, ホソトビウオ

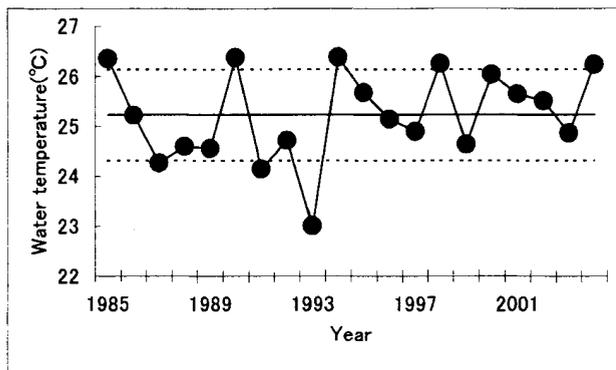


Fig.3. Yearly change in sea surface water temperature in coastal waters off Yamaguchi Prefecture in summer (July-September) during 1985-2004. Solid line and dotted lines show mean water temperature and the standard deviations, respectively.

とツクシトビウオでは、低温年の1988年の尾叉長平均値よりも高温年の1995年および2004年の尾叉長平均値が大きかった (Fig.2およびFig.3)。

### 考 察

山口県日本海沿岸域に初夏に来遊して定置網で漁獲されるとびうお類は、90%以上がホソトビウオ成魚で、残りはツクシトビウオ成魚で占められことが知られている<sup>4)</sup>。

本研究では秋に定置網で漁獲されるとびうお類未成魚の種組成が上述の成魚の種組成と大きく異なり、ホソトビウオよりもツクシトビウオの出現比率が高いこと (38~81%)、および成魚では漁獲されないホソアオトビウオが年によって出現することを明らかにした (Table1)。

成魚の漁獲量はホソトビウオの方がツクシトビウオより圧倒的に多いので<sup>4)</sup>、その子である未成魚もホソトビウオの方がツクシトビウオより多く出現するはずであるが、そのようなならない原因については、次のとおり考えられる。ツクシトビウオは水深20m以浅の藻場に産卵する<sup>7)</sup>のに対し、ホソトビウオは水深10~30mの砂質底だけでなく、水深50mの砂質底<sup>4)</sup>や距岸1海里以上沖合の暗礁、浅瀬など<sup>7)</sup>でも産卵する。さらに、ふ化後の仔稚魚もホソトビウオは沖合域まで広く分布するのに対し、ツクシトビウオは沿岸域にのみ分布する<sup>8)</sup>。未成魚の魚種別分布については報告はないが、産卵生態および仔稚魚の分布からみて、ツクシトビウオの方がホソトビウオよりも沿岸域に分布の中心を有することは十分に考えられる。このため、水深

30m以浅に設置された山口県沿岸の定置網ではツクシトビウオの出現率がホソトビウオよりも高くなるのであろう。

ホソアオトビウオは熱帯性種で、台湾近海で6~8月を中心として産卵すること<sup>9)</sup>、仔稚魚が6~8月に東シナ海~日本海南西部に出現すること<sup>8,10)</sup>、未成魚は9月に日本海に出現し、その分布は22°C以上の暖水域の分布に大きく影響されること<sup>11)</sup>が知られている。山口県沿岸の定置網への本種の入網が低温年には見られず、水温が高い年ほど出現比率が高かったことから (Table1およびFig.3)、本種は夏季の水温が高い年ほど東シナ海から仔稚魚または未成魚の日本海南西部沿岸への来遊量が増加し、結果として本種の出現比率が高まったのではないかと考えられる。

最後に、ホソトビウオとツクシトビウオの尾叉長平均値が高温年には低温年に比べ大きかったことについて考察する。一般に、仔稚魚の成長に影響する主要因としては、水温と餌料密度があげられており<sup>12,13)</sup>、水温については適水温内では高水温ほど成長が促進されることが知られている<sup>12)</sup>。このことから、夏季の高水温が両種の仔稚魚の成長を促進し、高温年の未成魚の方が低温年の未成魚よりも大きくなったと考えられる。松村<sup>14)</sup>は山口県沿岸域の7月の海面水温と長崎県北部沿岸域におけるとびうお類未成魚の漁獲量との間に正の相関関係があることを見出し、水温の高低が稚魚の初期餌料となるプランクトン量の多寡に影響することを通じて、稚魚の生残を左右し、結果として未成魚の漁獲量にも影響を及ぼすものと考えている。本研究により、高温年には成長がよくなることが明らかになったので、高い水温は餌生物の量変動に影響するだけでなく、直接成長を促進することを通じて、とびうお類の生残を高めることも考えられる。いずれにしても、今後とびうお類の生残機構を解明していく上で、夏季の水温は重要な要因となるであろう。

### 文 献

- 1) 福井利憲 (1988) : 日本海西部沿岸域におけるトビウオ類の生物学的研究. 日本海西部沿岸に生息するトビウオ類に関する共同研究報告書, (1), 31-64.
- 2) 森脇晋平 (1988) : 日本海西部沿岸域におけるトビウオ類の漁況変動. 日本海西部沿岸に生息するトビウオ類に関する共同研究報告書, (1), 19-29.

- 3) 岡地伊佐雄 (1958) : 日本海産トビウオ類の形態的特長と成長. 日本海区水産研究所年報, (4), 15-24.
- 4) 河野光久 (2004) : ホソトビウオ (*Cypselurus hiraii*) の資源生物学的研究. 山口県水産研究センター研究報告, (2), 27-76.
- 5) 近藤 啓・道津喜衛 (1981) : 五島有川湾に来遊するトビウオ類の生態と漁業. 五島の生物-壱岐・対馬との対比-, 長崎県生物学会, 225-235
- 6) 増田恵一・大谷徹也・玉木哲也 (1990) : 但馬沿岸域および沖合域におけるトビウオ類幼稚仔の出現状況について. 兵庫県立水産試験場研究報告, (27), 1-16.
- 7) 今井貞彦 (1959) : 日本近海産トビウオ類生活史の研究 - I. 鹿児島大学水産学部紀要, 5, 91-102.
- 8) 河野光久 (1995) : 日本海南西部におけるトビウオ類幼稚仔の分布. 山口県外海水産試験場研究報告, 25, 1-6.
- 9) 陳 世欽 (1978) : 台湾近海重要経済魚類稚仔魚之研究 (一), 人工飼育飛魚仔魚の形態変化. 台湾省水産試験所試験報告, (30), 301-307.
- 10) 陳 春暉 (1985) : 北西太平洋におけるトビウオ科魚類の初期生活史. 東京大学提出学位審査論文, 1-360.
- 11) 河野光久・阿部寧・田中伸和・手島和之 (1995) : 目視観察に基づく日本海におけるトビウオ類の分布と移動. 水産海洋研究, 59, 123-129.
- 12) Ewa Kamler (1992) : Early Life History of Fish, An energetics approach. CHAPMAN&HALL, London, 182-186.
- 13) 田中 克 (1981) : 海産仔魚の摂餌と生残 - II 生残に必要な限界餌料密度の推定 (1). 海洋と生物, 12, 63-68.
- 14) 松村靖治 (1991) : 長崎県北部沿岸域におけるトビウオ未成魚の漁獲量変動要因. 日本水産学会誌, 58, 1049-1055.

## 周防灘における小型底びき網の漁獲物と投棄魚の変遷

木村 博・檜山節久\*<sup>1</sup>

### Changes in the Biomass of the Benthic Animals in the Suo-nada Area of the Seto Inland Sea

Hiroshi KIMURA and Setsuhisa HIYAMA

The catch per unit effort (CPUE) of trawl boats and the composition ratio of the small unmarketable animals captured by a trawl boat were studied in the Suo-nada area, the westernmost area of the Seto Inland Sea, using daily reports of the trawl boats from 1983 to 2002 and analyses of the small unmarketable animals from 1984 to 2002.

More than half of the fish species decreased in CPUE while the crustaceans and the molluscs increased. The composition ratio of the fishes has decreased but those of the crustaceans and the molluscs have increased conversely in the small unmarketable animals.

Those changes had come over during 1986 to 1992 in the small unmarketable animals and 1988 to 1993 in the marketable animals. The authors conclude that the productivity of the Suo-nada area has decreased from the late 1980s and the pressure by trawl boats on the benthic animals has become relatively larger than the productivity.

**Key words:** benthic animals, Suo-nada, productivity, r-selection

周防灘の面積は約3,000平方キロメートル（図1）であるが、この海域で操業した2001年における山口県、福岡県および大分県の小型底びき網漁船推定努力量は小型底びき網2種が81,689日・隻、小型底びき網3種が53,422日・隻で、推定曳網面積は周防灘面積の15倍に達している。このため、周防灘に生息する底生生物の生息密度は自然環境要因のほかに高い漁獲圧が大きく影響して変動していると考えられる。小型底びき網漁業は魚種選択性の低い漁業であり、採集した底生生物のうち商品価値を有するものが漁獲物となり、商品価値を有しない魚種および商品価値を有する大きさに至らない漁獲対象魚種が投棄魚となっている。小型底びき網漁船の魚種別漁獲量と投棄魚の種組成に関するおよそ20年間の調査結果から周防灘における底生生物生息密度変化の傾向とそれらの始まった時期について検討した。

#### 方 法

小型底びき網の漁獲物CPUE 小型底びき網標本漁

\* 1 山口県内水面漁業協同組合連合会

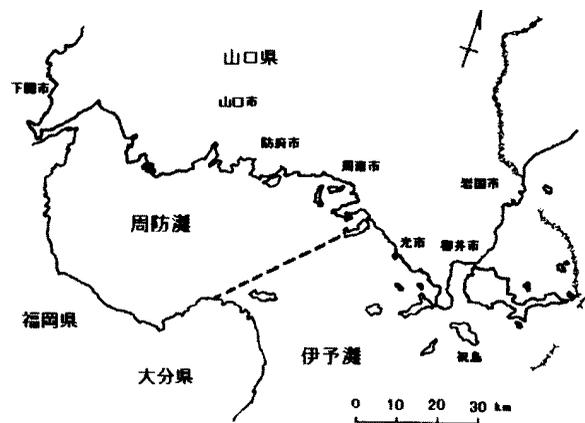


図1 調査対象海域の位置図

船に日誌の記帳を依頼して魚種別漁獲量と出漁回数を把握した。標本船の客体数は年によって変化したが、18~80隻の小型底びき網標本船にマコガレイ、メイトガレイ、イシガレイ、ヒラメ、クルマエビ、ガザミ、ぶとえび、小型えびの8魚種について記録を依頼した。日誌調査の解析対象期間は1984年4月から2002年12月

までの19年間であった。なお、ぶとえびはサルエビの大型個体を指す銘柄名で、小型えびはサルエビ、トラエビ、アカエビ、キシエビから構成されている。時期によっては伊予灘に出漁する漁船もあったが、周防灘に出漁した日の記録のみ抽出して解析した。1隻の標本船については22魚種の記録を依頼した。この標本船については1983年1月から2002年12月までの20年間を解析対象とした。

小型底びき網には2種と3種と呼ばれる漁法があり、それぞれ張り竹（ビーム）および爪のついた鉄杵（桁）で網口を開口させる。2種は春から秋の主に夜間に操業し、多くの漁船は冬季には3種に転換する。3種は昼間にのみ操業が行われ、操業期間は冬季に限定されている。CPUEは底びき網2種と3種を区分して、漁獲量を出漁回数で除して求めたが、夕方出漁して翌朝帰港する操業を1日・隻の努力量と見なすと、kg/日・隻を単位とするCPUEとはほぼ一致する。

小型底びき網の投棄魚種組成 周防灘で操業する小型底びき網漁船1隻に依頼して投棄魚試料を入手した。底びき網の魚取り網（コッドエンド）は2重になっており、1段目の魚取り網は7節程度（2脚1結節長43mm）の粗目網で、大型の魚介類やヒトデ、クラゲ等が採集され、2段目の魚取りは16節（2脚1結節長19mm）程度で小型エビ類、マアナゴなど1段目の魚取りを通り抜けた小型魚が採集される。2段目魚捕り網の内容物から漁獲物を取り上げた残滓約2kgを投棄魚試料とした。試料は種ごとに分類して、個体数と重量を把握した。調査期間は1984年4月から2002年12月までの19年間で、調査回数は2,020回であった。投棄魚は小型でかつ網内において損傷しているなど種の同定が困難な場合もあった。このため、一部の種については種まで分類せず、近縁の種を含めた分類単位とした。

種組成変遷時期の推定 底びき網標本船の22魚種については、次式により年間CPUEの20年平均値に対する偏差を平均値で除して標準化を図りクラスター分析を行った<sup>1)</sup>。

$$x_{ij} = (A_{ij} - A_{i.}) / A_{i.}$$

$i$  : 魚種番号  $i = 1 \sim 22$   
 $j$  : 西暦年  $j = 1983 \sim 2002$   
 $x_{ij}$  : 標準化CPUE  
 $A_{ij}$  : 魚種  $i$  の  $j$  年におけるCPUE

$A_{i.}$  : 魚種  $i$  の1983～2002年CPUE平均値  
 投棄魚については19年間の調査期間の全ての年に出現した32魚種について毎年の個体数組成比と重量組成比を求め、前述の式に準じて19年間の平均値からの偏差を平均値で除してそれぞれ標準化した。

分類されたクラスターのおおのについて、クラスター構成魚種の標準化CPUEあるいは標準化組成比の平均値を求め、さらにその3か年移動平均値を経年的に図示した。図上に変曲点が出現する時期をもってクラスターを構成する魚種のCPUE増減傾向の反転時期あるいは魚種組成変遷の開始時期と判定した。

## 結果

小型底びき網漁獲物のCPUE 8種類の魚種について底びき網2種と3種の年間CPUEの推移を図2に示した。CPUEは資源の平均密度を代表することが期待される<sup>2)</sup>ので、年間CPUEの動向は底びき網2種と3種で相関するはずである。しかし、8魚種のうちイシガレイ、ぶとえびおよび小型えびではCPUEの2種と3種の相関が有意とならなかった ( $t < 2.110 = t(17, 0.05)$ )。これらについては2種の漁法が調査期間中に変化した実態があることから、3種のCPUEを用いて検討した。底びき網2種と3種のCPUEが相関する魚種についてはCPUEの大きい漁法について回帰直線を当てはめた。

回帰直線の勾配はマコガレイとイシガレイで減少、ガザミ、メイタガレイ、ヒラメで増加を示した。また、クルマエビとぶとえびがわずかな減少、小型えびがわずかな増加を示した。ヒラメについては1997年以降の増加が顕著であった。クルマエビについては1984年から1986年までの3年間のCPUEが高いため、回帰直線は減少傾向を示したが、1987年を起点とすると反対に増加傾向を示した。そのように見ると魚類ではCPUEの減少傾向が強いものに対して、甲殻類はCPUEの増加傾向が強いことが見られた。

22魚種の年間CPUEについても同様に増減傾向を判定して魚類、甲殻類、軟体類という動物分類群別に表1に示した。えそ類はトカゲエソが大半と思われる。巻き貝類はアカニシとナガニシである。この標本船ではイシガレイとぶとえびの記録がないので、前述の8魚種中6魚種について比較すると、ヒラメ、ガザミが増加、マコガレイ、小型えびが減少で増減傾向が一致した。また、先の標本船のクルマエビCPUEを増加傾向と解釈すると、6魚種中5魚種が同じ結果となった。

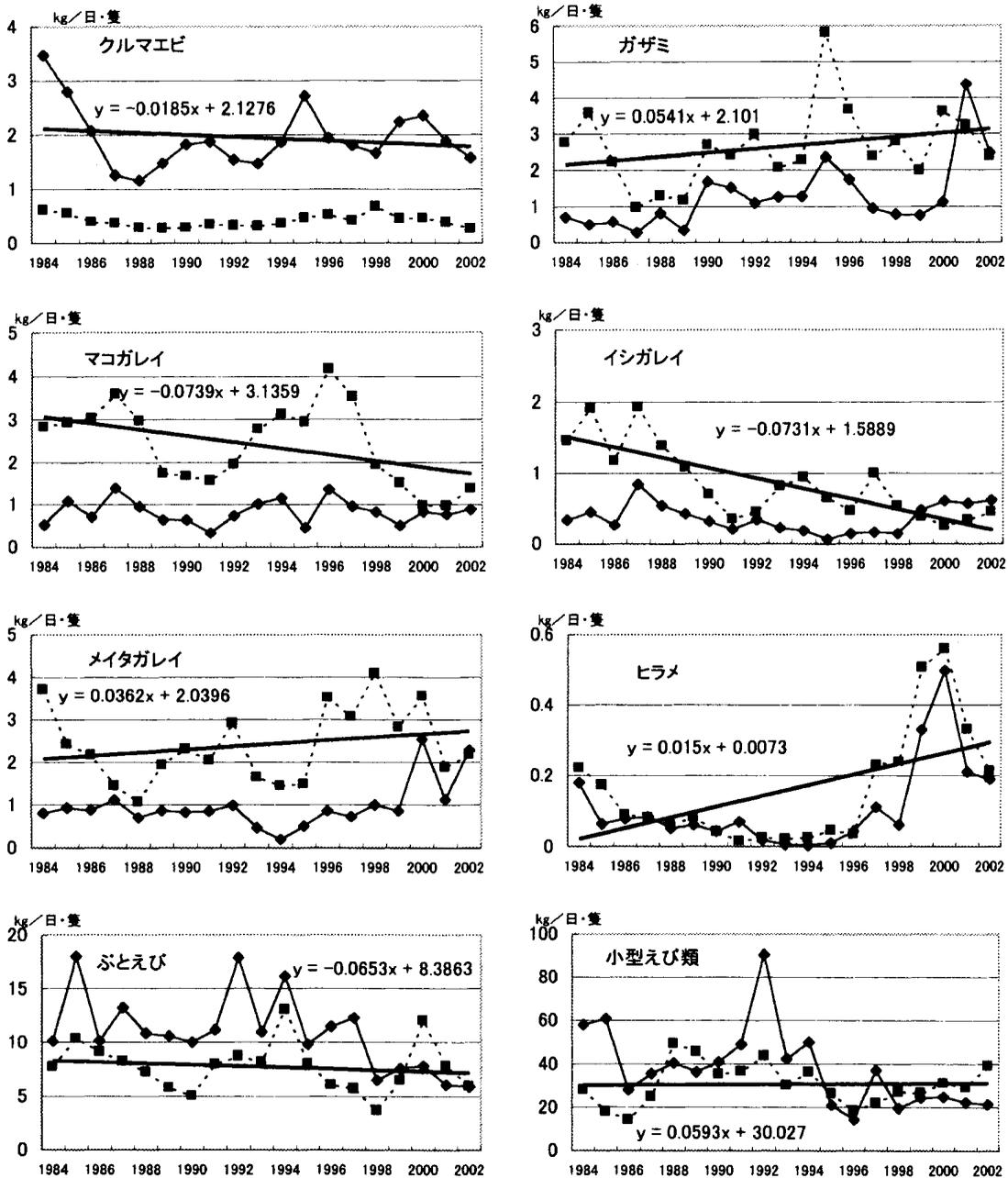


図2 8魚種について記録している底びき網標本船の魚種別CPUE経年変化。実線は小型底びき網2種、破線は小型底びき網3種のCPUEを示す。回帰直線はCPUEの大きい漁法について計算した。ただし、ぶとえびと小型えびについては小型底びき網3種のCPUEについて計算した。

この標本船ではメイタガレイCPUEは減少傾向と判定された。動物分類群でCPUEの増減した種数を見ると、魚類では増加5種に対して減少6種、甲殻類では増加3種に対して減少1種、軟体類では増加4種に対して減少3種であった。魚類は若干減少傾向、甲殻類は増加傾向、軟体類も増加傾向といえた。軟体類は頭足類が全ての種で増加、貝類が全ての種で減少した。

22魚種の年間CPUEについてのクラスター分析ではユークリッド距離2.5のところで4つのクラスターが形成され、それぞれ第1クラスター（イヌノシタ、小

型えび、シャコ、マコガレイ、メイタガレイ）、第2クラスター（コウイカ、シロギス、クルマエビ）、第3クラスター（マダコ、マアナゴ）、第4クラスター（トカゲエソ、クラカケトラギス）であった。さらに表1 小型底びき網標本船CPUEの魚種別動向

	増加傾向	減少傾向
魚類	ヒラメ、ねずぼ類、シロギス、イヌノシタ、ハモ (5魚種)	マコガレイ、メイタガレイ、タチウオ、えそ類、マアナゴ、クラカケトラギス (6魚種)
甲殻類	クルマエビ、シャコ、ガザミ (3魚種)	小型エビ (1魚種)
軟体類	マダコ、テナガダコ、コウイカ、ジンドウイカ (4魚種)	アカガイ、トリガイ、まき貝類 (3魚種)

ユークリッド距離4のところではヒラメ、ガザミ、ハモがクラスターを形成したので、これを第5クラスター

とした。クラスター構成種の標準化CPUE平均値の3か年移動平均は図3に示した。5つのクラスターの

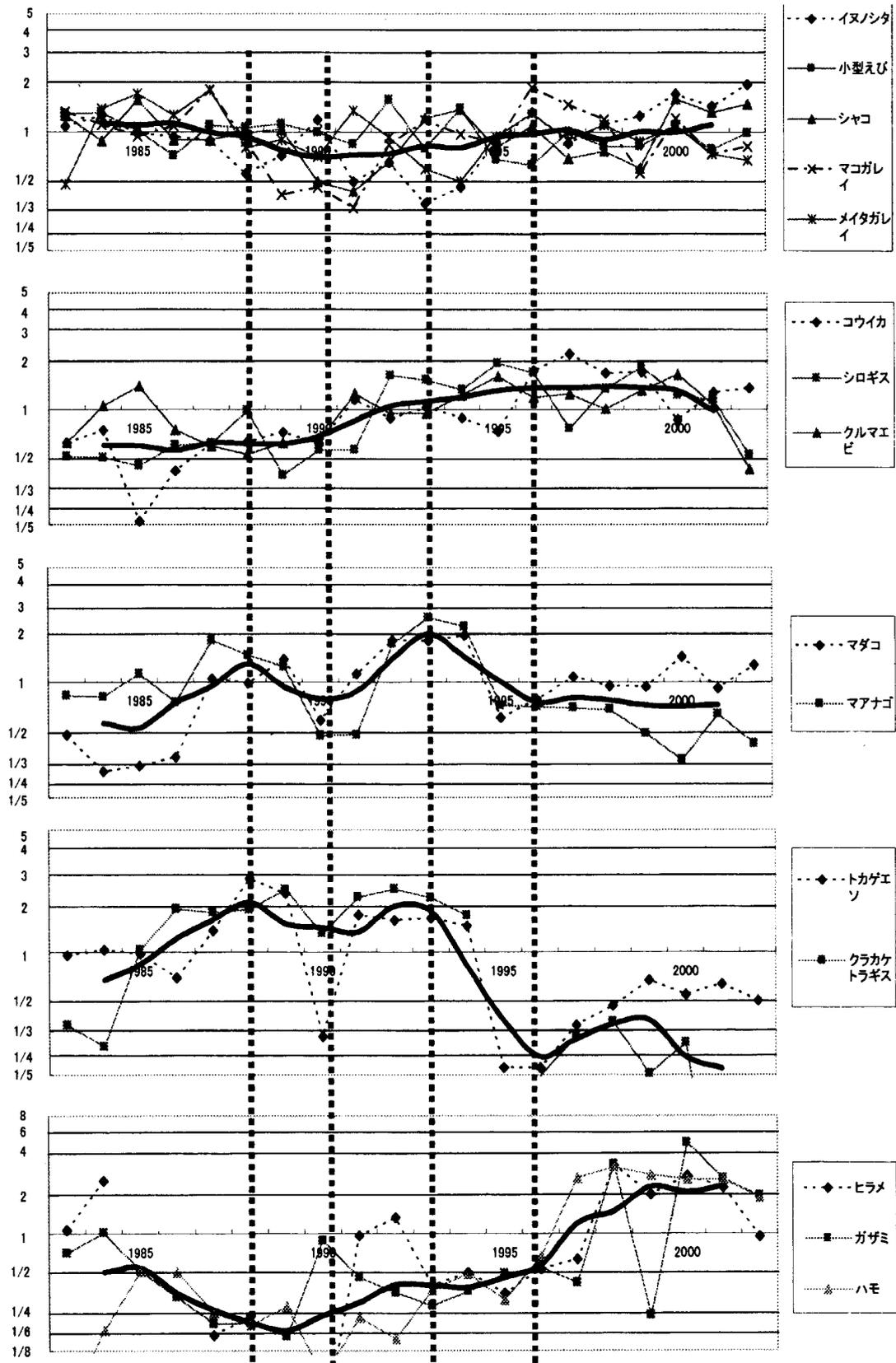


図3 小型底びき網漁獲物 CPUE クラスター別平均値3か年移動平均の動向。20年間の個体数組成比平均値を1として指数化した。太い曲線はクラスター構成種の CPUE 平均値3か年移動平均を表す。縦の破線は複数のクラスターにおいて3か年移動平均に増減傾向の転換が見られた時期を示す。

CPUE移動平均値には複数のクラスターではほぼ同じ年にCPUEの増減傾向が反転する変曲点が出現した。これらの変曲点の出現時期は図3の破線で示したように1988年、1990年、1993年および1996年であった。1988年から1990年の間に出現した変曲点は第1クラスター、第2クラスターおよび第5クラスターの現在のCPUE水準を決定する方向付けがなされた変曲点であり、1993年に出現した変曲点は第3クラスターと第4クラスターの現在のCPUE水準を決定する方向付けがなされた変曲点であった。1996年にもCPUE動向に変化が見られたが、その後の資源水準を大きく変化させるものではなかった。近年の小型底びき網漁獲対象種の資源水準を方向付ける現象は1988年から1993年の間に2回起こった。

**投棄魚の種組成** 動物分類群別の個体数組成経年変化は図4に示した。1990年の31%を頂点として魚類の組成比が1996年には5%程度まで減少し、甲殻類の組成比は逆に1990年の65%を最低として1996年には90%程度まで増加した。2002年まで継続する魚類組成比の減少と甲殻類組成比の増大はともに1991年から始まった。また、図4では軟体類組成比の増加傾向は明瞭でないが、軟体類の組成比は1980年代の平均2.8%から徐々に増加して2000年代には平均6.2%と2倍以上になった。

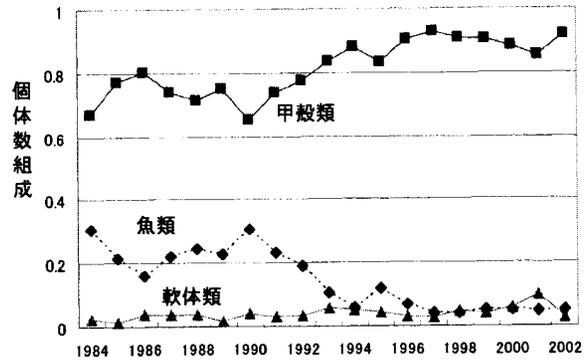


図4 投棄魚の動物群別個体数組成経年変化

32種について標準化した個体数組成比と重量組成比の積率相関係数<sup>3)</sup>は全魚種とも0.1%水準で有意な相関を示したので、以降は個体数組成比について検討を行った。

32種の標準化個体数組成比についてクラスター計算を行ったところ、ユークリッド距離2.8において4クラスターが形成された(図5)。第1クラスターはテンジクダイ、ねずっぽ類、イトヒキハゼ、スジハゼ、第2クラスターはジンドウイカ、フタホシイシガニ、テナガテッポウエビ、シャコ、第3クラスターはヒメガザミ、サルエビ、トラエビ、ミミイカ、アカエビ、第4クラスターはテッポウエビとササウシノシタであった。

各クラスター構成魚種の標準化個体数組成比平均

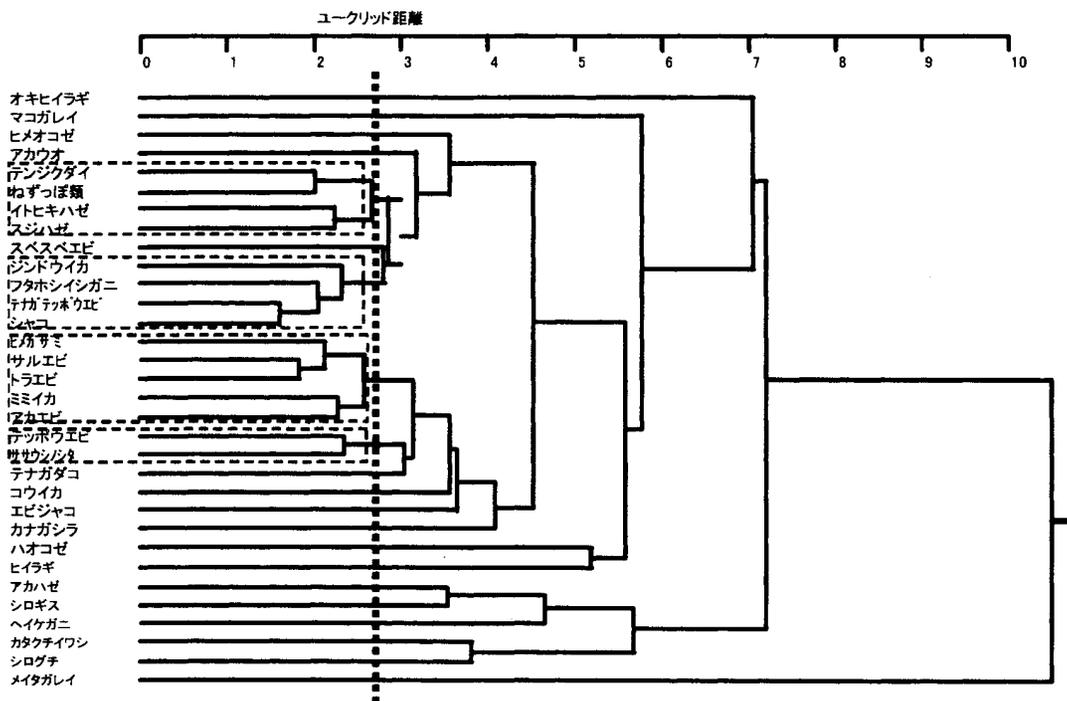


図5 投棄魚種個体数組成比についてのクラスター。ユークリッド距離2.8において4クラスターが形成されたことを示す。

値の3か年移動平均(太線)は図6に示した。4つのクラスターの移動平均値には複数のクラスターではほぼ同じ年にCPUEの増減傾向が反転する変曲点が出現した。これらの変曲点の出現時期は図6の破線で示したように1986年、1989年、1994年および1998年であった。とりわけ1986年から1989年の間に出現した変曲点は第1のクラスター、第2のクラスターおよび第3のクラスターに所属する魚種の近年の個体数組成比水準を方向付けるものであった。第4のクラスターでは1988年の変曲点から組成比が急増したが、1992年に出現した

変曲点で大きく傾向が変わり、近年の個体数組成比低下が方向付けられた。第1、第2および第4のクラスターには1998年付近にも変曲点が見られたが、その後の個体数組成比の水準を大きく変えるものではなかった。近年の小型底びき網投棄魚種の生物量水準を方向付ける現象は1986年から1992年の間に2回起こり、小型底びき網漁獲対象種の資源水準を方向付ける現象の発生時期に1~2年先行しつつもほぼ一致した。

1984年から1989年までを前期、1990年から1995年までを中期、1996年から2002年までを後期とすると、4

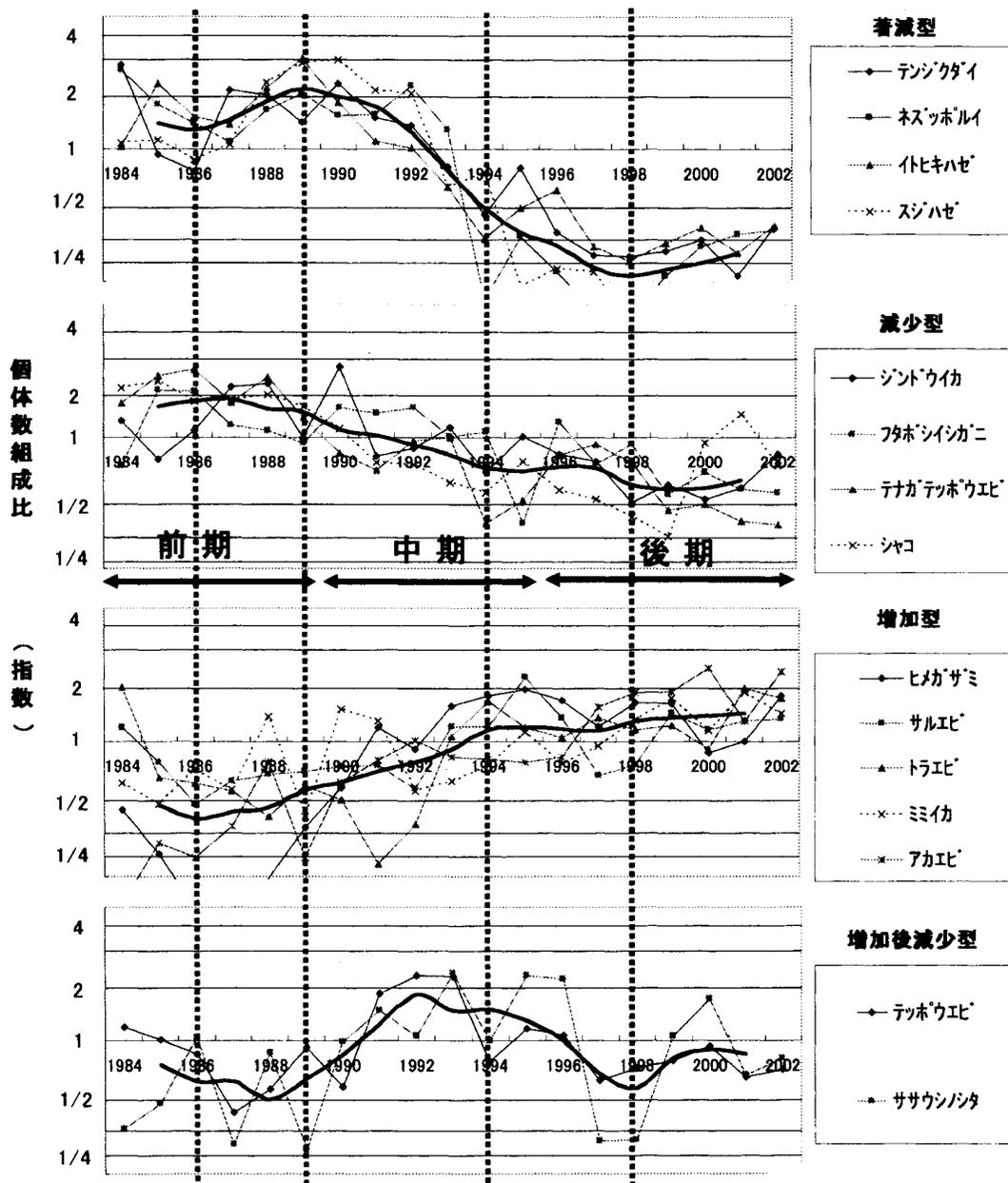


図6 投棄魚個体数組成比クラスター毎の魚種別組成比指数とその平均値3か年移動平均。19年間の個体数組成比平均値を1として指数化した。太い曲線はクラスター構成種の組成比平均値3か年移動平均を表す。縦の破線は複数のクラスターにおいて3か年移動平均に増減傾向の転換が見られた時期を示す。

表2 投棄魚107魚種の類型別魚種数と代表的種名

	著しい減少	減少	増加	増加後減少
魚類	マアジ、メイタガレイ、マアナゴ、タチウオ、カタクチイワシ、シログチ、シロギス、アカハゼ、スジハゼ、テンジクダイ、アカウオ (25種)	アイナメ、マコガレイ、コモチジャコ、ヒメオコゼ、ヨウジウオ、イヌシタ、サツバ、カワハギ (8種)	ハモ、ヒメジ、カナガシラ、クサウオ、キュウセン、イネゴチ、アカシタヒラメ、セトウシノシタ (8種)	ヒラギ、オキヒイラギ、トカゲエソ、アミメハギ、タマガンゾウヒラメ、マトウラギス、ヒゲハゼ、ハオコゼ、ゲンコ、メバル、シロサバフグ (19種)
甲殻類	マイマイエビ、ヘイケガニ、ゴカクイボオオギガニ (3種)	シヤコ、テナガテッポウエビ、スベスベエビ、イズミエビ、エビジャコ、フタホシイシガニ、ケバカエンコウガニ (9種)	サルエビ、トラエビ、アカエビ、キシエビ、ガザミ、ヒメガザミ、ワタリイシガニ、ナナトゲコブシガニ (13種)	テッポウエビ、スジオジヤコ、セスジヤコ、タイワンガザミ、テナガコブシガニ、ヒラツメガニ (9種)
軟体類	タイラギ (1種)	ジンドウイカ、コウイカ、トリガイ (3種)	ミミイカ、シリヤケイカ、イイダコ、キセウタ、ウミフクロウ、アカガイ、ツメタガイ (7種)	マダコ、テナガダコ (2種)

つのクラスターの組成比には次の特徴があった。第1クラスターは前期>中期>後期で後期は前期の1/4未満、第2クラスターも前期>中期>後期であるが後期は前期の1/4以上、第3クラスター前期<中期<後期、第4クラスターは中期が最も高いものであった。この組成比の時期的な大小関係に基づいて4つの類型を作成し、それぞれ著減型、減少型、増加型、増加後減少型とした。投棄魚調査で出現した魚種の中から同定の精度と出現頻度が比較的高いもの107魚種を選定して類型分けし、代表的な魚種と魚種数を表2に示した。魚類では増加8魚種に対して減少が33魚種、甲殻類では増加13魚種に対して減少12魚種、軟体類では増加7魚種に対して減少4魚種で魚類の減少傾向が顕著であった。

### 考察

小型底びき網漁船のヒラメCPUEは1995年までは減少傾向にあったが、1997年以降急激に増大した。山口県瀬戸内海において大規模なヒラメ種苗放流事業が実施された時期と一致していることと、放流魚の11.9%が回収される<sup>4)</sup>と推定されることから人工種苗の放流によって資源が増大したと考えられる。したがって、

ヒラメを除くと、魚類についての標本船CPUE増減は8魚種の標本船調査では2魚種が減少でメイタガレイ1種が増加、22魚種の標本船調査では6魚種が減少で4魚種が増加となる。甲殻類と軟体類ではいずれの標本船調査においてもCPUE増加魚種数が減少魚種数より多いか少なくとも同数である。投棄魚調査においては、魚類組成比の減少と甲殻類、軟体類組成比の増大はさらに顕著であった。このように周防灘で操業する小型底びき網により採取される生物相の経年的変化は魚類の減少と甲殻類および軟体類の増加を特徴としている。また、軟体類の内訳では貝類が減少して頭足類が増加した。現在の資源状況に至る最大の変化は1988年から1990年の間に始まり、現在の投棄魚種生息密度に至る最大の変化は1986年から1989年の間に始まった。投棄魚種生息密度の変化が1~2年先行しているのは、投棄魚種に含まれる有用魚介類の幼稚魚が漁獲物となって影響が現れるまでに時間を要したためであるとの解釈が可能であり、周防灘生物相の最も大きな転換期が1986年から1990年にあったといえる。1963年から1977年の瀬戸内海西部では海域の富栄養段階が高まるにつれてカタクチイワシ、アサリ、モガイ、その他の貝類、ナマコ、小エビ類、コウイカ類が増加し

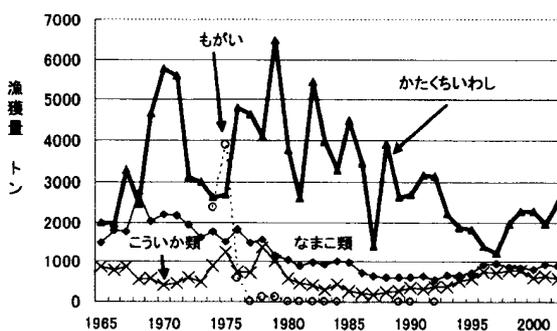
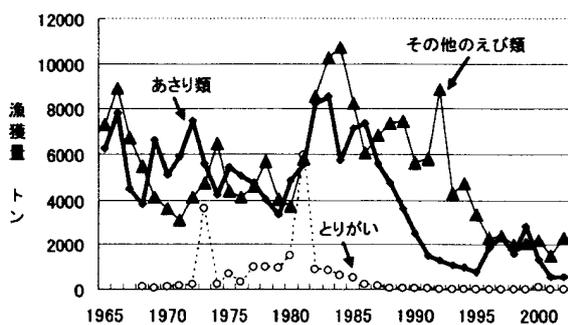


図7 富栄養化により漁獲量が増大したとされる魚種<sup>3)</sup>の山口県瀬戸内海における生産量 (山口農林水産統計)

たことが報告されている<sup>5)</sup>が、これら7魚種の山口県瀬戸内海における漁獲量<sup>\*1</sup>は図7に示したとおりである。あさり漁獲量の著しい減少は1987年に始まった漁獲量の減少がその後も継続したため起こった。とりがい漁獲量の減少は1986年から始まった。その他のえび類の漁獲量は1986年、1993年および1996年に起こった急激な減少がその後数年間の漁獲量水準を決定するものとなった。モガイ（サルボウ）は1976年から、ナマコは1970年代後半から減少した。近年のカタクチイワシ漁獲量も1970年代、1980年代に比べて大幅に減少している。その他の貝類の漁獲量は主にトリガイの漁獲量であると考えられるので、現在の周防灘においてはこれらの7魚種中6魚種について漁獲量の減少が顕著である。和西<sup>6)</sup>は山口県周防灘における現在の栄養塩類濃度は漁業生産に不十分な水準まで低下している可能性を指摘しており、周防灘における富栄養化はすでに終焉したと考えられる。

アサリとトリガイを例外とすると、現在なお継続している周防灘生物相の変化については成熟までに数年を要する寿命の長い生物が減少して、一年以内に成熟する寿命の短い生物が増加したと表現することが可能であろう。短命で、かつ短期間で成熟する生活史はr選択とよばれ、激しい捕食がある環境での適応であり<sup>7)</sup>、乱獲となる漁獲係数Fが非常に高いため乱獲になりにくい<sup>2)</sup>生態である。周防灘における小型底びき網漁船の隻数は経年的に減少してきており、漁獲圧が増大したとは考えにくい状況の下で、底びき網漁業資源生物と投棄魚から構成される底生生物に過大な漁獲圧

が加わっていることを暗示する現象が見られるのは、漁獲圧と生産力の均衡が相対的に漁獲圧優位へ傾いたためと考えられる。アサリとトリガイ漁獲量の激減は周防灘の富栄養化現象の終焉により起こったと考えられるので、周防灘の生産力は低下しており、これが周防灘の漁業生産に悪影響を与えていることが懸念される。

## 文 献

- 1) 田中 豊、脇本和昌 (1983) 多変量統計解析法。現代数学社、東京、229-244.
- 2) 田中昌一 (1985) 水産資源学総論。恒星社厚生閣、東京、381pp.
- 3) R.C.キャンベル (1976) 生物系のための統計学入門 (石居 進訳)。培風館、東京、pp. 239-243.
- 4) 檜山節久、木村 博 (2000) 山口県瀬戸内海におけるヒラメ人工種苗の放流効果について。山口県内海水産試験場報告, 29, 1-8.
- 5) 多々良 薫 (1981) 内海・内湾の漁業生産力について - 瀬戸内海漁業資源の生産力 - (総述)。南西海区水産研究所報告, 13, 135-169.
- 6) 和西昭仁 (2005) 山口県周防灘海域における最近30年間の水質変動。山口県水産研究センター研究報告, 3, 29-40.
- 7) 川崎 健 (1982) 浮魚資源。恒星社厚生閣、東京、pp. 212-224.

\* 1 中国四国農政局山口統計情報事務所編集山口農林水産統計年報

## 山口県瀬戸内海沿岸干潟における放流アサリの成長と生残

多賀 茂・和西昭仁・馬場俊典・松野 進・桃山和夫

### Growth and Survival of the Short Necked clam *Ruditapes philippinarum* Stocked on the Tidal Flats in the Seto Inland Sea, Yamaguchi Prefecture

Shigeru Taga, Akihito Wanisi, Toshinori Baba, Susumu Matuno and Kazuo Momoyama

After stocking the short necked clam *Ruditapes philippinarum* on 3 different tidal flats, Monzen, Imazu and Heta, in the Seto Inland Sea, Yamaguchi prefecture, in 2002 and 2003, growth and survival of the clam were monitored. At the Monzen tidal flats the survival rates of the clam without protection by cover nets decreased to 5 % 2 months after stocking due to predation by crabs. Even though the clam was protected by cover nets, the survival rates of the clam at 3 tidal flats also decreased to 40-50% 6 months after stocking. No unsuitable datum for inhabiting of the clam was analyzed in the environmental factors of the fishing grounds during the test period. Densities of chlorophyll-a and pheo-pigments in the bottom waters and bed sands in/on the Monzen and Imazu tidal flats where clams showed poor growth and survival were fewer than those obtained from the Heta tidal flats where clams showed better growth and survival. Moreover, fattnes coefficient of the clam collected from 3 tidal flats was low during spawning season. In addition to the declined vitality of the clam due to the long spawning season, food deficiency may be attributable to the main cause of the death of the clam protected by cover nets.

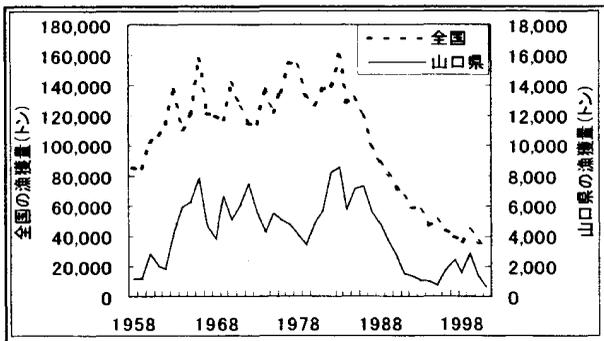


図1 全国と山口県のアサリ漁獲量

アサリ資源は、1983年以降全国的に減少しており、本県においても同様の傾向を示している(図1)。その原因については底質環境の変化、餌料不足、害敵動物による食害等の複数の要因が関係していると考えられているが<sup>1-6)</sup>、個々の要因が及ぼす影響の大きさは干潟毎に異なっているであろう。アサリ資源を回復又は利用するためには干潟毎に主な減少要因を明らかにす

る必要がある。

最近、本県では被覆網で保護しない場合、放流アサリは短期間の内に食害で消滅してしまう事例がほとんどである<sup>7,8)</sup>。そこで山口県水産研究センター内海研究部では、アサリプロジェクトチームを編成し、2002～2003年の2年間、被覆網保護を併用した放流アサリの追跡と環境調査を行い、県内の干潟漁場のアサリ減少要因について検討したので報告する。

#### 材料および方法

##### 1 調査地点

2002年度の調査では、岩国市門前川河口干潟に2カ所の調査定点st-w, st-xを設置した(図2)。底質はst-wが小石混じりの砂泥質, st-xが砂泥質であり、st-wは+約100cm, st-xは+約50cmの潮位で干出する場所を選定した。

2003年度は、門前川河口干潟st-x(以下門前)と新

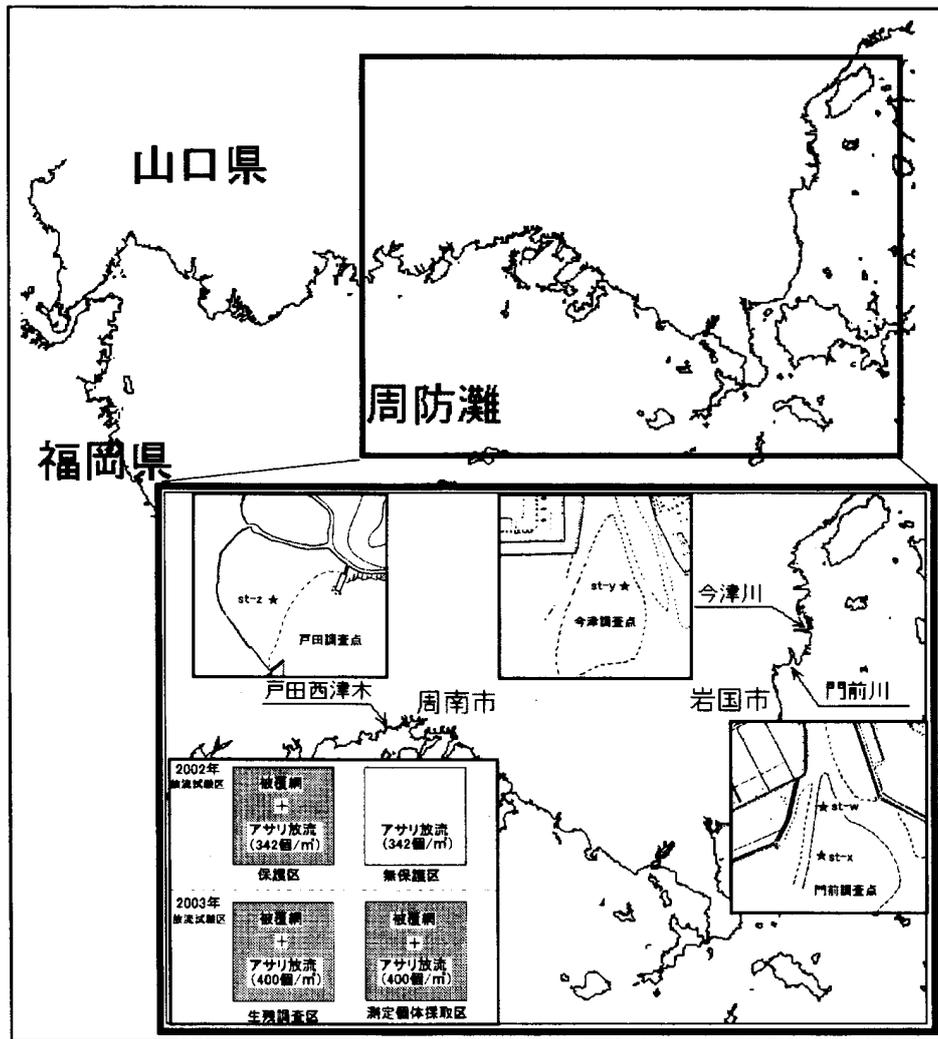


図2 調査地点および放流区画図

たに岩国市今津川河口干潟st-y（以下今津）および徳山市（現周南市）戸田st-z（以下戸田）の3カ所に定点を設置した。3定点とも+約50 cmの潮位で干出する場所である。底質は、今津が砂泥質、戸田が小石混じりの砂泥質である。なお、門前と今津はかつてアサリの好漁場であったが現在は分布量が少なく漁業としてアサリ採貝は行われていない。また、戸田は現在山口県瀬戸内海沿岸で唯一アサリ漁業が行われている漁場である。

## 2 放流試験区の設定

放流試験区の設定は図2に示した。2002年度は、st-w、st-xにそれぞれロープ囲いの試験区（3.6×3.6m四方）2区画を設け、各試験区とも大分県産のアサリ（平均殻長 $23.7 \pm 2.2$ mm）を密度が342個/m<sup>2</sup>となるように放流した後、一方を保護区として被覆網（市販の防鳥網：目合9mm）で覆い、他方を無保護区として覆い

をしなかった。放流日は各試験区とも2002年4月30日である。

2003年度の試験は、同様に各定点にロープ囲いの試験区（3.6×3.6m四方）2区画を設け、各試験区とも福岡県産のアサリ（平均殻長 $26.8 \pm 2.6$ mm）を密度が400個/m<sup>2</sup>となるように放流した後、前述の被覆網で覆い各2区画の一方を生残調査区とし、他方を測定個体採取区とした。放流日は今津、門前が2003年6月2日、戸田が6月3日である。

なお、両年度とも放流したアサリは放流前に水性の赤色ラッカースプレー標識した。

## 3 調査項目

### (1) 放流アサリの追跡

2002年度の放流貝の追跡は、4月から翌年の3月まで毎月1回原則として大潮干潮時に行った。放流アサリの殻長と生残率については20×20cm枠を用いて試験

区毎に3カ所採集した。また、成熟状態を調べるため各試験区から別に30個のアサリを無作為に採取して下記のとおり安田ら<sup>9)</sup>の方法により群成熟度を求めるとともに、肥満度を以下の方法により調べた。

群成熟度：軟体部の目視観察により、各個体の生殖腺の発達状況を下記基準で数値を与え平均値で示した。

0 (肉眼的に生殖腺の発達は認めがたい)

0.5 (生殖腺は消化盲囊の約半分を覆う)

1 (生殖腺は消化盲囊全体を覆う)

肥満度：軟体部重量÷(軟体部重量+殻重量)×100

2003年度の放流貝の追跡は、6月から11月まで毎月1回、その後は3月まで隔月で行った。生残率については、生残調査区内4カ所の25×25 cm枠取り調査で回収した個体数から求めた。回収個体は計数した後直ちに同じ試験区内に再放流した。殻長、群成熟度および肥満度については測定個体採取区で30個のアサリを無作為に採取して前年度と同様の方法で調べた。

## (2) 漁場環境

### 1) 2002年度

地盤高の変動については門前(st-w, st-x)の試験区付近に杭を打ち込み、この時の地盤表面の位置に印をして、これを基準(0cm)として調査日毎の地盤高を測定した。

底質は、内径4cmのコアサンプラーを用いて表面から2cmまでの部分を、調査地点ごとに毎月3カ所で採取し、泥分率(63μm未満の粒子成分の占める割合)、COD、全硫化物量、色素量<sup>10-14)</sup>を3カ所の平均値として求めた。色素量は吸光法<sup>15)</sup>によりクロロフィルa量とフェオ色素量を求め、両方を合計したものを全色素量とし、その他の項目については水質汚濁調査指針<sup>16)</sup>に準じた。

水質は底層(海底上約0.5m)の水温および塩分についてメモリー式水温塩分計(アレック社製AST500)により測定した。また、海底直上海水中の色素量は、シャッター装置<sup>17)</sup>を取り付けたKK式柱状採泥器により透明アクリル型コアサンプラー(内径4cm)内の底泥表面から10cmの高さまでの海水をサイフォンで採水ビンに取り出し、試料として分析した。採水は調査地点ごとに毎回3回行い、色素量はその平均値とした。コア内の海底直上海水は棒でゆるやかに攪拌しながら底泥面表層に堆積しているデトライト等沈殿物ごとサイホンで取り出した。

なお、水質および海底直上海水中の色素量調査は大

潮時の満潮後1~3時間内に行った。

### 2) 2003年度

地盤高の変動、底質、水質および餌料環境調査は、各定点について前年度と同様の方法で行うとともに新たに流速<sup>18)</sup>の調査を加えた。ただし底質の内、CODと全硫化物量については夏季、秋季、冬季の3回調査した。流速については、海底直上海水サンプリングと同じ日に行い、電磁流行流速計(アレック社製ACM-200PC)を用いて海底上0.5mの位置で測定した。測定は1分毎に5回測定し、流速値が極度に違う値を除いた3回分の平均値とした。

## 結果

### 1 放流アサリの追跡

#### (1) 2002年度

1) 生残と成長：無保護区のアサリはst-w, st-xともに放流後急速に減耗し、2ヶ月後に生残率が0~7%となり(図3)、試験区内には細かく砕かれたアサリの赤い貝殻が多数発見された。一方、両定点とも保護区では、約1ヶ月後に約60%まで急速に生残率が低下したものの、砕けた貝殻はほとんど見られなかった。その後、st-wは継続的に生残率が低下し、放流8ヶ月後に10%以下となった。他方、地盤の低いst-xは8月に生残率が11%まで大きく減耗し、その後1月までほとんど減耗はなかったが、放流約8ヶ月後の1~2月にかけて減耗し、生残は極めてわずかになった。なお、st-xでは1~2月にツメタガイによる食害が多く見られた。

成長は両定点とも春~夏にかけて伸びが大きく、特に地盤の低いst-xでは8月に大きく伸びた。秋から冬の間はほとんど成長しなかった。

2) 群成熟度と肥満度：群成熟度は、st-wとst-xでは変動時期に若干ずれがあるが、両定点とも夏~秋にかけて数値が高く、冬に低くなり、春に再び上昇した(図3)。一方肥満度は群成熟度の高い夏~秋にかけて、st-wで22.8~28.8, st-xで24.4~31.2と概して低く推移した。

#### (2) 2003年度

1) 生残と成長：門前では放流直後~7月にかけて生残率が60%まで大きく減少したが、他の2定点では8月まで減耗は見られなかった(図4)。しかし、3定点とも8~9月と10~11月に大きく低下する傾向が見られた。門前では減少幅が他の2定点と比べて大きく9月には生残率が26%となり、11月下旬には19%

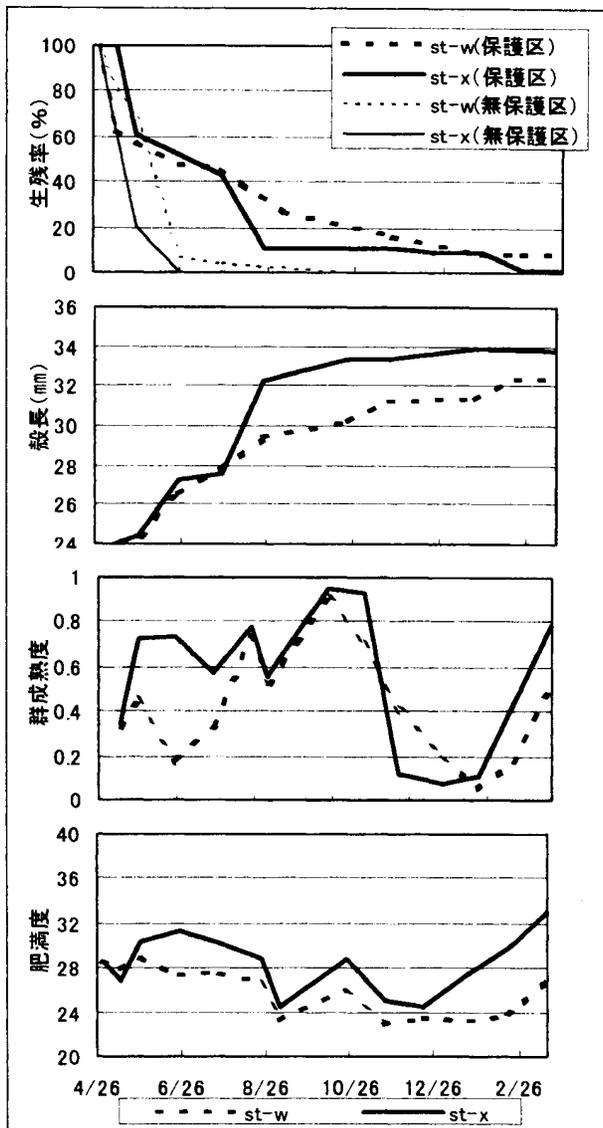


図3 2002年度門前川河口放流アサリ追跡結果

となった。今津と戸田の生残率は8～9月にそれぞれ80%と90%と高かったが、11月下旬にはそれぞれ44%と55%に低下した。

成長は、3地点とも春～夏にかけて伸び、秋から冬はわずかな伸びとなった。3地点では、戸田で最も成長が良く、次いで今津で良く、門前が最も劣った。なお、門前では12月には生残個体が極めて少なくなったため、それ以降の追跡調査は行わなかった。11月の門前と戸田の殻長の平均値の差の検定<sup>19)</sup>(t検定法, 有意水準0.05)を行ったところ、戸田の方が有意に殻長が大きかった ( $t_{cal} = 2.274 > 2.002 = t(0.05, 58)$ )。その他の組み合わせでは有意差は認められなかったものの、門前と今津では放流1ヶ月以降からは今津の方が常に殻長が約1mm大きく、今津と戸田でも秋～冬にかけて戸田の殻長が約1mm大きかった。

2) 群成熟度と肥満度：群成熟度は、全地点とも概

ね放流直後～夏にかけて数値が高く秋から冬に急激に低下したが(図4)、干潟ごとに特徴が表れた。門前では夏～秋にかけて高い状態が続き、11月に低下した。今津では8月まで高く9～1月に低下が続いた。戸田では、7月と10月に高く9月と11月に低下した。

肥満度は、全地点とも概ね放流直後～夏にかけてやや低下傾向であるが高目で推移し、11月に最も低くなった。その後測定できなかった門前以外の2地点は緩やかに上昇した。各地点ごとに見ると、門前では8月と11月にやや大きく低下した。今津と戸田とは夏～秋にかけて肥満度は30～32の範囲でほぼ同様の推移を示した。11月の低下は今津では24まで低下したのに対し、戸田では28までしか低下しなかった。

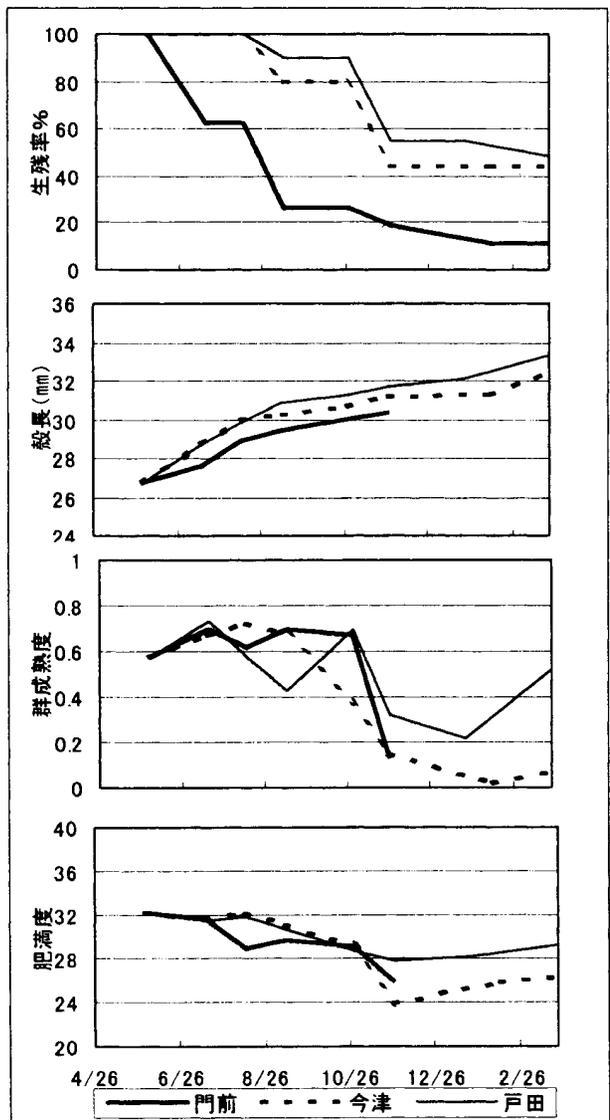


図4 2003年度保護放流アサリ追跡結果

## 2 漁場環境結果

### (1) 2002年度

### 1) 地盤高変動

地盤の高いst-wはほとんど変動がなく±1 cmの範囲で推移した(図5)。地盤の低いst-xでは夏場に2~4 cmの堆積があり、秋~冬にかけて-6 cmの浸食が見られた。

### 2) 底質

泥分率: st-wの泥分率は5~10% (期間平均7.2%), st-xは8~24% (期間平均15.2%) で前者の方が変化が小さく、全期間を通じてst-xが高い値で推移した(図5)。

CODと全硫化物量: st-wではCOD (4.2~5.3mg/g乾泥:期間平均5.3mg/g乾泥), 全硫化物量 (0.003~0.012 mg/g乾泥:期間平均0.008mg/g乾泥) とともに非常に低い値で推移し、値の変化も小さかった(図5)。st-xでは全期間を通じCOD (6.2~11.6mg/g乾泥:期間平均9.3mg/g乾泥), 全硫化物量 (0.012~0.1mg/g乾泥:期間平均0.055mg/g乾泥) のどちらもst-wより高目で変化もやや大きく推移したが、両項目とも概して低い値であった。

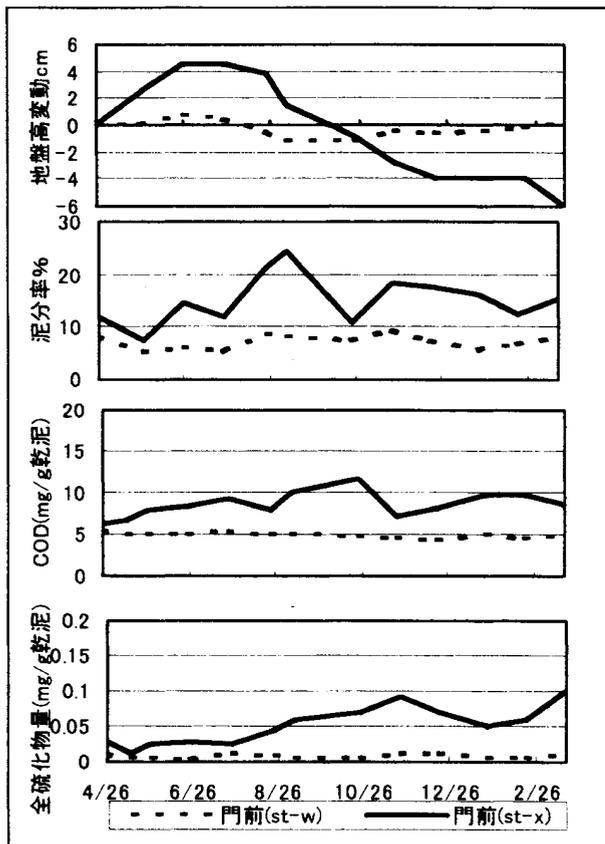


図5 2002年度底質調査結果

### 3) 水質

水温・塩分: 水温は, st-wとst-xでほとんど差がなく9月に約28℃で最高となり、1~2月に約10℃と最

低となった(図6)。塩分は, st-wで梅雨時期に29まで低下したものの、調査期間を通じてほぼ32前後で推移した。

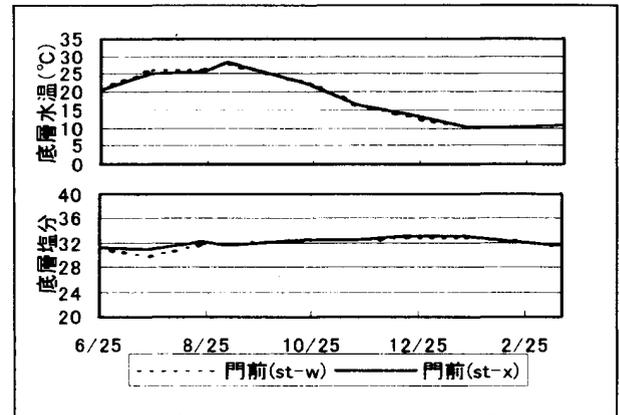


図6 2002年度水質調査結果

### 4) 餌料環境

底泥: 底泥表層中の全色素量はst-wとst-xでの差は小さく、春~秋にかけてはおおよそ2~4 μg/g乾泥の範囲で推移し、翌春にはおおよそ6 μg/g乾泥まで増加した(図7)。

海底直上海水: 海底直上海水中の全色素量は、底泥同様にst-wとst-xでの差は小さく、両地点とも5~12月の間はおおよそ50~100 μg/lの範囲で推移し、2~3月にかけてはおおよそ150 μg/lまで増加した(図7)。

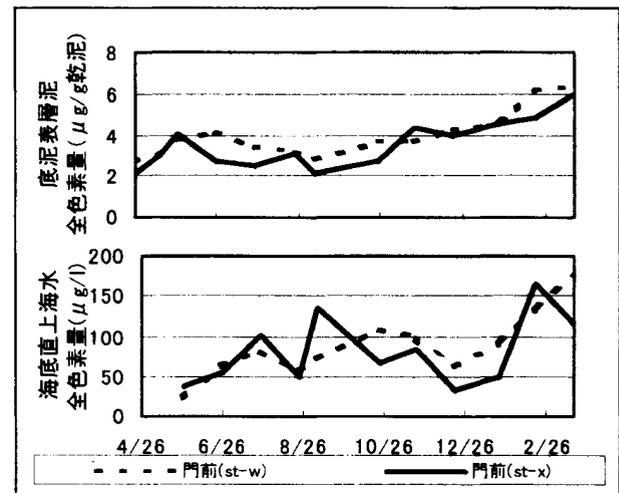


図7 2002年度餌料調査結果

## (2) 2003年度

### 1) 地盤高変動

門前では春~秋にかけて月に1 cmのペースで地盤高が低くなっていった(図8)。今津は河川水による土砂の流入、流出の影響が大きいと思われ、梅雨~秋にかけて月に3~4 cmの幅で上下に変動した。戸田はほ

とんど変動せず安定していた。

## 2) 底質

泥分率： 泥分は門前が最も多く、5～25%（期間平均15%）の範囲であった（図8）。戸田では、2～20%（期間平均9%）の範囲で、今津が最も低く1～17%（期間平均6%）の範囲で推移した。泥分の一時的な増加は門前で7月、今津と戸田で12月に観察されたがどの干潟でも翌月には減少した。

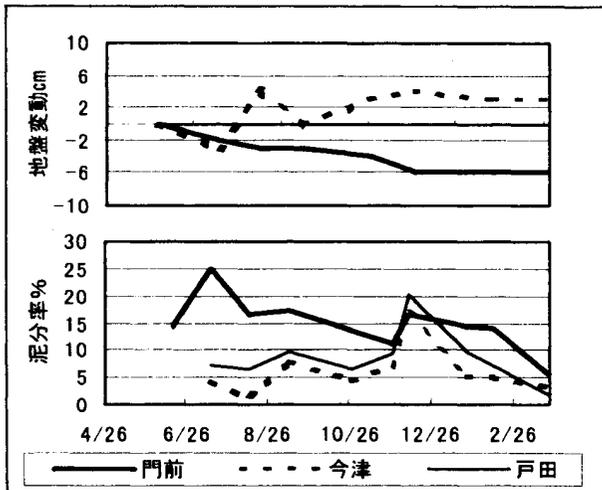


図8 2003年度地盤変動および泥分率調査結果

CODと全硫化物量： CODは門前が最も高目で推移し、次いで戸田が高目で、今津が最も低目で推移した（表1）。全硫化物量は、戸田が最も高目で推移し、次いで門前が高目で、今津は極めて低い値で推移した。全体ではCODと全硫化物量の最も高い値は、それぞれ8.2mg/g乾泥、0.076mg/g乾泥でどちらも概して低い値であった。

表1 表層泥のCOD、全硫化物量、全色素量

調査年月日	門前(st-x)			今津(st-y)			戸田(st-z)		
	COD mg/g乾泥	全硫化物量 mg/g乾泥	全色素量 μg/g乾泥	COD mg/g乾泥	全硫化物量 mg/g乾泥	全色素量 μg/g乾泥	COD mg/g乾泥	全硫化物量 mg/g乾泥	全色素量 μg/g乾泥
2003年7月15日	8.2	0.038	7.01	3.0	0.001	5.63	5.2	0.076	8.22
2003年10月27日	-	-	-	2.9	0.000	2.73	3.0	0.040	4.64
2003年11月27日	5.7	0.025	2.27	-	-	-	-	-	-
2004年1月20日	-	-	-	-	-	-	5.6	0.019	13.71
2004年2月10日	5.0	0.011	4.17	0.9	0.000	3.40	-	-	-

## 3) 水質

水温・塩分： 水温は、各定点間では大きな差がなく、9月に27～28℃で最高となり、1～2月に10～11℃と最低を示した（図9）。塩分は、7月に大雨の影響で門前では約25まで、今津では約20までそれぞれ急激に低下した。一方、戸田では、調査期間を通じて31～33の範囲で推移し大きな変化はなかった。

## 4) 餌料環境

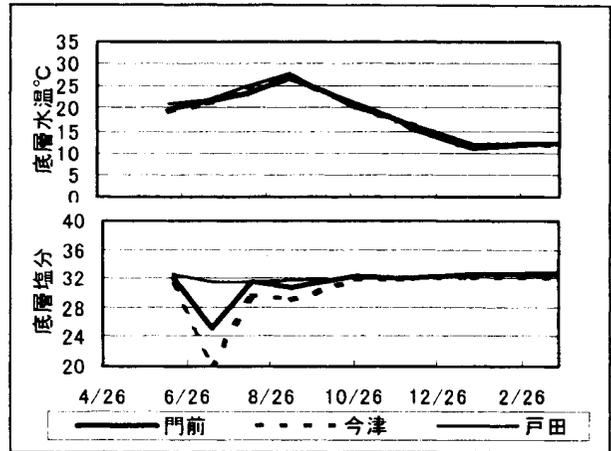


図9 2003年度水質調査結果

底泥：全色素量は、戸田で値が最も大きく期間を通して4.64～13.71 μg/g乾泥の範囲にあり、門前および今津ではそれぞれ2.27～7.01 μg/g乾泥、2.73～5.63 μg/g乾泥でほとんど差はなかった（表1）。

海底直上海水：全色素量は、期間を通して戸田で高く、8月を除きおよそ200 μg/l以上の値で推移した（図10）。門前では1月に174.8 μg/lのやや高い値が得られた以外はおよそ40～100 μg/lの範囲で推移した。今津では、6～7月に100～200 μg/lとやや高かった以後は、およそ100 μg/l以下と最も低い値で推移した。

## 5) 流速

流速は期間を通して今津が最も大きく3.3～12.0 cm/sであった（図10）。次に門前が1.3～10.0 cm/sと大きく、戸田が1.9～6.6 cm/sと最も小さかった。

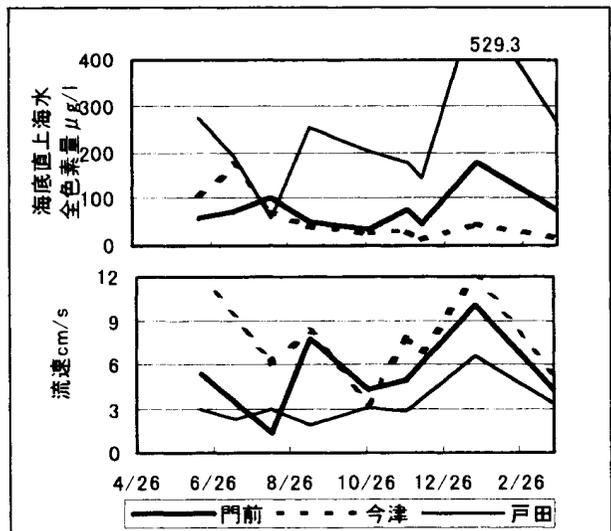


図10 2003年度餌料および流速調査結果

## 考察

門前川河口干潟における放流アサリは被覆網で保護しなかった場合には2ヶ月後にはほぼ全滅し、保護区においても8ヶ月後には生残率は2002年度および2003年度とも10%前後まで低下した。また、今津川河口干潟や戸田干潟の被覆網保護区においても、放流6ヶ月後には40~50%まで低下した。かつての山口県では、放流約1年後のアサリの生残率は、無保護状態においても1950年代では山口湾海域で約60~70%<sup>20)</sup>と報告されている。

被覆網による保護の有無にかかわらず、放流アサリの生残率はいずれも低かったが、生残率の低下速度や死亡貝の状況は大きく異なった。無保護区では放流直後から生残率は急激に低下し、放流現場には砕かれたアサリの貝殻が多数散在していた。木村<sup>21)</sup>は、放流試験区付近でタイワンガザミやイシガニといった大型のカニ類が多く採集されたこと、および食害実験の結果から、門前川河口干潟の無保護区のアサリの急激な生残率の低下は主にカニ類による食害であると推察している。しかし、アサリ資源量が少ない現状ではカニ類の食害が極めて重要な減少要因となりうるが、資源量が豊富であればカニ類の食害だけで資源が枯渇するまで減少するとは考えにくいとも述べている。

倉茂<sup>22)</sup>は水温が $-2^{\circ}\text{C}$ ~ $32.5^{\circ}\text{C}$ の範囲ではアサリはほとんどへい死せず、干潟でのアサリ生息深度の測温値が $37^{\circ}\text{C}$ に達するような真夏の日中時に4時間干出す干潟でも生存にほとんど影響ないとしている。相島<sup>23)</sup>は塩分濃度が20でも試験開始後30分でアサリは100%潜砂したとしている。また、井上<sup>24)</sup>は地盤高が数ヶ月で10cm以上変動する地先ではアサリの分布量は極めて少ないと報告し、崔<sup>25)</sup>は、埋没深度が10cm以上でへい死が表れると報告している。泥分率について浜崎ら<sup>26)</sup>は、アサリの生息適範囲は30%以下と報告している。CODと全硫化物量については、河辺ら<sup>27)</sup>はCODは8mg/g乾泥以下、全硫化物量は0.1mg/g乾泥以下でアサリが多く、井上<sup>24)</sup>はそれぞれ20mg/g乾泥以下、0.03~0.12mg/g乾泥が生息適範囲としている。本調査では、いずれの干潟もこれらの生息適範囲を逸脱するような水底質の値は得られなかった。

また、本調査では、直接的な観測は行っていないが、馬場ら<sup>28) 29)</sup>によればアサリに影響を及ぼすようなプランクトン<sup>30)</sup>による赤潮の発生は、本調査期間中に調査海域では確認されておらず、貧酸素水塊<sup>22) 31)</sup>の出現を推測させるような漁業者からの漁業操業の異変等の報

告はない。

近年Perkinsus原虫の感染によるアサリへの影響が心配されているが<sup>32) 33)</sup>、桃山<sup>34)</sup>らは、本調査時に採取したアサリについてはPerkinsus原虫の寄生強度と成長、肥満度および生殖腺発育抑制の有無との間に相関は見られなかったとし、Perkinsus原虫のアサリへの影響はほとんどないものと推察している。

これまでの山口県瀬戸内海沿岸干潟におけるアサリの成熟、産卵期は春と秋の2回(2峰性)あることが知られており、産卵直前の肥満度はおおよそ30~38の値が報告されている<sup>35-37)</sup>。今回の調査では放流アサリの群成熟度は、戸田では2峰性であったが、門前と今津では6月下旬~10月下旬の長期に渡ったほぼ1峰性を示しており、また、成熟期の肥満度は、22.8~32.2の値の範囲で推移し、過去に得られている値に比べるとかなり低かった。いずれの干潟でもアサリの産卵盛期は那成成熟度が大きく低下する10月下旬~11月下旬と考えられるが<sup>9) 35)</sup>、この時期には肥満度の低下とともに、門前においては生残率が低いために明瞭ではないが、生残率が大きく低下した。

アサリの餌料の指標とされる全色素量については、岩男<sup>38)</sup>は、アサリ漁場の間隙水の全色素量を調査し、アサリの生育に優れている漁場の全色素量は $57.4\sim 280.8\mu\text{g/l}$ 、劣っている漁場では $27.7\sim 121.7\mu\text{g/l}$ と報告している。本調査で得られた海底直上海水の全色素量の値は、放流アサリの成績が優れていた戸田では、ほぼ $200\mu\text{g/l}$ 、劣っていた門前と今津では $40\sim 100\mu\text{g/l}$ となり岩男の間隙水の調査に近い結果となった。

また、アサリの単位時間当たり餌料量は、海底直上海水中の全色素量( $\mu\text{g/l}$ ) $\times$ 流速( $\text{cm/s}$ :海底上0.5mの流速)で表すことができるとすると、生残率、成長、肥満度すべてで最も優れていた戸田で値が高く、これらが劣っていた門前、今津で値が低かった(図11)。

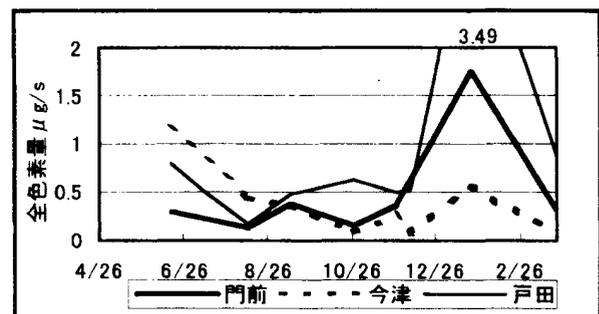


図11 干潟表面上を通過する海水中の全色素量( $\mu\text{g/s}$ )

更に、放流アサリの11月の生残率と殻長および6~11月の平均肥満度と、海底直上海水の単位時間当たり

の全色素量 ( $\mu\text{g/s}$ ) の6~11月の平均値の関係をみると、資料数が少ないことから(自由度1) 5%水準で有意なものとは言えないものの<sup>19)</sup>、平均全色素量値が高いほど生残率および平均肥満度も高くなる傾向が見られた(図12)。

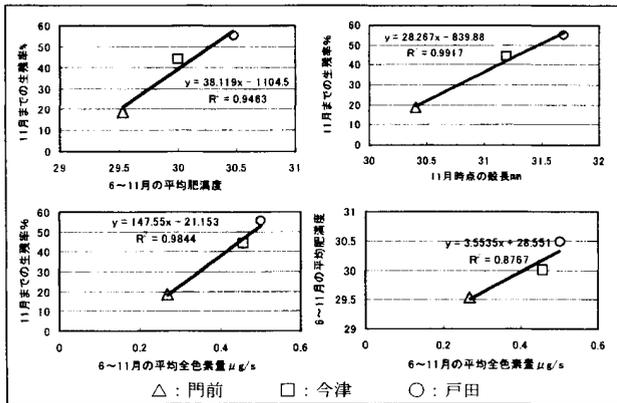


図12 2003年度11月までの生残率と殻長・肥満度・全色素量等の関係

摂餌量が多いと肥満度が高くなる傾向は既に報告されており<sup>39) 40)</sup>、今回得られた各干潟の全色素量の多少と放流アサリの成績の良否との関係は、それらの干潟におけるアサリ採貝業の現状、即ち、戸田干潟のみ操業されていることと一致している(図13)。

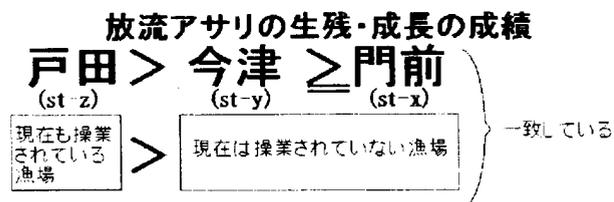


図13 2003年度放流成績模式図

冬季に餌料不足となったアサリは肥満度や潜砂率が低下し、ひいては生残率も低下する可能性が高いことが示唆されており<sup>39) 41) 42)</sup>、また、アサリと同様の餌料を必要とするトリガイが山口県瀬戸内海地先において夏季の餌料不足から産卵期を乗り切るだけの栄養が不足し活力が低下してへい死するのではないかと推察されている<sup>43)</sup>。松野<sup>44)</sup>は、飼育実験においてわずかな量の餌しか与えられなかったアサリも、産卵期には産卵したと報告している。

今回の放流試験における被覆網保護区のアサリの生残率低下は、産卵期間の長期化と餌料不足により活力が低下したことが大きな要因になっているのではなかろうか。

和西<sup>45)</sup>は、山口県周防灘海域の大半で栄養塩やクロロフィル-aが長期に渡り減少傾向にあり、海がきれいになってきていることを述べている。このことは、植

物プランクトンに起因するアサリの餌料環境が悪化してきていることを示唆している。また、同海域の水温は、30年間で0.71℃上昇していることが明らかにされている<sup>46)</sup>。アサリは、水温20~25℃で酸素消費が最大になる<sup>47)</sup>と報告されており、場合によっては水温の上昇にともない、アサリの基礎代謝量が最大となる水温期間が長くなり、より多くの餌料を必要しているにもかかわらず、栄養塩低下がおよぼす餌料環境の悪化が特に産卵期のアサリの活力を弱め、アサリ資源減少を後押ししている可能性も推察できる。

今後は、餌料とアサリの活力、産卵および死亡との関係についてより多くの干潟調査や室内実験により、減耗のメカニズムを解明するとともに、現状の干潟環境(特に餌料環境)における増殖に適したハマグリやミルクイ等の水産生物を探索することが重要となる。

### 謝辞

本調査は、岩国市役所水産港湾課、岩国市漁業協同組合および戸田漁業協同組合の賛同と多大な協力により行うことができた。ここに感謝の意を表します。

### 文献

- 1) 佐々木克之 (1998) : 内湾および干潟における物質循環と生物生産 (27), 干潟と漁業生物 1, 東京湾のアサリ. 海洋と生物, 117, 305-309.
- 2) 佐々木克之 (1998) : 内湾および干潟における物質循環と生物生産 (28), 干潟と漁業生物 2, 三河湾のアサリ. 海洋と生物, 118, 404-409.
- 3) 佐々木克之 (1999) : 内湾および干潟における物質循環と生物生産 (29), 干潟と漁業生物 3, 豊前海のアサリ. 海洋と生物, 120, 61-66.
- 4) 佐々木克之 (1999) : 内湾および干潟における物質循環と生物生産 (30), 干潟と漁業生物 4, 有明海のアサリ. 海洋と生物, 121, 162-166.
- 5) 柿野 純 (2000) : アサリの生息条件と大量発生. 海洋と生物, 127, 143-154.
- 6) 中原康智・那須博史 (2002) : 主要アサリ産地からの報告, 有明海熊本県沿岸. 日本ベントス学会誌, 57, 139-144.
- 7) 立石 健・井手尾寛・岸岡正伸 (1997) : 人工種苗によるアサリの放流技術開発試験Ⅱ. 山口県内海水産試験場報告, 26, 107-112.
- 8) 立石 健・井手尾寛・松野 進 (1999) : 人工種

- 苗によるアサリの放流技術開発試験Ⅲ. 山口県内海水産試験場報告, 27, 53-61.
- 9) 安田治三郎・浜井生三・堀田秀之 (1945): アサリの産卵期について. 日本水産学会誌, 20 (4), 277-279.
  - 10) 黒倉 寿・黒田信行・笠原正五郎 (1988): 芦田川河口域におけるアサリの生き残り条件に関する研究. 水産増殖, 35 (4), 223-228.
  - 11) 伊藤絹子・吉田 晋・鈴木あや子・狩谷貞二 (1989): 超音波振動を利用した二枚貝類への投餌方法. 水産増殖, 37 (4), 241-246.
  - 12) 小池裕子・斉藤 徹・小杉正人・柿野純 (1992): 東京湾小櫃川河口干潟におけるアサリの食性と貝殻成長. 水産工学, 29 (2), 105-112.
  - 13) 柴田輝和・鳥羽光晴・酒井美恵・兼子昭夫 (1999): アサリ漁場の生産力評価のための植物色素量の指標性. 千葉県水産試験場研究報告, 55, 67-72.
  - 14) 沼口勝之 (2001): アサリ漁場の餌料環境としてのセジメント. 水産工学, 37 (3), 209-215.
  - 15) (財) 日本気象協会 (1988): 海洋観測指針. 417p.
  - 16) (社) 日本水産資源保護協会 (1980): 水質汚濁調査指針. 543p.
  - 17) 藤澤邦康 (2001): シャッター装置を取り付けたKK式柱状採泥器による軟泥試料の採取法について. 岡山県水産試験場報告, 16, 67-68.
  - 18) 柿野 純 (1996): 東京湾盤洲干潟におけるアサリの成長と流れの関係. 千葉県水産試験場研究報告, 54, 7-10.
  - 19) 石居 進 (1975): 生物統計学入門. 培風館, 161-165, 196-200.
  - 20) 前川兼佑 (1961): 水産増殖-アサリ. 内海水産試験場調査研究業績, 11 (1), 442-448.
  - 21) 木村 博 (2005): かに類によるアサリの捕食. 本誌, 3, 97-103
  - 22) 倉茂英次郎・松本文夫 (1957): アサリの生態研究. 特に環境要素について. 水産学集成, 東大出版会, 611-655.
  - 23) 相島 昇 (1993): アサリ稚貝の潜砂行動に及ぼす水温と塩分の影響. 福岡県水産海洋技術センター研究報告, 1, 145-150.
  - 24) 井上 泰 (1980): 山口・大海湾におけるアサリの生態と環境について. 水産工学, 16 (2), 29-35.
  - 25) 崔 相 (1963): アサリの移動について. 水産増殖, 11 (1), 13-24.
  - 26) 浜崎稔洋・林 宗徳・上妻智行・山下輝昌・小原博義・相島 昇 (1991): アサリ種苗初期減耗原因の究明に関する研究. 昭和63年度福岡県有明水産試験場研究業務報告, 33-48.
  - 27) 河辺 博・吉田好一郎・中島信次 (1979): 荒尾市地先漁場のアサリの資源について. 昭和54年度熊本県のり研究所事業報告書, 178-209.
  - 28) 馬場俊典・和西昭仁・岡田知久 (2002): 2002年の赤潮発生状況. 平成14年度山口県水産研究センター事業報告, 279-285.
  - 29) 馬場俊典・内田喜隆・和西昭仁・繁永裕司 (2003): 2003年の赤潮発生状況. 平成15年度山口県水産研究センター事業報告, 321-327.
  - 30) 松山幸彦 (1999): 二枚貝に対する*Heterocapsa circularisquama*の毒性発現機構. 日本プランクトン学会報, 46 (2), 157-160.
  - 31) 柿野 純・竹脇 博・鈴木和良 (1984): 最近の東京湾におけるアサリへい死現象とへい死調査に関する考察. 千葉県水産試験場研究報告, 42, 23-28.
  - 32) 浜口昌巳・薄 浩則・石岡宏子 (1997): アサリ漁場内の各種生物の相互作用. 水産工学, 33 (3), 201-211.
  - 33) 浜口昌巳・佐々木美穂・薄 浩則 (2002): 日本国内における*Ruditapes philippinarum*の*Perkinsus*原虫の感染状況. 日本ベントス学会誌, 57, 168-176.
  - 34) 桃山和夫・多賀 茂 (2005): 山口県瀬戸内海産アサリの*Perkinsus* sp. 寄生状況. 本誌, 3, 111-117
  - 35) 桃山和夫・岩本哲二 (1979): 山口・大海湾におけるアサリの産卵期について. 山口県内海水産試験場報告, 7, 19-34.
  - 36) 岩本哲二・河本良彦・桃山和夫・吉岡貞範 (1985): 今津川・門前川河口域のアサリ漁場調査. 山口県内海水産試験場報告, 13, 48-58.
  - 37) 山本 翠・井玉 貢・中村圭吾 (1993): 岩国市門前川河口のアサリ健全度調査について. 山口県内海水産試験場報告, 22, 86-94.
  - 38) 岩男 昂 (2003): アサリ漁場の環境特性. 大分県海洋水産研究センター調査研究報告, 4, 57-63.
  - 39) 柴田輝和・柿野 純・村上垂希子 (1997): 冬季の漁場における砂の流動に対するアサリの定位性ならびに餌料量・運動量とアサリの活力との関係.

水産工学, **33** (3), 231-235.

- 40) 鳥羽光晴・夏目 洋・山川 紘 (1992): 東京湾産アサリの成熟と産卵に関する二, 三の知見. 水産工学, **29** (1), 47-53.
- 41) 柿野 純・古畑和哉・長谷川健一 (1995): 東京湾盤洲干潟における冬季のアサリへい死要因. 水産工学, **32** (1), 23-32.
- 42) 柿野 純・鳥羽光晴・兼子昭夫・深山義文 (1992): 東京湾木更津地先における冬季のアサリへい死の特徴. 千葉県水産試験場研究報告, **50**, 21-30.
- 43) 木村 博・檜山節久・松野 進・馬場俊典・高見東洋・立石 健 (2002): 山口県大島郡北部海域におけるトリガイの生態と資源管理に関する研究 - VII, トリガイ死亡原因と資源の有効利用に関する考察. 本誌, **1**, 41-52.
- 44) 松野 進・多賀 茂・和西昭仁・河村和寛 (2005): 異なる量の餌料を投与したアサリの産卵と摂餌. 本誌, **3**, 105-109
- 45) 和西昭仁 (2005): 山口県周防灘海域における最近30年間の水質変動. 本誌, **3**, 29-40
- 46) 和西昭仁 (2004): 山口県周防灘海域における最近30年間の水温変動. 本誌, **2**, 1-6.
- 47) 海老原天生・村田靖彦 (1967): アサリの酸素消費量. 千葉県内湾水産試験場調査報告書, **9**, 89-96.

## かに類によるアサリの捕食

木村 博

### Predator-prey Relationship between Crabs and Short Necked Clam, *Ruditapes philippinarum*

Hiroshi KIMURA

According as the catch of short necked clam *Ruditapes philippinarum* has decreased since the late 1980s, harvest yield of the planted clams in the tidal flats has also decreased. Crabs are known to prey on clams, so author evaluated the predation pressure of crabs on the planted clams and on natural resources of the clam.

A lot of broken red shells were found in the nursery fields in where clams stained red with paint for the mark were planted without protect net on the estuarine tidal flat of the Monzen river in Iwakuni city. There existed a considerable number of crabs such as *Charybdis japonica* and *Portunus pelagicus* around the nursery fields, and they preyed on the clam leaving broken shells in a rearing tank. The crab of 149.2g (average weight of the crabs captured around the nursery fields) was evaluated to eat 13.8g flesh of the clam in a day. If the biomass of the clam is high as it used to be observed in 1982 and 1992 on the same tidal flats in Iwakuni city, growth of the biomass can be larger than the crab's predation pressure. The author concludes that the predation pressure of the crabs is the largest factor which reduces the population of planted clam in nursery fields but is not the main factor which has reduced the natural resources of the clam. The predation pressure of crabs on natural resources of the clam has increased relatively as the result of the marked clam resources diminution caused by unexplained factor.

**Key words:** predation, *Ruditapes philippinarum*, resources, crab

漁業生産を目的として他の海域から山口県瀬戸内海の干潟に移植・放流されたアサリ *Ruditapes philippinarum* の生残率が低いことや、瀬戸内海のアサリ資源量が減少している原因の一つとして捕食によってアサリが死亡していることがあげられる。かに類はアサリに対する主要な捕食者であることが知られている<sup>1)</sup>ので、筆者はかに類による捕食がアサリ放流事業を阻害する要因であることの実証を試みた。さらにアサリ資源に対するかに類の影響を量的に評価することで、近年のアサリ資源減少原因との関連について考察した。

### 方 法

放流海域におけるアサリの被食および捕食動物の生息実態調査

多賀ら<sup>2)</sup>は、2002年4月30日に平均殻長23.7mmの

アサリを岩国市門前川河口域の干潟に設定した網(目合い9mm)で覆われた試験区と網のない試験区に赤色ラッカースプレーで殻を染色標識した上で放流し、経時的な追跡調査を行った。筆者は当該海域の試験区x (Fig.1)において放流後13日目の5月13日および放流後27日目の5月27日にそれぞれの試験区表面に散乱しているアサリの死に殻を拾い集めた。アサリの殻を採集するにあたっては、赤色ラッカーの付着した殻のみを選択した。殻は無傷のまま両殻のそろっているものから破片となったものまで採集した。アサリ殻の蝶番1対を1個体として計数し、殻が破損して死亡した個体数が総死亡個体数に占める割合を覆い網のある試験区とない試験区について比較した。

試験海域の動物相を把握するため、2002年4月30日夕方、試験区xの約50m東側にかに籠およびあなご籠をそれぞれ10籠ずつ設置して、翌日午前中に取り上げ

た。籠内に垂下する餌としては活きアサリと活きアサリをつぶしたものをそれぞれ8個程度混合して使用した。また、2002年6月4日夕方、試験区xの西側に6節目（網目の1辺約30mm）の建網（1反約40m）6反を設置して翌日午前中に取り上げた。

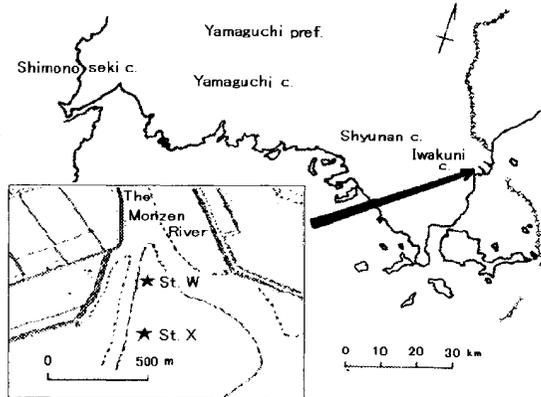


Fig.1. Study area. *R. philippinarum* stained red were planted in nursery fields with and without cover-nets at st. x on April 30th 2002.

#### かに類によるアサリの室内捕食試験

前述の捕食動物生息実態調査で採集されたタイワンガザミ *Portunus pelagicus* およびイシガニ *Charybdis japonica* 各4個体を5m×1.5m×0.5mの水槽内に設置した71cm×47cm×33cmのプラスチック籠8個に1個体ずつ収容し、水深は約30cmに設定した。タイワンガザミの全甲幅長は138mm~150mm、イシガニの甲幅長は37mm~92mmであった（Table 1）。かに類が捕食するアサリ殻長の上限と下限を把握するため、アサリ1個体をシャーレに入れて籠内に置き、24時間後に捕食されたか否かを観察した。試験に用いたアサリは多数の中から殻長8mm、11mm、20mm、27mmおよび38mmのものを選択した。試験は2002年6月5日から6月12日の間に行った。

6月12日にはかに類1個体につきアサリを20個体ずつ投与し、かに類のアサリ捕食量とアサリ殻長に対する選択性を試験した。投与したアサリ殻長は最小11mm、最大39mmで、全てのかに類について同じ殻長のアサリを投与することは出来なかったが、階級幅5mmで区分した時のアサリ殻長ヒストグラムが全てのかに類について同じとなるように調整した。捕食の結果は24時間後に観察した。

潜砂しているアサリをイシガニが捕食する生態を観察するため、夜間のビデオ撮影を行った。2.5m×0.9m×0.9mのコンクリート水槽内に厚さ15cmの砂を入れたプラスチック容器（64cm×39cm×16cm）を置き、アサリを潜砂させた後にイシガニを水槽に入れた。水深は約50cmとした。ビデオカメラは水槽の斜め上に設置し、プラスチック容器の上面全体を視野に納めて無人撮影を行った。焦点はプラスチック容器の砂表面に合わせたまま固定した。撮影時間は17時から23時および2時から4時とし、2時間ごとにビデオテープを交換した。撮影は2003年7月4日から7月8日まで、および2003年9月1日から9月11日までの間に行った。7月の撮影に用いたイシガニは2個体で甲幅長は83mmと105mm、アサリは50個体であった。9月の撮影に用いたイシガニは1個体で甲幅長は93mm、アサリは19個体であった。撮影時の照明として水面の約1.7m上方に設置されている蛍光灯2本（40W、長さ120cm）を昼夜とも点灯状態にした。

## 結果

### 放流海域におけるアサリの被食実態調査

アサリを放流して13日後の2002年5月13日に覆い網のある試験区とない試験区において採集したアサリの殻の写真をFig. 2に示した。覆い網のない試験区では破損した殻が多数見つかった。破損の程度は殻の一

Table 1. Characteristics of two crab species, *C. japonica* and *P. pelagicus*, used for the predation test on *R. philippinarum*

Individual number	Crab species	Sex	C.W. mm	T.C.W. mm	M.F.L. mm	B.W. g
1	<i>Charybdis japonica</i>	F	39	-	11	10.6
2	<i>C. japonica</i>	M	67	-	24	69.8
3	<i>C. japonica</i>	F	68	-	21	61.1
4	<i>C. japonica</i>	M	92	-	34	176.6
5	<i>Portunus pelagicus</i>	M	-	138	53	245.9
6	<i>P. pelagicus</i>	F	-	140	37	201.7
7	<i>P. pelagicus</i>	F	-	146	46	264.8
8	<i>P. pelagicus</i>	F	-	150	44	241.9

C. W. : carapece width

T.C.W. : total carapece Width

M. F. L. : movable finger length

B. W. : body weight

部が欠損したものから数mmの破片となったものまで様々であった。5月13日と5月27日に採集した殻を無傷のものと破損のあるものとに分け、推定したそれぞれの採集個体数をTable 2に示した。殻が破損していた個体の割合は覆い網のある試験区では放流後13日目に19.2%、放流後27日目に14.1%であったのに対して、覆い網のない試験区はそれぞれ45.5%、71.2%と著しく高かった。覆い網のある試験区とない試験区における殻が破損した個体の割合は、2×2分割表によるカイ

二乗検定では放流後13日目は $\chi^2=29.42$ 、放流後27日目では $\chi^2=112.47$ でいずれも0.1%水準で有意な差を示した。

#### 放流海域における捕食動物の生息実態調査

2002年5月1日に採集された動物はイシガニ3個体、タイワンガザミ2個体およびアカニシ*Rapana venosa* 2個体であった。6月5日に採集された動物はTable 3に示すように魚類22個体以外はタイワンガザミが13個体、アカニシとツメタガイ*Glossaulax didyma*がそれぞれ6個体、イシガニが2個体であった。岩国市門前川河口域では大型のかに類や肉食性巻き貝類などアサリの捕食者<sup>3)</sup>が採集動物個体数に占める割合は高かった。

#### かに類によるアサリの捕食試験

アサリを1個体ずつ投与した試験においてかに類がアサリを捕食した結果はTable 4に示した。甲幅長39mmのイシガニは殻長8mmと11mmのアサリは捕食したが殻長20mm、27mmおよび38mmのアサリは捕食しなかった。また、全甲幅長146mmのタイワンガザミは殻長20mm、27mmおよび38mmのアサリは捕食したが殻長8mmと11mmのアサリは捕食しなかった。このように大きなかに類は大きなアサリを選



Fig.2. The broken and empty-whole shells of *R. philippinarum* collected from the nursery field covered with net (left plate) and uncovered (right plates) on day 13 after planting. Note many of the shells in the right plates are broken.

Table 2. Collection of the red stained broken and empty-whole shells of *R. philippinarum* from the nursery fields covered with net and uncovered on day 13 and 27 after planting

	on day 13th			on day 27th		
	Coverd	Uncovered	Total	Coverd	Uncovered	Total
Whole	125.5	146.0	271.5	107.0	79.0	186.0
Broken	30.0	122.0	152.0	17.5	195.5	213.0
Total	155.5	268.0	423.5	124.5	274.5	399.0

Table 3. Marine animals collected by basket net on May 1st 2002 and by set net on June 6th 2002 at nursery field of *R. philippinarum* (st. x)

Species	Basket net		Set net	
	Number	Size	Number	Size
Shore swimming crab, <i>Charybdis japonica</i>	3	C.W. 31-59mm	2	C.W. 67-68mm
Taiwan gazami, <i>Portunus pelagicus</i>	2	T.C.W. 55-84mm	13	T.C.W. 104-151mm
Rapa whelk, <i>Rapana venosa</i>	2	B.W. 68-89g	6	B.W. 28-365g
Necklace shell, <i>Glossaulax didyma</i>			6	B.W. 39-53g
Common dace, <i>Tribolodon hakonensis</i>			1	F.L. 311mm
Sharpnose tigerfish, <i>Rhyncopelates oxyrhynchus</i>			1	T.L. 207mm
Sea bass, <i>Lateolabrax japonicus</i>			3	F.L. 305-587mm
Green gar, <i>Ablennes anastomella</i>			4	T.L. 740-779mm
Black rockfish, <i>Sebastes inermis</i>			13	T.L. 159-240mm

C. W. : carapace width

T. C. W. : total carapace width

B. W. : body weight

F. L. : folk length

T. L. : total length

Table 4. Result of predation test of two crab species, *C. japonica* and *P. pelagicus*, on the prey clam, *R. philippinarum*, of different sizes

Individual number	Crab species	C. W. (mm)	T. C. W. (mm)	Shell length of <i>R. philippinarum</i> (mm)				
				8	11	20	27	38
1	<i>C. japonica</i>	39		+	+	-	-	-
2		67		-	-	-	-	-
3		68		+	+	+	+	+
4		92		-	NE	-	+	-
5	<i>P. pelagicus</i>	138		-	-	-	-	-
6		140		+	+	+	+	+
7		146		-	-	+	+	+
8		150		+	+	+	+	+

+ : ate                      - : not ate                      NE : not examined

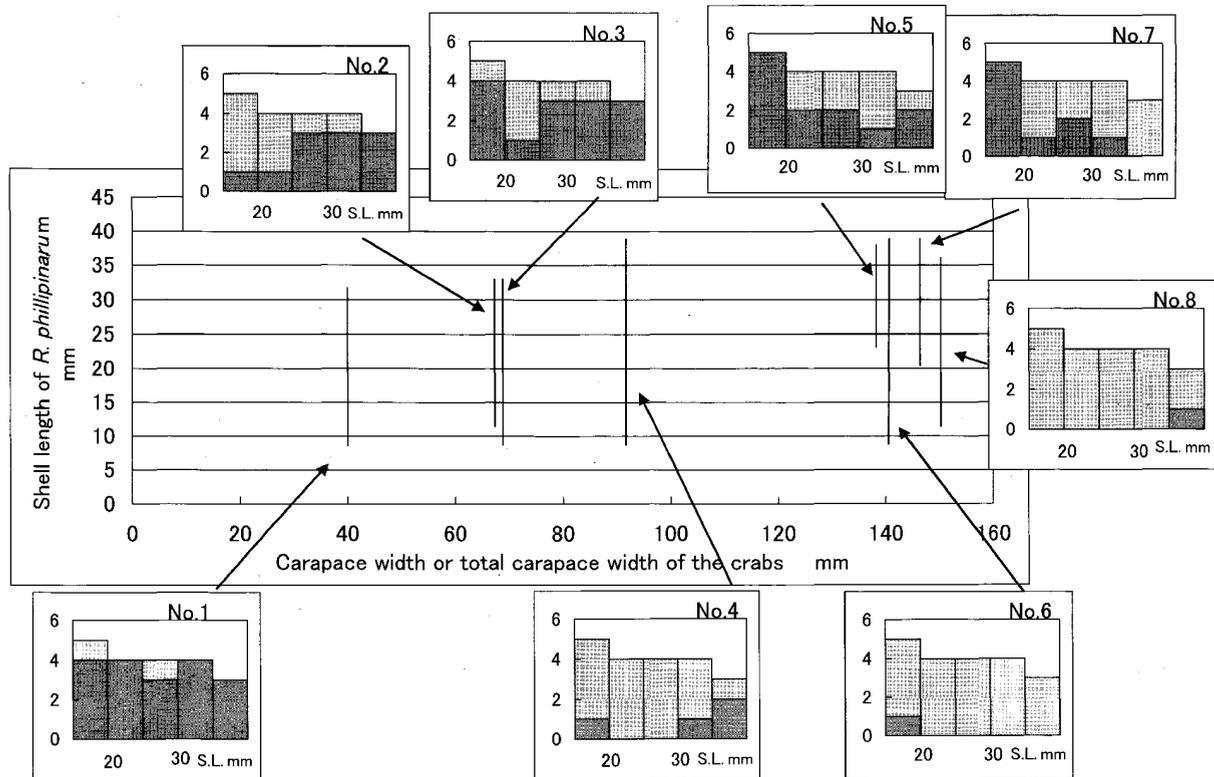


Fig.3. Relationship between sizes of the predator crabs, *C. japonica*, *P. pelagicus*, and the prey clam, *R. philippinarum*. Twenty clams of different sizes (11-39 mm in shell length) were fed to each crab (shown in Table 1). Vertical lines in the central large figure indicate the range of eaten clam's shell length. Small histograms indicate the number of eaten clams (pale column) and survived clams (dark column).

択し、小さなかに類は小さなアサリを選択する傾向が見られた。しかし、全甲幅長がさらに大きい150mmのタイワンガザミが殻長8mm~38mmの全てのアサリを捕食したので、かに類の大きさと選択するアサリの殻長の関係は強いものではなかった。

殻長11mmから39mmのアサリを20個体ずつ投与した試験におけるタイワンガザミの全甲幅長およびイシガニの甲幅長とそれらのかに類が捕食したアサリ殻長の最小値と最大値の範囲をFig.3に示した。さらにFig.3には投与されたアサリのうち捕食された個体数

と生残した個体数を殻長階級別に示した。

イシガニは24時間のうちに最も少ないもので2個体のアサリを捕食し、最も多いもので16個体を捕食した。タイワンガザミは24時間のうちに最も少ないもので8個体を捕食し、最も多いもので19個体を捕食した。

甲幅長39mm、67mm、68mmのイシガニは殻長35mm以上のアサリは捕食しなかったが、甲幅長92mmのイシガニは殻長39mmのアサリを捕食した。全てのタイワンガザミは殻長20mm以上の4階級全てにおいて各階級に含まれるアサリを少なくとも1個体

は捕食したが、20mm未満の階級に含まれるアサリを全く捕食しなかったものが2個体あった。これらはかに類の大きさによって選択するアサリの大きさが異なることを表していた。

イシガニの甲幅長とその個体が捕食したアサリ殻長の範囲は甲幅長39mmでは12mmから32mm、甲幅長67mmでは11mmから33mm、甲幅長68mmでは17mmから33mm、甲幅長92mmでは11mmから39mmであった。40mm以上の殻長のアサリについては試験していないので、甲幅長92mmのイシガニが捕食可能なアサリ殻長の上限は明らかでなかった。タイワンガザミの全甲幅長とその個体が捕食したアサリの殻長範囲は全甲幅長138mmでは23mmから38mm、全甲幅長140mmでは13mmから39mm、全甲幅長146mmでは21mmから39mm、全甲幅長150mmでは12mmから36mmであった。全甲幅長138mmの最も小型のタイワンガザミが試験に用いた最も殻長の大きい39mmのアサリを捕食したのでタイワンガザミの捕食可能なアサリ殻長上限値は明らかではなかった。

アサリを1個体ずつ投与した試験結果と総合すると、イシガニ、タイワンガザミとも捕食するアサリ殻長の最小値については不明であるが、殻長8mmのアサリは捕食することが確認された。イシガニが捕食したアサリ殻長の上限値は甲幅長38mmの個体では32mm、甲幅長67mmの個体では33mm、甲幅長68mmの個体では38mmで、甲幅長92mmの個体では不明であるが39mmまでは確認できた。タイワンガザミについては全甲幅長138mm以上の個体が捕食できるアサリ殻長の上限値は明らかに出来なかったが、少なくとも38mmまたは39mmまでのアサリは捕食することが解った。

岩国市門前川河口域において2002年4月から2003年4月まで籠内で飼育したアサリについて殻長と軟体部重量の関係として

$$y = 2.782 \times 10^{-4} x^{2.55} \quad x: \text{殻長mm} \quad y: \text{軟体部重量g}$$

が得られた。捕食試験に用いたアサリにもこの関係式が適用できると仮定して、アサリ20個体を投与した試験においてかに類が捕食したアサリの軟体部重量を推定した。かに類の体重と捕食したアサリ軟体部重量の関係は

$$y = 0.188 \times x^{0.858} \quad x: \text{かに類重量g} \\ y: \text{アサリ軟体部重量g}$$

$$r = 0.975$$

が得られた (Fig. 4)。

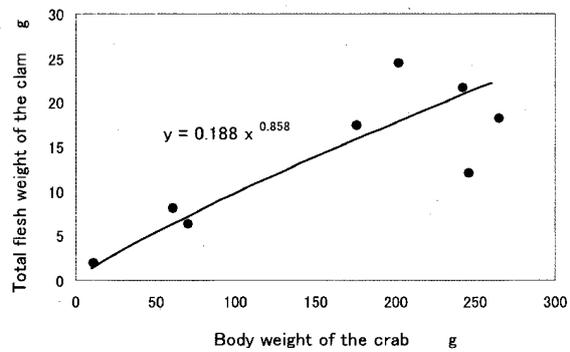


Fig.4. Relationship between the body weight of predator crabs (*C. japonica* and *P. pelagicus*) and the total flesh weight of the prey clam, *R. philippinarum*.

アサリ20個体を投与した試験において捕食されたアサリ殻と生残したアサリの写真をFig.5に示した。死亡したアサリについては殻の一部が破損したものから破片状となったものまでが見られ、岩国市門前川河口域の覆い網のないアサリ放流試験区で見られたアサリの死に殻と共通した特徴があった。

イシガニが潜砂しているアサリを捕食する生態についてのビデオ撮影観察では、次の点が認められた (Fig. 6)。

- 1) イシガニは3対の歩脚を砂の中に入れてアサリを探した。
- 2) 遊泳脚は砂内部に入れることなく、砂表面から離れた状態としてアサリ探索作業時に体の安定を保つために使用した。
- 3) 鉗脚は砂を掘ったり、じゃまとなる砂を体の前方から遠方へ押しつける作業に用いた。
- 4) 鉗脚と歩脚を用いてアサリを掘り出した。
- 5) 鉗脚と顎脚および補助的に歩脚を用いてアサリを頻繁に持ち替えながら割りやすい部位を捜した。
- 6) 鉗脚と顎脚を用いてアサリの殻を割った。
- 7) アサリの軟体部を食べながら殻を小さく割り続けた。
- 8) 10分間程度アサリの殻を割る作業を続けても割れない場合はあきらめてアサリを砂上に放置した。

その他の気づきとして、アサリの水管は砂の表面から見えない状態であったが、索餌活動開始後短時間で砂の中を捜索し始めたことから嗅覚でアサリの存在を察知していたことが推測された。また、イシガニは実験水槽に収容された日にアサリを捕食することはなく、捕食を開始するまでには数日を要し、馴化期間には個体差があった。



Fig.5. The broken shells and the survived clams of *R. philippinarum* 24 hours after the predation test on two crab species of *C. japonica* and *P. pelagicus*. Numbers on the plate indicate the individual number of the crabs shown in table 1.

### 考 察

このたびアサリ放流試験を行った岩国市門前川河口域においても他の海域で見られたような放流アサリの個体数が顕著に減少する現象が見られた。放流試験区には赤色ラッカーで標識された放流アサリの殻が割れた状態で多数散在していたことから捕食による減少であったと考えられる。放流試験区の周辺にはイシガニやタイワンガザミが分布しており、これらのかに類は

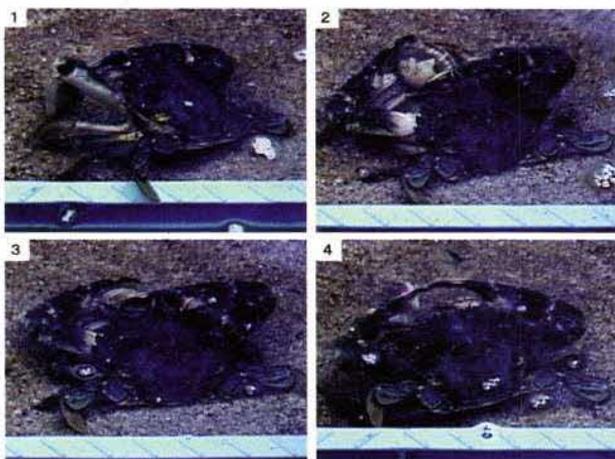


Fig.6. Behavior of the crab, *C. japonica*, preying on the clam, *R. philippinarum*, burrowing under the sand.

1: The crab is digging up the clam with its cheliped.

2: The crab tries to brake the shell with its cheliped and maxillipeds.

3: Ditto. After that, the crab succeeds braking the shell.

4: The crab is holding the broken shell and eating flesh.

室内実験においてアサリを捕食し、割った殻を捕食現場に残した。したがって、放流試験区の放流アサリは主にかに類によって捕食されたと考えられる。イシガニが潜砂しているアサリを掘り出す際には歩脚を砂中に入れて探索するので、砂の表面に網があると索餌作業は阻害される。アサリの放流後、表面を網で覆った試験区の生残率が相対的に高かった<sup>2)</sup>のはかに類をはじめ捕食者の活動を覆い網が制約したためであると考えられる。

かに類は自身の大きさに対して相対的に小さいアサリについては選択性が低くなるものの、全甲幅長150mmのタイワンガザミが殻長8mmのアサリを捕食しており、さらに小さいアサリを捕食する可能性は充分ある。大きいアサリに対する捕食能力については、甲幅長38mmのイシガニが殻長32mmのアサリを捕食したことが認められたので、甲幅長40mm前後のイシガニは市場価値を有する大きさのアサリを捕食する能力があるし、タイワンガザミはさらに大きいアサリを捕食した。したがって、漁業生産を目的とするアサリ種苗放流事業において、放流から漁獲回収に至るまでの間、アサリの殻長はかに類が捕食対象とする大きさの範囲内にある。さらに、天然資源についてはアサリ浮遊幼生が干潟に沈着した時点からアサリは小型かに類の捕食圧にさらされている<sup>1)</sup>と考えられる。

岩国市門前川河口域のアサリ放流試験区周辺において採集されたかに類の平均体重は149.2gであった。覆い網のない試験区に放流されたアサリは4,432個体で計算軟体部重量は0.89gであったから、軟体部総重量としては3,944gであった。体重149.2gのかに類は1日に13.8gのアサリ軟体を捕食するから、のべ286個体・日のかに類によって覆い網のない放流試験区の放流アサリは食べ尽くされることとなる。覆い網のない放流試験では放流アサリがほぼ絶滅するまでに8週間を要したが<sup>2)</sup>、放流試験区周辺にかに類が5個体生息しているとすると約8週間で食べ尽くされる計算となる。放流試験海域にはアサリを捕食する動物としてかに類の他に肉食性巻き貝やクロダイなども多数生息していたが、かに類による捕食だけでも放流アサリの絶滅は説明できる。

殻長23.7mmで放流されたアサリは322日後に殻長33.8mmに成長した<sup>2)</sup>。軟体部重量に換算すると0.89gのアサリが2.20gに成長し、1日あたりの成長量は4.07mgであった。かに類重量をx (g) として、これらが1日に捕食するアサリ軟体部重量y (g) はすでに

述べたとおり

$$y = 0.188 \times x^{0.858}$$

なので、アサリの個体数を $n$ （個体）とすると

$$4.07 \times 10^{-3} \times n = 0.188 \times x^{0.858}$$

の関係が成り立っていれば、アサリの生物量は減少しない。この式はアサリの個体数変化やかに類の生物量の変化を考慮しない静的なものであるが、アサリ生物量とかに類生物量の平衡に関する目安は得られる。放流試験区周辺のかに類について試算すると、149.2gのかに1個体につきアサリが3,384個体生息していればかに類によりアサリが捕食されてもアサリの生物量は減少しないことになる。現在、岩国市門前川河口域における天然アサリの分布密度はほぼ0個体/m<sup>2</sup>である。しかし、1982年11月から1983年9月にかけて同海域で行われたアサリ分布調査では調査定点の平均密度として370個体/m<sup>2</sup>~709個体/m<sup>2</sup>が記録されており<sup>5)</sup>、1991年9月から1992年11月には平均密度として446個体/m<sup>2</sup>~2,287個体/m<sup>2</sup>が記録されている<sup>6)</sup>。いずれも平均密度なのでアサリの生息個体数はこれらに広大な干潟面積を乗じた膨大なものであった。このようにアサリ資源量が豊富であれば、かに類が捕食しても資源の現存量は減少することはないのであって、近年、アサリ資源量が減少してきた原因がかに類の捕食圧であるとは考えられない。アサリがかつてのように高い生息密度を維持できなくなった何らかの要因がアサリ資源量減少の真の原因であって、かに類による捕食圧がアサリ資源減少要因として顕在化してきたことはアサリ資源の減少から派生した現象に過ぎないと考える。

## 謝 辞

かに類のアサリ捕食生態のビデオ撮影ならびに映像の編集については、山口県水産研究センター内海研究部養殖員兼運転士高橋哲也氏の多大な技術的協力により行うことが出来たので、ここに感謝の意を表します。

## 文 献

- 1) 中野義久・松野 進・立石 健・高見東洋 (2002) : 人工種苗によるアサリの放流技術開発試験 - IV. 山口県内海水産試験場報告, **28**, 62-71.
- 2) 多賀 茂・和西昭仁・馬場俊典・松野 進・桃山和夫 (2005) : 山口県瀬戸内海沿岸干潟における放流アサリの成長と生残. 本誌, 87-96.
- 3) Toba, D. R., D. S. Thompson, K. K. Chew, G. J. Anderson and M. B. Miller (1992) : Guide of Manila Clam Culture in Washington. 鳥羽光晴監修 (1996) : ワシントン州におけるアサリ養殖ガイドブック. 水産増養殖叢書, **42**, (社) 日本水産資源保護協会, 東京, pp. 24-27.
- 4) 鳥羽光晴 (1989) : ケフサイソガニによるアサリ稚貝の捕食実験. 特に種苗生産稚貝と自然発生稚貝の捕食されやすさの差異. 千葉水試研報, **47**, 27-33.
- 5) 山本 翠・岩本哲二・井玉 貢・鐘 篤志 (1994) : 岩国市今津川・門前川河口域のアサリ漁場調査. 山口県内海水産試験場報告, **23**, 45-63.
- 6) 岩本哲二・河本良彦・桃山和夫・吉岡貞範 (1985) : 今津川・門前川河口域のアサリ漁場調査. 山口県内海水産試験場報告, **13**, 48-58.

## 異なる量の餌料を投与したアサリの産卵と摂餌

松野 進・多賀 茂・和西 昭仁・河村 和寛

### Spawning and Food Consumption by the Short Necked Clam, *Ruditapes philippinarum* (Adams et Reeve), Preliminarily Fed at Different Levels of Cultured Phytoplanktons

Susumu MATSUNO, Shigeru TAGA, Akihito WANISHI and Kazuhiro KAWAMURA

Spawning and food consumption tests of the short necked clam, *Ruditapes philippinarum*, which were preliminarily fed at different levels of cultured phytoplanktons, were made to clarify the cause of the decrease of the natural resources of the animal in the Inland Sea area of Yamaguchi Prefecture. After administering the food for about 40 days, the animals which were preliminarily fed more food consumed more food than those consumed by the animals fed less food, but the amounts of food did not influence the spawning of the animal.

先に報告した山口県大島郡北部海域におけるトリガイの生態と資源管理に関する研究<sup>1, 2, 3)</sup>によると、トリガイの夏季におけるへい死は餌料不足との関連が示唆され、その中で山口県周防灘海域における1976年から2001年までの5月のDIN(溶存無機態窒素)の推移および1980年代後半からの低下傾向について触れた<sup>1)</sup>。その後、2002年から2004年までの5月のDINも連続して低レベルで推移している\*。一般に周防灘では5月は浮遊珪藻、浮遊鞭毛藻のブルームの谷間であり、また、梅雨前で陸域からの栄養塩類の一過性の供給も少ない時期であることから5月のDINは当海域のベースとなるDINを反映していると考えられ、近年、当海域における基礎生産力の低下は進行していると推察される。一次生産生物の減少はアサリの餌料生物の減少も意味すると考えられ、山口県瀬戸内海域のアサリ資源量の減少原因については、当海域における餌料の減少が大きい要因として想像される。海域でのアサリの餌料環境については沼口<sup>4)</sup>、石岡ら<sup>5)</sup>により報告されており、また餌料に関する室内実験については鳥羽ら<sup>6, 7, 8)</sup>がアサリの人工種苗生産の面から報告している。また、アサリのろ水、摂餌への濁りの影響について千葉ら<sup>9)</sup>

により報告されている。しかし、海域のアサリ資源の減少に関連した低い給餌レベルでのアサリの反応実験に関する報告は見当たらなかった。そこで餌料環境が低下していると考えられる海域でのアサリ資源の状況を考察するために、低いレベルの異なる量の餌料を投与したアサリについて産卵試験およびろ水活力を反映すると思われる摂餌量比較試験を行った。

#### 材料および方法

供試貝および飼育方法 周南市戸田干潟において2003年6月3日にペイント標識放流したアサリ<sup>10)</sup>を8月29日に採集し、秋穂湾の自然海水に培養餌料プランクトンを添加して予備飼育した。9月14日に予備飼育が終わった平均殻長30.5mmのアサリ (Table 1) を飼育水槽へ無作為に90個体ずつ収容した。飼育水槽は室内にウォーターバス (500 l の長方形水槽) を設置し、その中に内寸460×305×深さ260mmのポリプロピレン製角型容器を4個設置したもの (Fig. 1) を2組とし、給餌量を4段階とした4試験区で1試験区につき2水槽を異なるウォーターバス内に設置した。室内培養した *Pavlova lutheri*, *Tetraselmis* sp., *Chaetoceros*

\*山口県水産研究センター内海研究部 赤潮調査資料

*gracile*, *Nannochloropsis* sp.の4種類のプランクトン混合餌料 (Table 2) を産卵試験および摂餌量比較試験まで給餌した。給餌量は収容貝の単位重量あたり Group Aを1とし、以下2 (Group B), 4 (Group

C), 8 (Group D) 倍量とし、Group Dの給餌量が鳥羽の報告<sup>7)</sup>における摂餌量 (水温17~18°Cで殻長34~36mmのアサリが*Pavlova lutheri*を $2.93 \times 10^7 \sim 15.41 \times 10^7$ 細胞/g体重・日, 摂餌) の最低値を超えないよう

Table1. Size and sex ratio of *Ruditapes philippinarum* used in the present study. (N=75)

Shell length mm	Weight g	Flesh weight g	Sex ratio (%)		
			female	male	unknown
30.5±2.3	5.56±1.02	1.26±0.37	44	52	4

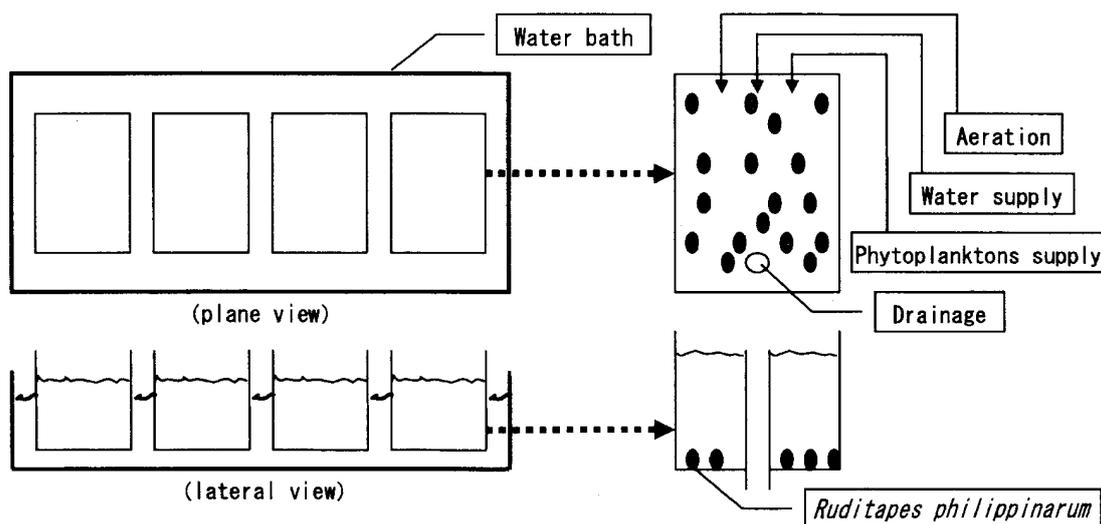


Fig.1. Rearing apparatus for the feeding test of *Ruditapes philippinarum*.

Table2. Total amounts of cells and pigments of phytoplankton species fed to each group of *Ruditapes philippinarum* during the test period.

Group	Phytoplankton species ( $\times 10^{10}$ cells)				Chlorophyll-a + Pheo pigments (mg)
	<i>P.l.</i>	<i>C.g.</i>	<i>T. sp.</i>	<i>N. sp.</i>	
A	5.16	0.34	0.26	5.31	47.9
B	10.31	0.68	0.52	10.62	95.7
C	20.63	1.35	1.03	21.24	191.5
D	41.25	2.70	2.07	42.48	383.2

*P.l.*: *Pavlova lutheri* *C.g.*: *Chaetoceros gracile* *T. sp.*: *Tetraselmis* sp. *N. sp.*: *Nannochloropsis* sp.

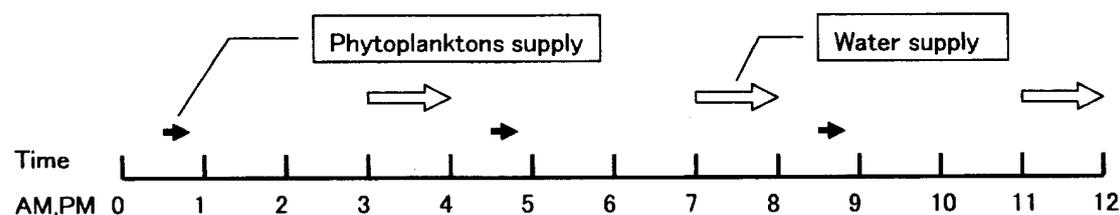


Fig.2. One day time schedule of water supply and phytoplankton supply for rearing *Ruditapes philippinarum*.

に設定した。*Pavlova lutheri*以外の3種類のプランクトンについては細胞体積比により*Pavlova lutheri*に換算した。これらのプランクトンは血球計算盤を用い検鏡法により細胞数を計数するとともに、クロロフィル-a量およびフェオ色素量を分析した。飼育はFig. 2に示す時間設定で自動飼育<sup>11)</sup>により行った。すなわち、給水は砂ろ過海水を3時間おきに1時間、飼育水量(34ℓ)の3倍量をかけ流しとし、給水終了の30分後から10~20分間ペリスタルポンプにより混合餌料を投与した。投与した餌料がかけ流しされないようにするために排水管はFig. 3に示す構造とした。

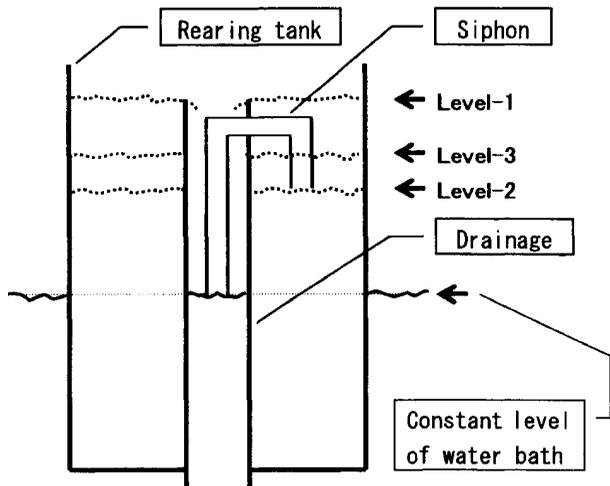


Fig.3. Structure of drainage.

- Level-1: Water level when water supply stopped.
- Level-2: Water level when siphon stopped. The siphon stops before phytoplanktons supply is started.
- Level-3: Rise of water level caused by phytoplanktons supply. Highest level is lower than the actuation level of the siphon.

産卵試験 飼育試験開始から36日目(10月20日)、40日目(10月24日)および43日目(10月27日)の3回産卵誘発を行った。飼育水槽からアサリを取り上げバットに入れて2時間干出した後、飼育水温より5~6℃高い海水を入れた飼育水槽に戻して加温刺激を加えて産卵を誘発した。水槽へ収容してから1時間経過しても産卵しない場合は*Pavlova lutheri*を給餌して産卵を誘発した。産卵した場合は産卵数を計数した後、洗卵してふ化槽に収容し、トロコフォア幼生の時点で形態を観察した。

摂餌量比較試験 飼育試験開始から43日目(10月27日)の産卵誘発の前後に2回、*Pavlova lutheri*による摂餌量比較試験を行った。各飼育水槽に等量の*Pavlova lutheri*( $10^{10}$ 細胞)を投与した後、1時間後の残存量を測定してアサリ重量(殻付き)1gあたりの摂餌量(偽糞として排出される部分もあるが、ここでは取り込まれた量を摂餌量とする)を算出した。

### 結果

飼育結果 飼育開始から43日目(10月27日)までのアサリの生残および水温の推移をFig. 4に示す。本試験に供したアサリは予備飼育時からへい死する個体が目立ち、本飼育を開始した後もへい死が続いた。水温(午前9時測定)は飼育開始時には25.0℃であったが、次第に低下し17日目(10月1日)以降はほぼ20.0℃以下で、最低水温は36日目(10月20日)の16.9℃であった。飼育開始から43日目(10月27日)までの給餌プランクトン細胞数の合計値および合計色素量をTable 2に示した。数日間隔で自動飼育の時間設定で給水が始まる直前に残餌を検鏡観察した結果、多くの場合

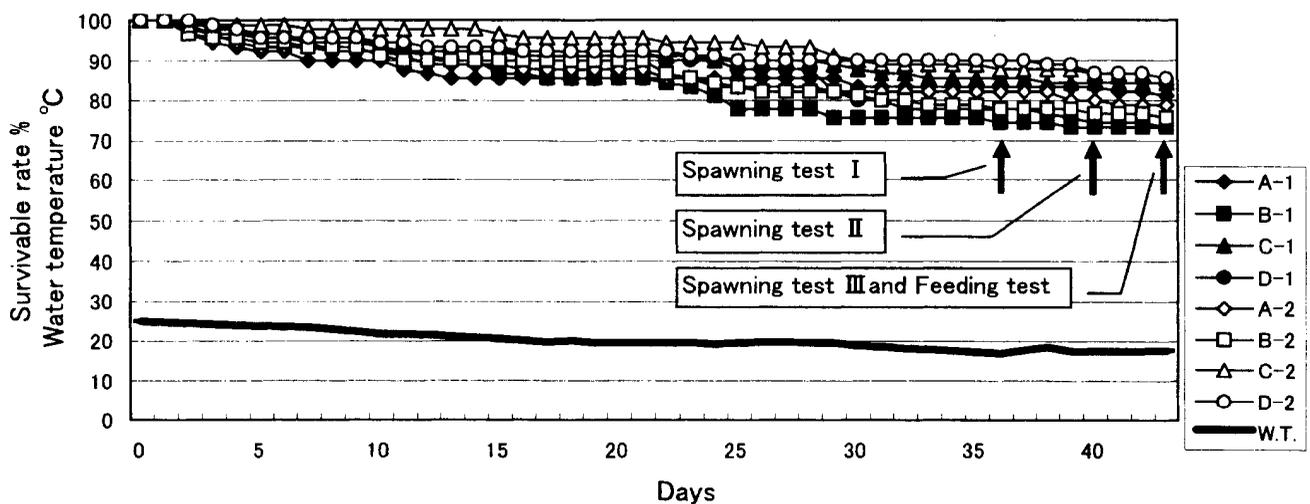


Fig.4. Changes in survivable rates of *Ruditapes philippinarum* and rearing water temperature.

Table 3. Results of the inducing spawning test of *Ruditapes philippinarum*.

Trial date	Spawnd group	Number of animals		Number of spawned eggs × 10 <sup>4</sup>	Morphological condition of trochophore larvae		
		Total	Female*		Normal	Abnormal	Normality %
20 Oct.	None						
24 Oct.	Group A-2	72	32	318	75	20	79
	Group D-1	67	29	522	104	47	69
27 Oct.	Group C-1	76	33	456	99	26	79

\* Number of females was estimated by the sex ratio shown in Table 1.

*Nannochloropsis* sp.のみがわずかに観察されただけで、投与した餌料プランクトンはほとんど全てが摂食されていた。

産卵状況 結果をTable 3に示す。第1回目(10月20日)の産卵誘発では産卵しなかった。第2回目(10月24日)にはGroup A-2およびD-1で、また、第3回目(10月27日)にはC-1で産卵があり、A-2で318万個、D-1で522万個、C-1で456万個の産卵量であった。産卵した雌の個体数は確認していないが、飼育開始時のアサリの雌雄判別結果(Table 1)および各Groupの生残率から算出された産卵時の雌の個体数はそれぞれ32個体、29個体、33個体であった。また、トロコフォア幼生の形態の正常率はそれぞれ79%、69%、79%であった。

摂餌量の比較 試験時の水温が18.1°Cおよび22.5°Cともに培養プランクトン混合給餌飼育時の給餌色素

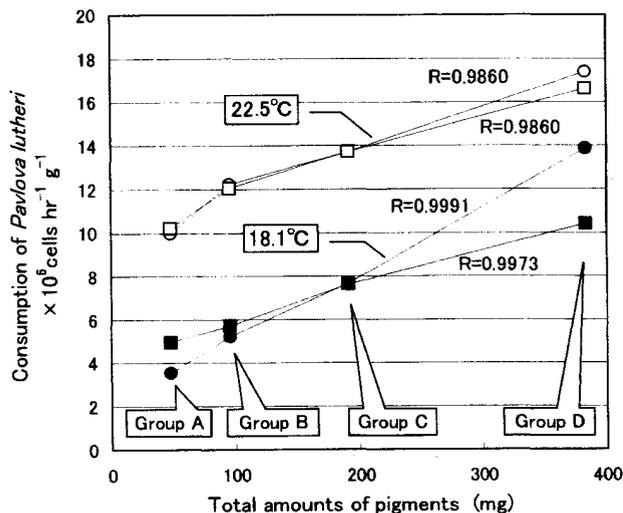


Fig 5. Relationship between the total amounts of pigments of cultured phytoplanktons which had been preliminarily fed to *Ruditapes philippinarum* at four different levels and consumption of phytoplanktons in the feeding test.

総量と摂餌量比較試験で摂食された*Pavlova lutheri*の細胞数とは正の相関を示し(Fig. 5)、培養プランクトン混合給餌飼育時の給餌量が多いGroupほど単位時間、単位アサリ重量(殻付き)あたりの摂餌量が多かった。

### 考察

本研究で供したアサリは現在山口県瀬戸内海域で唯一アサリ漁業が行われている干潟に標識放流したアサリを採集した。多賀ら<sup>10)</sup>による標識放流後の追跡調査によると、本研究のために採集した時期(8月末)は群成熟度が低下し、以降、放流現地において生残率が低下し始める時期であった。供試アサリも飼育開始後、生残率は低下して放流現地におけるアサリと同様な生理活性で推移していたと考えられる。このような状態のアサリを低い餌料濃度レベルで飼育してもアサリは飼育開始から40日後には産卵誘発に反応して産卵した。8水槽のアサリへの3回の産卵誘発に対する産卵反応を合わせ、餌料レベルとの関係をSpearmanの順位相関の方法<sup>12)</sup>で検定した結果、危険率0.05で餌料レベルと産卵反応とが相関があるとは考えられなかった。産卵した3Groupの3群について全ての雌(算出個体数)が産卵したと仮定すると飼育時の給餌量レベルに対する雌1個体あたりの産卵数はFig. 6のような相関を示し、産卵反応の有無とは別に給餌量が多いほど産卵数が多いことになるが、いずれにしてもGroup Aのように極めて低い給餌量レベルでも産卵はあり、しかも給餌量レベルがより高いGroup C, Dに比べても産卵数がそれほど低いレベルではなかった。また、Group Aのトロコフォア幼生の形態の正常率も他の試験区に比べて低くはなかったことから、餌料条件が良くない環境下でもアサリは成熟の最低条件さえそろえば、産卵することが推察される。一方、給餌量レベルが低い飼育環境のアサリは単位時間、単位重量(殻

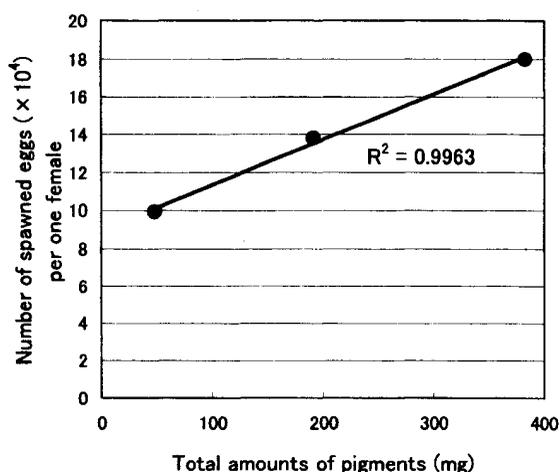


Fig.6. Relationship between the total amounts of pigments preliminarily fed to *Ruditapes philippinarum* and estimated number of spawned eggs per one female.

付き)あたりの摂餌量が低下していることはろ水力の低下を意味し、生理活性が低下したと推察される。本試験は産卵までで終了したが、生理活性が低下した状態で産卵したアサリは引続き餌料条件が良くない環境下であれば、へい死に至ることも十分に考えられる。

### 要約

- ・ 山口県瀬戸内海域のアサリ資源量の減少原因を解明する研究の一環として、異なる量の餌料を投与したアサリについて産卵試験および摂餌量比較試験を行った。
- ・ 投与した餌料の多少と産卵誘発刺激に対する反応の有無には相関が認められなかった。
- ・ 飼育時に投与した餌料の総量とその後の摂餌量比較試験における摂餌量とは正の相関が認められた。
- ・ 餌料不足はアサリの活力低下を招き、特に産卵期にその影響が大きいと考えられ、アサリ資源減少の一要因となり得ることが推察された。

### 文献

1) 松野 進・木村 博 (2002) : 山口県大島郡北部海域におけるトリガイの生態と資源管理に関する研究-V, トリガイの高水温耐性および低酸素耐性. 山口県水産研究センター研究報告, 1, 23-29.

2) 馬場 俊典・木村 博・立石 健 (2002) : 山口県大島郡北部海域におけるトリガイの生態と資源管理に関する研究-VI, トリガイ漁場の環境特性. 山口県水産研究センター研究報告, 1, 31-39.

3) 木村 博・檜山 節久・松野 進・馬場 俊典・高見 東洋・立石 健 (2002) : 山口県大島郡北部海域におけるトリガイの生態と資源管理に関する研究-VII, トリガイ死亡原因と資源の有効利用に関する考察. 山口県水産研究センター研究報告, 1, 41-52.

4) 沼口 勝之 (1990) : アサリ漁場における底層水, セジメントおよび底泥のクロロフィル a とフェオ色素量. *Bull. Natl. Res. Inst. Aquaculture*, 18, 39-50.

5) 石岡 宏子・浜口 昌巳・薄 浩則・立石 健・山本 翠・井手尾 寛・岩本 哲二 (1999) : アサリ育成漁場の環境特性. 瀬戸内海区水産研究所研究報告, 1, 15-37.

6) 鳥羽 光晴 (1989) : アサリの水槽飼育での性成熟過程における摂餌量の重要性. *水産増殖*, 37(1), 63-69.

7) 鳥羽 光晴・深山 義文 (1991) : 飼育アサリの性成熟過程と産卵誘発. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 57(7), 1269-1275.

8) 鳥羽 光晴・深山 義文 (1993) : 異なる量のパプロバ・ルテリを給餌したアサリ稚貝の総成長効率. 千葉県水産試験場研究報告, 51, 29-36.

9) 千葉 健治・大島 泰雄 (1957) : アサリを主とする海産二枚貝の濾水・摂餌に及ぼす濁りの影響. *日本水産学会誌*, 23(7), 348-353.

10) 多賀 茂・大橋 裕・松野 進・馬場 俊典・和西 昭仁・桃山 和夫 (2004) : アサリ資源回復調査事業 (1) 干潟漁場におけるアサリおよびハマグリ放流試験. 平成15年度山口県水産研究センター事業報告, 197-203.

11) 松野 進・中野 義久 (2001) : 二枚貝類種苗生産時の着底期における自動飼育法について. 平成11年度山口県水産研究センター事業報告, 278-280.

12) 石居 進 (1975) : 順位変数における相関. *生物統計学入門*, 培風館, 東京, pp.141-145.

## 山口県瀬戸内海干潟アサリの *Perkinsus* sp. 寄生状況

桃山和夫・多賀 茂

### Detection of a parasitic protozoa *Perkinsus* sp. in the clam *Ruditapes philippinarum* collected from the tidal flats along the Seto Inland Sea in Yamaguchi Prefecture

Kazuo MOMOYAMA and Shigeru TAGA

Infection rates and intensities with *Perkinsus* sp. in the clam *Ruditapes philippinarum* collected from Iwakuni, Heta, Kushigahama and Yamaguchi tidal flats in Yamaguchi Prefecture were examined by conventional histology and biopsy. Infection rates with the parasite in the clam sampled from the densely distributed tidal flats from 2002 to 2004 were much higher than those from the poorly distributed tidal flats. Heavily infected clams did not make less progress in growth, fatness and gonad development compared with slightly or not infected clams. Moreover, histological sections of the clam from Yamaguchi tidal flats prepared in 1976 and 1977, when much clam was landed every year, revealed the high infection rates and intensities, indicating that the parasite had already been prevalent in the middle of 1970s. These findings suggest that *Perkinsus* sp. has not played an important role in the recent destruction of the natural resources of *R. philippinarum* in the Seto Inland Sea.

**Key words:** *Perkinsus*, *Ruditapes philippinarum*, parasite, clam, resources

*Perkinsus*属原虫は太平洋、地中海、メキシコ湾、カリブ海等の温帯から熱帯地域に属する世界中の広い海域に分布しており、アメリカガキ *Crassostrea virginica* 等の二枚貝ばかりでなくアワビ類等67種の軟体動物から報告されていて、産業上重要な天然貝や養殖貝の大量死を引き起こす例もあることが知られている<sup>1)</sup>。日本においては熊本県および広島県のアサリ *Ruditapes philippinarum* に *Perkinsus atlanticus* またはその近縁種が初めて Hamaguchi *et al.*<sup>2)</sup> により報告された。その後日本各地<sup>3-6)</sup> のアサリについて *Perkinsus* sp. の寄生状況が調べられ、ほとんどの地域で高率に寄生していること、韓国産アサリの導入先で寄生率がより高い傾向が認められたことなどから、近年における全国的なアサリ資源減少と本寄生虫との関係を究明する必要があることが指摘されている<sup>7)</sup>。

山口県瀬戸内海干潟におけるアサリ資源の減少は1984年以後特に著しく、1983年に約5,000トンあった干潟アサリの漁獲量は2001年には63トンにまで減少した。山口県水産研究センター内海研究部ではアサリ

資源減少の主要因を明らかにすることを目的として、2002年および2003年の2年間アサリプロジェクトチームを編制し、岩国市門前河口干潟において放流アサリの追跡調査を実施した<sup>8)</sup>。

本報告では2002～2004年にかけて採集された岩国干潟の放流アサリ、周南市戸田・櫛ヶ浜および山口湾の各干潟における天然アサリ、および、1976～1977年に山口湾干潟で採集され組織標本として保存されていた天然アサリ<sup>9)</sup> について *Perkinsus* sp. の寄生状況を調べるとともに、アサリの肥満度、成長、生殖腺発育状況等との関係を調べ、山口県の干潟アサリ資源減少に本寄生虫が大きな役割を果たしているか否かについて検討したのでその結果について報告する。

#### 材料および方法

供試アサリ

岩国干潟のアサリは平均殻長2.4cmの大分県産のアサリで、放流前にスプレーで赤い標識をつけ、保護網で被った区域内に342個/m<sup>2</sup>の密度で2002年4月30日に

Table 1 Locations and examination methods for detecting *Perkinsus* sp. in the clam *Ruditapes philippinarum* collected from the tidal flats along the Seto Inland Sea in Yamaguchi Prefecture.

Location	Sampling dates	Group	<i>R. philippinarum</i>			Method
			Origin	No./month	Total No.	
Iwakuni	Jun 2002-Apr 2003	I	Oita Pref. *1	20	220	Histology
	Jun 2002-Apr 2003	II	Oita Pref. *1	60	660	Biopsy *2
Heta	Jun, 2003	I	Native	20	20	Biopsy
	Jan, 2004	II	Native	20	20	Biopsy
Kushigahama	Jun, 2003	I	Native	20	20	Biopsy
	Mar, 2004	II	Native	20	20	Biopsy
Yamaguchi	May 1976-May 1977	I	Native	12	156	Histology
	Jul, 2003	II	Native	20	20	Biopsy
	Mar, 2004	III	Native	19	19	Biopsy

\*1: The clams were transported from Oita Prefecture, and were marked red with a spray before stocking on April 30th, 2002.

\*2: Thin preparations of fresh mantle dissected from the clam were directly observed under bright field or phase contrast microscope.

放流後、2003年4月まで毎月無作為に採集した個体を用いた (Table 1)。その他の干潟のアサリは全てその干潟で自然発生した地産貝である。岩国干潟のアサリを除き、できるだけ殻長3 cm以上の成貝を採集するよう努めた。これらのアサリは殻長、肥満度 (軟体部重量と殻重量の和に対する軟体部重量の割合) を測定するとともに岩国干潟から採集されたアサリについては、貝殻腹足側中央部の放流後に新たに形成された成長線に直角な殻の長さを放流後の生長量として測定した。なお、岩国干潟は現在アサリは生息しているが採貝漁業としては成り立たない程資源量が減少している干潟、戸田干潟は現在山口県で最も生産量の多い干潟、櫛ヶ浜干潟は漁業権が放棄され一般市民に開放されている分布量が少ない干潟、山口湾干潟は1976年には444トンの漁獲があったが (Group I)、1998年以降は全く採貝漁業は営まれておらずほとんどアサリが分布していない干潟 (Group II, III) である。

#### *Perkinsus* sp.の検出方法

組織切片法 摘出した軟体部中央部を体軸にほぼ直角に切断し、Davidson液またはLillie液で固定後、定法により約5 μmのパラフィン切片を作成し、H. E.染色を施して*Perkinsus* sp.の栄養体の検出を行った。本法では鰓、外套膜、生殖腺、消化盲囊、消化管、腹足および腎臓が多くの個体で観察可能であった。*Perkinsus* sp.の検出以外に*Cercaria* spp.の寄生状況、生殖腺の発育程度を観察するとともに、その他の異常

の有無についても注意を払った。

寄生強度は、*Perkinsus* sp.が観察されない、わずかに観察される、多数観察される、極めて多数観察される、の各場合にそれぞれ0, 1/3, 2/3, および1の数値を与えて表した。*Perkinsus* sp.の寄生強度が1と判定された個体および*Cercaria* spp.が寄生していた個体については、その月に採集された他の個体に比べて生殖腺の体全体に占める量的割合および生殖細胞の発育段階を指標として、生殖腺の発育抑制が認められない、わずかに認められる、かなり認められる、極めて大きい、の各場合にそれぞれ0, 1/3, 2/3, 1の数値を与えて分類した。

生検法 開殻して外套膜の一部を切り出し、少量

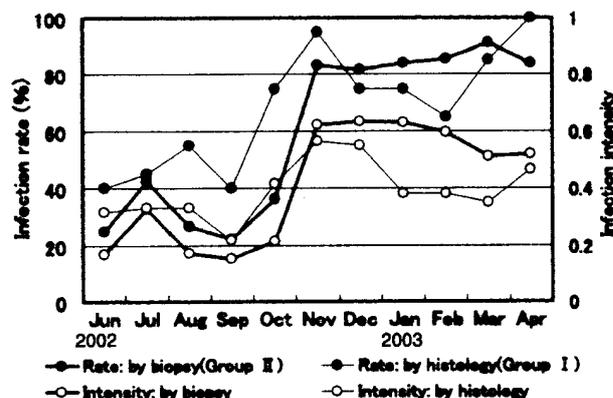


Fig.1. Monthly changes in the infection rates and intensities of the clam *Ruditapes philippinarum* with *Perkinsus* sp. collected from Iwakuni.

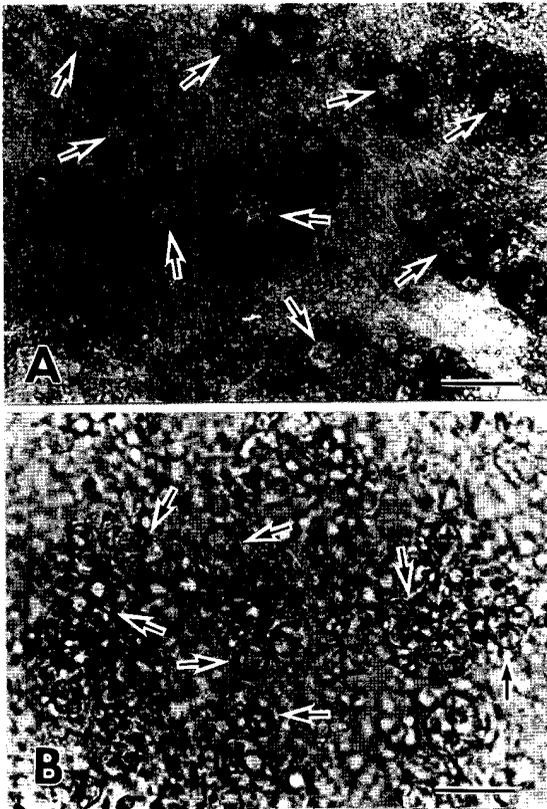


Fig.2. Masses (arrows) of trophozoites of *Perkinsus* sp. in heavily infected clam *Ruditapes philippinarum* collected in May (A) and November (B) 2002 from the Iwakuni tidal flats. Note that most masses in Fig. A (bar = 100  $\mu$  m) are surrounded with thick layers of host cells, but those in Fig. B (bar = 25  $\mu$  m) are indistinctly surrounded.

の海水を盛ったスライドガラスの上で折り重ならないように拡げ、カバーガラスをかける。カバーガラスの上から少し強めに圧扁するとともに余分の海水をろ紙で吸い取りできるだけ薄い標本とする（最終的な標本の面積は約1 cm以上となるように採材した）。明視野または位相差顕微鏡により、ほぼ円形で中央部に明瞭で大きな空胞を有する大きさ7.5~17.5 $\mu$ mの*Perkinsus* sp.の栄養体を検出する。寄生強度は組織切片法（以下切片法）に準じて判定し、各月毎のそれは検査群の平均値を用いて表した。

#### その他の寄生虫の検出方法

取り出した軟体部を解剖顕微鏡下でピンセットによりほぐしながら寄生虫の有無、寄生部位等について調べるとともに、得られた虫体の寄生部位や形態学的特徴から種を同定した<sup>10-12)</sup>。

### 結果

#### *Perkinsus* sp.の寄生状況と宿主に及ぼす影響

岩国干潟 切片法では*Perkinsus* sp.は全ての臓器で観察された。特に、鰓、外套膜、消化管周囲の結合組織で多かった。栄養体は3~10個程度の塊状をなし、宿主由来の多数の細胞で包圍されていることが多かったが、11月以後のアサリでは宿主由来細胞による包圍が顕著でなく1~数个程度の小塊をなしているものも多数観察されるようになった。寄生率および寄生強度は6~9月の間はそれぞれ、およそ40~60%および0.2

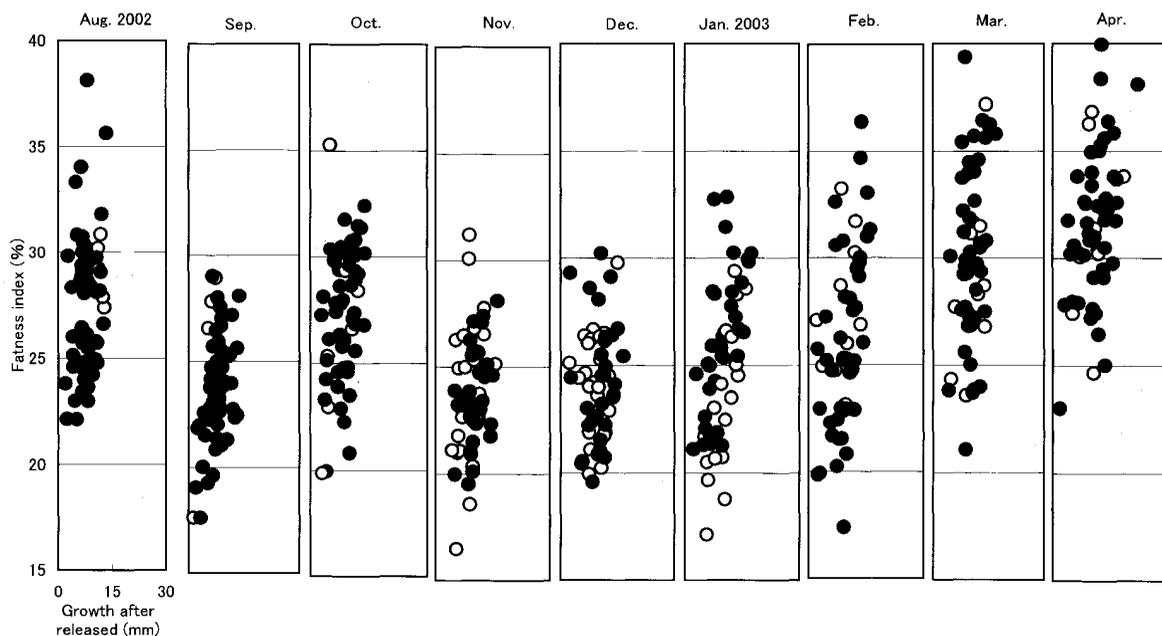


Fig.3. Changes in fatness indices and growth of the clam *Ruditapes philippinarum* after released on the tidal flats in Iwakuni (Group II).

White circles indicate the heavily infected clams with *Perkinsus* sp.

Table 2. Infection rates and intensities of the clam *Ruditapes philippinarum* with *Perkinsus* sp. collected from three different locations in Yamaguchi Prefecture.

Location	Sampling date	Density (No./m <sup>2</sup> )	<i>R. philippinarum</i>			<i>Perkinsus</i> sp.			
			Number	Mean shell length (cm)	Fatness index <sup>*2</sup> (%)	Infection <sup>*1</sup>			
						Rate (%)	Mean rate (%)	Intensity <sup>*3</sup>	Mean intensity
Heta	Jun, 2003	140	20	3.6	32.0	100	100.0	0.92	0.88
	Jan, 2004		20	3.0	34.5	100			
Kushigahama	Jun, 2003	20	20	3.3	31.2	70	52.5	0.32	0.21
	Mar, 2004		20	3.1	35.4	30			
Yamaguchi	Jul, 2003	5	20	2.9	30.7	0	10.3	0.00	0.04
	Mar, 2004		19	2.7	36.0	21			

\*1: Examined by biopsy. See Table 1.

\*2: Fatness index (%) = flesh weight ÷ (flesh weight + shell weight) × 100

\*3: 0: not detected, 1/3: slightly infected, 2/3: significantly infected, 1: heavily infected

～0.3の範囲であったが、産卵終期の11月にはそれぞれ95.0%および0.57と急上昇し、以後2～3月に若干低下したもののいずれも高い値で推移するなど、これら両者の月間変動は互いに類似していた (Fig. 1)。

生検法では、*Perkinsus* sp.が密集して寄生している部分はやや白色を呈していたが、その他にはほとんど肉眼的外部病徴は認められなかった。切片法と同様に10月までのアサリでは宿主由来細胞に包囲された大きな栄養体塊 (Fig. 2A) が観察されることがほとんどであったが、それ以後は宿主由来細胞の包囲が顕著でない小さな栄養体塊 (Fig. 2B) が多数観察されるようになった。寄生率は6～9月の寄生率が低い時期

には切片法に比べて約20%低い値であったが、11月以降の寄生率が高い時期では切片法による寄生率とはほぼ同様の値で推移した (Fig. 1)。また、寄生強度は6～9月には切片法に比べて約0.1低かったが、11月以降は逆に0.1～0.2高かった。

生検法により*Perkinsus* sp.の寄生強度が1と判定された重度被寄生個体であっても同一時期に採集された他の個体に比べて肥満度の低下や低成長は特に認められず (Fig. 3)、また、切片法においても生殖腺の発育抑制が少なからず認められると判定された個体は37個体中3個体の8.1%と小さかった (Fig. 4)。

戸田、櫛ヶ浜、山口湾干潟 (Group II & III) 戸田、櫛ヶ浜および山口湾の各干潟の*Perkinsus* sp.の平均寄生率 (寄生強度) はそれぞれ100% (0.88), 52.5% (0.21) および10.3% (0.04) で (Table 2)、今回採集した夏と冬のアサリはいずれの干潟も夏のアサリの殻長が大きく、したがって発生群は異なるかと推定されるものの、アサリの分布密度が高い干潟ほど*Perkinsus* sp.の寄生率、寄生強度とも高かった。また、寄生強度が著しく高い戸田干潟のアサリの肥満度が他の干潟のアサリに比べて特に低いということはなかった。

山口湾干潟 (Group I) 寄生率は調査開始時から徐々に増加の傾向を示したが、調査期間を通じて総じて高く常に73.3%以上で推移した (Fig. 5)。寄生強度は6月および12月に極大値を示し、秋期産卵後<sup>9)</sup>の12月から翌年の5月までおよそ0.8前後の高い値で推移

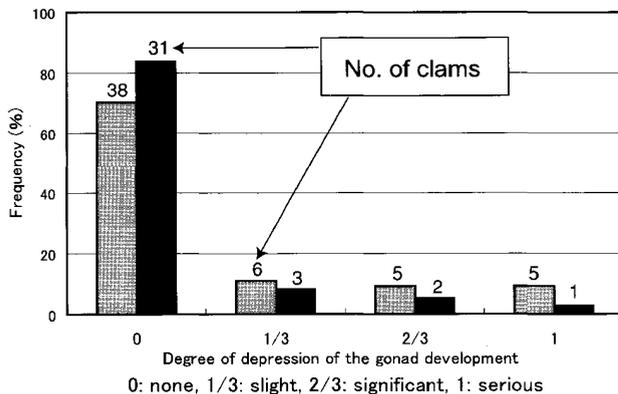


Fig. 4. Depression of the gonad development in the clam *Ruditapes philippinarum* collected from Iwakuni (Group II: black column) and Yamaguchi (Group I: grey column) by heavy infection with *Perkinsus* sp.

した。重度被寄生個体の中で生殖腺の発育抑制が少なからず認められると判断された個体の割合は54個体中10個体の18.5%であった (Fig. 4)。

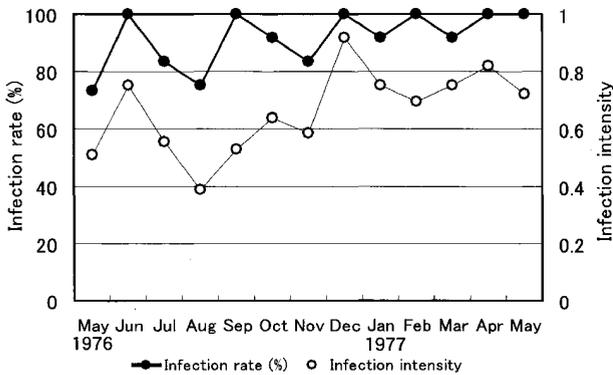


Fig.5. Monthly changes in infection rates and intensities of the clam *Ruditapes philippinarum* with *Perkinsus* sp. collected from Yamaguchi (Group I) examined by histology.

#### その他の寄生虫

岩国干潟 (Group II) でアサリにみられた主な寄生虫を Table 3 に示した。寄生率の高かった種は *Perkinsus* sp. および外套膜に観察された吸虫 *Parvatrema duboisi*<sup>10)</sup> の 2 種であった。 *Cercaria tapidis*<sup>11)</sup> および *Cercaria* sp.<sup>11)</sup> は、寄生率はそれぞれ 1.7 および 5.0% と低かったが寄生強度は高く、通常、寄生の認められた個体では極めて多数の虫体 (寄生形態はスポロシスト) が観察された。組織切片観察ではこれらのセルカリア (山口湾干潟では *Cercaria pectinata*<sup>11)</sup> を含む) によるアサリの生殖腺発育抑制は多くの個体で極めて著しかった (Fig. 6 & 7)。

その他、アサリの活力低下に大きな影響を及ぼしていると推察されるような共通の病変は観察されなかった。

Table 3. Several main parasites species detected from the clam *Ruditapes philippinarum* collected from Iwakuni (Group II) examined by biopsy.

Parasite species	Infection	
	Site	Rate (%)
<i>Perkinsus</i> sp.	Systemic	60.2 <sup>1)</sup>
<i>Cercaria tapidis</i>	Digestive diverticula, Gonad	1.7
<i>Cercaria</i> sp. (fork-tailed)	Digestive diverticula, Gonad	5.0
<i>Parvatrema duboisi</i>	Mantle	100
<i>Trochicola japonicus</i>	Intestine	1.2

\*1: Monthly changes are shown in Fig. 1.

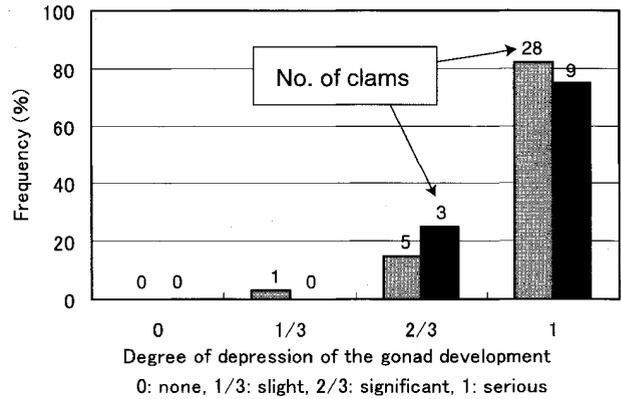


Fig.6. Depression of the gonad development in the clam *Ruditapes philippinarum* collected from Iwakuni (Group I: black column) and Yamaguchi (Group II: grey column) by infection with *Cercaria* spp.

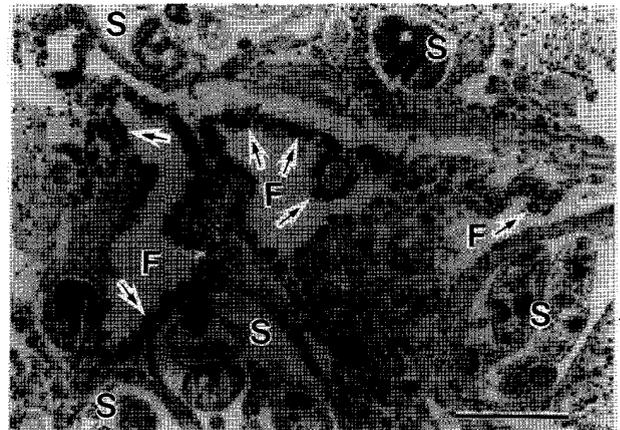


Fig.7. Depression of gonad development by infection with *Cercaria tapidis* in the clam *Ruditapes philippinarum* collected from the Iwakuni tidal flats in October 2002. Follicles (F) are depressed by sporocysts (S) of *C. tapidis* and oocytes (arrows) are still immature stage. bar =

#### 考察

序で述べた如く、最近日本各地のアサリに *Perkinsus* sp. が高率に寄生していることが報告され、諸外国においては本寄生虫が水産業上重要な貝類に大量死を引き起こす例があることから、日本で発見された *Perkinsus* sp. についてもアサリに対する病原性が問題とされている。 *Perkinsus* sp. と近年のアサリ資源減少との関連を検討するためには本寄生虫のアサリに対する病原性を明らかにする必要があるが、これまでの報告では検出方法として PCR 法または培養法が用いられており、アサリに及ぼす影響についてはふれられていない。今回筆者らは PCR 法や培養法に比べて検出感度は劣るものの、アサリに対する病原性を調べる

必要があることおよび簡便性と迅速性を考慮して切片法と生検法 (Table 4) を用いて山口県瀬戸内海の干潟アサリの *Perkinsus* sp. 寄生状況を調べた。生検法については予め検査部位として外套膜、鰓、生殖腺、消化盲嚢および閉殻筋について寄生率および寄生強度を個体別に調べ、検出感度が最も高く、かつ観察標本作製の容易であった外套膜を検査部位として選んだ。外套膜は切片法においても *Perkinsus* sp. の親和性の高い組織であることが確かめられており、生検法の観察結果とよく一致していた。生検法では寄生率が低い場合には切片法に比べると検出感度が多少劣るなどの欠点もあったが、両方法により得られた値はほぼ近似しており、*Perkinsus* sp. が高率で寄生している現状においては検査手法として充分適用可能であると考えられた。

Table 4. Advantages and disadvantages of four different methods for detecting the parasitic protozoa *Perkinsus* sp. in the clam *Ruditapes philippinarum*.

Method	Sensitivity	Rapidity	Capacity	Pathogenicity
PCR	+++	++	+++	-
Culture	+++	+	+++	-
Histology	++	+	+	+++
Biopsy	+	+++	+++	+

+++ : very high, ++ : high, + : low, - : impossible

山口県瀬戸内海において最近採集されたアサリの *Perkinsus* sp. 寄生率は干潟毎で大きく異なり、アサリの分布密度が高いほど寄生率は高かった。このような傾向は他の海域でもみられており、外国産種苗の放流<sup>6)</sup> や他の海域からの種苗の移植<sup>5)</sup> に伴う *Perkinsus* sp. の拡散の可能性が論じられている。しかし、アサリが豊富に分布していた1976年当時に山口湾干潟で採集されたアサリは *Perkinsus* sp. の寄生率、寄生強度とも極めて高かった。1976年に採集されたアサリに寄生していた *Perkinsus* sp. と現在のアサリに寄生している *Perkinsus* sp. とが同一種であるか否かは不明であるが、パーキンサス症はアサリ資源が豊富であった1976年には既に流行していたことになる。

西浦<sup>4)</sup> は *Perkinsus* sp. が重度に寄生しているアサリでも肥満度の低下は認められなかったとしているが、今回の筆者らの調査結果も全く同様であった。また、放流アサリの追跡調査においても重度被寄生個体の成長が劣っているとの結果は得られなかった。更に、

*Perkinsus* sp. 被寄生個体では生殖腺の発育阻害や産卵期の乱れなども懸念されているが、組織学的には重度被寄生個体の生殖腺発育抑制や発育時期のずれなどは特に認められなかった。以上のように、*Perkinsus* sp. のアサリに及ぼす負の影響はそれほど大きいとは考えられず、パーキンサス症の流行が近年のアサリ資源減少の主要因となっているとは考え難い。

Maeno *et al.*<sup>3)</sup> はアサリに寄生している *Perkinsus* sp. の栄養体には血球により包囲された房状の細胞塊と遊離状態の単独細胞の2つのタイプが認められたとし、アサリに寄生する *Perkinsus* 属原虫は2種ある可能性を指摘している。今回筆者らは11月以降の標本では宿主細胞包囲の顕著な大きな栄養体塊に加えてそれらの顕著でない小さな栄養体塊を多数観察した。小さな栄養体塊は外部からの新たな感染細胞ではなく、既にアサリ体内に寄生していた *Perkinsus* sp. の増殖によると考えられ、大きな栄養体塊は慢性タイプを、小さな栄養体塊は急性タイプを現しているものと思われる。産卵後の *Perkinsus* sp. 寄生強度の急激な上昇は宿主の産卵活動による活力の低下と密接に関連していると推察される。*Perkinsus* sp. がアサリに対してどの程度の病原性を有するかについては人工生産アサリ等非感染個体を用いた感染実験により確認することが必要であろう。

*Perkinsus* sp. 以外の寄生虫については、*Cercaria* spp. はアサリ生殖腺の発達を著しく阻害したが、寄生率は浜名湖産アサリについて得られた値 (3.5%)<sup>11)</sup> と同様に低かった。また、*Parvatremma duboisi* については、浜名湖産アサリの寄生率 (58.3%)<sup>10)</sup> に比べ今回得られた値 (100%) は著しく高かったが、肥満度、成長、生殖腺発育抑制等との相関は認められなかった。これらの寄生虫がアサリ資源に及ぼす影響は小さいと思われる。

## 引用文献

- 1) Perkins, F. O. (1993) : Infectious diseases of mollusks. In "Pathology of marine and estuarine organisms." (ed. by J. A. Couch and J. W. Fournie) . CRC Press, Boca Raton, Florida, pp. 255 - 287.
- 2) Hamaguchi, M., N. Suzuki, H. Usuki and H. Ishioka (1998) : *Perkinsus* protozoan infection in short-necked clam *Tapes* (= *Ruditapes*) *philippinarum* in Japan. *Fish Pathol.*, **33** (5),

- 473-480.
- 3) Maeno, Y., T. Yoshinaga and K. Nakajima (1999): Occurrence of *Perkinsus* species (Protozoa, Apicomplexa) from Manila clam *Tapes philippinarum* in Japan. *Fish Pathol.*, **34** (4), 127-131.
  - 4) 西原 豊 (2000) : アサリに寄生するパーキンサス属原虫について. 北水試だより, **49**, 10-11.
  - 5) 池浦 繁 (2002) : 豊前海産アサリにおけるパーキンサス原虫の保有状況. 福岡水技セ研報, **12**, 127-129.
  - 6) 浜口昌巳・佐々木美穂・薄 浩則 (2002) : 日本国内におけるアサリ *Ruditapes philippinarum* の *Perkinsus* 原虫の感染状況. 日本ベントス学会誌, **57**, 168-176.
  - 7) 浜口昌巳 (2002) : アサリ研究の現状. 瀬戸内水研ニュース, **7**, 5-9.
  - 8) 多賀 茂・和西昭仁・馬場俊典・松野 進・桃山和夫 (2005) : 山口県瀬戸内海沿岸干潟における放流アサリの成長と生残. 本誌, **3**, 87-96.
  - 9) 桃山和夫・岩本哲二 (1979) : 山口・大海湾におけるアサリの産卵期について. 山口県内海水産試験場報告, **7**, 19-34.
  - 10) 志村 茂・良永知義・若林久嗣 (1982) : 浜名湖産のアサリに寄生するメタセルカリア2種 *Parvatrema duboisi* (Gymnophallidae) と *Proctoeces* sp. (Felleodistomidae) の形態と寄生状況. 魚病研究, **17** (3), 187-194.
  - 11) 志村 茂・良永知義・若林久嗣 (1982) : 浜名湖産アサリのセルカリア3種の形態と寄生状況. 魚病研究, **17** (2), 129-137.
  - 12) Shimura, S. and R. Kuwabara (1984) : *Trochicola japonicus* sp. nov., a mytilicolid copepod parasitic in the short necked clam (*Tapes philippinarum*) from Lake Hamana, Japan. *Fish Pathol.*, **18** (4), 191-197.

## 過酸化水素製剤と稀釈海水の海産稚魚 6 種に対する有害性

安部謙\*・桃山和夫

Effect of different concentrations of hydrogen peroxide solution and seawater on the survival of juveniles of six marine fish species

Yuzuru Abe\* and Kazuo Momoyama

In order to develop the countermeasures against ecto-parasite infections in marine juvenile fishes, effect of different concentrations of Marinesour SP30 (29.75% hydrogen peroxide solution, Katayama Chemical Inc.) and seawater on the survival of 6 healthy fish species, tiger puffer *Takifugu rubripes*, Japanese flounder *Paralichthys olivaceus*, marbled rockfish *Sebastiscus marmoratus*, red sea bream *Pagrus major*, black porgy *Acanthopagrus schlegeli* and devil stinger *Inimicus japonicus* produced at Yamaguchi Sea Farming Center was tested. There were little differences in tolerance to Marinesour SP30 among the tested fish species, even though Japanese flounder was found to have a little higher tolerance than the others. Many of the tested fish died within 1 hour post-exposed to Marinesour SP30 at higher concentrations than 0.15%, showing highly harmful. At lower concentrations than 0.1%, they survived longer than 1 hour. Since the infected fishes may have less tolerance than healthy fishes to stress, such as exposure to hydrogen peroxide solution and handling with scooping nets etc., low concentration and long time bathing methods should be developed to treat with Marinesour SP30. Japanese flounder and tiger puffer of larger size tested were tolerant to fresh water exposure, a fresh water bathing method may be acceptable to these two species for treating parasite infections. The other 4 species were not tolerant to fresh water exposure, 1/4 strength or higher seawater should be tested to treat parasite infections.

Key words: countermeasures, hydrogen peroxide solution, Marinesour SP30, diluted seawater, marine juvenile fish, parasite

山口県では栽培漁業の推進を目的として、トラフグ *Takifugu rubripes*、ヒラメ *Paralichthys olivaceus*、カサゴ *Sebastiscus marmoratus* 等の海産魚の種苗生産および中間育成が精力的に行われているが、白点病やウージニウム症、イクチオボド症等の寄生虫症の発生により計画的な種苗放流に支障を来すことも少なくない<sup>1)</sup>。これらの外部寄生虫症対策としてホルマリンに代わる駆虫剤の開発が求められている。

現在、海産魚の駆虫剤として承認されている水産用医薬品のうち、過酸化水素製剤は用法が薬浴で生物餌料投与中の稚魚や食欲の低下している魚群にも適用可能であること、分解されやすく環境汚染の心配が少ないことなど多くの利点を持っているが、使用対象はスズキ目魚類のハダムシ症とエラムシ症、フグ目魚類のエラムシ症とハダムシ症に限られている。また、淡水

\*現在：柳井水産事務所

はブリのハダムシ症やトラフグのウージニウム症等で駆虫効果があることが知られている。

本研究では過酸化水素製剤と稀釈海水がホルマリンの代替駆虫剤として使用可能か否かを明らかにすることを目的として、現在山口県栽培漁業公社で生産されているトラフグ、ヒラメ、カサゴ、マダイ *Pagrus major*、クロダイ *Acanthopagrus schlegeli* およびオニオコゼ *Inimicus japonicus* の稚魚に対する安全濃度と時間を暴露試験を行うことにより検討したので報告する。

### 材料および方法

供試魚

山口県栽培漁業公社で生産された健康なトラフグ、ヒラメ、カサゴ、マダイ、クロダイ、オニオコゼ稚魚

を供試した。カサゴについては、寄生虫症がよく発生する時期には魚体が小さく輸送によるストレスが大きいが懸念されたので、平均全長1.2cmのものについては生産現場の山口県外海第二栽培漁業センターで試験を行い、その他については内海研究部に試験前日に搬入して馴致した後、試験に供した。

#### 供試薬剤および濃度

過酸化水素製剤はマリンサワー SP30（片山化学工業、過酸化水素29.75%含有）を用い、トラフグのヘテロボツリウム幼虫駆除で設定されている0.2%（過酸化水素濃度として約600ppm。以下括弧内は過酸化水素濃度を示す）を最高濃度とし、0.15%（450ppm）、0.1%（300ppm）、0.05%（150ppm）の4濃度とした。なお、実験開始前と終了時にはマリンサワー SP30濃度を分析し、設定濃度に変化がないことを確かめた。

稀釈海水は、砂濾過海水（塩分濃度：31.42～32.37）を1日曝気した水道水により海水濃度が0、25、50、75%の4濃度となるように稀釈して用いた。

#### 暴露方法

30ℓ水槽（水量20ℓ）または2ℓビーカー（水量2ℓ）（平均全長1.2cmのカサゴのみ）に5または10尾を収容して5時間暴露した。自然水温とし、暴露期間中はエアレーションを行った。

#### 有害性有無の判定方法

有害性の有無は狂奔遊泳や横転等魚の異常行動の観察および死亡状況を記録するとともに、暴露後15分、30分、1時間、2時間、3時間、5時間毎に濃度別にそれぞれの時間内でこれらの異常が認められたか否かにより判定した。

## 結果

魚種毎、時間毎の死亡状況をTable 1に示した。

#### トラフグーI（平均全長1.7cm）

マリンサワー SP30濃度0.2%では暴露38分後から沈下する個体が多く出現し、暴露1時間後に4尾が死亡した後、暴露2時間後までに全数死亡した。0.15%では暴露50分後から沈下する個体が出現し始め、暴露1時間後に2尾が死亡した後、暴露2時間後までに全数死亡した。0.1%では暴露50分後から沈下する個体が多く出現し始め、暴露2時間後に6尾が死亡した後、暴露5時間後までに全数死亡した。0.05%では暴露4時間30分後から死亡する個体が急増し、5時間後までに9尾が死亡した。

海水濃度0%では暴露まもなくから狂奔遊泳する個

体が増加し始め、暴露1時間後までに4尾が死亡した後、暴露5時間後までに全数死亡した。その他の濃度では異常は認められなかった。

#### トラフグーII（平均体長6.7cm）

マリンサワー SP30濃度0.2%では暴露直後から動きが鈍く、暴露1時間には全数死亡した。0.15%では暴露1時間後に1尾が死亡し、暴露2時間後までに全数死亡した。0.1%では暴露1時間後に1尾が横転し、2時間後に4尾が死亡した後、3時間後までに全数死亡した。0.05%では暴露3時間後に1尾が死亡した後、5時間後までに3尾が死亡した。

海水濃度0%では暴露まもなく沈下する個体がみられたが実験終了まで死亡せず、その他の濃度では異常は認められなかった。

#### ヒラメーI（平均全長3.8cm）

マリンサワー SP30濃度0.2%では暴露1時間後に体を反る個体や呼吸が激しくなる個体が出現し、暴露3時間後に1尾が死亡した後、5時間後までに7尾が死亡した。0.15%では試験終了直前に1尾の死亡があった。0.05、0.1%では異常は認められなかった。

海水濃度0%では暴露1時間15分後から呼吸の激しい個体が多くみられるようになり、暴露3時間後には1尾が死亡した後、5時間後までに9尾が死亡した。その他の濃度では、異常は認められなかった。

#### ヒラメーII（平均全長7.6cm）

マリンサワー SP30濃度0.2%では暴露1時間後から呼吸が激しくなる個体が出現し始め、暴露2時間後までに全数死亡した。0.15%でも暴露1時間後から呼吸が激しくなる個体が出現し始め、暴露2時間後に3尾が死亡した後、暴露3時間後までに全数死亡した。0.1%では暴露2時間後に2尾が死亡し、暴露5時間後までに全数死亡した。0.05%では異常は認められなかった。

海水濃度0%では暴露直後に狂奔遊泳を行う個体が見られたが実験終了まで死亡せず、その他の濃度では異常は認められなかった。

#### カサゴーI（平均全長1.2cm）

マリンサワー SP30濃度0.2%では暴露10分後に全ての個体が横転し、暴露15分後に3尾が死亡した後、暴露30分後までに全数死亡した。0.15%では暴露1時間後までに全数死亡した。0.1%では暴露51分後までに全個体が沈下し、暴露2時間後までに全数死亡した。0.05%では暴露1時間11分後までに全個体が沈下し、暴露2時間10分後に1尾が死亡した後、暴露5時間後までに全数死亡した。

Table 1. Mortalities of juveniles of 6 marine fish species post-exposed to different concentrations of Marinesour SP30\* and seawater.

Test fish		W.T. (°C)	Time (hour)	Marinesour SP30 (%)				Seawater (%)				Control
Species	Number			0.05	0.1	0.15	0.2	0	25	50	75	
Tiger puffer	10	19.1	0.25	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Takifugu rubripes</i>			1.0	0	0	2	4	4	0	0	0	0
TL:1.7cm			2.0	0	6	10	10	7	0	0	0	0
			3.0	0	7			7	0	0	0	0
			5.0	9	10			10	0	0	0	0
Tiger puffer	5	29.7	0.25	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Takifugu rubripes</i>			1.0	0	0	4	5	0	0	0	0	0
BL:6.7cm			2.0	0	4	5		0	0	0	0	0
			3.0	1	5			0	0	0	0	0
			5.0	3				0	0	0	0	0
Japanese flounder	10	17.2	0.25	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Paralichthys olivaceus</i>			1.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TL:3.8cm			2.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
			3.0	0	0	0	1	1	0	0	0	0
			5.0	0	0	1	7	9	0	0	0	0
Japanese flounder	5	28.8	0.25	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Paralichthys olivaceus</i>			1.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TL:7.6cm			2.0	0	2	3	5	0	0	0	0	0
			3.0	0	3	5		0	0	0	0	0
			5.0	0	5			0	0	0	0	0
marbled rockfish	5	20.2	0.25	0	0	0	3	2	0	0	0	0
<i>Sebastes marmoratus</i>			1.0	0	0	5		0	0	0	0	
TL:1.2cm			2.0	0	5			0	0	0	0	
			3.0	2				0	0	0	0	
			5.0	5				0	0	0	0	
marbled rockfish	10	17.5	0.25	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Sebastes marmoratus</i>			1.0	0	0	3	5	6	0	0	0	0
TL:2.8cm			2.0	0	0	6	9	10	0	0	0	0
			3.0	0	0	6	10		0	0	0	0
			5.0	0	0	10			0	0	0	0
red sea bream	5	26.9	0.25	0	0	0	0	3	0	0	0	0
<i>Pagrus major</i>			1.0	0	2	5	5	5	0	0	0	0
BL:6.4cm			2.0	0	4				0	0	0	0
			3.0	0	5				0	0	0	0
			5.0	1					0	0	0	0
black porgy	5	26.9	0.25	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Acanthopagrus schlegeli</i>			1.0	0	0	0	3	3	0	0	0	0
BL:2.7cm			2.0	0	0	4	5	3	0	0	0	0
			3.0	0	0	5		3	0	0	0	0
			5.0	0	0			3	0	0	0	0
devil stinger	5	25.4	0.25	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Inimicus japonicus</i>			1.0	0	0	3	5	3	0	0	0	0
BL:1.8cm			2.0	0	1	3		5	0	0	0	0
			3.0	1	3	4			0	0	0	0
			5.0	1	4	5			0	0	0	0

\* Marinesour SP30 contains hydrogen peroxide at 29.75%.

海水濃度0%では暴露後まもなく全ての個体が横転し、暴露15分後に2尾が死亡した後、暴露30分後までに全数死亡した。その他の濃度では異常は認められなかった。

#### カサゴⅡ（平均全長2.8cm）

マリンサワー SP30濃度0.2%では暴露直後から狂奔遊泳を行う個体が多くみられ、暴露25分後に2尾が死亡し、暴露3時間後までに全数死亡した。0.15%では暴露14分後から狂奔遊泳を行う個体が出現し始め、暴露1時間後に3尾が死亡した後、5時間後までに全数死亡した。0.05、0.1%では異常は認められなかった。

海水濃度0%では、暴露16分後に狂奔遊泳を行う個体が出現し、暴露1時間後に6尾が死亡した後、暴露2時間後までに全数死亡した。その他の濃度では異常は認められなかった。

#### マダイ

マリンサワー SP30濃度0.2%では暴露17分後に1尾が死亡した後、暴露1時間後までに全数死亡した。0.15%では暴露24分後に1尾が死亡した後、暴露1時間後までに全数死亡した。0.1%では暴露1時間後に2尾が死亡し、暴露3時間後までに全数死亡した。0.05%では試験終了直前に1尾が狂奔遊泳を行い死亡した。

海水濃度0%では暴露直後からほとんどの個体が横転し、暴露15分後までに3尾が死亡し、30分後までに全数死亡した。その他の濃度では異常は認められなかった。

#### クロダイ

マリンサワー SP30濃度0.2%では暴露44分後に横転する個体のみみられ、暴露1時間後までに3尾が死亡した後、暴露2時間後までに全数死亡した。0.15%では暴露2時間後に4尾が死亡し、残り1尾も暴露3時間後に死亡した。0.05、0.1%では異常は認められなかった。

海水濃度0%では暴露直後に1尾が横転し、暴露1時間後までに3尾が死亡したが、その後は試験終了まで死亡しなかった。その他の濃度では異常は認められなかった。

#### オニオコゼ

マリンサワー SP30濃度0.2%では暴露25分後に2尾が死亡し、暴露1時間後までに全数死亡した。0.15%では暴露1時間後に2尾が死亡し、暴露5時間後までに全数死亡した。0.1%では暴露2時間後に1尾の死亡があり、5時間後までに4尾が死亡した。0.05%では暴露3時間後に1尾の死亡のみみられたのみであった。

海水濃度0%では暴露32分後に1尾が死亡し、暴露2時間後までに全数死亡した。その他の濃度では異常は認められなかった。

## 考 察

マリンサワー SP30濃度が0.15および0.2%では、ヒラメを除き供試したほとんどの魚種で暴露後1時間以内に多くの個体が死亡し、稚魚に対する有害性は大きかった。魚の大きさと過酸化水素抵抗性との間には、実験水温条件が大きく異なるため直接比較することはできないが、トラフグおよびヒラメでは大型個体の実験水温が小型個体の実験水温よりも大幅に高いにもかかわらず死亡状況は同じような傾向を示したことから、大型個体の方がより抵抗性であることが窺えた。魚住・安信<sup>2)</sup>はマリンサワー（過酸化水素6%含有）のヒラメに対する水温20℃での有害性について実験し、1%（600ppm）では1時間、0.5%（300ppm）では2時間、0.25%（150ppm）では3時間以内に死亡する個体はなかったと報告している。今回の実験でも水温17.2℃ではほぼ同様の値が得られており、ヒラメは他の魚種に比べて過酸化水素抵抗性がやや高かった。

マリンサワー SP30の使用説明書には、用量・用法はスズキ目魚類のハダシ駆除に対しては0.1%3分と設定されている。種苗生産場や中間育成場で5～10分程度の短時間薬浴を行う場合、薬浴槽から小割り網やタモ網等で魚をすくい取り別に用意した水槽へ移す以外には薬浴時間を厳密に守ることは困難である。ネットによる水槽間の移動は稚魚に大きなストレスを与えるであろうこと、被寄生魚は健康魚に比べて過酸化水素抵抗性も低いと考えられることから、薬浴対象魚群の被寄生強度が極めて軽微な場合を除き、過酸化水素を用いた短時間薬浴による稚魚の寄生虫駆除は現実的ではないであろう。マリンサワー SP30濃度0.1%以下ではマダイを除き1時間以内に死亡する個体は出現しなかった。マリンサワー SP30による海産稚魚の寄生虫駆除を考える場合、本剤の濃度は最高でも0.1%以下で、また、注水により薬液を稀釈することを考慮して長時間薬浴について検討すべきであろう。

マリンサワー SP30は水温が高い場合には魚に対する有害性が強く現れることから注意事項として25℃以上の水温では使用しないように記載されている。今回の実験でも水温が高い場合には同様の結果が得られた。しかし、多くの魚種で種苗生産や中間育成は晩春

から夏季の水温の高い時期に行われ、また、白点病やウージニウム症等寄生虫症の発生が多いのもこの時期である。魚住・安信<sup>3)</sup>はヒラメの白点病に対してマリンサワー SP30濃度0.05% 1時間浴を3日毎に3回実施して治療し得たことを報告している。白点病は寄生虫症の中でも薬剤による治療が難しいとされており、マリンサワー SP30は多くの寄生虫に対して0.05%より更に低い濃度でも駆除の可能性は充分あるものと考えられる。高水温時の寄生虫対策を視野に入れ、稚魚に害作用を与えない更に低濃度のマリンサワー SP30についても駆虫効果試験を行う必要がある。

淡水に対する稚魚の抵抗性は魚種により大きく異なった。カサゴ、マダイ、クロダイおよびオニオコゼは抵抗性が低く、淡水暴露後30分から1時間以内に大部分の個体が死亡した。一方、海水濃度25%の稀釈海水では5時間後にも異常行動や死亡個体は全く見られなかったことから、これらの魚種では駆虫試験は海水濃度25%以上で実施すべきと考えられるが、海水濃度25%以下の稀釈海水についても更に稚魚の抵抗性を調べる余地は残された。トラフグおよびヒラメは抵抗性が高く、大型魚は特に顕著で5時間後にも全く死亡しなかった。寄生性原虫スクーチカは50%海水4時間浸漬でも行動の不活発化は認められなかったが、淡水では浸漬直後から繊毛運動の低下や虫体の膨張が観察さ

れ、10分間の淡水浴で殺虫効果があると報告されている<sup>4)</sup>。淡水抵抗性の大きいヒラメやトラフグでは淡水による駆虫効果は大いに期待される。なお、クロダイが汽水域に生息することはよく知られている。本種については更に大型魚について淡水抵抗性を試験しておく必要がある。

## 謝 辞

本研究を行うにあたり快く供試魚を提供していただいた山口県栽培漁業公社に深く感謝致します。

## 文 献

- 1) 桃山和夫 (2000) : 海産魚類養殖状況調査. 平成11年度山口県水産研究センター事業報告, 303.
- 2) 魚住香織・安信秀樹 (1999) : 過酸化水素製剤がヒラメ稚魚の生残に及ぼす影響. 兵庫県水産試験場研究報告, 35, 17-20.
- 3) 魚住香織・安信秀樹 (2002) : ヒラメ白点病に対する過酸化水素製剤の治療効果. 平成13年度兵庫県水産試験場事業報告, 63.
- 4) 木原英輝・成田公義 (1997) : スクーチカに対する淡水, 50%海水, ホルマリンおよび過酸化水素の繊毛運動抑制効果. 愛媛県水産試験場研究報告, 6, 65-70.

## 山口県周防灘海域における漁場底質環境

和西昭仁

### On the quality of the sediments in the Suo-Nada region off Yamaguchi Prefecture

Akihito WANISHI

The quality of the sediments and the near-bottom environment in the Suo-Nada off Yamaguchi prefecture were investigated seasonally from May 2002 to March 2004. Measured parameters such as chemical oxygen demand (COD), ignition loss (IL), total sulfide concentration (Total-S) and mud content (MC) correlated significantly to each other.

Almost parameters showed relatively higher values especially in Tokuyama Bay, and lower values at sandy stations distributed in the western part of the region. The differences on the quality of the sediments between the past from 1972 to 1973 and present were little, even though some parts of the region were found to be more polluted.

**Key words:** quality of sediment, COD, IL, Total-S, DO Absorption, Mud Color, Suo-Nada

我が国経済の高度成長に伴い、山口県においても1960年代に周南地域 (Fig.1) を中心に工場が次々と建設された。その後、1970年代に入ると、当時の厚生省が徳山湾の魚介類の水銀調査結果を公表し、同湾における公害の実態が明らかになった。その結果、沿岸では魚価が暴落し、湾内での操業を一時自主規制する事態に陥った<sup>1~4)</sup>。

山口県の周防灘海域では、浅海定線調査による水質モニタリング<sup>5, 6)</sup> が定期的に行われてきたのに対し、底質に関しては広範囲にわたる詳細な調査事例<sup>7~10)</sup> がいくつかあるとは言え、水質に比べるとデータの蓄積量は遥かに少ない。しかも、各調査における採泥時期や観測点の位置及び設定数がまちまちであるため、調査結果を互いに比較検討することも困難である。

この海域の特徴の1つとして、潮位差が大きく、西部を中心に広大な干潟を形成していることが挙げられる。漁業としては、エビ類等を対象とした小型機船底びき網漁業、建網漁業、アサリ・ウチムラサキ等を対象とした採貝漁業及びノリ養殖業などが営まれている。漁獲物の変化から生物多様度の変化を見た報告<sup>11)</sup> によると、瀬戸内海では西部のほうが多様性が高い傾向にあり、周防灘の場合は1970年に低かったものの、

その後は年を追うごとに上昇傾向にあった。これは伊予灘や安芸灘の傾向とは対照的であるが、このような現象を底質環境の側から解するために現段階で十分なデータが得られているとは言えない。ある意味で底質は水質を反映し、一方で底質が水質に影響を与えると、いう基本的な相互関係<sup>12)</sup> があることから鑑みると、底質環境に関してさらなるデータの蓄積が必要である。

そこで今回、筆者は山口県周防灘海域の漁場底質環境が現在どのような状況にあるかをまず明らかにし、当該海域の生物環境の変化を捉える際の基礎情報とすることを一義的な目的とし、併せてこれまでの知見等と簡単な比較を行ったので、その結果について報告する。

### 材料及び方法

#### 1. 調査地点及び時期

調査は、山口県の公害・漁業調査船「せと (30トン)」により、山口県周防灘海域の22定点 (Fig.1 及びTable 1) において、2002年5月から2004年3月までの約2年間、各季節ごと (5月、8月、11月または12月及び2月または3月) に合計8回行った。なお、調査定点はいずれも浅海定線調査の定点<sup>5, 6)</sup> と同一に設定した。

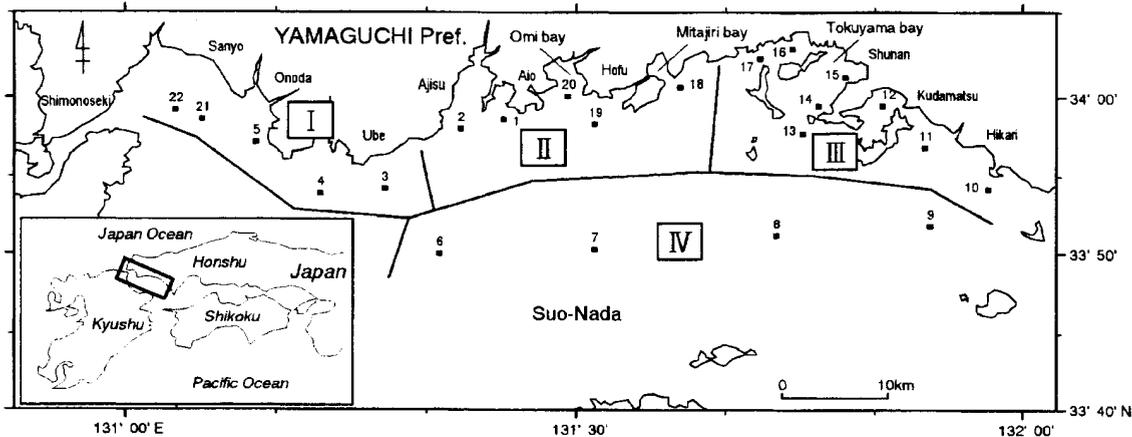


Fig.1. Map showing sampling stations (closed squares, St.1~22) and divided zones (I~IV). I, the western part of the coast; II, the middle part of the coast; III, the eastern part of the coast; IV, the offshore zone.

Table 1. Location of sampling stations

Station No.	Location <sup>*1</sup>		Depth <sup>*2</sup> (m)	Station No.	Location <sup>*1</sup>		Depth <sup>*2</sup> (m)
	Latitude N	Longitude E			Latitude N	Longitude E	
1	33° 58' 48"	131° 25' 09"	8	12	33° 59' 36"	131° 50' 39"	8
2	33° 58' 06"	131° 22' 15"	9	13	33° 57' 54"	131° 45' 09"	29
3	33° 54' 24"	131° 17' 15"	9	14	33° 59' 42"	131° 46' 09"	14
4	33° 54' 06"	131° 13' 03"	9	15	34° 01' 10"	131° 48' 16"	11
5	33° 57' 24"	131° 08' 51"	7	16	34° 03' 12"	131° 44' 15"	8
6	33° 50' 18"	131° 21' 03"	25	17	34° 02' 30"	131° 42' 03"	11
7	33° 50' 36"	131° 31' 09"	34	18	34° 00' 42"	131° 36' 51"	13
8	33° 51' 24"	131° 43' 21"	43	19	33° 58' 36"	131° 31' 09"	16
9	33° 51' 54"	131° 53' 45"	38	20	34° 00' 12"	131° 29' 27"	10
10	33° 54' 12"	131° 57' 45"	32	21	33° 58' 48"	131° 05' 21"	5
11	33° 56' 54"	131° 53' 15"	22	22	33° 59' 12"	131° 03' 21"	7

<sup>\*1</sup> Latitude and longitude were shown by World Geodetic System. <sup>\*2</sup> averages of all data.

一方、底質環境はその地点における平均的、時間積分値的な情報であると考えられる<sup>12)</sup>ことから、過去の知見<sup>5-7, 13)</sup>を参考にしながら海域を小海域に区分し、それら小海域ごとに環境特性を明らかにすることとした。そのため、前述の22定点をまず沿岸域と沖合域とに分け、さらに沿岸域を西部、中部及び東部の3海域に分けて、それぞれ海域I(沿岸域西部, 5定点)、海域II(沿岸域中部, 5定点)、海域III(沿岸域東部, 8定点)及び海域IV(沖合域, 4定点)とした(Fig.1のI~IV)。

## 2. 分析項目及び方法

採泥はエクマン・パージ型採泥器(採泥面積: 0.0225 m<sup>2</sup>)により、各定点で1回ずつ(採泥量の少ない場合

は複数回)行った。採泥後、底質の外観(砂, 砂泥, 泥など)、Munsellの記色法<sup>14)</sup>による泥色(2003年5, 8, 11月及び2004年3月)などを調べた後、底泥上部から深さ2 cmまでの層を300mlのサンプル瓶に採取して密封し、冷蔵保存して研究室に持ち帰った。その後、速やかに全硫化物(以下「Total-S」)を検知管法<sup>15)</sup>((株)ガステック, ヘドロテック-S)で、化学的酸素要求量(以下「COD」)をアルカリ性過マンガン酸カリウム-ヨウ素滴定法<sup>15)</sup>で測定した。また、約3gの試泥を人工海水(塩分約34psu)とともに300mlの酸素瓶に静かに収容して密栓し、スターラーで1時間攪拌した後、1時間静置して、溶存酸素量の減量から溶存酸素吸収量(以下「DO吸収量」)<sup>15)</sup>を測定した。

試泥の一部は磁製ルツボに入れて110°Cで12時間乾

乾燥後、その重量差から水分含有率 (%) を求めた。乾泥はさらに600℃で5時間及び800℃で1時間強熱した後、その重量差から強熱減量 (以下「IL」) を算出した。また、ふるい分けによる粒度分析 (湿式ふるい法)<sup>15)</sup> も行い、粒径 (d, mm) によって、礫分 ( $d \geq 2$ ), 砂分 ( $2 > d \geq 0.063$ ), 泥分 ( $d < 0.063$ ) の割合 (%) を求めた。

以上の調査項目のうち、CODまたはIL、Total-S及び泥分含有率を用いて、水産用水基準<sup>16)</sup>で提唱されているうちの2種類の合成指標を以下のとおり求めた。これらの合成指標が負の値となれば正常な底質とされるが、今回は2種類の合成指標がいずれも負の場合を正常な底質、少なくとも一方が正の場合を汚染された底質と判断した。

$$\begin{aligned} \text{指標1} &= 0.582(\text{COD}-20.9)/15.4 \\ &+ 0.568(\text{TS}-0.51)/0.6 + 0.580(\text{MC}-64.9)/30.5 \\ \text{指標2} &= 0.588(\text{IL}-7.99)/4.52 \\ &+ 0.559(\text{TS}-0.51)/0.6 + 0.584(\text{MC}-64.9)/30.5 \end{aligned}$$

※COD及びTotal-S(TS):mg/g乾泥

※IL及び泥分含有率(MC):%

調査時には各定点の水温鉛直分布をメモリー式水温塩分計 (アレック電子(株), AST-500) で測定するとともに、底上1m層 (以下「底層」) の溶存酸素量 (以下「DO」) をWinkler法<sup>17)</sup>で測定した。

また、陸域からの流入負荷の影響を調べるため、沿岸に位置する防府市及び宇部市 (Fig.1) の降水量を気象庁のWEBサイト「電子閲覧室」から参照した(URL

<http://www.data.kishou.go.jp/>)。

なお、詳細な分析数値については、事業年度ごとに整理して、山口県水産研究センター事業報告<sup>18, 19)</sup>に掲載した。

## 結果

### 1 粒度分布

各定点における礫分、砂分、泥分 (それぞれ8回の調査の平均値) の相互関係をFig.2に示した。沿岸域の海域I (Fig.2(a)) 及び海域II (Fig.2(b)) では座標上に広い分布が見られ、砂分及び泥分の含有率に大きな開きがあった。これとは対照的に、海域III (Fig.2(c)) では狭い範囲に集中的に分布しており、礫分及び砂分はほとんどなく、泥分が極めて多かった。沖合域の海域IV (Fig.2(d)) も礫分がなかったが、砂分や泥分の含有率が定点間で大きく異なった。

次に、2002年5月~2004年3月の間の計8回の調査における海域ごとの化学分析結果をTable 2に示した。

### 2 COD

海域全体では各回の平均が18.8~22.9mg/g乾泥の範囲で推移したが (Table 2), 有意な差が認められる月はなかった。泥分含有率が90%を超える海域IIIでは高い値を示す傾向が強く (平均27.9~33.6mg/g乾泥),

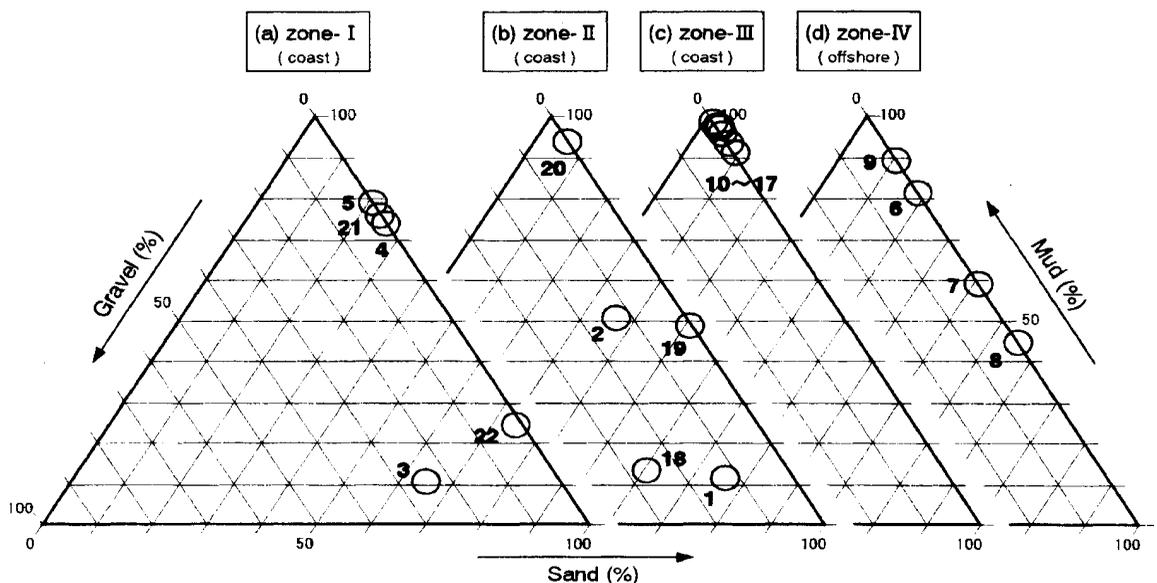


Fig.2. Relationships among the classes of grain sizes in the sediment of each station. Bold figures in each graph represent station numbers. Gravel,  $d \geq 2\text{mm}$  ( $d$ , particle diameter); Sand,  $2\text{mm} > d \geq 63\mu\text{m}$ ; Mud,  $d < 63\mu\text{m}$ .

Table 2. Average and standard deviation of the measured parameters

Zone No.	Date	n	COD (mg/g dw)	IL (%)	Total-S (mg/g dw)	DO absorption (mg/g dw)	Water content (%)	Mud content (%)	DO* (ppm) (minimum)
I	02. 5	5	15.2 ± 8.3	7.3 ± 3.2	0.114 ± 0.125	0.210 ± 0.118	49.5 ± 14.6	56.1 ± 30.9	8.20 ± 0.23 ( 8.01 )
	02. 8	5	11.8 ± 8.2	8.7 ± 4.1	0.116 ± 0.110	0.230 ± 0.168	45.3 ± 15.6	( lack of data )	5.93 ± 0.83 ( 4.67 )
	02.12	5	18.5 ± 16.6	6.4 ± 2.7	0.117 ± 0.111	0.191 ± 0.159	46.9 ± 17.0	52.0 ± 35.9	9.32 ± 0.54 ( 8.64 )
	03. 2	5	15.9 ± 9.6	7.2 ± 2.4	0.142 ± 0.136	0.337 ± 0.199	50.7 ± 14.1	49.0 ± 30.3	10.28 ± 0.27 ( 9.89 )
	03. 5	4	16.7 ± 5.7	10.3 ± 2.9	0.106 ± 0.068	0.239 ± 0.077	51.7 ± 8.2	65.7 ± 25.3	8.90 ± 0.48 ( 8.31 )
	03. 8	5	13.2 ± 6.1	8.2 ± 3.9	0.120 ± 0.073	0.233 ± 0.117	47.1 ± 15.1	59.2 ± 32.4	7.48 ± 0.63 ( 6.83 )
	03.11	5	13.4 ± 9.3	8.7 ± 3.6	0.106 ± 0.089	0.291 ± 0.163	48.1 ± 19.6	49.2 ± 36.9	7.37 ± 0.28 ( 6.97 )
	04. 3	5	11.4 ± 7.2	7.7 ± 3.9	0.096 ± 0.102	0.262 ± 0.141	47.2 ± 13.8	51.8 ± 36.0	9.59 ± 0.18 ( 9.41 )
Total			14.4 ± 8.9	8.0 ± 3.3	0.115 ± 0.096	0.249 ± 0.142	48.2 ± 13.9	54.4 ± 30.3	8.38 ± 1.41 ( 4.67 )
II	02. 5	5	11.6 ± 11.2	4.3 ± 2.8	0.079 ± 0.101	0.096 ± 0.085	38.9 ± 18.3	37.1 ± 35.6	8.17 ± 0.45 ( 7.40 )
	02. 8	5	15.5 ± 10.9	5.5 ± 3.0	0.114 ± 0.113	0.195 ± 0.135	48.8 ± 14.5	( lack of data )	5.83 ± 0.29 ( 5.57 )
	02.12	5	16.3 ± 20.0	5.3 ± 2.7	0.071 ± 0.068	0.218 ± 0.144	45.1 ± 19.3	45.8 ± 39.2	8.47 ± 0.11 ( 8.34 )
	03. 2	5	13.5 ± 11.2	4.8 ± 2.7	0.077 ± 0.103	0.272 ± 0.207	45.6 ± 16.8	40.1 ± 34.8	9.49 ± 0.19 ( 9.20 )
	03. 5	5	13.8 ± 13.1	5.1 ± 2.7	0.074 ± 0.107	0.187 ± 0.181	43.6 ± 17.6	45.9 ± 37.4	8.57 ± 0.12 ( 8.39 )
	03. 8	5	10.8 ± 7.7	4.9 ± 2.5	0.072 ± 0.090	0.155 ± 0.114	41.5 ± 15.7	43.6 ± 34.6	7.50 ± 0.57 ( 6.74 )
	03.11	5	13.1 ± 8.9	4.4 ± 2.3	0.145 ± 0.123	0.229 ± 0.121	44.4 ± 11.7	43.5 ± 29.2	7.59 ± 0.39 ( 7.23 )
	04. 3	5	11.5 ± 9.0	4.7 ± 2.6	0.072 ± 0.098	0.143 ± 0.085	45.5 ± 15.9	47.7 ± 34.2	9.40 ± 0.05 ( 9.34 )
Total			13.3 ± 11.1	4.9 ± 2.5	0.088 ± 0.096	0.187 ± 0.137	44.2 ± 15.1	43.4 ± 32.0	8.13 ± 1.16 ( 5.57 )
III	02. 5	8	28.7 ± 4.4	10.0 ± 0.9	0.306 ± 0.147	0.278 ± 0.081	68.4 ± 1.6	95.2 ± 3.6	7.92 ± 0.56 ( 6.89 )
	02. 8	8	27.9 ± 6.2	11.4 ± 0.9	0.389 ± 0.162	0.456 ± 0.155	70.2 ± 2.1	( lack of data )	6.21 ± 0.57 ( 5.27 )
	02.12	8	32.7 ± 6.5	10.6 ± 0.8	0.379 ± 0.199	0.594 ± 0.102	71.8 ± 1.6	96.8 ± 1.6	8.83 ± 0.38 ( 8.40 )
	03. 2	8	33.6 ± 3.8	10.0 ± 0.9	0.323 ± 0.129	0.548 ± 0.182	69.3 ± 1.2	94.0 ± 2.6	9.55 ± 0.20 ( 9.20 )
	03. 5	8	32.6 ± 7.4	10.1 ± 0.9	0.361 ± 0.141	0.486 ± 0.116	69.0 ± 2.1	96.4 ± 2.2	8.88 ± 0.22 ( 8.50 )
	03. 8	8	31.0 ± 6.5	11.4 ± 1.3	0.383 ± 0.199	0.452 ± 0.112	69.3 ± 2.7	97.0 ± 1.9	7.70 ± 0.80 ( 6.73 )
	03.11	8	30.6 ± 6.6	10.3 ± 0.9	0.456 ± 0.155	0.600 ± 0.098	69.5 ± 2.1	94.0 ± 3.7	7.14 ± 0.32 ( 6.67 )
	04. 3	8	28.0 ± 7.3	11.4 ± 3.3	0.372 ± 0.179	0.420 ± 0.104	68.4 ± 1.8	96.4 ± 2.8	9.53 ± 0.21 ( 9.27 )
Total			30.6 ± 6.2	10.6 ± 1.5	0.371 ± 0.162	0.479 ± 0.153	69.5 ± 2.1	95.7 ± 2.9	8.22 ± 1.20 ( 5.27 )
IV	02. 5	4	19.8 ± 5.8	7.5 ± 1.5	0.055 ± 0.046	0.161 ± 0.062	64.1 ± 7.3	66.5 ± 18.1	7.70 ± 0.32 ( 7.39 )
	02. 8	4	14.2 ± 5.2	7.2 ± 2.3	0.050 ± 0.051	0.185 ± 0.084	59.2 ± 10.0	( lack of data )	6.14 ± 0.48 ( 5.59 )
	02.12	4	16.2 ± 8.1	6.8 ± 2.9	0.085 ± 0.056	0.345 ± 0.133	63.2 ± 5.6	68.2 ± 24.9	8.41 ± 0.16 ( 8.24 )
	03. 2	4	21.9 ± 5.4	7.5 ± 1.5	0.117 ± 0.139	0.257 ± 0.097	63.2 ± 7.0	66.9 ± 19.6	9.34 ± 0.34 ( 8.93 )
	03. 5	4	18.8 ± 7.8	6.9 ± 2.2	0.094 ± 0.110	0.272 ± 0.069	58.7 ± 9.7	67.6 ± 22.2	8.77 ± 0.15 ( 8.60 )
	03. 8	4	18.0 ± 8.7	7.9 ± 3.1	0.097 ± 0.149	0.277 ± 0.150	60.4 ± 12.7	69.9 ± 25.3	6.82 ± 0.81 ( 6.27 )
	03.11	4	19.4 ± 7.8	7.8 ± 2.3	0.167 ± 0.192	0.367 ± 0.149	62.0 ± 11.0	62.5 ± 23.4	7.42 ± 0.28 ( 7.09 )
	04. 3	4	18.8 ± 4.4	8.2 ± 1.8	0.142 ± 0.143	0.276 ± 0.117	63.9 ± 9.0	75.5 ± 18.9	9.40 ± 0.15 ( 9.26 )
Total			18.4 ± 6.4	7.5 ± 2.0	0.101 ± 0.114	0.268 ± 0.119	61.8 ± 8.4	67.6 ± 19.5	8.00 ± 1.18 ( 5.59 )
whole	02. 5	22	20.1 ± 9.9	7.6 ± 3.0	0.165 ± 0.157	0.200 ± 0.110	56.6 ± 16.2	67.9 ± 31.9	8.00 ± 0.45 ( 6.89 )
	02. 8	22	19.0 ± 10.1	8.7 ± 3.4	0.203 ± 0.188	0.296 ± 0.183	57.7 ± 14.7	( lack of data )	6.05 ± 0.56 ( 4.67 )
	02.12	22	22.7 ± 14.6	7.7 ± 3.1	0.196 ± 0.193	0.372 ± 0.217	58.5 ± 16.7	69.8 ± 33.4	8.78 ± 0.48 ( 8.24 )
	03. 2	22	22.9 ± 11.3	7.7 ± 2.7	0.188 ± 0.159	0.385 ± 0.212	58.6 ± 14.2	66.6 ± 31.5	9.66 ± 0.42 ( 8.93 )
	03. 5	21	22.5 ± 11.7	8.3 ± 3.0	0.193 ± 0.173	0.327 ± 0.173	57.7 ± 14.0	73.1 ± 29.5	8.79 ± 0.29 ( 8.31 )
	03. 8	22	20.0 ± 11.0	8.6 ± 3.5	0.201 ± 0.198	0.303 ± 0.165	56.3 ± 16.0	71.3 ± 31.5	7.45 ± 0.74 ( 6.27 )
	03.11	22	20.7 ± 10.9	8.2 ± 3.1	0.253 ± 0.207	0.403 ± 0.199	57.5 ± 15.4	66.6 ± 31.5	7.35 ± 0.35 ( 6.67 )
	04. 3	22	18.8 ± 10.2	8.4 ± 3.9	0.199 ± 0.189	0.295 ± 0.150	57.5 ± 14.5	71.4 ± 31.5	9.49 ± 0.18 ( 9.26 )
Total			20.8 ± 11.2	8.2 ± 3.2	0.200 ± 0.182	0.323 ± 0.186	57.6 ± 15.0	69.4 ± 31.0	8.20 ± 1.23 ( 4.67 )

\* B-1m ( 1m above the sea bottom )

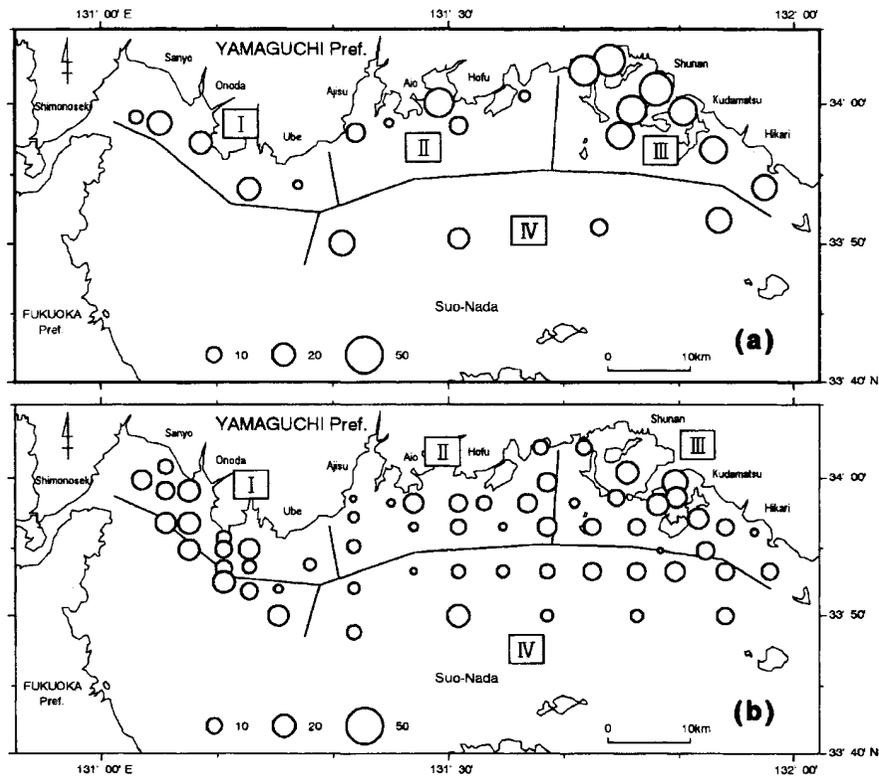


Fig.3. Horizontal distributions of chemical oxygen demand(COD, mg /g dw) . (a)present data (averages) , (b)data from 1972 to 1973 (Momoyama *et al.*<sup>7)</sup> ) .

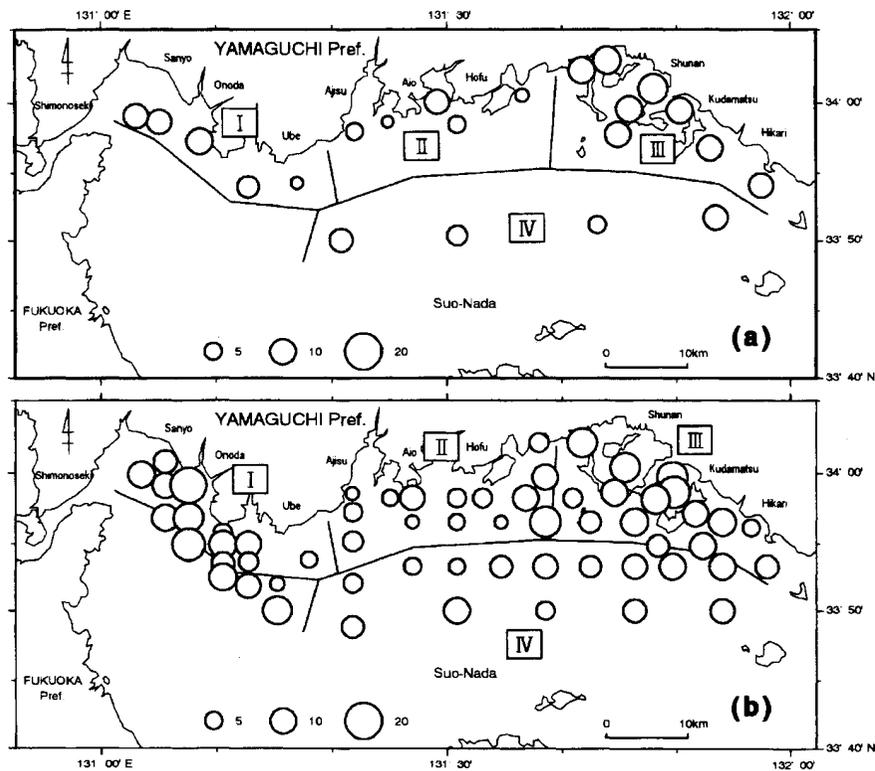


Fig.4. Horizontal distributions of ignition loss(IL, %) . (a)present data (averages), (b) data from 1972 to 1973 (Momoyama *et al.*<sup>7)</sup> ) .

反対に泥分含有率が低い海域Ⅰ（平均11.4～18.5mg/g乾泥）や海域Ⅱ（平均10.8～16.3mg/g乾泥）では低かった（Table 2 及びFig. 3 (a)）。

また、水産用水基準<sup>16)</sup>において、汚染が始まりつつある底泥のCOD基準値とされる20mg/g乾泥については、22定点のうち約半分にあたる12定点で上回った。

### 3 IL

海域全体では各回の平均が7.6～8.7%の範囲で推移したが（Table 2）、有意な差が認められる月はなかった。泥分含有率の高い海域Ⅲでは高い値を示す傾向があり（平均10.0～11.4%）、反対に海域Ⅱ（平均4.3～5.5%）では低かった（Table 2 及びFig. 4 (a)）。

### 4 Total-S

海域全体では各回の平均が0.165～0.253mg/g乾泥の範囲で推移したが（Table 2）、有意な差が認められる月はなかった。CODやILに比べて調査地点による差が比較的大きい傾向にあつて、中でも海域Ⅲでは高い値を示す傾向があり（平均0.306～0.456mg/g乾泥）、反対に海域Ⅱ（平均0.071～0.145mg/g乾泥）では低かった（Table 2 及びFig. 5 (a)）。

また、水産用水基準<sup>16)</sup>において、汚染が始まりつつある底泥のTotal-S基準値とされる0.2mg/g乾泥については、22定点のうち半数近い10定点で上回った。

### 5 DO吸収量

海域全体では各回の平均が0.200～0.403mg/g乾泥の範囲で推移し（Table 2）、このうち2002年5月は有意に低かった（ $p < 0.005$ ）。海域Ⅲでは高い値を示す傾向があり（平均0.278～0.600mg/g乾泥）、反対に海域Ⅱ（平均0.096～0.272mg/g乾泥）では低かった（Table 2 及びFig. 6）。

### 6 水分含有率及び泥分含有率

海域全体では各回の平均が、水分含有率56.3～58.6%、泥分含有率66.6～73.1%の範囲で推移し（Table 2）、有意な差が認められる月はなかった。両項目とも海域Ⅲで高い値を示す傾向があり、特に泥分含有率は海域Ⅲ（平均94.0～97.0%）で極めて高いのに対し、海域Ⅰ（平均49.0～65.7%）、海域Ⅱ（平均37.1～45.9%）及び海域Ⅳ（平均62.5～75.5%）では低かった（Table 2 及びFig. 7）。

## 7 その他の測定項目

### (1) 底層DO

海域全体では各回の平均が6.05～9.66ppmの範囲で推移した（Table 2）。定点ごとに見ると、期間を通じての最低値はSt. 3（宇部市沖）で2002年8月に観測された4.67ppm（酸素飽和度69%）であった。

### (2) 泥色

のべ87定点（2003年5月のSt. 3は採泥不能）で採泥した試料について泥色<sup>14)</sup>を判定した結果はFig. 8のとおりであった。

暗オリーブ灰(Dark Olive Gray)、黒(Black)、オリーブ黒(Olive Black)及び緑黒(Greenish Black)の4種類の泥色が出現し、中でも暗オリーブ灰が過半数を占めた(Fig. 8 (c))。また、泥分含有率と水産用水基準<sup>16)</sup>の合成指標による底質の評価結果に注目すると、泥分含有率50%以上の場合には各泥色とも大半が汚染された底質であったのに対し、50%未満の場合には汚染された底質は出現しなかった。全体的には、暗オリーブ灰より黒味を帯びた黒またはオリーブ黒で汚染された底質の割合がやや高かった。

## 8 各測定項目間の関連

各測定項目間の相関係数をTable 3に示した。いずれも比較的高い相関係数( $r=0.577\sim 0.974$ )となり、すべて1%水準で有意であった。

また、水産用水基準<sup>16)</sup>による合成指標(指標1及び指標2)を用いて底質の状態を判断した結果はTable 4のとおりであった。各月とも、指標2によって汚染された底質と判断された定点数は指標1のそれよりも多く、また、いずれかの指標により汚染された底質と判断された定点数は、両指標により正常な底質と判断された定点数よりもやや多かった。

## 考 察

周防灘は瀬戸内海の他の海域に比べて有機物含量が多く、還元的で硫化物量が多い海域とされ、大阪湾や広島湾などとともに健全な底生生物層を維持することが困難な海域と言われる<sup>20)</sup>。

今回の調査結果をあらためて見直すと、有機物の指標であるCOD(海域全体の全回平均:20.8mg/g乾泥)及びIL(同:8.2%)はともに高く、Total-S(同:0.200mg/g乾泥)もまた高い値を示した。特に海域Ⅲでは各項目とも高い値を示し、中でも徳山湾内では、おお

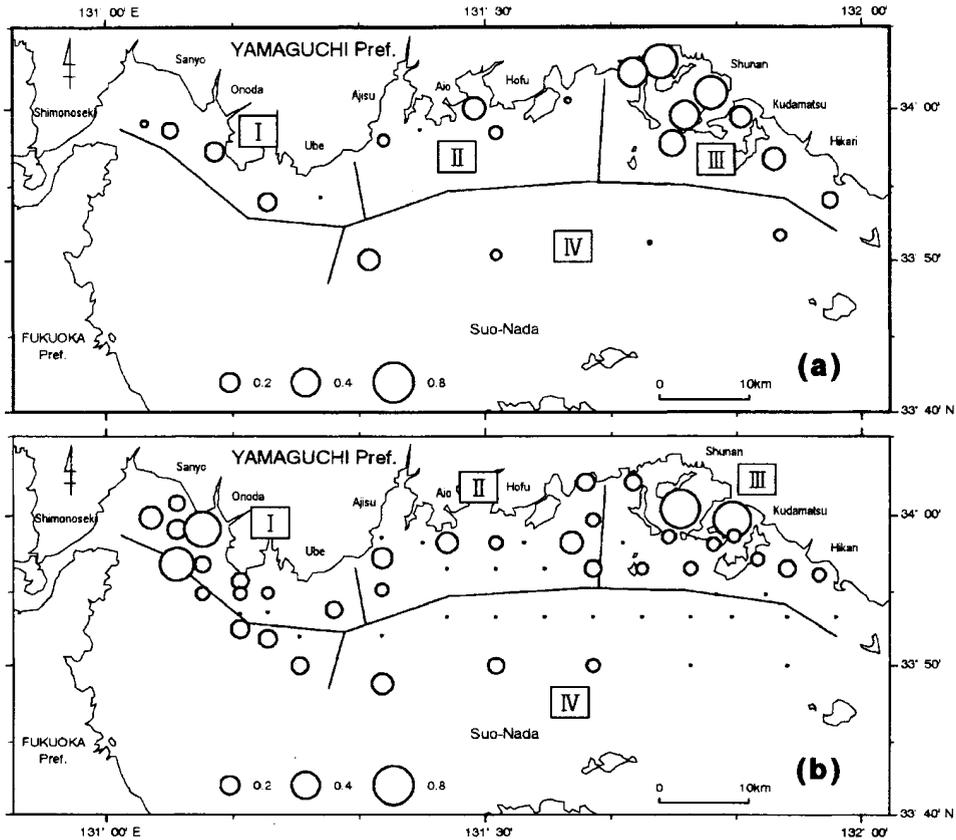


Fig.5. Horizontal distributions of total sulfide concentration (Total-S, mg/g dw). (a) present data (averages), (b) data from 1972 to 1973 (Momoyama *et al.*<sup>7)</sup>).

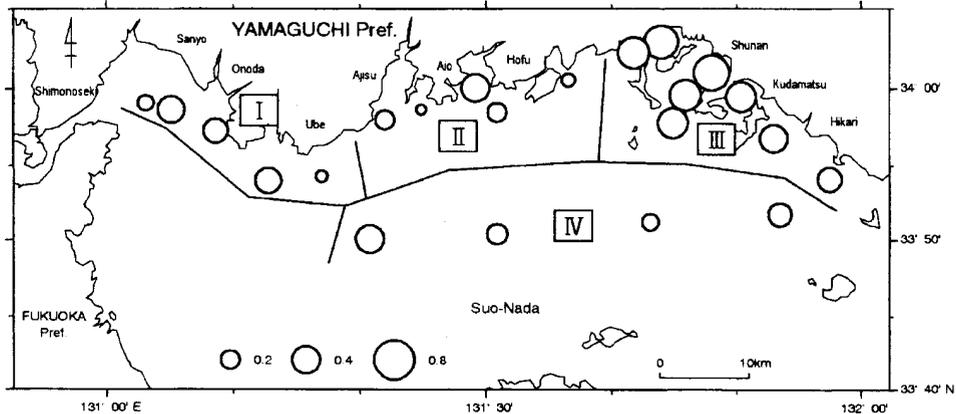


Fig.6. Horizontal distributions of average dissolved oxygen absorption (mg/g dw) from May 2002 to March 2004.

よそCOD>30mg/g乾泥, IL>10%, Total-S>0.4mg/g乾泥であった。DO吸収量に関しては、過去の調査事例があまり見られないが、今回の調査によってCODと似た水平分布を示し、海域Ⅲでは0.4mg/g乾泥以上であった。

さらに、今回の調査結果を30年前の調査結果<sup>7)</sup>と比較するため、30年前の調査定点(うち今回対象とした60点)を今回の海域区分に従って4海域に分類し(海域Ⅰ～Ⅳがそれぞれ12, 14, 15及び14定点, 設定範囲

外が5点)、各海域における現在と過去の値をFig.9にまとめた。30年前の調査は各定点で1回のみ採泥であったため、季節変動の有無については今回特に無視することとし、大まかな全体像としての比較を行った。その結果、CODは30年前(全海域平均10.4mg/g乾泥)よりも全般に増加傾向が強く、中でも海域Ⅲや海域Ⅳで顕著であった(Fig.3及びFig.9)。ILは30年前(同:8.6%)とほぼ同じか若干減少傾向であった(Fig.4及びFig.9)。また、Total-Sは30年前(同:0.121mg/g乾

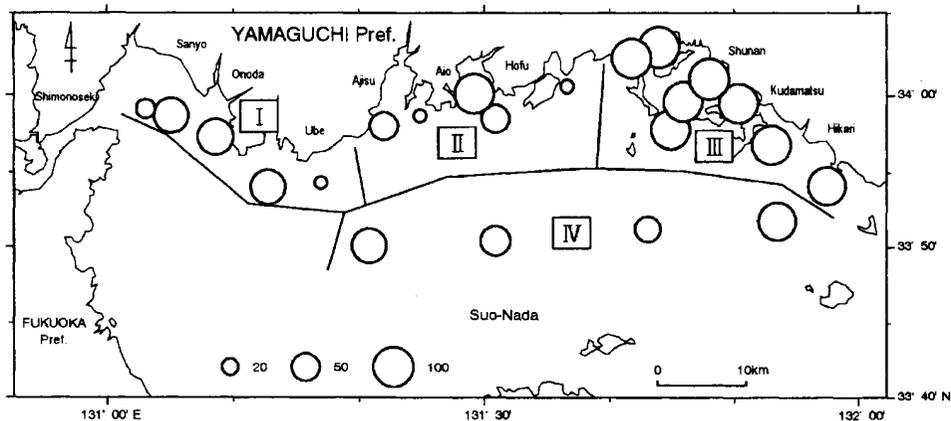


Fig.7. Horizontal distributions of average mud content(%) from May 2002 to March 2004.

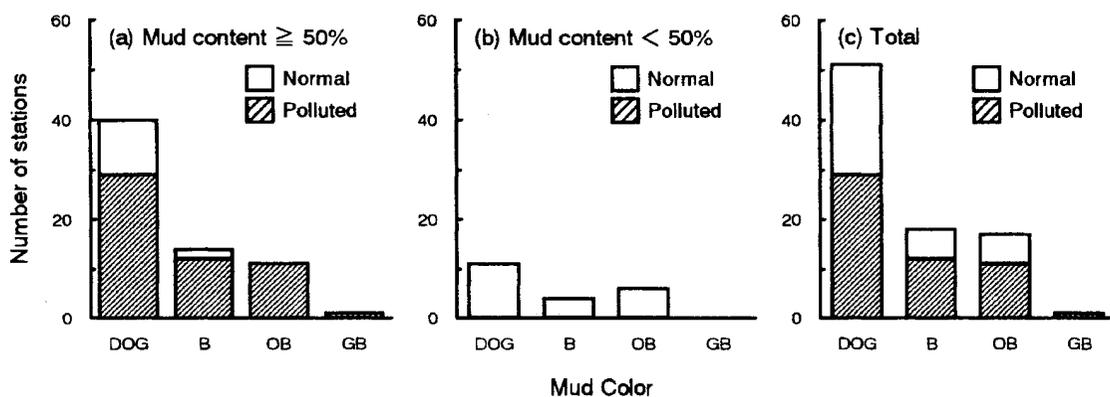


Fig.8. Frequencies of mud colors<sup>14)</sup> from May 2003 to Mar. 2004. Sediments were judged normal or polluted according to the compound index<sup>16)</sup>. DOG, dark olive gray; B, black; OG, olive gray; GB, greenish black.

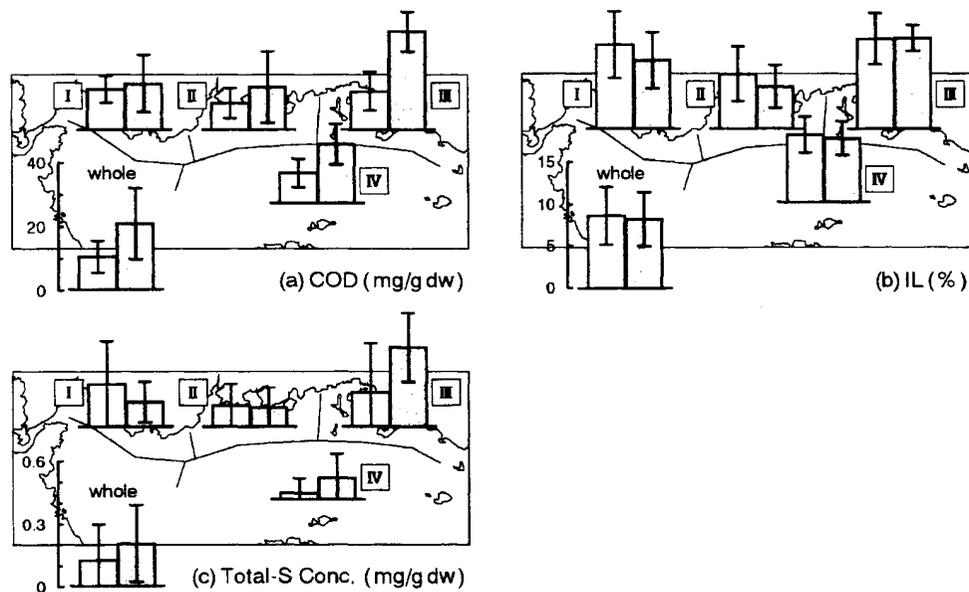


Fig.9. Comparisons between past and present data at each zone. (a)chemical oxygen demand (COD, mg/g dw), (b)ignition loss (IL, %), (c)total sulfide concentration (Total-S Conc., mg/g dw). white columns, averages of data from 1972 to 1973<sup>7)</sup>; gray columns, averages of data in this study; bars, standard deviations.

Table 3. Correlation coefficients between measured parameters

Measured parameter	Date	n	Measured parameter					
			COD	IL	Total-S	DO absorption	Water content	Mud content
COD	2002. 5	22	—	0.853	0.774	0.806	0.921	0.963
	2002. 8	22	—	0.742	0.899	0.927	0.891	(lack of data)
	2002.12	22	—	0.852	0.694	0.782	0.757	0.828
	2003. 2	22	—	0.902	0.855	0.824	0.941	0.973
	2003. 5	21	—	0.686	0.910	0.945	0.894	0.900
	2003. 8	22	—	0.860	0.885	0.945	0.888	0.891
	2003.11	22	—	0.764	0.922	0.954	0.884	0.918
	2004. 3	22	—	0.831	0.875	0.863	0.869	0.889
	Total	175	—	0.773	0.822	0.837	0.862	0.887
IL	2002. 5	22	0.853	—	0.605	0.721	0.854	0.853
	2002. 8	22	0.742	—	0.689	0.707	0.719	(lack of data)
	2002.12	22	0.852	—	0.736	0.857	0.828	0.883
	2003. 2	22	0.902	—	0.737	0.787	0.886	0.904
	2003. 5	21	0.686	—	0.620	0.667	0.658	0.712
	2003. 8	22	0.860	—	0.744	0.844	0.849	0.875
	2003.11	22	0.764	—	0.671	0.820	0.799	0.811
	2004. 3	22	0.831	—	0.760	0.847	0.759	0.778
	Total	175	0.773	—	0.692	0.714	0.780	0.823
Total-S	2002. 5	22	0.774	0.605	—	0.750	0.577	0.711
	2002. 8	22	0.899	0.689	—	0.957	0.711	(lack of data)
	2002.12	22	0.694	0.736	—	0.771	0.651	0.684
	2003. 2	22	0.855	0.737	—	0.864	0.696	0.767
	2003. 5	21	0.910	0.620	—	0.864	0.733	0.754
	2003. 8	22	0.885	0.744	—	0.920	0.664	0.691
	2003.11	22	0.922	0.671	—	0.927	0.730	0.805
	2004. 3	22	0.875	0.760	—	0.913	0.676	0.722
	Total	175	0.822	0.692	—	0.836	0.671	0.718
DO absorption	2002. 5	22	0.806	0.721	0.750	—	0.732	0.817
	2002. 8	22	0.927	0.707	0.957	—	0.773	(lack of data)
	2002.12	22	0.782	0.857	0.771	—	0.815	0.801
	2003. 2	22	0.824	0.787	0.864	—	0.696	0.758
	2003. 5	21	0.945	0.667	0.864	—	0.886	0.874
	2003. 8	22	0.945	0.844	0.920	—	0.864	0.863
	2003.11	22	0.954	0.820	0.927	—	0.882	0.919
	2004. 3	22	0.863	0.847	0.913	—	0.760	0.789
	Total	175	0.837	0.714	0.836	—	0.754	0.755
Water content	2002. 5	22	0.921	0.854	0.577	0.732	—	0.951
	2002. 8	22	0.891	0.719	0.711	0.773	—	(lack of data)
	2002.12	22	0.757	0.828	0.651	0.815	—	0.964
	2003. 2	22	0.941	0.886	0.696	0.696	—	0.974
	2003. 5	21	0.894	0.658	0.733	0.886	—	0.966
	2003. 8	22	0.888	0.849	0.664	0.864	—	0.960
	2003.11	22	0.884	0.799	0.730	0.882	—	0.955
	2004. 3	22	0.869	0.759	0.676	0.760	—	0.970
	Total	175	0.862	0.780	0.671	0.754	—	0.954
Mud content	2002. 5	22	0.963	0.853	0.711	0.817	0.951	—
	2002. 8	22	(lack of data)	(lack of data)	(lack of data)	(lack of data)	(lack of data)	—
	2002.12	22	0.828	0.883	0.684	0.801	0.964	—
	2003. 2	22	0.973	0.904	0.767	0.758	0.974	—
	2003. 5	21	0.900	0.712	0.754	0.874	0.966	—
	2003. 8	22	0.891	0.875	0.691	0.863	0.960	—
	2003.11	22	0.918	0.811	0.805	0.919	0.955	—
	2004. 3	22	0.889	0.778	0.722	0.789	0.970	—
	Total	175	0.887	0.823	0.718	0.755	0.954	—

Table 4. Number of stations where the sediments were judged normal or polluted according to the compound index<sup>16)</sup>

Date	n	Index 1 <sup>*1</sup>		Index 2 <sup>*2</sup>		Both Indices	
		Normal (Index<0)	Polluted (index>0)	Normal (Index<0)	Polluted (index>0)	Normal <sup>*3</sup>	Polluted <sup>*4</sup>
2002.05	22	11	11	11	11	11	11
2002.12	22	11	11	10	12	10	12
2003. 2	22	10	12	11	11	10	12
2003. 5	21	10	11	8	13	8	13
2003. 8	22	11	11	9	13	9	13
2003.11	22	11	11	8	14	8	14
2004. 3	22	11	11	9	13	9	13

<sup>\*1</sup> Index by COD, Total-S and Mud content. <sup>\*2</sup> Index by IL, Total-S and Mud content.

<sup>\*3</sup> By both Indices. <sup>\*4</sup> By either index.

泥) と比べ、海域Ⅰ及び海域Ⅱではやや減少しているかほぼ同程度であったのに対し、海域Ⅲや海域Ⅳでは増加傾向が顕著であった(Fig.5及びFig.9)。ただし、ILの長期的な変化傾向に比べて、CODや一部海域のTotal-Sが増加したことに対する原因は分からなかった。

測定項目間の関連性 (Table 3) については、周防灘の他の事例<sup>8, 21)</sup>でも得られているような関連性が再現されたことから、各項目が互いに密接に関連していることがあらためて明らかになった。一方で、山本ほか<sup>22)</sup>が瀬戸内海での調査結果から、ILと水分含有率との間に高い相関を見出しているのに対し、今回の調査では一部の定点 (St.3, 5, 18, 21及び22, Fig.10の×印) の値が、その他の定点 (Fig.10の○印) の値の分布傾向より大きく外れていることが多々あった。これらの定点の底質は外観的に砂質～砂泥質であり、底質中に貝殻の破片や貝殻由来と思われる細かな白色粒状物がしばしば観察されたり<sup>18, 19)</sup>、小野田市沖 (St.5付近) では石炭の破片が含まれているのが確認された。したがって、高ILの要因としてはこれらの貝殻片や石炭片の混入が考えられる。

COD及びTotal-Sは水産用水基準<sup>16)</sup>による基準値をほぼ半数の調査定点で上回った。さらに、底質をより総合的に評価する手法として、泥分含有率も考慮した合成指標<sup>16)</sup>も求めたところ、半数以上の調査定点が汚染された底質と判断された。特に、徳山湾及びその周辺 (海域Ⅲ) においては、全データについて汚染された底質という結果が出た。また、CODと泥分含有率及びTotal-Sと泥分含有率との関係 (Fig.11) を見てみると、CODの場合は単独の基準値<sup>16)</sup> (20mg/g乾泥)

を境に、合成指標による汚染及び正常な底質が分離された。これに対して、Total-Sの場合には、単独の基準値 (0.2mg/g乾泥) を超えると正常な底質はほとんど出現しなかったが、逆に基準値をかなり下回っても、合成指標では汚染されていると判断される場合が比較的多かった。以上のことから、底質の総合的な評価に関しては、やはり合成指標によるほうが確度が高まると考えられる。ただし、今回の調査で得られた底質は、泥分含有率が80%を超えた場合には全て汚染されていると分類されたこと、逆に50%以下の場合には全て正常であると分類されたことなど、本合成指標については実際の汚染の状況を適格に表しているとは考え難い点があり、今後検討する必要がある。

山本ほか<sup>22)</sup>は、瀬戸内海において多量の降雨後に硫化物量が高まった事例も報告している。今回の調査期間中、長雨による冷夏となった2003年7月には、防府市 (Fig.1) で月間586mm (平年比+299mm, 年間降水量の32%)、宇部市で556mm (平年比+263mm, 年間降水量の32%) もの多量の降雨があった。海域全体では月間に有意な差は認められなかったが、海域Ⅲでは同年11月に有意に高い値 (平均0.456mg/g乾泥) を示した ( $p<0.005$ )。

一方、今回の調査における底層のDOの測定結果を見ると、通常なら最も低下する夏季<sup>6)</sup>においてさえ貧酸素状態 (4.3ppm以下)<sup>16)</sup>まで低下した事例は見られなかった。8回の調査結果のみから瞬間値的な指標である水質を評価するのは早計かもしれないが、浅海定線調査における30年間の観測結果<sup>6)</sup>を見ても、周防灘の水質は徐々に改善に向かっており、底層のDOも1990年代にかなり上昇していることから、底層水の環

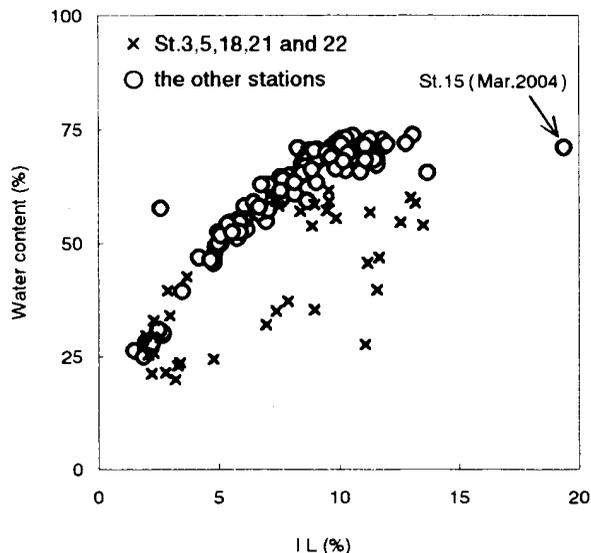


Fig.10. Relationship between ignition loss (IL, %) and water content (%). Crosses represent values at St.3, 5, 18, 21 and 22 containing lots of minute particles of shells or coals, open circles represent values at the other stations.

境が長期間継続的に悪化状態にあることはないと考えられる。

また、泥色については暗オリーブ灰、黒、オリーブ黒及び緑黒の順に多かったが、このうち黒味を帯びた泥色（黒やオリーブ黒）を呈する場合には、汚染された底質であると判断される割合が他の泥色より高かった（Fig.8）。これは、黒っぽい色の底質は汚染されていることが多いという経験上の知識とも一致し、泥色で底質の状態がある程度予想可能であることを裏付けている。

以上、海域Ⅲ及び海域Ⅳにおいては、CODやTotal-Sは30年前よりも高い値が得られ、周防灘全域についても改善の兆しは特に認め難かった。これは周防灘の水質環境が最近30年間に改善が見られている<sup>5,6)</sup>ことと対照的であったが、周防灘の底質貯留性が高いという特徴<sup>20)</sup>とは一致する結果となった。そういった点で、底質について今後とも継続的にモニタリングを行い、データを積み上げていく必要がある。

### 要 約

- 1 山口県周防灘海域の22定点において、2002年5月～2004年3月に8回の底質環境調査を実施した。
- 2 海域全体の平均は、CODは18.8～22.9mg/g乾泥、ILは7.6～8.7%、Total-Sは0.165～0.253mg/g乾泥、DO吸収量は0.200～0.403mg/g乾泥の範囲で推移した。
- 3 各調査項目とも海域Ⅲ（徳山湾及びその周辺）で相対的に高い値を示し、海域Ⅱで相対的に低かった。
- 4 汚染の始まりつつある底泥の基準値（COD及びTotal-S）については約半分の定点で上回り、合成指標でも半数以上の定点が汚染されていると判断された。
- 5 泥色は暗オリーブ灰を始め4色が出現し、黒味を帯びた泥色の場合は汚染された底質であることが多かった。
- 6 各測定項目間には高い相関（ $r=0.577\sim 0.974$ ）が認められた。
- 7 30年前と比べ、CODは全般に高め、ILはほぼ同じか若干低め、Total-Sは海域Ⅲや海域Ⅳにおける

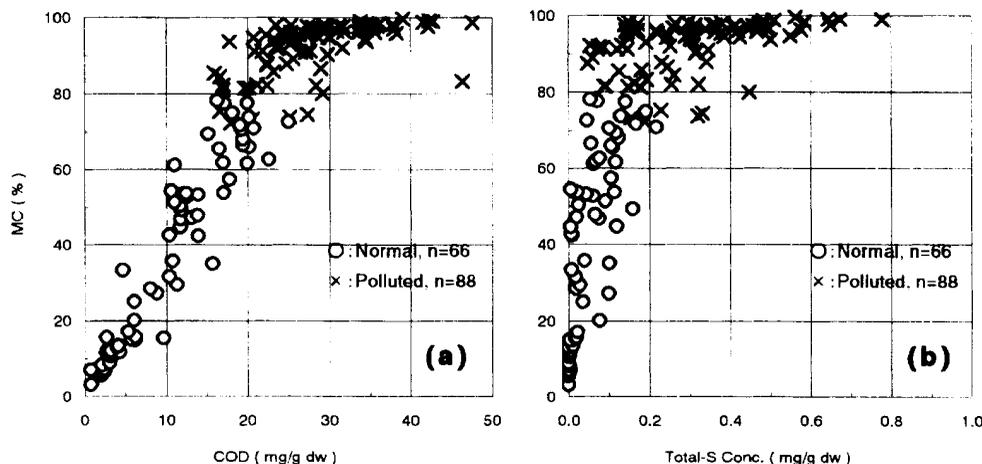


Fig.11. Relationships between sediment parameters in this study. (a) chemical oxygen demand (COD, mg/g dw) and mud content (MC, %), (b) total sulfide concentration (Total-S Conc., mg/g dw) and MC. Sediments were judged normal or polluted according to the compound index<sup>16)</sup>.

増加傾向が顕著であった。

### 引用文献

- 1) 徳山市 (1984) : 徳山市史 (上). 徳山市, 859pp.
- 2) 徳山市 (1985) : 徳山市史 (下). 徳山市, 1152pp.
- 3) 新南陽市史編纂委員会 (1985) : 新南陽市史. 新南陽市, 1281pp.
- 4) 徳山市 (1985-1988) : 徳山の公害概況.
- 5) 和西昭仁 (2004) : 山口県周防灘海域における最近30年間の水温変動. 山口県水産研究センター研究報告, **2**, 1-6.
- 6) 和西昭仁 (2005) : 山口県周防灘海域における最近30年間の水質変動. 山口県水産研究センター研究報告, **3**, 29-40.
- 7) 桃山和夫・小林知吉・吉次 清・高山繁昭 (1975) : 山口県瀬戸内海の漁場底質について. 山口県内海水産試験場報告, **5** (2), 79pp.
- 8) 瀬戸内海環境保全協会 (1984) : 昭和58年度瀬戸内海環境情報基本調査-広島湾・周防灘- (解析編). 73pp.
- 9) 塩沢孝之・川名吉一郎・星加 章・谷本照己・滝村 修 (1979) : 瀬戸内海の底質. 中国工業技術試験所報告, **4**, 1-24.
- 10) 谷本照己・川名吉一郎・山岡到保 (1984) : 瀬戸内海における底質の粒度組成と有機物. 中国工業技術試験所報告, **21**, 1-11.
- 11) 清水 誠 (1999) : 沿岸開発による生物環境への影響. 沿岸海洋研究, **36** (2), 121-130.
- 12) 松田 治 (2002) : -漁場環境を考える- 瀬戸内海. 日本水産資源保護協会月報, **449**, 3-8.
- 13) 神戸海洋気象台海洋課 (1985) : 周防灘の海況-1982~1983年特殊観測結果-. 神戸海洋気象台彙報, **204**, 23-37.
- 14) 農林水産省農林水産技術会議事務局・(財)日本色彩研究所 (2002) : 標準土色帖, 13pp.
- 15) 日本水産資源保護協会編 (1980) : 水質汚濁調査指針. 恒星社厚生閣, 東京, 552pp.
- 16) 日本水産資源保護協会 (2000) : 水産用水基準 (2000年版). 93pp.
- 17) 気象庁編 (1990) : 海洋観測指針. (財)日本気象協会, 東京, 428pp.
- 18) 和西昭仁・馬場俊典 (2003) : 周防灘底質環境調査. 平成14年度山口県水産研究センター事業報告, 228-248.
- 19) 和西昭仁・内田喜隆 (2004) : 周防灘底質環境調査. 平成15年度山口県水産研究センター事業報告, 268-290.
- 20) 岡市友利・小森星児・中西 弘 編 (1997) : 瀬戸内海の生物資源と環境-その将来のために-. 恒星社厚生閣, 東京, pp. 41-81.
- 21) 日本水産資源保護協会 (1997) : 平成8年度漁場富栄養化対策事業底質環境評価手法実用化調査報告書. 186pp.
- 22) 山本民次・松田 治・橋本俊也・妹背秀和 (1999) : 瀬戸内海表層底泥に見られる強熱減量, 酸化還元電位及び酸揮発性硫化物濃度の関係. 沿岸海洋研究, **36** (2), 171-176.

## 阿武川ダム下のアユ漁場における付着藻類 およびアユ消化管内容物について

大橋 裕・畑間俊弘\*<sup>1</sup>

Attached microalgal flora and species composition in the gut contents of ayu,  
*Plecoglossus altivelis altivelis*, from the lower side ayu fishing area  
of the Abugawa Dam across the Abu River.

Yutaka Ohhashi and Toshihiro Hatama

阿武川は、源流を島根県境の権現山（標高653m）に端を発し、阿武郡阿東町、川上村、旭村を通り、生雲川、蔵目喜川、佐々並川、明木川などの支流を集め、萩市内で橋本川、松本川に分かれて日本海に注ぐ流路延長約66kmの二級河川である。また、河口から約15km上流に多目的ダムの阿武川ダム（堤高95m、重力式コンクリートダム、湛水面積4.2km<sup>2</sup>総貯水量153,500m<sup>3</sup>）があり、現在は主に発電用に使用されている。このダムには魚道は設置されていない。

この阿武川ダム直下から水量調整用の堰がある相原調整池にかけては、アユの好漁場となっている。

この漁場（以下ダム下のアユ漁場）で平成10年ごろから年により夏季に青臭い異臭を放つアユ（以下異臭アユ）が取れるようになった。阿武川漁業協同組合から原因調査の要望があり、山口県土木建築部、山口県企業局、山口県環境政策部および山口県水産部の関係部局が平成12・13年度に共同で原因並びに対策についてを調査を行った。

本報告は、このうちの異臭の原因について、漁場の付着藻類組成とアユ消化管内容物について調査した結果をとりまとめたものである。

### 方 法

#### 1 付着藻類の調査

付着藻類調査は、平成12年度には図1に示したとおり対象をダム下のアユ漁場のSt.1、St.2として、明木川漁場のSt.3および本流と明木川合流点の漁場のSt.4を比較地点として、5月30日（第1回）、7月4日

（第2回）、8月11日（第3回）に調査を行った。平成13年度には、前年度の調査結果で付着藻類の種組成や分布量がSt.1と相似したSt.2の調査を省略し、St.1、St.3、St.4の3地点について6月13日（第1回）、7月3日（第2回）、8月6日（第3回）に調査を行った。

付着藻類の採集方法は、発電放水していない早朝に、各地点とも水深30～50cmにあるこぶし大から人頭大の石2個を取り上げ、速やかに各々鉄筆で5×5cm（25cm<sup>2</sup>）の印を付け、この枠外側の付着物を全て真鍮製のワイヤブラシで水洗いしながらこすり落とし、枠内の付着物を全て同様にワイヤブラシで水洗いしながらバットにこすり落とし、この石2個分の付着物を併せて水ごとポリ瓶に移し替えて約1%になるようホ

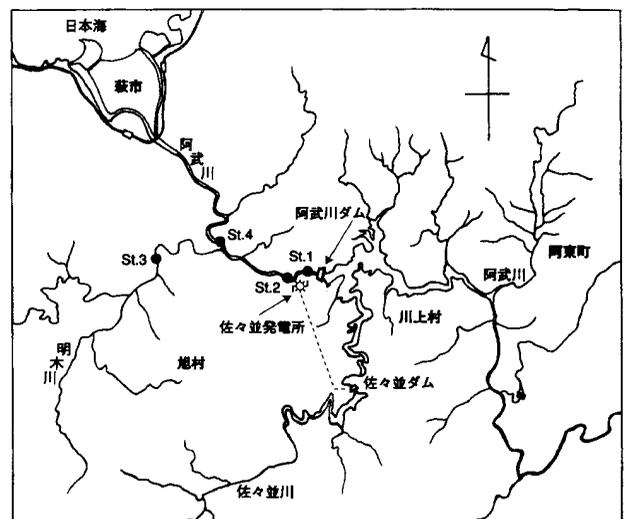


図1 調査場所図

\*1 萩水産事務所（現山口県水産研究センター内海研究部）

ホルマリン原液を加えて固定した。固定されたサンプルの付着藻類の調査は、水産大学校名誉教授 鶴田新生博士に依頼した。

## 2 アユ消化管内容物の調査

阿武川漁協から異臭アユが取れるとの情報が得られた時点で、捕獲調査を実施した。

平成12年度は、8月9日にダム下のアユ漁場St.1付近で掛け釣りによりアユ5尾を捕獲した。平成13年度は、8月22日にSt.1付近でアユ5尾、8月23日にSt.3で6尾を共に掛け釣りにより捕獲した。捕獲したアユは直ちに開腹して消化管を摘出し、各検体ごと別々に10%ホルマリン溶液で固定した。固定したアユの消化管サンプルの調査は、付着藻類サンプル同様に水産大学校名誉教授 鶴田新生博士に依頼した。

## 結 果

### 1 付着藻類の調査

#### (1) 平成12年度

付着藻類の出現状況を表1に示した。

#### 5月30日(第1回)の調査

付着藻類の沈殿量(採集面積50cm<sup>2</sup>あたり)は、最小値1.6ml(St.3)から最多値4.5ml(St.1)の範囲であった。

出現した種属は、藍藻、珪藻、緑藻の3種属で、各地点に次のとおり検出された。

出現種については、St.1では藍藻9種、珪藻14種、緑藻15種で、それぞれSt.2では4種、22種、9種、St.3では4種、28種、4種、St.4では4種、32種、7種であった。

極めて多量に出現し優占種にあげられるものは、藍藻の *Homoeothrix janthina* (多量出現地点: St.2, St.3, St.4), 珪藻の *Fragilaria crotonensis* (St.1, St.2, St.4), *Achnanthes lanceolata* (全地点) であった。次いで珪藻の *Melosira varians* (St.2, St.4), *Astrionella formosa* (St.1), *Cymbella minuta* (St.2, St.3), また緑藻の *Chaetophora* sp. (St.1, St.2), *Staurastrum dorsidentiferum* var. *ornatum* (St.1, St.2) などが多量に出現した。

各地点の付着藻類の分布組成は、巨視的にSt.1とSt.2が良く類似し、次いでSt.2とSt.4も類似したが、St.3は多少異なり孤立の傾向が認められた。

水道水のカビ臭の原因となるジェオスミンや2-メチルイソボルネオール等のカビ臭物質を産生する藍藻<sup>1)5)</sup>に

ついて見ると、*Phormidium* 属はSt.1で極めてわずかに検出されたが、他の地点では見られなかった。*Oscillatoria* 属は各地点で検出されたが、St.3でやや多かった。*Anabaina* 属は、St.1, St.2, St.4に主として *Anabaina solitaria* が極く少量検出された。

#### 7月4日(第2回)の調査

付着藻類沈殿量は、最小値1.4ml(St.1)から最大値2.2ml(St.3)の範囲であった。

出現種については、St.1では種組成、分布量とも多く藍藻8種、珪藻21種、緑藻12種、St.2では種組成、分布量ともSt.1とよく似ておりそれぞれ8種、21種、7種であった。St.3では5種、13種、1種で、St.4では種組成、分布量ともSt.3にやや似ておりそれぞれ3種、23種、7種であった。

多量に出現した種類は、藍藻の *H. janthina* が全地点に圧倒的に多量に優占した。また、珪藻の *F. crotonensis* (St.1, St.2), *A. lanceolata* (St.1, St.2, St.4) も極めて多量に出現し優占種としてあげられた。次いで多量に出現したものに藍藻の *Oscillatoria limosa* (St.3), 珪藻の *M. valians* (St.4), *A. hungarica* (St.1) などがあげられた。なお、緑藻の出現状況は、極めて低調で、特にSt.3では *Chaetophora* sp. のみが検出されたにすぎなかった。

カビ臭物質産生種について見ると、*Oscillatoria* 属が各定点とも見られ、前述のようにSt.3でやや多量に検出された。*Anabaina* 属では、*A. macrospora* がSt.1に少量出現し、St.2, St.3にも極めてわずかに検出された。また、*A. spiroides* もSt.1にわずかながら検出された。今回は、*Phormidium* 属は検出されなかった。

#### 8月11日(第3回)の調査

付着藻類沈殿量は、最小値1.4ml(St.4)から最多値3.8ml(St.2)の範囲であった。

出現種については、St.1では藍藻8種、珪藻26種、緑藻17種、それぞれSt.2では7種、24種、17種と両地点では種数が多かった。St.4では7種、22種、11種と前2者に比較して種数がやや少なかった。一方、St.3では5種、19種、2種と他の地点よりかなり少なく、特に緑藻が少なかった。

多量に出現したのは、藍藻では *H. janthina* で各地点に優占し、特にSt.3で多かった。また、*Lyngbya birgei* もSt.1, St.2にやや多く出現した。珪藻では *Cocconeis diminuta* (St.1, St.2,

St.4)が優占し、次いで、*Cymbella tumida* (St.1, St.2, St.4), *Melosira valians* (St.1, St.2), *F. crotonensis* (St.1, St.2), *Synedra ulna* (St.1, St.2)等が多量に出現した。緑藻では *Senedesmus bijuga* (St.1), *Chaetophora* sp. (St.1, St.2, St.4), *Pleurotaenium ehrenbergii* (St.1, St.2)などがやや多量に出現した。今回の調査では、St.3に藍藻の *H. janthina* が繁茂優占したが、珪藻や緑藻の分布組成は単調で、特に緑藻は *S. bijuga* と *Microspora tumidula* 2種のみ検出された。

4地点の出現種および分布量について見ると、St.1とSt.2はよく類似しており、これらの地点にSt.4もかなり類似性が認められた。しかし、St.3は優占種が他の地点と異なり、分布組成が少ないなど、他の3地点と様相に違いが認められた。また、不明瞭であるが、St.3とSt.4にも出現種や分布量にやや類似性がうかがえた。

カビ臭物質産生種について見ると、*Oscillatoria limosa* が各地点に出現し、特にSt.2に多量に検出された。また、*Oscillatoria* sp. は少量ではあるが全地点に検出された。*Anabaina macrospora* がSt.1, St.2およびSt.4に検出され、特にSt.1では多量に検出された。また、*A. spiroides* も極めて少量であるがSt.1, St.2に検出された。なお、*Phormidium autumnale* も極めて少量ではあるがSt.1, St.2およびSt.4に検出された。

## (2) 平成13年度

附着藻類の調査結果を、表2に示した。

### 6月13日(第1回)の調査

附着藻類沈殿量は、最小値1.0ml (St.1), 最大値1.8ml (St.4)の範囲であった。

出現種属は、St.1では藍藻6種、珪藻20種、緑藻6種、St.3ではそれぞれ4種、17種、3種、St.4では4種、26種、4種であった。多量に出現したのは、藍藻の *H. janthina* で全地点に卓越して繁茂し、優占種にあげられた。また、珪藻の *F. crotonensis* (St.1, St.4), *Melosira* 属 (St.1, St.4), *Achnanthes minutissima* (St.3, St.4)などが多量に出現した。ついで珪藻の *Cocconeis placentula* (St.4), *Melosira varians* (St.4), *Cymbella minuta* (St.3), 藍藻の *Oscillatoria limosa* (St.3)などがやや多量に出現した。

3地点の分布状況を比較すると、巨視的にSt.1とSt.4の分布特性が類似した。一方、不明瞭ながら

St.3とSt.4にも類似性がうかがえた。

カビ臭物質産生種では、*O. limosa* (全地点), *Anabaina* sp. (St.4)などが少量検出された。

### 7月3日(第2回)の調査

附着藻類沈殿量は、最小値1.0ml (St.1), 1.4ml (St.4)および最大値4.2ml (St.3)が測定された。出現種については、St.1では藍藻2種、珪藻18種、緑藻2種、St.3ではそれぞれ2種、13種、2種、St.4では5種、21種、5種であった。

3地点に多産した優占種として、藍藻の *H. janthina* と珪藻の *A. minutissima* の2種があげられた。前者は圧倒的に優占しており、St.3で最も多く、次いでSt.1で多かった。後者は、St.4で最も多かった。次いで、珪藻の *C. minuta* (St.3), *M. varians* (St.4)なども多量に出現した。

カビ臭物質産生種については、*Oscillatoria limosa* (全地点)と*Anabaina spiroides* (St.4)が少量検出された。

### 8月6日(第3回)の調査

附着藻類沈殿量は、最小値1.6ml (St.4), 4.0ml (St.1)および最大値5.0ml (St.3)が測定された。

出現種については、St.1では藍藻6種、珪藻12種、緑藻4種で前回(7月3日)に比べ藍藻と珪藻の種数が増加した。St.3では2種、13種、1種で種数は前回と大差無かった。St.4では6種、16種、4種で珪藻の種数が前回より減少した。3定点で共通して多産したのは、藍藻の *H. janthina* 1種で圧倒的に優占していた。中でも、St.3の分布量は他の2地点の約1.5倍を占めた。また、珪藻の *F. crotonensis* がSt.1に多量に出現し、優占種にあげられた。次いで、珪藻の *C. diminuta* (St.1), *A. minutissima* (St.4)などが多量に出現した。なお、St.1とSt.4は出現種に共通した種が比較的多く、St.3と様相を異にした。

カビ臭物質産生種では、*O. limosa* (全地点), *A. macrospora* (St.1, St.4), *A. spiroides* (St.1, St.4)が少量検出された。

## 2 アユ消化管内容物調査

### (1) 平成12年度調査

アユ消化管内容物を、表3に示した。

固定した各検体の消化管内容物湿重量は0.5~1.2gであった。

消化管内容物は、附着藻類が主体を占めたが、渦鞭毛藻綱、根足虫綱、繊毛虫綱、輪虫綱のほかミジンコ

表1 平成12年度付着藻類出現状況

種 類	調査回次 調査地点 沈殿量(ml/5L) n/50cm <sup>2</sup>	第1回調査(2000.5.30)				第2回(2000.7.4)				第3回(2000.8.11)			
		St. 1	St. 2	St. 3	St. 4	St. 1	St. 2	St. 3	St. 4	St. 1	St. 2	St. 3	St. 4
		4.5	2.7	1.6	2.8	1.4	2	2.2	1.8	1.5	3.8	1.7	1.4
<b>藍藻綱 Cyanophyceae</b>													
<i>Agmenellum thermale</i>	群体数	200		400									
<i>Oscillatoria limosa</i>	糸状体数	800	1800	14400	1800	16800	15200	91200	32800	1100	11700	8800	6400
<i>Oscillatoria animalis</i>	"	600											
<i>Oscillatoria kawamurae</i>	"	400											
<i>Oscillatoria</i> sp.	"									800	1200	400	400
<i>Lyngbya birgei</i>	"	600	400	1600									
<i>Lyngbya martensiana</i>	"					3200	2800	400	3400	40000	11200	200	200
<i>Anabaina macrospora</i>	"					3400	400	200		2100	700		100
<i>Anabaina spiroides</i>	群体数					400				100	200		
<i>Anabaina solitaria</i>	糸状体数	200	800		400								
<i>Raphidiopsis mediterranea</i>	"					5800	1600						
<i>Phormidium autumnale</i>	"									200	200		300
<i>Phormidium tenue</i>	"	200											
<i>Aphanizomenon</i> sp.	"	1400			200	200	200						
<i>Homoethrix janthina</i>	叢状株数	19200	2259200	2910400	2688000	3727200	4012800	3672800	3824800	814200	772800	1537600	1108800
<i>Microcystis aeruginosa</i>	群体数									200		200	100
<i>Chroococcus turgidus</i>	"					200	200						
<i>Aphanocapsa</i> sp.	"						200	200					
<b>珪藻綱 Bacillariophyceae</b>													
<i>Melosira varians</i>	細胞数	44800	141400	24800	144800	12200	28000	21000	67200	34800	15900		1200
<i>Melosira</i> spp.	"	2200	600	0	200	2800	5000						
<i>Tabellaria fenestrata</i>	"										300		
<i>Cyclotella meneghiniana</i>	"				200	100							
<i>Diatoma vulgare</i>	"	4800	395200	800	600	800	8800			100	4900		
<i>Fragilaria crotonensis</i>	"	40824000	6643200	3400	230400	627200	161600	35000	18200	28800	115200	600	7800
<i>Fragilaria</i> spp.	"	0	0	2800	24000	0	0	0	3600	1800	2100	0	1700
<i>Asterionella formosa</i>	"	115200	8800	5000	1200	400	600						
<i>Synedra ulna</i>	"	12800	6400	1400	5600	400	16800	600	8800	33600	33800	200	600
<i>Synedra</i> spp.	"	400	3000	800	600	5400	4800	800	800	600	7600	300	300
<i>Hydrosera trigueta</i>	"						200						
<i>Rhoicosphenia abbreviata</i>	"	79200	45000	1400	17600			200	400	100		100	200
<i>Achnanthes lanceolata</i>	"	412800	1788800	1161600	2492800	412800	157600	55200	296000	1200	6500	300	400
<i>Achnanthes hungarica</i>	"	2200	19200	7400	83200	60800	6400	1600	19800	700	2400	300	200
<i>Achnanthes convergens</i>	"									65600	501600	1200	800
<i>Achnanthes</i> spp.	"	0	0	0	200	0	0	0	1800	0	0	0	0
<i>Cocconeis diminuta</i>	"									304700	377500	9500	132200
<i>Cocconeis placentula</i>	"	2400	6400	37600	52800	200	800	7200	9600	1300	1200	400	800
<i>Neidium dubium</i>	"											100	
<i>Neidium</i> spp.	"	0	0	200	200	0	200	200	400	0	0	0	0
<i>Navicula cryptocephala</i>	"			9600	2400	200	200	200	200	112000	4800	800	600
<i>Navicula radiosa</i>	"	12600	9600	7200	6400	1200	1400	200	400	3200	3200	200	400
<i>Navicula</i> spp.	"	0	0	1600	8400	0	600	0	400	100	300	500	100
<i>Gomphonema</i> spp.	"	6400	4200	3000	13800	1000	400	1600	19200	1300	2800	200	700
<i>Gyrosigma acuminata</i>	"									100			
<i>Cymbella minuta</i>	"	57600	137600	140800	22400	200	1000	9600	5600	1600	1900	600	1400
<i>Cymbella tumida</i>	"	77600	28000	4800	4800	1800	3600		1000	22400	17600	700	12100

種 類	調査回次 調査地点	第1回調査(2000.5.30)				第2回(2000.7.4)				第3回(2000.8.11)			
		St. 1	St. 2	St. 3	St. 4	St. 1	St. 2	St. 3	St. 4	St. 1	St. 2	St. 3	St. 4
<i>Cymbella aspera</i>	細胞数	11200	3200	200		400	800		400	9600	7200	100	1200
<i>Amphora ovalis</i>	"									300			
<i>Epithemia turgida</i>	"	2800	200	400	200								
<i>Nitzschia</i> spp.	"	0	0	600	400	1600	0	0	0	100	300	0	100
<i>Hantzschia amphioxys</i>	"		200		200								
<i>Surirella</i> spp.	"	800	400	800	1600	0	0	0	200	100	100	0	0
<i>Gyrosigma attenuatum</i>	"								200				
緑藻綱 Chlorophyceae													
<i>Volvox aureus</i>	群体数	200											
<i>Eudorina elegans</i>	"	200	400		200	1200	1000						
<i>Tetraedron muticum</i>	个体数	200											
<i>Pediastrum boryanum</i>	群体数									200	100		
<i>Coelastrum microporum</i>	"					200							
<i>Closteriopsis longissima</i>	細胞数	200											
<i>Schroederia setigera</i>	群体数					200							
<i>Crucigenia rectangularis</i>	"					400							
<i>Scenedesmus</i> spp.	"	3600	3200	0	400	1800	800	0	200	7400	1800	100	1100
<i>Hormidium subtile</i>	糸状体数	1200	800	200						200	600		100
<i>Chaetophora</i> sp.	枝状体数	57000	21800		600	1200	200	400	1200	3000	17000		2900
<i>Stigeoclonium lubricum</i>	"	1200	200	200						200	400		300
<i>Ulothrix aequalis</i>	糸状体数					600	1400		1000	100			
<i>Ulothrix zonata</i>	群体数	2800	200										
<i>Spirogyra</i> sp.	糸状体数	30600	200			600	400			200	300		100
<i>Mougeotia</i> sp.	群体数	5200			200	400				200			
<i>Staurastrum dorsidentiferum</i> var. <i>ornatum</i>	細胞数	37600	13600	200	200	400	200			500	400		100
<i>Staurastrum</i> sp.	"									100			
<i>Microspora tumidula</i>	糸状体数									100	100	100	100
<i>Pleurotaenium ehrenbergii</i>	細胞数									4800	2300		100
<i>Closterium acerosum</i>	"									1400	1400		100
<i>Cosmarium botrytis</i>	"		200	200	200				200	100	200		
<i>Uroglena americana</i>	群体数										100		
<i>Desmidiium coarctatum</i>	"										100		100
<i>Penium</i> sp.	細胞数									100	100		

表2 平成13年度付着藻類出現状況

種 類	調査回次	第1回調査(2001.6.13)			第2回(2001.7.3)			第3回(2001.8.6)		
	調査地点	St. 1	St. 3	St. 4	St. 1	St. 3	St. 4	St. 1	St. 3	St. 4
	沈殿量(ml/5L)	1.00	1.60	1.80	1.00	4.20	1.40	4.00	5.00	1.60
藍藻綱 Cyanophyceae	n/50cm <sup>2</sup>									
<i>Agmenellum thermale</i>	群体数	50								100
<i>Oscillatoria limosa</i>	糸状体数	800	6300	3540	1100	9400	1500	5600	6600	1600
<i>Lyngbya birgei</i>	"	50	50					200		
<i>Anabaina macrospora</i>	"							5600		100
<i>Anabaina spiroides</i>	群体数									
<i>Anabaina spiroides</i> var. <i>crassa</i>	糸状体数									
<i>Anabaina solitaria</i>	"						300	5400		100
<i>Anabaina affinis</i>	"						1200			
<i>Anabaina</i> sp.	"			50						
<i>Homoeothrix janthina</i>	叢状株数	499200	834000	1150600	808000	1406400	242400	1640800	2446400	1307200
<i>Microcystis aeruginosa</i>	群体数	100					200	1600		200
<i>Gloetrichia echinulata</i>	糸状体数	350	300	300						
珪藻綱 Bacillariophyceae	細胞数									
<i>Melosira varians</i>	"	1000	350	5100	6500	200	12200	1800	2700	
<i>Melosira</i> spp.	"	5250					2500			700
<i>Tabellaria fenestrata</i>	"	200		50						
<i>Diatoma vulgare</i>	"	1550	100	1150	300		700			100
<i>Fragilaria crotonensis</i>	"	539400	2800	180400				90000		2400
<i>Fragilaria vaucheriae</i>	"	2600	800	1200			700			
<i>Asterionella formosa</i>	"	1400		550						
<i>Synedra</i> spp.	"	450		450	200	400	700			200
<i>Rhoicosphenia abbreviata</i>	"		50	100	200		300			
<i>Achnanthes minutissima</i>	"	750	17900	201600	65600	48400	185600	2600	6400	11400
<i>Achnanthes</i> spp.	"	150	750	1200	300	600	2800	700	300	1000
<i>Cocconeis</i> spp.	"	100	1350	3900	3800	6600	1600	10200	3100	6100
<i>Climacosphenia moniligera</i>	"			50						
<i>Navicula</i> spp.	"	600	450	900	600	300	1000	1600	600	500
<i>Gomphonema</i> spp.	"	350	500	800	500	200			1000	200
<i>Cymbella minuta</i>	"	1550	6150	950	200	33600	8000	1600	4400	500
<i>Cymbella</i> spp.	"	500	500	550		100	700	1300	700	200
<i>Amphora ovalis</i>	"		50				100			
<i>Epithemia turgida</i>	"			50		100	200			
<i>Nitzschia palea</i>	"			150	100	100	3200			200
<i>Hantzschia amphioxys</i>	"				100					
<i>Surirella</i> spp.	"			50	200					
緑藻綱 Chlorophyceae										
<i>Eudorina elegans</i>	群体数						300			
<i>Scenedesmus</i> spp.	"	50	100	200		100		3200	300	300
<i>Hormidium subtile</i>	糸状体数									
<i>Stigeoclonium lubricum</i>	枝状体数	800		100	100		9200	300		200
<i>Ulothrix aequalis</i>	糸状体数	50								
<i>Spirogyra</i> sp.	"	10200	50	100			100	800		
<i>Oedogonium</i> sp.	"				100	100	100			
<i>Staurastrum dorsidentiferum</i> var. <i>ornatum</i>	細胞数	50					300			
<i>Cosmarium botrytis</i>	"	100	150	100						100

表3 平成12年度アユ消化管内容物

消化管内容物	調査地点	St. 1 (2000.8.9)				
	検体No.	1	2	3	4	5
	全長(mm)	141	145	146	152	160
	胃内容物重量(g)	0.5	1.2	0.7	0.8	0.7
<b>藍藻綱 Cyanophyceae</b>	n/個体					
<i>Agmenellum</i> sp.	群体数		100	400	300	100
<i>Oscillatroia</i> spp.	糸状体数	4,800	19,200	10,000	16,400	9,200
<i>Anabaina</i> spp.	群体数	1,600	800	400	2,200	1,200
<i>Phormidium</i> spp.	糸状体数	400	400	400	2,800	600
<i>Homoethrix janthina</i>	叢状株数	180,800	395,200	186,600	386,200	134,800
<i>Microcystis</i> sp.	群体数	100	200	300	400	300
<b>珪藻綱 Bacillariophyceae</b>						
<i>Melosira varians</i>	細胞数	6,200	7,600	18,900	10,400	19,200
<i>Melosira</i> spp.	"	1,100	1,900	2,700	3,300	1,500
<i>Diatoma vulgare</i>	"	200			400	
<i>Fragilaria crotonensis</i>	"	6,800	46,400	29,200	60,400	83,600
<i>Synedra ulna</i>	"	7,600	36,400	101,300	25,800	42,000
<i>Synedra acus</i>	"	100		100	200	2,000
<i>Hydrosera triguetra</i>	"	100		200	300	
<i>Rhoicosphenia abbreviata</i>	"			300	4,400	800
<i>Achnanthes</i> spp.	"	300	1,200	400		5,200
<i>Cocconeis diminuta</i>	"	518,400	1,069,200	1,048,000	851,200	786,400
<i>Navicula</i> spp.	"	15,000	164,800	44,000	20,400	27,600
<i>Gomphonema</i> spp.	"	700	1,900	2,000	2,800	7,600
<i>Gyrosigma acuminata</i>	"		200	100		
<i>Cymbella minuta</i>	"	800	9400	7600	4400	7200
<i>Cymbella tumida</i>	"	14800	17200	18800	12700	10400
<i>Cymbella aspera</i>	"	2600	1900	1200	1600	3800
<i>Epithemia</i> sp.	"			100	100	
<i>Surirella</i> sp.	"	200	100	100	100	200
<b>緑藻綱 Chlorophyceae</b>						
<i>Pediastrum</i> spp.	群体数		200		600	400
<i>Scenedesmus</i> spp.	"	4300	17900	7100	6600	6900
<i>Chaetophora</i> sp.	枝状体数	4400	11400	5600	4800	3400
<i>Stigeoclonium</i> sp.	"		100	100	400	200
<i>Ulothrix aequalis</i>	糸状体数	100	100	100	200	200
<i>Spirogyra</i> sp.	"	800	4000	1800	1600	1500
<i>Staurastrum</i> spp.	細胞数	400	300	400	400	2800
<i>Microspora tumidula</i>	糸状体数	200	100	400	200	300
<i>Pleurotaenium trabecula</i>	細胞数	800	800	1200	1400	1100
<i>Closterium acerosum</i>	"	300	600	500	300	700
<i>Cosmarium botrytis</i>	"			100		100
<i>Desmidiium coarctatum</i>	群体数			100		100
<i>Penium</i> sp.	細胞数		100	100		100
<i>Sphaerocystis schroeteri</i>	群体数			100	100	100
<i>Ankistrodesmus falcatus</i>	"			100		
<b>渦鞭毛藻類 Dinophyceae</b>						
<i>Peridinium</i> spp.	細胞数	100	100	100	200	300
<i>Ceratium hirundinella</i>	"	100	200	300	900	100
<b>根足虫綱 Rhizopodea</b>						
<i>Diffugia corona</i>	個体数	2800	700	1200	2900	5100
<i>Euglypha tuberculata</i>	"	300	100	500	200	400
<b>繊毛虫綱 Ciliata</b>						
<i>Tintinnopsis cratera</i>	個体数				100	100
<b>輪虫綱 Rotatoria</b>						
<i>Lecane luna</i>	個体数	500	300	500	500	300
<b>甲殻綱 Crustaceae</b>						
<i>Daphnia</i> sp., <i>Bosmina</i> sp., <i>Alona</i> sp.	個体数	12	16	11	10	8
<i>Mesocyclops</i> sp., <i>Thermocyclops</i> sp.	"	1	1	3	8	6
<b>線虫綱</b>						
<i>Dorylaimus</i> sp.	個体数	3	5	7	6	5

表4 平成13年度アユ消化管内容物

消化管内容物	調査地点	St. 1 (2001.8.22)					St. 3 (2001.8.23)					
	検体No.	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	6
	全長(mm)	172	161	148	171	159	194	175	161	169	162	175
体重(g)	55	40	28	42	35	61	46	30	40	33	43	
性別	♀	♂	♂	♀	♂	♀	♂	♀	♂	♀	♂	
n/個体												
<b>藍藻綱 Cyanophyceae</b>												
<i>Agmenellum thermale</i>	群体数	2,800	200			400	200					700
<i>Oscillatoria</i> spp.	糸状体数	76,800	300,000	102,400	62,400	169,600	134,400	214,400	180,800	10,400	44,800	219,200
<i>Anabaina</i> spp.	"	1,600	43,200	2,100	19,200	20,800	100					
<i>Phormidium</i> spp.	"						800	300				300
<i>Homoeothrix janthina</i>	叢状株数	356,800	603,600	299,200	318,400	526,400	763,200	924,800	764,800	21,200	633,600	1,211,200
<b>珪藻綱 Bacillariophyceae</b>												
<i>Melosira granulata</i>	細胞数		5,600	300	19,600	2,500	500		500		800	
<i>Melosira varians</i>	"	420800	44000	102400	84800	134400	76800	78400	44800	2400	65600	44800
<i>Diatoma vulgare</i>	"		100	400	400	600		100	400			200
<i>Fragilaria crotonensis</i>	"	110400	151200	212800	294400	457600						
<i>Synedra ulna</i>	"	44800	4800	43200	22400	17600	25600	49600	60800	1600	25600	54400
<i>Synedra</i> spp.	"		3200	25700	300		100		700	700	300	
<i>Hydrosera trigueta</i>	"	300	100	800	500					100	200	300
<i>Rhoicosphenia abbreviata</i>	"	100	4800	11200	1700	6400	6400	9600	11200	1200	14400	9600
<i>Achnanthes</i> spp.	"	9600	300	600	300		23600	5200	600	3200	1100	20800
<i>Cocconeis</i> spp.	"	16000	13600	12800	4800	43200	147200	123200	302400	7200	163200	428800
<i>Frustalia rhomboides</i>	"	300		700		100			200		400	
<i>Neidium affine</i>	"								100		200	
<i>Navicula cryptocephala</i>	"	519200	107200	579200	566400	1328000	145600	89600	195200	1200	107200	545600
<i>Navicula</i> spp.	"	58400	35500	69000	141000	108800	11600	45300	75500	1400	22800	89900
<i>Gomphonema</i> spp.	"	44200	16300	22400	51200	97600	108800	99200	92800	2900	73900	281600
<i>Gyrosigma nodiferum</i>	"	100		200		100			100			100
<i>Cymbella minuta</i>	"	6400	12800	3200	1400	30400	25600	11200	30400	200	17600	70400
<i>Cymbella tumida</i>	"	30400	40800	38400	1200	102400	12800	9600	14400	200	11200	27200
<i>Cymbella aspera</i>	"	4800	300	4800	100	19200	100		100		200	300
<i>Epithemia turgida</i>	"	100	100						100		200	
<i>Nitzschia</i> spp.	"						400	3300	200	100	300	500
<i>Hantzschina amphioxys</i>	"							100		100		
<i>Surirella</i> spp.	"	300	200	400	300	400	1700	6500	7200	200	6500	14500
<i>Gyrosigma nodiferum</i>	"	100		200		100			100			100
<i>Caloneis</i> sp.	"			200	100				100			300
<i>Didymosphenia</i> sp.	"						6400	6400	28800	900	28800	57600
<i>Stauroneis phoenicentron</i>	"						100	400				
<b>緑藻綱 Chlorophyceae</b>												
<i>Eudorina elegans</i>	群体数		3200	300	100	100						
<i>Pediastrum duplex</i>	"			100	100							
<i>Coelastrum cambricum</i>	"			100	100							
<i>Scenedesmus quadricauda</i>	"	5200	100	6400	500	100						
<i>Scenedesmus bijuga</i>	"	119400	126400	169600	208000	420800	6400	4800	400		800	6400
<i>Scenedesmus</i> spp.	"	200	100	8800	200		100	200	400	100	200	100
<i>Stigeoclonium lubricum</i>	枝状体数		300	300	1400	700						
<i>Ulothrix</i> sp.	糸状体数	800	300	1600	800	1300		100				

消化管内容物	調査地点 検体No.	St. 1 (2001.8.22)					St. 3 (2001.8.23)					
		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	6
<i>Spirogyra</i> sp.	糸状体数	9800		4300	2200	2100		200	500	100	200	700
<i>Mougeotia</i> sp.	"	22400	100	26600	2800	8900		200			100	100
<i>Staurastrum</i> sp.	細胞数	6400	1600	9600	6400	4800						
<i>Closterium</i> spp.	"	200	100	100	200	200	700	6400	1000	100	6500	900
<i>Cosmarium</i> spp.	"	100					1100	4800	3200	200	5000	4800
<i>Penium</i> sp.	群体数							200	100			200
<i>Cladophora</i> sp.	枝状体数				700	300						
渦鞭毛藻綱 Dinophyceae												
<i>Peridinium</i> sp.	細胞数	100	2400	500	1600	4800						
<i>Ceratium hirundinella</i>	"					100						
根足虫綱 Rhizopodea												
<i>Diffugia corona</i>	個体数		800	300	2900	6400						
<i>Euglypha tuberculata</i>	"	200	100	400	700		100	300	200		600	200
輪虫綱 Rotatoria												
<i>Keratella cochlearis</i> var. <i>tecta</i>	個体数				200							
<i>K. valga</i>	"	200			100							
<i>Lepadella</i> sp.	"		200	100	300		100	300	100		100	
<i>Euchlanis</i> sp.	"	100	100									
<i>Lecane</i> sp.	"	100	100	400	400	500		100	100		100	100
甲殻綱 Crustaceae												
<i>Bosmina longirostris</i>	個体数	3	2	1	1	1						
<i>Caridea</i> の <i>mysis</i>	"								2			
昆虫綱 Insecta												
ユスリカ幼虫	個体数						40	30	30		20	
線虫綱 Nematoda												
<i>Dorylaimus</i> sp.	個体数				70	10	10	10	50			50

亜綱, カイアシ亜綱等の種類も検出された。

付着藻類について見ると, アユ各検体に捕食された優占種は, 藍藻の *H. janthina* と珪藻の *Cocconeis diminuta* であった。次いで, 藍藻の *Oscillatoria* spp., 珪藻の *Navicula* spp., *F. crotonensis*, *S. ulna*, *Cymbella tumida* 等も多く見られた。緑藻では *Scenedesmus* spp., *Chaetophora* sp. などがやや多く摂餌されていた。

カビ臭物質産生種について見ると, 前述のように *Oscillatoria* spp. が全てのアユ検体の消化管からかなり多量に検出された。また, *Phormidium* spp. や *Anabaina* spp. も少量であるが全検体から検出されたが, 種の同定はできなかった。

## (2) 平成13年度調査

アユ消化管内容物を, 表4に示した。

採捕したアユの検体は, ダム下のアユ漁場のSt. 1では5尾(全長148~172mm, 体重28~55g), 対照漁場の明木川のSt. 3では6尾(全長161~194mm, 体重30~61g)で後者がやや大型の傾向であった。後者のNo. 4の検体は消化管内容物はほとんど空の状態極めて少なかったが, この1尾を除くと消化管内容物の湿重量は後者がやや大きい傾向であった。

摂餌されていた生物は, 多くの付着藻類のほか渦鞭毛藻綱, 根足虫綱, 輪虫綱, 線虫綱, 甲殻綱および昆虫綱のユスリカの幼虫まで多岐にわたった。

消化管内容物の付着藻類について見ると, 両地点の検体で共通して多量に摂餌されていたのは, 藍藻の *H. janthina* 次いで *Oscillatoria* spp. であった。珪藻では *Navicula cryptocephala* がほとんどの検体で最も優占し, 特にSt. 1の検体に多く摂餌されていた。次いで, *Cocconeis* spp., *M. varians*, *S. ulna*, *C. tumida* および *Navicula* spp. 等も多く摂餌されていた。*Cocconeis* spp. はSt. 3, *M. varians* はSt. 1の検体で多く見られた。緑藻では両地点で共通した優占種は見られなかった。

その他については, St. 1の検体で珪藻の *F. crotonensis* が多量に摂餌されていたが, St. 3では全く見られなかった。一方, *Didymosphenia* sp. はSt. 3の検体でかなり多く摂餌されていたが, St. 1の検体では全く見られなかった。また, *Nitzschia* 属もSt. 3の各検体に僅少なから摂餌されていたが, St. 1の検体には全く見られなかった。また, 緑藻の *S. byuga* はSt. 1の検体で多量に摂餌されていたが, St. 3の検体では摂餌量は少なかった。

カビ臭物質産生種では, *Anabaina* spp. がSt. 1の全ての検体で摂餌されていたが, St. 3の検体では1検体(No. 1)のみ極めて少量摂餌されていた。また, *Phormidium* sp. はSt. 3の検体3尾に摂餌が見られたが, St. 1の検体は摂餌していなかった。

以上のように, 両地点(St. 1及びSt. 3)のアユ消化管内容物の付着藻類の種組成は, かなり異なった。

## 考 察

阿武川漁協組合員によると, 平成10年頃から年によって夏季にダム下のアユ漁場で青臭い異臭アユが取れるようになり, 特に渇水年に異臭がひどいようだとされてきた。一方, ダムの上流, 明木川, 本流と明木川合流点から下流ではそのような異臭アユの発生は聞かれなかった。

聞き込みによると, 異臭アユの発生状況は, 平成12年度は7月中旬から発生し異臭も強かった。9月上旬には終息したようである。一方, 13年度は7下旬に発生が見られ, 8月中旬に多発した。しかし, 異臭の程度は, 前年度ほどひどくはなく, 9月中旬には終息したようである。

この異臭については, 水道水のカビ臭原因となるカビ臭物質産生藻類<sup>4) 5)</sup>をアユが摂餌するためではないかと推定し<sup>6)</sup>, 漁場の付着藻類組成とアユ消化管内容物について調査を実施した。

本調査において, 両年度の各定点における付着藻類出現状況を見ると, 平成12年度の5月30日(第1回)のSt. 1を除き *H. janthina* が圧倒的に優占していた。その他の種では, 常に共通して優占していた種は特に見られなかった。この *H. janthina* は, 清澄河川に優占し<sup>1) 2)</sup>, アユの摂餌により繁茂するとも言われている<sup>3)</sup>。このため, 一般的観点からは各定点ともほぼ清澄と言える範疇で, アユの摂餌が活発な状況と言えるだろう。しかしながら, 平成12年度は7月中旬ごろから, 13年度は7月末からこのような異臭アユが出現するようになった。

各定点の付着藻類の出現状況を総体的に見ると, ダム下のアユ漁場のSt. 1とSt. 2はよく似た種組成を示し, 次いでこれらの地点とSt. 4も類似性がうかがわれ, 共通した河川水の環境条件下にあると思われた。一方, St. 3の付着藻類は前2者とかなり異なった種組成を示しており, 河川水の環境条件にかなり違いがあるものと推察された。また, St. 4は不明瞭ではあるがSt. 3と共通する種組成が見られ, St. 4が本流(ダ

ム下のアユ漁場)と明木川の下流に位置し両河川の影響がうかがわれた。

各定点について、水道水のカビ臭原因物質を産生する藍藻の*Oscillatoria*属、*Anabaina*属および*Phormidium*属の出現状況について見ると、*Oscillatoria*属は、両年度とも各地点で普通に見られた。*Anabaina*属は、St.3では平成12年度は7月4日(第2回)に極めてわずかに見られただけで、13年度は検出されなかった。St.1、St.2、St.4では、平成12年度の7月4日(第2回)にSt.4で検出されなかった以外は各調査日ともごくわずかに検出され、St.1にやや多い傾向であった。13年度では7月3日(第2回)にSt.4に、8月6日(第3回)にSt.1、St.4に検出されSt.1でやや多く検出された。一方、*Phormidium*属は、12年度にはSt.3を除く3地点で極めてわずかに検出されただけ、13年度は検出されなかった。

一方、アユの消化管内容物については、全般的に両年の各検体で共通して多量に摂餌されていた優占種は藍藻の*H. janthina*で圧倒的に優占していた。次いで*Oscillatoria* spp.が多量に摂餌されていた。珪藻と藍藻では、特に共通して多量に摂餌されていた種はなかった。その他の種について詳細に見ると、両地点のアユの消化管内容物の付着藻類の種属の組成には付着藻類調査結果と同様かなり相違が見られた。

カビ臭物質産生種では、前述したように*Oscillatoria*属は、両地点の全ての検体で普通に摂餌が見られた。また、*Phormidium*属は平成12年度の全検体で摂餌が見られたが、摂餌量はわずかで、13年度はSt.1の検体では検出されず、St.3の3検体が極めてわずかに摂餌していただけであった。このため、これら2属の出現種は、アユの異臭にさほど関与していないことが考えられた。一方、*Anabaina*属は、平成13年度のSt.3の検体では1検体が極めて少量摂餌していただけであったのに対し、St.1では両年の全ての検体に摂餌が認められ、かなり多く摂餌していた検体もあった。この結果から、ダム下のアユ漁場では主に*Anabaina*属を摂餌することによりアユが青臭い異臭を発現するようになると推測された。

対照河川の明木川にはダムが無く、まとまった降雨があれば直ちに増水するが、ダム下のアユ漁場では阿武川ダムの新阿武川発電所(発電放水毎秒約30トン)が7月ごろから電力需要の多い時間帯だけ発電するピーク時発電となり、阿武川ダムが満水状態でない場合は降雨があっても通常は1日当たり数時間の発電時以外

は放水されない。このため、ダム直下のアユ漁場であるSt.1では発電放水時以外はほとんど止水状態となることが多い。また、St.1とSt.2の間には佐々波発電所(発電放水毎秒約10トン)があり、概ね常時阿武川ダムか佐々波発電所のどちらか一方かもしくは両方が発電放水しており止水状態となることはないが、流量変動が大きい。しかし、両定点とも大雨時以外は大量増水はまれである。また、St.2とSt.4の間には流量調整用の相原調整池があり、この堰から概ね常時毎秒5トン放水されており、St.4では調整池からの放流と明木川の両方の流況の影響を受ける。

平成12年度は、7~9月に降雨が少なかったが、13年度は7月上~中旬にかなりまとまった降雨があり、阿武川ダムから毎秒70~140トンの放水が4日見られた。この阿武川ダムからの大量放水があったため、13年度のアユの異臭が前年ほどひどくならなかったものと思われる。

*Anabeina*属は、富栄養化した湖沼や貯水池等で大繁殖して水の華を形成し、水に青草臭をつけることがあるとされており<sup>4)</sup>、以上のことから明木川では流量が豊かで水質がよいため*Anabeina*属が繁殖しにくい環境であると考えられるのに対し、ダム下のアユ漁場では河川水が停滞することが多く、特に渇水期には水量が少なく富栄養化傾向となり*Anabeina*属が増えやすくなるものと推定された。

また、明木川は大雨が降るとすぐに増水し、増水による清掃効果により川底の石表面の老化した付着藻類が剥離し更新しやすいため*Anabeina*属の繁殖が抑えられ、一方のダム下のアユ漁場では大水による増水は希なためこのような付着藻類の剥離、更新が起こりにくいことにより*Anabeina*属が増えやすいことも考えられる。

アユの青臭い異臭と付着藻類の関連について言及した知見は見あたらないようであるが、青臭い異臭の原因となったのはカビ臭物質産生種の中で主に*Anabeina*属の藍藻と推定され、比較的少量でもアユがこれらを摂餌することにより青臭い異臭を発するようになると考えられた。しかし、これらアユ検体では、*Anabaina*属の摂餌量はさほど多くなく、これらの摂餌だけで強い異臭を発するか疑問な点もあり、*Phormidium*属及び*Oscillatoria*属など他のカビ臭物質産生種の摂餌との相乗効果があることも考えられる。今後は、この視点からの研究も必要であろう。

以上のことから、ダム下のアユ漁場での青臭い異臭

アユの出現は降雨の少ない年、特に渇水年に発生しやすく、原因は *Anabaina* 属の藍藻が増殖することにより、少量でもアユがこれを摂餌することによって発生するものと推察された。

なお、2004年以降異臭アユの出現は報告されていない。

## 謝 辞

本調査を行うに当たり、調査の機会を与えて下さり調査計画の立案、実施についてご尽力いただいた山口県土木建築部、山口県企業局、山口県環境政策部および山口県水産部の関係者の方々、並びに調査にご協力頂いた阿武川漁業協同組合横山豊治組合長を初めとする組合関係者の方々に深く感謝申し上げます。

さらに、水産大学校名誉教授 鶴田新生博士には、付着藻類調査を快くお引き受け頂いた。また、貴重なご助言、ご教示を頂いた上、本原稿のご校閲を賜った。ここに心から感謝申し上げます。

## 参考文献

1) 後藤敏一・根来健一郎 (1986): 清澄な川, 宇川 (京

都) の珪藻植生. 陸水学雑誌, 47, 77-86.

- 2) 田中志穂子・渡辺仁治 (1990): 日本の清浄河川における代表的付着藻類群集 *Homoeothrix janthina-Achnanthes japonica* 群集の形成過程. 藻類, 38, 167-177.
- 3) 独立行政法人水産研究総合センター中央水産研究所内水面研究部 (2004): 研究所ホットライン, アユが自ら創る付着藻類群の餌環境. 養殖, 41 (8), 86-88.
- 4) 社団法人日本水道協会 (1993): 日本の水道生物, 写真と解説.
- 5) 小林 弘・小島貞男 (1976): 素顔の水処理微生物 (総集版 I・II). 水, (1976年臨時増刊号).
- 6) 鶴田新生 (2000): 私信.
- 7) 広瀬弘幸・山岸高旺編 (1997): 日本の淡水藻図鑑. 内田老鶴圃.
- 8) 山岸高旺編 (1999): 淡水藻類入門. 内田老鶴圃.
- 9) 水野壽彦 (1964): 日本淡水プランクトン図鑑. 保育社.
- 10) 財団法人日本水産資源保護協会 (1987): 赤潮生物研究指針.

## 日本海南西山陰沿岸域における海面水温の10年スケール変動

千手智晴 \*1・渡辺俊輝 \*2

### Decadal Signal in the Sea Surface Temperatures off the San'in Coast in the Southwestern Japan Sea

Tomoharu SENJYU\*1 and Toshiteru WATANABE\*2

Reports of Research Institute for Applied Mechanics, Kyushu University (2004), No.127, 49-53

The decadal-scale variations in the southwestern Japan Sea are investigated on the basis of the offshore sea surface temperature (SST) measured by a ferryboat. The low-pass filtered SST shows alternate warm and cold periods of decadal scale, bounded by a sudden decrease and increase in 1976-1977 and 1983-1984, respectively. These temperature jumps correspond to the regime shifts that occurred in the North Pacific in the mid-1970s and late 1980s, suggesting that the Tsushima current in the Japan Sea is under the influence of the Pacific Decadal Oscillation. Similar warm and cold periods of decadal timescale are seen in the winter-mean SST variations, along with shorter-period fluctuations correlating with the winter monsoon intensity. In contrast, such a decadal variation is not observed in the summer-mean SST. This indicates that the decadal variations (and regime shifts) in the Japan Sea SST field appear clearer in winter, the same as in the North Pacific.

結果の要約 日本海南西海域の10年スケール変動をフェリー観測による海面水温 (SST) を基に調べた。ローパスフィルターで処理したSSTは、1976-1977年の急激な昇温と1983-1984年の急激な降温を境として交互に出現する10年スケールの温暖期と寒冷期を示した。これらの水温のジャンプは1970年代半ばおよび1980年代後半に北太平洋で起きたレジームシフトに対応していることから、日本海の対馬海流が太平洋の10

年スケール変動の影響下にあることが示唆される。同様な10年スケールの温暖期と寒冷期は、冬季のモンスーン強度に関連する短期変動を伴う冬季の平均SST変動にも見られた。対照的に、そのような10年スケールの変動は夏季の平均SSTには見られなかった。このことは日本海におけるSSTの10年スケールの変動（およびレジームシフト）は、北太平洋と同様に冬季により明瞭であることを示している。

---

\* 1 九州大学応用力学研究所

\* 2 現在:山口県水産課

山口県仙崎湾と萩湾で採集された *Ateleopus japonicus*  
(硬骨魚類: Ateleopodiformes: シャチブリ科) の  
巨大後期仔魚 2 個体

尼岡邦夫・小林知吉

Two Large Postlarvae of *Ateleopus japonicus* (Osteichthyes: Ateleopodiformes: Ateleopodidae) Collected from Senzaki Bay and Hagi Bay, Yamaguchi, Japan

Kunio Amaoka\*<sup>1</sup> and Tomokichi Kobayashi\*<sup>2</sup>

Species Diversity, 2003, 8 (2), 107-117

Two large fish postlarvae, caught by dip net at the sea surface in Senzaki Bay, Nagato, and by mid-water trawl in Hagi Bay, Hagi, both in Yamaguchi Prefecture, were identified as *Ateleopus japonicus* Bleeker, 1854 (Family Ateleopodidae), on the basis of meristic and tooth characters. The postlarvae were characterized by elongated dorsal - and pelvic - fin rays, and had 22 orange bands and many yellowish lines on the translucent body and anal fin, respectively. This is the first description of postlarvae of *Ateleopus japonicus*. Color photographs are included. The likelihood of two transport routes, from the southwestern Sea of Japan and the East China Sea, are discussed.

結果の要約 山口県の長門市仙崎湾および萩市萩湾において巨大な後期仔魚が、それぞれたも網および中層曳トロール網で採捕された。これら仔魚は体節および歯の特徴によってシャチブリ *Ateleopus japonicus* Bleeker, 1854 (シャチブリ科 Ateleopodidae) と同定された。当該の後期仔魚は背鰭と腹鰭が伸長するの

が特徴である。さらに、透明な体幹部と臀鰭にはそれぞれ22個の橙色帯と多くの黄色線が認められた。本著はシャチブリ *Ateleopus japonicus* の後期仔魚に関する最初の記録であり、カラー写真も掲載している。日本海南西海域および東シナ海からとする可能性の高い二つの来遊経路について考察した。

---

\* 1 Marine Ecological Institute, 3-3-4 Haradamotomachi, Toyonaka, Osaka, 561-0808 Japan  
E-mail: amaoka@fish.hokudai.ac.jp

\* 2 Japan Sea Division, Yamaguchi Prefectural Fisheries Research Center, 2861-3 Ohtomari, Senzaki, Nagato, Yamaguchi, 759-4106 Japan  
E-mail: Kobayashi.tomokichi@pref.yamaguchi.lg.jp

## 鉗脚に指節が過剰に形成されたイシガニ

中谷 勇<sup>\*1</sup>・松野 進

CANCER (2004), 13, 17-18

結果の要約 2003年10月9日、宇部市西岐波沖の周防灘において左鉗脚に2個の指節を余分に持つイシガニが小型底びき網で漁獲された。これを生体試料として入手したので観察し、指節が過剰に形成された原因について考察した。甲殻類の鉗脚に自然界で形成された過剰再生体については、100年以上も前から報告されてきたが、過剰再生体の形成機構は明らかになって

いなかった。近年、アメリカザリガニの鉗脚の前節に傷をつけて、今回のイシガニの過剰な指節と同様の過剰再生体が誘発されており、傷が過剰再生体を形成する原因となることが証明された。この事実から、今回のイシガニの過剰な指節は鉗脚の前節についた傷が原因で形成されたと考えられる。

---

\* 1 山形大学理学部生物学科

## DMSP/VNIRによる夜間の海の輝度分布と レーダ観測による漁船分布の比較

杉原滋彦\*1・渡辺俊輝\*2・吉田 剛\*1

水産大学校研究報告(2004), 52(2), 73-78

結果の要約 米国の防衛気象衛星(DMSP)に搭載された可視・近赤外検出器(VNIR)による海の輝度分布と集魚灯漁船の分布との関係を定量的に研究するため、2000年8月7日及び8月28日に山口県水産研究センター調査船“くろしお”のレーダを用いて山口県日本海沖における漁船分布を観測した。集魚灯を装備した多くの漁船が“くろしお”の周辺海域で確認された。レーダで探知された漁船の分布とVNIRによって遠隔計測された輝度の分布を比較した結果、両者はよ

く一致していたことから、集魚灯漁船はVNIRによって夜間に探知できると考えられた。レーダによって観測された漁船数を5km四方の画素毎に計算し、VNIRによる輝度を同じ画素内で平均化した結果、漁船数と輝度との間に正の相関が見られた。このことは、輝度は各画素における集魚灯の光の強さよりも集魚灯漁船数によって主に決まることを示唆している。本研究により遠隔計測で得られた夜間の海の輝度から漁船数を推定できる可能性が示された。

---

\*1 水産大学校

\*2 現在:山口県水産課

## Detection of White Spot Syndrome Virus (WSSV) from Small Penaeid Shrimp Species Caught in the Western Seto Inland Sea

Kazuo Momoyama

(瀬戸内海産小型エビ類からの WSSV の検出)

(桃山和夫)

魚病研究 (2003), 38(3), 81-85.

Infection rates with white spot syndrome virus (WSSV) in 4 small penaeid shrimp species, *Metapenaeopsis acclivis*, *M. barbata*, *M. dalei* and *Trachypenaeus curvirostris* collected from the Western Seto Inland Sea of Japan, were examined by PCR, and transmission of the virus to juvenile *Penaeus japonicus* was tried by oral or intramuscular inoculation of infected samples. No shrimp collected from the Aki-Nada and Iyo-Nada were shown to carry WSSV, except 2 out of 274 individuals of *M. dalei* from the Iyo-Nada. Infection rates of *M. acclivis*, *M. barbata* and *T. curvirostris* collected from the Suo-Nada showed 29, 40 and 23%, respectively. Oral administration of small pieces of PCR positive shrimp muscle did not kill any challenged shrimp during the test period, but could establish the infection with WSSV. Half of the challenged shrimp injected with the filtered homogenate of PCR positive shrimp muscle died with typical signs of WSS within 11 days.

Key words : shrimp virus, WSS, WSSV, PAV, PRDV, infection trial, penaeid shrimp

結果の要約 瀬戸内海西部海域で漁獲された小型エビ4種, トラエビ, アカエビ, キシエビ, およびサルエビのWSSV保有率をPCR法により調べるとともに, PCR陽性個体を感染材として経口法および筋注法によりクルマエビ稚エビに対する感染性を調べた。安芸灘および伊予灘で漁獲された小型エビでは, 伊予灘で採集された274尾の中の2尾のキシエビ以外WSSVは検出されなかった。周防灘で採集されたトラエビ, アカエビおよびサルエビではWSSV保有率は, それぞれ, 29, 40, 23%であった。PCR陽性小型エビの腹部筋肉の細片を経口投与した場合, 実験期間中クルマエビは死ななかったが, 感染は確認された。PCR陽性小型エビの腹部筋肉の磨碎濾液の筋注により半数のクルマエビが典型的WSSの症状を呈して11日以内に死亡した。

## Mortalities of Farm-raised Kuruma Prawn, *Penaeus japonicus*, Caused by High pH Ambient Water due to Blooms of a Blue-green Alga, *Chroococcus turgidus*

Kazuo Momoyama

(藍藻 *Chroococcus turgidus* の増殖に伴って上昇した  
高 pH 池水による養殖クルマエビの死亡例)

(桃山和夫)

魚病研究 (2004), 39(3), 129-135.

Since 1995 in Yamaguchi Prefecture, Japan, mass mortalities of farm-raised kuruma prawn *Penaeus japonicus* due to unknown etiology have occurred from July to August when the pond water temperature reached around 30°C. A blue-green alga *Chroococcus turgidus* bloomed in the ponds, and the pH values of the pond water were found to be extremely high; frequently higher than 9.5. Many of the dead prawn displayed soft shells and whitish-opaque necrotic gills which were frequently covered with scar-like and/or granule-like foreign bodies. The intramuscular injection of the filtered homogenate of *C. turgidus* did not cause any significant damage to the prawn. The alga raised the pH of the medium to 9.73, much higher than any of the other phytoplanktons tested. Sea water with a pH of 9.48 or above prepared by adding sodium hydroxide solution killed the prawn with similar disease signs in the gills to those of the naturally diseased prawn. These results indicate that high pH of pond water by growth of *C. turgidus* is the main cause of the death.

結果の要約 1995年以来、山口県のクルマエビ養殖場では水温が約30°Cに達する7~8月に原因不明の大量死が発生している。養殖池では藍藻類の *Chroococcus turgidus* が赤潮を形成しており、池水の pH は著しく上昇し、しばしば9.5以上に達していた。死亡エビの多くは外骨格は軟らかく、壊死白化した鰓には瘡蓋様あるいは顆粒様異物が沈着していた。*C. turgidus* 培養濾液の筋注によりクルマエビは何ら異常を示さなかった。*C. turgidus* 培養液の pH は他の供試植物プランクトンに比べて著しく上昇し、9.73まで達した。苛性ソーダを添加して作成した9.48以上の高 pH 海水で飼育したクルマエビは自然死亡クルマエビと同様の鰓の症状を呈して死亡した。これらのことから *C. turgidus* 増殖に伴って上昇した高 pH 池水がクルマエビの大量死の主因と考えられた。

Key words : prawn culture, mortality, *Penaeus japonicus*, *Chroococcus turgidus*, high pH water, blue-green algae

## 山口県水産研究センター研究報告 第3号

2005年3月発行

編集・発行者 山口県水産研究センター

〒759-4106 山口県長門市仙崎 2861-3

TEL: 0837-26-0711 FAX: 0837-26-1042

E-mail: [a16402@pref.yamaguchi.lg.jp](mailto:a16402@pref.yamaguchi.lg.jp)

<https://www.pref.yamaguchi.lg.jp/soshiki/125/21871.html>

外海研究部 (同上)

内海研究部 〒754-0893 山口市秋穂二島 437-77

TEL: 083-984-2116 FAX: 083-984-2209

E-mail: [a16403@pref.yamaguchi.lg.jp](mailto:a16403@pref.yamaguchi.lg.jp)

---