

BULLETIN
OF
YAMAGUCHI PREFECTURAL FISHERIES RESEARCH CENTER

No. 1
April, 2002

山口県水産研究センター研究報告

第 1 号

平成 14 年 4 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

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

I 既往文献の整理と問題の所在	檜山節久 1
II トリガイ資源の消長	木村 博・檜山節久 5
III 飼育トリガイの成長と生残	木村 博・高見東洋 11
IV トリガイ生殖腺の成熟	木村 博 17
V トリガイの高水温耐性および低酸素耐性	松野 進・木村 博 23
VI トリガイ漁場の環境特性	馬場俊典・木村 博・立石 健 31
VII トリガイ死亡原因と資源の有効利用に関する考察	木村 博、檜山節久、松野 進、馬場俊典、高見東洋、立石 健 41
アカガイの新養殖技術の開発に関する研究 - I	
基礎的条件下における可動式育成床の生産性	高見東洋・金井大成・原川泰弘・河村和寛 53
アカガイの新養殖技術の開発に関する研究 - II	
可動式育成床の特性と実用化	高見東洋・金井大成・原川泰弘・河村和寛 59
テトラサイクリンによる稚ナマコ囲食道骨の標識	松野 進 65
阿武川における降海性アマゴ (サツキマス) <i>Oncorhynchus masou ishikawae</i> Jordan et McGregorの放流試験	
.....	大橋 裕・畑間俊弘・藤村治夫・安成 淳 73
魚介類を用いた発泡食品化に関する研究	浅原充雄・嶋内 潤・白木信彦 83
抄 録	
継代選抜された帯紋型青色アサリの遺伝的多様性減少	
.....	酒井治己・土川陽子・出射邦明・鬼頭 鈞・ 岸岡正伸・松野 進・立石 健・井手尾 寛 123
アサリ種苗生産における繁殖有効親貝数をアロザイム対立遺伝子の多様性減少から推定する試み	
.....	酒井治己・樋口順一・渡辺智久・鬼頭 鈞・ 松野 進・岸岡正伸・中野義久・高見東洋 125
筋萎縮症原因体に対するクロアワビの年齢別感受性	中津川俊雄・桃山和夫 127
アワビの筋萎縮症原因体の性状に関する検討	桃山和夫 128
Pathogenicity of Penaeid Rod-shaped DNA Virus (PRDV) to Juveniles of Six Crustacean Species (6種類の甲殻類に対するPRDVの病原性)	
.....	桃山和夫・平岡三登里・C. A. Venegas 129

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 - I 既往文献の整理と問題の所在

檜山節久

Study on Echology of *Fulvia mutica* and its Resorce Management in the sea
off Northern Ohshima District in Yamaguchi Prefecture- I
Philological Study on Echology of *Fulvia mutica*

Setsuhisa HIYAMA

Key words : *Fulvia mutica* ; echology ; environment ; Seto Inland Sea

山口県大島郡北部海域では、貝桁網漁業が終漁する春季にトリガイ稚貝が多数みられるが、冬季に貝桁網が再開されるときにはトリガイが漁獲されないという現象が問題となっている。トリガイは突発的に大発生をする一方、しばしば高水温時に斃死することが知られている。本研究はこの斃死原因を解明し資源の有効利用を図るために行うものである。トリガイに関しては生態、資源、増殖の各分野で多くの研究がなされているが、ここでは主として生態的研究に関する既往文献を整理し、減耗要因を特定するための問題点を抽出する。

分 布

(1) 分布域 陸奥湾以南、九州、朝鮮半島、中国大陸沿岸に分布する¹⁾。伊勢湾、瀬戸内海、九州で多く漁獲される。近年、山口県内では大島郡北部海域でほぼ毎年、ある程度の発生量はあるが、その他の海域では漁業の対象になる程の発生量はほとんどない。

(2) 生息水深 主生息域は水深10~30m、干潟域や水深40m付近にも生息する²⁾。

(3) 水温 大島郡北部海域におけるトリガイ生息場の底層水温は9~23℃³⁾、京都府宮津湾漁場の底層水温は8~25℃⁴⁾の範囲であった。

(4) 底質 1950年代に山口県内海沿岸域においてトリガイの分布がみられた底質は、泥分率56~100%、IL3.7~12.6%の範囲であった⁵⁾。1970年に大島郡北部海域でトリガイ漁場の底質を調査した結果、IL3.1~26.0、COD6.9~34.3mg/gであった³⁾。宮津湾のトリガイ生息場における底質は、泥分率90%以上、硫化物18.0~30.6mg/100gであった⁶⁾。このように、トリガイは泥分率が高い場所を好み、IL、COD値の許容範囲は比較的大きい。

生 殖

(1) 産卵期 1950年代に山口県周防灘で採取したトリガイの産卵期は2~6月(盛期は4~5月)と、8~11月(盛期は9~10月)の2回あった⁷⁾。京都府では産卵実験の結果をもとに、トリガイの産卵期は5月と10~11月の2回盛期があるとしており⁸⁾、前者と一致する。

(2) 生物学的最小形 干潟では5月に殻長38mm、沖合では9月に殻長61mmの成熟貝を採集した⁷⁾。

(3) 成熟年齢 満1歳で成熟する⁷⁾。

(4) 産卵数 殻長38mmで10万粒、殻長85mmで400万粒以上産卵する⁷⁾。

(5) 産卵適水温 水温上昇期は14~15℃、水温下降期

は24~18℃の範囲が産卵適水温である⁸⁾。

成 長

(1) 年齢形質 トリガイ殻の表面には暗褐色をした帯状の輪紋があり、この輪紋は4月から1月の間に年一回形成される⁹⁾。帯状輪紋の形成要因として、高水温・貧酸素等の環境悪化、あるいは成熟過程に生じる生理的機能の低下が考えられる¹⁰⁾。

(2) 寿命 寿命は満3歳以上である⁹⁾。

(3) 発生群 山口県周防灘産のトリガイの産卵盛期は4~5月と、9~10月にあり、前者を春生まれ群、後者を秋生まれ群とした⁷⁾。宮津湾産のトリガイでは殻に形成される第一帯状輪紋の位置から、春生まれと秋生まれに区分した¹¹⁾。

(4) 成長速度 秋生まれは満1歳で69mm、満2歳で85mm、春生まれは幼貝期に高水温による成長阻害があるため成長速度は秋生まれに比べてやや遅い⁹⁾。

(5) 稚貝の成長 海上砂床飼育によるトリガイ稚貝の中間育成試験の結果、水温10~30℃の範囲では水温が高いほど、また、小型貝ほど成長量の増加が著しかった¹²⁾。

生理・生態

(1) 酸素消費量 溶存酸素量0.5ml/l以下では24時間以内に全数死亡、1.0ml/l以下では40時間以内に全数死亡する。酸素消費量は24℃で最大になり、水温が25℃をこえると酸素消費量が減り抵抗力が弱まる¹³⁾。

(2) 餌料 消化管内容物は珪藻類、原生動物、橈脚類、貝類の幼体等、大きさは200~300 μ ¹⁴⁾。

稚貝の養成試験では海水中に含まれる珪藻類、鞭毛藻類等が餌料として利用されていた¹⁵⁾。餌料量の指標と考えられるクロロフィル-a量が5 μ g/l以下になると成長不良を起こす⁴⁾。

(3) 肝晶体 トリガイの肝晶体は秋季から冬季にかけて大きく、初夏から秋季にかけて小さいことが知られており、季節による変化は産卵活動と何らかの関係があることが示唆されている¹⁶⁾。

二枚貝の肝晶体中に共生するCristispira属(スピロヘータ等)の細菌密度は、貝類の活力を評価する指標になる¹⁷⁾。

(4) 潜砂行動 人工種苗を使った潜砂実験では、小型個体(殻長15mm)で10分、大型個体(殻長40mm)で40-70分かかるが、ウバガイやアカガイに比べると潜砂に要する時間は短い¹⁸⁾。

(5) 外敵生物 トリガイを捕食する生物は、ヒトデ、

スナヒトデ、モミジガイ、イシガニ、シャコ、マダコ、クロダイなどが知られている^{19)、20)}。腕長11cmのヒトデは、殻長20~50mmの範囲内ではトリガイの大きさに対する捕食の選択性はみられない¹⁹⁾。

想定されるへい死原因

(1) 環境因子 溶存酸素量：高温期におけるトリガイの大量へい死は、水温25~27℃以上、溶存酸素量2ml/l以下で発生する場合が多い¹³⁾。

底質：底質のIL、CODに対する許容範囲は大きく⁵⁾、直接的なへい死原因とは考えにくい。

(2) 生理・生態的因子 産卵後の疲弊：室内実験では、産卵誘発させた後のトリガイ親貝の死亡率は高く、成熟、産卵による生理的活性の低下による減耗が大きい²¹⁾。

病害：セルカリアが寄生したトリガイは生殖腺の発達に影響が出る⁷⁾。飼育中の浮遊期幼生がピブリオ菌に感染して大量へい死することがある²²⁾。本菌は広く沿岸海水中に広く分布しており、D型幼生から殻長1.6mmまでの稚貝に対して強い致死作用を示す。

食害：腕長11cmのスナヒトデは殻長46mm以下のトリガイを捕食する²⁰⁾。同じ大きさのヒトデは60mm以下のトリガイを捕食する。捕食圧は7、8月に高く、この間の1日あたりトリガイ平均捕食数はスナヒトデ1個、ヒトデ0.4個であった。

ヒトデ以外の生物による食害を定量的に調査した事例は見当たらない。

(3) 漁獲行為 トリガイ桁網で漁獲された殻長9cm以下の貝殻の破損率は35%あり、殻が破損した貝は再放流しても潜砂できなくて死亡する²³⁾。また、稚貝の分布量が漁期前に比べて漁期後に著しく減少するのは、桁網漁業による貝殻の破損が主要な減耗要因である可能性がある。

以上述べたように、多くの減耗要因が想定されるが、当該海域におけるトリガイの生活史と生息条件を把握することにより、ある程度作用因子を特定することができるであろう。たとえば、商品サイズのトリガイが休漁期間中に減耗するのであれば、漁獲行為やヒトデによる食害は除かれ、詳細な環境調査を行うことにより作用因子の絞り込みが可能であろう。いずれにしても、トリガイの減耗要因を解明することは、資源の効率的な利用を考える上で極めて重要であり、現場においても本研究の成果が期待されている。

文 献

- 1) 阿部宗明・本間昭郎監修 (1997) : 現代おさかな辞典, エヌ・ティ・エス社, 898-900
- 2) 井上 泰 (1953) : トリガイの生態学的研究 (第1報), 山口内海水試調査研究業績 **5** (1), 21-29
- 3) 尾串好隆・立石 健・檜山節久・原 健一 (1971) : トリガイ資源生態調査, 山口内海水試報告 **2**, 34-47
- 4) 岩尾敦志・藤原正夢・藤田真吾 (1993) : トリガイ養殖に関する研究-1, 京都海洋センター研究報告 **16**, 28-34
- 5) 井上 泰 (1955) : トリガイ漁場における生物群集, 山口内海水試調査研究業績 **7** (1), 77-84
- 6) 松岡裕輔・田中俊次・生田哲郎 (1968) : トリガイに関する種苗生産技術研究, 京都水試業績 **31**, 13-24
- 7) 井上 泰 (1955) : トリガイの生態学的研究-2, 日水学誌 **21** (1), 27-29
- 8) 西広富夫 (1980) : トリガイの人工採苗に関する研究-1, 京都海洋センター研究報告, 13-17
- 9) 井上 泰 (1955) : トリガイの生態学的研究-1, 日水学誌 **21** (1), 24-26
- 10) 内野 憲・辻 秀二 (1991) : トリガイの帯状輪紋について, 水産増殖 **39** (3), 249-253
- 11) 内野 憲・辻 秀二・道家章生・井谷匡志・船田秀之助 (1991) : 宮津湾産トリガイの生物的諸特性, 京都海洋センター研究報告 **14**, 1-6
- 12) 藤原正夢・藤田真吾 (1985) : 海上砂上飼育によるトリガイ稚貝の中間育成と母貝養成, 京都海洋センター研究報告 **9**, 59-66
- 13) 野上和彦・梅沢 敏・坂口清次・福原 修 (1981) : トリガイの酸素消費量と高水温期におけるへい死との関係について, 南西水研研究報告 **13**, 19-28
- 14) 千葉卓夫・鶴田新生・井上 泰 (1955) : 瀬戸内海産二枚貝の食餌に就いて第1報, 水産講習所研究報告 **4** (3), 51-59
- 15) 西広富夫・吉田 弘・藤田真吾 (1984) : Up-welling Systemを応用した二枚貝の海上中間育成装置と飼育の試み, 栽培技研 **13** (1), 29-35
- 16) 井上 泰 (1955) : トリガイの生態学的研究-3, 日水学誌 **21** (1), 30-31
- 17) 網尾 勝・浜野龍夫・浜崎日出男・花田貴志・石飛博敏・村上正信 (1989) : 二枚貝の活力を何で評価するか, 水産増殖 **37** (4), 281-288
- 18) 内野 憲・道家章生・辻 秀二 (1992) : トリガイ種苗の潜砂行動について, 京都海洋センター研究報告 **15**, 42-44
- 19) 内野 憲・辻 秀二・道家章生・葭矢 護・船田秀之助 (1990) : トリガイ種苗の食害による減耗と捕食種, 京都海洋センター研究報告 **13**, 17-20
- 20) 岩尾敦志・辻 秀二・道家章生・井谷匡志・船田秀之助 (1991) : 宮津湾におけるヒトデ類3種によるトリガイの捕食とトリガイ種苗の放流について, 京都海洋センター研究報告 **14**, 7-13
- 21) 藤原正夢・岩尾敦志・西広富夫 (1990) : トリガイ種苗生産における採卵用親貝について, 京都海洋センター研究報告 **13**, 65-67
- 22) 藤原正夢・上野陽一郎・岩尾敦志 (1993) : トリガイ浮遊幼生の斃死因と考えられるVivrio属細菌について, 魚病研究 **28** (2), 83-89
- 23) 内野 憲・辻 秀二・道家章生・船田秀之助 (1991) : 宮津湾におけるトリガイの減耗の過程, 日本海ブロック試験研究業績 **23**, 73-81

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 - II トリガイ資源の消長

木村 博・檜山節久

Studies on Ecology of *Fulvia mutica* and its Resource Management in
the Coastal waters off Northern Ohsima District in Yamaguchi Prefecture-II
Change of Population size by Recruitment and Mortality

Hiroshi KIMURA and Setsuhisa HIYAMA

Every year in April, the end of fishing season of cockle, *Fulvia mutica*, by dredge net, fishermen find a large number of the shells which are too small in size for the market in the coastal waters off Hirai northern Ohsima district in Yamaguchi prefecture. But they can scarcely catch the shells in the following winter when the fishing season of dredge net begins again. In response to the request of fishermen, present study was carried out in order to clarify the cause why the shells disappear from the area.

To research the population size and growth of the shell, collections by the dredge net were carried out 22 times during July 29th in 1998 to October 25th in 1999. Shells more than 1,800 were collected and 1,725 out of them were measured at several parts of their body. According to the distribution frequency of the shell length, they were divided into four populations, autumn-born in 1997 and 1998, spring-born in 1998 and 1999. The size of spring-born population, which appeared in September and disappeared by December was very small. The autumn-born population appeared in January 1999 at 23 mm in average shell length and disappeared by October 1999 at 73 mm in average shell length.

Ratio of meat weight to calculated meat weight (RCW) obtained by relational expression of shell length and meat weight is thought to be more suitable for comparing the fatness of the shell than the standard formula (body weight/length³). Autumn-born population became very thin (0.9-0.7 in RCW) and died one after another during next August to September. It is suspected that some factors, which arise in June and last until November at earliest, or January at latest are responsible to reduction in RCW and dying of the shell.

Key words : *Fulvia mutica* ; resource management ; RCW ; Suohnada

大島郡北部海域では、貝桁網漁業が終漁する春期にトリガイ、*Fulvia mutica*稚貝が多数みられるが、冬に貝桁網が再開される時にはトリガイが漁獲されないう現象が問題となっている。トリガイが沈着してからいなくなるまでの過程を把握するため、山口県大島郡橋町日良居地先(図1)において底曳網試験操業を実施したので、その結果を報告する。

方 法

山口県大島郡北部に位置する橋町日良居地先において小型機船底曳網手繰第3種(貝桁網)の試験操業を行い、トリガイを採集した。試験操業には日良居漁協の漁船(4.98トン、15馬力)を用船し、図1に示す海域に4定線を設定して、各定線をそれぞれ5分間曳網した。曳網速度は約3ノットであった。使用した漁具は桁長3mの貝桁網で、鉄枠に5cmの間隔で約30cmの長さの爪を有していた(図2)。魚取りの目合い(2

脚1結節長)は6cmであったが、小型トリガイの採取が予想される場合には16節の覆網を魚取りに取り付けた。試験操業は1998年7月29日から1999年10月21日までの間に、のべ22回実施した。試験操業は通常、午前中に行った。

魚取りの採集物は船尾甲板上において分別し、主要な動物種ごとに採取個体数を計数した。また、死亡トリガイについても計数し、左右の殻が靱帯でつながっているものを1個体とした。左右の殻が分離したものについては2枚で1個体としたが、貝殻表面の殻皮毛が摩耗したり、色素が褪色したりして、死後長期間を

経過していると思われるものは計数から除いた。生きているトリガイは直ちに袋網(バカガイネット)に入れて漁船の活魚槽に収容し、海水とともに研究室まで輸送した。トリガイの殻は薄く、貝桁網で採集したため、殻の破損した個体が多かったが、殻長の測定できる個体のみを測定対象とした。測定は、生きている個体について、殻長のほか殻高、殻幅、総重量、軟体重量および殻重量のうち測定可能な項目について行った。長さはデジタルノギスを用いて1mm単位で測定し、重量は電子天秤を用いて0.1g単位で測定した。

結 果

のべ22回の貝桁網試験操業により採集されたトリガイは、合計1,725個体であった。これらのトリガイは殻長の経時的連続性からみて1997年秋発生群、1998年春発生群、同年秋発生群および1999年春発生群の4群とみなした。ただし、最後に出現した群は1999年10月21日に実施した最後の試験操業で採集された1個体のみであり、この個体は殻が破損したため正確な測定ができなかったため、解析はそれ以前に出現した3群について行った。トリガイの採集個体数と平均殻長および死亡貝の殻の採集数を表1に、殻長組成と採集個体数の経時的変化を図3に示した。1998年7月29日の試験操業で採集されたトリガイは前年秋生まれ群で、平均殻長は75.7mm、ヒストグラムは単峰型であった。この群の採集個体数は8月20日には74個体、9月3日には12個体に急減して、9月24日には採集されなかった。一方、9月3日には平均殻長23.7mmの新しい発生群が3個体採集された。この群は1998年春生まれ群で、11月24日までの調査回次ごとに1~4個体が採集されたが、12月25日には消滅した。9月3日から11月24日の間に採集された個体数の合計は11個体、殻長の範囲は11~38mmであった。12月25日には、トリガイは全く採集されなかったが、1999年1月28日には前年秋生まれ群52個体が採集され、平均殻長は22.78mm、殻長範囲は13~33mmであった。この群は速やかに成長し、8月24日には平均殻長72.96mmに達したが、その後は成長が停滞した。この群の採集個体数についてみると、1月28日から2月25日までの試験操業では、45~65個体であったが、3月24日の試験操業で117個体に増加してから以降は、おおむね100個体以上となった。しかし、9月9日には76個体、9月28日には10個体に減少して、10月21日には採集されなかった。

10月21日の試験操業で採集された1個体のトリガイ

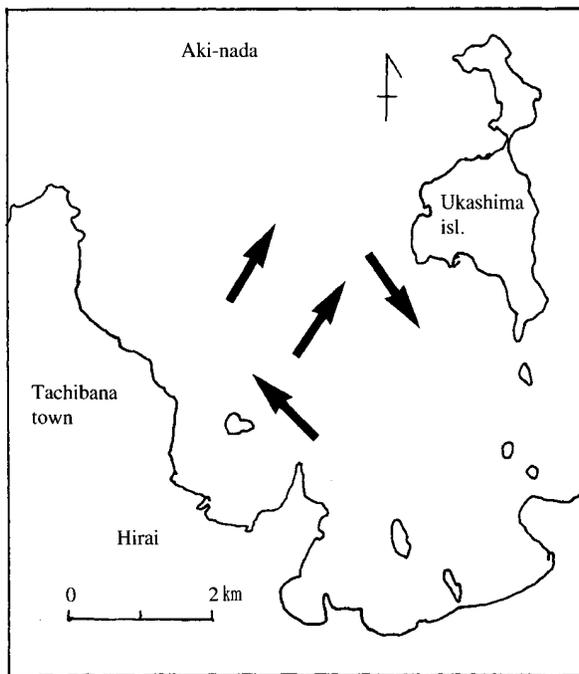


Fig.1. Collecting field of *Fulvia mutica* in southern Aki-nada in Seto Inland Sea. Arrows indicate the trawling direction of dredge net for 5 minutes at 3 knots.

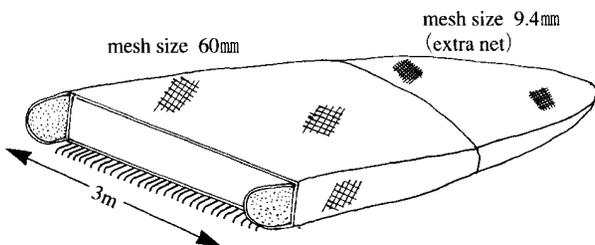


Fig.2. Schematic drawing of the dredge net used for the collection of *Fulvia mutica*.

If it seemed that *Fulvia mutica* was too small for the dredge net of 60mm mesh size, extra net of 9.4mm mesh size was attached over the codend (as this figure).

は、殻が破損したため殻長は測定できなかったが、目測では約30mmであった。1999年春生まれ群とみなされた。

秋生まれ群トリガイの生息個体数は1998年は7月から9月の間に減少し、1999年は8月から9月の間に減少し、いずれも消滅した。消滅した時期は1998年は9月3日と9月24日の間、1999年は9月28日と10月21日の間で、1999年の方が遅かった。時間差は最短で25日、最長で48日が見込まれる。

死亡後数カ月以内と思われる比較的新鮮なトリガイの殻が試験操業によって採集された数は、1998年10月から1999年6月の間はおおむね40~60個体であった。これに対して、1998年8月から9月の採集数は123~160個体、1999年9月後半から10月の採集数はいずれも177個体と著しく増加した。また、この時期には、採集された時点で半開殻状態となっている瀕死の個体や斧足部に小動物によるとと思われるはみ痕のある個体、および斧足部の欠損した個体がみられた。このようなトリガイ死亡状況は、トリガイ生息数の減少がト

Table 1. Number and size of *Fulvia mutica* collected from 1998 to 1999

Sampling Date	Autumn-born population		Spring-born population	
	Mean shell length mm	No. of <i>F. mutica</i> live	Mean shell length mm	No. of <i>F. mutica</i> live
Jul.29 1998	75.48	146		
Aug.20	76.00	94		
Sep.3	74.67	12	23.67	3
Sep.24		123	27.00	1
Oct.26		79	25.02	4
Nov.24		62	38.00	1
Dec.25		69		
Jan.28 1999	22.87	52		
Feb.8	25.20	65		
Feb.25	32.51	45		
Mar.24	38.04	117		
Apr.30	46.03	239		
May.27	54.14	136		
Jun.15	59.42	118		
Jun.25	62.78	106		
Jul.12	65.48	74		
Jul.27	68.37	123		
Aug.9	69.51	113		
Aug.24	72.96	189		
Sep.9	73.19	76		
Sep.28	72.63	10		
Oct.21		177	approx.30**	1

*1: Two flesh valves were counted as an individual

*2: Presumed due to shell broken

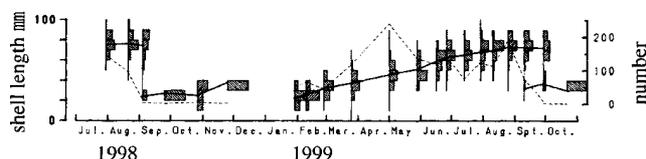


Fig.3. Change in number and relative frequency of shell length of *Fulvia mutica* collected from July in 1998 to October in 1999. Thick lines indicate mean shell length and broken lines indicate number, respectively.

リガイが他の海域へ移動することによって起こったのではなく、トリガイが死亡したことによって起こったことを示した。また、死亡の仕方は、ある特定の時点で短時日のうちに全滅するのではなく、1~2ヶ月の間に逐次死亡して最終的に全滅したことがわかった。

1999年1月からの新規加入群については、1999年1月28日の試験操業で出現してから、10月21日の試験操業で消滅を確認するまで、8ヶ月間、14回の試験操業で採集がなされた。この群について、殻長の日間成長(mm/day)を表2に示した。1月28日から6月25日までの日間成長は0.205~0.430mm/dayで平均値は0.282mm/dayであるのに対して、6月25日から9月28日までの日間成長は-0.029~0.230mm/dayで平均値は0.078mm/dayと顕著に低下した。日間成長の低下は6月におこり、6月前半までは順調であったトリガイの成長が6月後半になって急に変調を来したことがうかがわれた。

Table 2. Daily growth of shell length of *Fulvia mutica* born in autumn 1998 collected from January 28 to September 28 in 1999.

Period	No. of days	Growth mm	Growth rate mm/day
Jan.28 - Feb.8	11	2.33	0.211
Feb.8 - Feb.25	17	7.31	0.430
Feb.25 - Mar.24	27	5.53	0.205
Mar.24 - Apr.30	37	7.99	0.216
Apr.30 - May.27	27	8.11	0.300
May.27 - Jun.15	19	5.28	0.278
Jun.15 - Jun.25	10	3.36	0.336
Jun.25 - Jul.17	17	2.70	0.159
Jul.17 - Jul.28	16	2.89	0.181
Jul.28 - Aug.9	12	1.14	0.095
Aug.9 - Aug.24	15	3.45	0.230
Aug.24 - Sep.9	16	0.23	0.014
Sep.9 - Sep.28	19	-0.56	-0.029

*Growth = mean S.L. on the sampling date - mean S.L. on the last sampling date

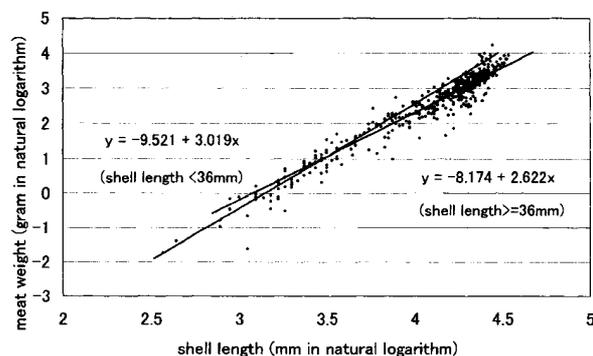


Fig.4. Relationship between shell length and meat weight of *Fulvia mutica* collected during July in 1998 to October in 1999.

トリガイを測定して得られた殻長と他の測定部位の関係式は次のとおりであった。殻長と軟体重量の関係は、図4に示すように殻長36mm付近に変曲点があるので、殻長36mm未満と36mm以上を対象とした2つの関係式を求めた。2つの関係式の勾配はt検定で有意差を示した ($t = 2.542 > t(\infty, 0.05) = 1.960$)。

殻長 (x mm) - 殻高 (y mm) 関係式

$$y = 0.413 + 0.893x \quad r = 0.993 \quad n = 527$$

殻長 (x mm) - 殻幅 (y mm) 関係式

$$y = -1.845 + 0.645x \quad r = 0.982 \quad n = 460$$

殻長 (x mm) - 総重量 (y g) 関係式

$$y = 1.773 \times 10^{-4}x^{2.989} \quad r = 0.981 \quad n = 512$$

殻長 (x mm) - 殻重量 (y g) 関係式

$$y = 9.196 \times 10^{-6}x^{3.438} \quad r = 0.993 \quad n = 361$$

殻長 (x mm) - 軟体重量 (y g) 関係式

(殻長36mm未満)

$$y = 7.324 \times 10^{-5}x^{3.019} \quad r = 0.906 \quad n = 78$$

(殻長36mm以上)

$$y = 2.820 \times 10^{-4}x^{2.622} \quad r = 0.890 \quad n = 356$$

肥満度は通常、重量を長さの3乗で除して定義されるが、ここでは次の式で定義した肥満度を計算体重比肥満度 (RCW肥満度) と呼んで使用した。

$$\text{RCW肥満度} = \text{軟体重量} / \text{計算軟体重量}$$

(RCW: Ratio of meat weight to Calculated meat Weight)

計算軟体重量は、殻長36mm未満と36mm以上に分けて先に述べた殻長-軟体重量関係式により計算した。試験操業で採集されたトリガイの個体ごとにRCW肥満度を計算し、その相対頻度を図5に示した。また、調査回次別の計算体重比平均値と標準偏差を表3に示した。RCW肥満度平均値は1999年1月28日から5月27日までの間は2月8日の1.002を除いて、1を10%以上上回る1.128~1.320の高い値を示していたが、6月15日に0.983に低下してからは0.776~1.064の低い値となった。また、6月15日以降、RCW肥満度1未満の個体の割合が経時的に増加していく傾向がみられた。1998年と1999年の比較では、1999年の方がRCW肥満度の低下時期が遅い傾向がみられた。1月と2月のトリガイは殻長が36mm未満の個体が多いので、3月以降のトリガイとはRCW肥満度計算式が違っているものが多かった。これが2月28日のRCW肥満度が比較的低い原因であるが、若干のゆがみを無視して、6月15日より前に採集されたトリガイRCW肥満度と以降に採集されたトリガイのRCW肥満度について平均値の差の

t検定を行ったところ、有意差がみられた ($t = 8.138 > t(\infty, 0.001) = 3.291$)。

トリガイが逐次死亡している時期のRCW肥満度は1998年は0.933、1999年は0.919であり、絶滅する直前のRCW肥満度は、1998年は0.763、1999年は0.776といずれも近い値を示した。

1998年秋に出現した同年春生まれ群のRCW肥満度平均値についてみると、9月3日に採集されたものは0.486 (3個体)、9月24日に採集されたものは0.846 (1個体)、10月26日に採集されたものは0.601 (3個体)、11月24日に採集されたものは0.692 (1個体)であった。これらのRCW肥満度は1999年1月にはほぼ同じ殻長で出現した前年秋生まれ群のRCW肥満度平均値1.128と比べて著しく低いものであった。

Table 3. Ratio of meat weight to calculated meat weight of *Fulvia mutica* collected July in 1998 to September in 1999.

Collecting date	Autumn-born population			Spring-born population		
	Mean RCM*	Standard deviation	Number	Mean RCM*	Standard deviation	Number
Jul.29 1998	1.120	0.358	62			
Aug.20	0.933	0.290	41			
Sep.3	0.763	0.289	15	0.486	0.236	3
Sep.24				0.846		1
Oct.26				0.601	0.067	3
Nov.24				0.692		1
Dec.25						
Jan.28 1999	1.127	0.264	16			
Feb.8	1.002	0.173	24			
Feb.25	1.168	0.162	14			
Mar.24	1.210	0.248	30			
Apr.30	1.291	0.242	20			
May.27	1.319	0.240	10			
Jun.15	0.983	0.251	10			
Jun.25	1.050	0.156	30			
Jul.12	1.043	0.161	30			
Jul.27	0.969	0.138	28			
Aug.9	0.895	0.176	30			
Aug.24	1.064	0.120	30			
Sep.9	0.919	0.147	29			
Sep.28	0.776	0.171	10			

*RCW(Ratio of meat weight to Calculated meat Weight) = meat weight/cal.meat weight
cal. meat weight = $7.325 \times 10^{-5} \text{SL}^{3.019}$ for *F.mutica* SL < 36mm
cal. meat weight = $2.820 \times 10^{-4} \text{SL}^{2.622}$ for *F.mutica* SL \geq 36mm

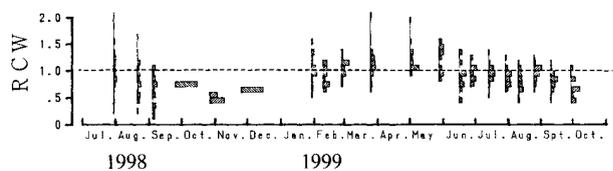


Fig.5. Change in relative frequency of RCW of *Fulvia mutica* during July in 1998 to September in 1999.

RCW (Ratio of meat weight to Calculated meat Weight)

$$= \text{meat weight} / \text{cal.meat weight}$$

$$\text{cal. meat weight} = 7.325 \times 10^{-5} \text{SL}^{3.019} \text{ for } F. mutica \text{ SL} < 36\text{mm}$$

$$\text{cal. meat weight} = 2.820 \times 10^{-4} \text{SL}^{2.622} \text{ for } F. mutica \text{ SL} \geq 36\text{mm}$$

考 察

大島郡橋町日良居地先のトリガイが殻長20mm台となって試験操業で採集されるようになるのは、9月と1月の年2回あることがわかった。井上¹⁾は、周防灘産トリガイの産卵期は2～6月と8～11月で、特に4～5月、9～10月が盛期であるとしている。西広²⁾は、宮津湾において5月に生まれたトリガイが9月18日に平均殻長34.4mmに成長したことを報告している。岩尾ら³⁾は、宮津湾において秋に孵化したトリガイを飼育したものが4月9日に平均殻長36.2mmとなったことを報告している。これらのことから、1998年9月から11月の間、殻長20～40mmで出現した群は同年春の産卵期に生まれた群と考えられる。また、1999年10月に出現した殻長30mm程度の個体も同年の春生まれ群と推定される。一方、1999年1月に殻長10～40mmで出現した群は、採集個体数が急に増加したことで殻長組成が小型化したことから、この群は1998年春生まれ群とは別の発生群で、1998年秋生まれ群と考えられる。この群は、1999年9月に殻長50～90mmで絶滅した。前年の9月にやはり殻長50～90mmで絶滅した群は、1997年秋生まれ群と考えられる。このように、日良居地先のトリガイは春生まれ群と秋生まれ群とから構成されていることがわかった。

発生群別の採集個体数をみると、1997年秋生まれ群は3回の試験操業で225個体、1998年春生まれ群は3回の試験操業で6個体、1998年秋生まれ群は14回の試験操業で1,463個体であった。春生まれ群は個体数が少ない上に、漁獲対象の大きさまで成長することなく、12月までに死滅してしまうのに対して、秋生まれ群は個体数が多く、資源の主体であることがわかった。

秋生まれ群は、1月に平均殻長20mm台で出現し、9月には平均殻長70mm台に達するものの、10月までに死滅する。死亡する時期は、主として9月であるが、1998年は8月の内から死亡し始めたのに対して、1999年は8月24日までは大量の死亡は確認されず、9月になってから死亡する個体が増加した。この時間差は、環境要因とトリガイ死亡の関係を考察する上で重要なポイントとなるかもしれない。

死亡時期には肥満度が著しく低下することが特徴であった。魚類などの太り具合を表す指数として、肥満度が用いられ、通常、体重を全長等長さの3乗で除して計算される。これは、体重が全長等の3乗に比例することを前提としている。もし、全長-体重関係式が

3乗から大きくずれていたら、

$$\text{肥満度} = \text{体重}/\text{全長}^3 = a\text{全長}^b/\text{全長}^3 = a\text{全長}^{b-3}$$

となって、肥満度は全長の関数となり、全長の異なる個体間の比較をする指数としては使用できない。長さ重量との関係を表すアロメトリー式の乗数が3から隔たった場合に $\text{体重}/\text{全長}^3$ で定義された肥満度が長さとともに変わる様子を図6に示した。図6は長さ50mmにおける肥満度を1として作図した。アロメトリー式の乗数が2.7と3から0.3隔たっていると、同じ長さ重量の関係式に乗っていても、30mmでは17%過大に、80mmでは23%過小に評価されることが示されている。殻長36mm以上のトリガイの殻長-軟体重量関係式における乗数は2.622と3とは大きく異なっていた。殻長が異なる個体間の肥満度は、通常定義に基づく計算式で比較するには不適當なほどの隔たりといえる。肥満度として、殻長-軟体重関係式から計算される計算軟体重量に対する実測軟体重量の比、すなわちRCW肥満度を用いることは、通常肥満度が殻長の関数であることから生ずるゆがみを排除するので適當であると考えられる。また、関係式を求めたトリガイについてこの計算体重比を適用すれば、平均値は1となることが期待され、太り具合が感覚的に把握できる利点がある。一方、6月以降のトリガイはやせており、殻長36mm以上の関係式を計算するにあたって、やせたトリガイの測定結果が少なからず用いられているため偏りを含むという問題があることに留意する必要がある。

秋生まれ群が秋に死亡するのは、1年生の生物であれば合理性を持っている。しかし、井上³⁾は、3年目

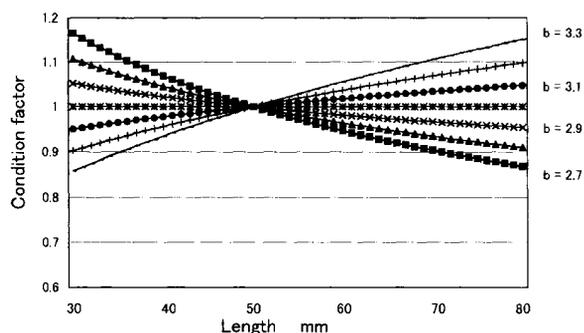


Fig.6. The figure which shows that the condition factor changes with the length as the power number (b) deviate from 3 when the condition factor and weight are defined by the equations as follows.

$$\begin{aligned} \text{condition factor} &= \text{weight}/\text{length}^3 \\ \text{weight} &= a \times \text{length}^b \end{aligned}$$

Condition factors are adjusted to become 1 at length 50mm in this figure.

のトリガイがいること、Tianら⁴⁾はトリガイの寿命は3年以内であること、岩尾ら⁵⁾は、1年以上トリガイを飼育したことをそれぞれ報告しており、寿命と考えるよりは、生存できない条件が生じて死亡していると考えべきであろう。9月頃出現する春生まれ群のRCW肥満度は、2月頃秋生まれ群が出現した時のものと比べて著しく低い。また、RCW肥満度の低下と成長の遅滞はいずれも6月から始まる共通性がある。1月には計算体重比は1以上のレベルに回復しているため、6月から始まり、少なくとも11月までは継続するが、遅くとも1月には解消している環境要因がトリガイを死亡させると考えられ、夏から冬にかけての海洋環境を検討する必要がある。そして、その要因によって、トリガイのエネルギー収支が支出超過に傾くという特徴がある。環境中の餌料が不足することが第一に考えられるが、餌料を摂取するトリガイの能力が低下することも考えられるので、トリガイの生理につい

での検討が必要である。また、トリガイが産卵のため体力を消耗することも考えられるので、成熟と産卵の生態についての検討も必要であろう。

文 献

- 1) 井上 泰 (1955) : トリガイの生態学的研究 - II 産卵期について. 日水誌, **21** (1), 27-29.
- 2) 西広富夫 (1981) : トリガイの人工種苗と放流稚貝の成長について. 栽培技研, **10** (1), 1-12.
- 3) 井上 泰 (1955) : トリガイの生態学的研究 - I 成長について. 日水誌, **21** (1), 24-26.
- 4) Tian, Y. and M. Shimizu (1998) : Hatched dates and growth rates of the cockle *Fulvia mutica* estimated from daily lines in chondrophore in Tokyo bay. Fisheries Science, **64** (2), 251-258.
- 5) 岩尾敦志・藤原正夢・藤田真吾 (1993) : トリガイ養殖に関する研究 - I. 京都海洋センター研報, (16), 28-34.

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－Ⅲ 飼育トリガイの成長と生残

木村 博・高見東洋

Study on Ecology of *Fulvia mutica* and its Resorce Management in the Sea off
Northern Ohsima District in Yamaguchi Prefecture-III
Growth and Survival Rate of *Fulvia mutica* under the Condition of Culture

Hiroshi KIMURA and Tohyoh TAKAMI

Key words : *Fulvia mutica* ; growth ; survival rate ; culture

トリガイ、*Fulvia mutica*が高水温期に斃死する要因として、例えば生息海域の溶存酸素量が低下すること、水温が生息限界を超えること、害敵によって捕食されることなど様々な因子が想定される。大島郡日良居地先の天然トリガイの生息環境とは異なる環境におかれたトリガイの成長と生残ならびに環境を把握し、大島郡日良居地先のそれと比較することにより、斃死をもたらす因子を特定することを目的として、下松市笠戸湾においてトリガイの飼育試験を行ったので、結果を報告する。

材料および方法

試験に用いたトリガイは、1999年4月30日に大島郡日良居地先において小型機船底曳網手繰第3種（貝桁網）を操業して採集した。漁具ならびに操業方法については、前報¹⁾の貝桁網試験操業と同じであるが、飼育試験用のトリガイ採集が目的であったため、曳網時間は15分とし、また、試験操業定線ははずして曳網した。採集した約250個体のトリガイは、200ℓの活魚輸送タンクを用いて輸送した。水産研究センターに搬入したトリガイは砂を約10cmの厚さに敷いた小型のプラスチック籠（野菜籠）に分割して収容した。プラスチック籠はのり採苗用コンクリート水槽に収容し、海水を濾過しないまま注入して飼育試験開始まで保存した。

飼育試験は、下松市笠戸島三百瀬付近に設置したロープ式筏に丸形籠を垂下して、1999年5月25日から9月17日までの115日間実施した（図1、図2）。海域の水深は約15m、丸形籠の垂下水深は約8mであった。

飼育試験には直径45cmの丸形籠（二本杵丸籠4方手5分目）を用いた（図3）。籠の内側下8cm程度を500 μ mの網地（強力メッシュ）で覆い、岩尾ら²⁾に準じて直径1.2mmのアンストラサイトを約8cmの厚さに敷いた。丸形籠を5籠使用して試験区をA～E区とし、トリガイを1籠あたり30個体ずつ、計150個体を収容した。

トリガイには粘着性塩化ビニールテープ（ダイモテープ）に個体番号を付したラベルを殻頂周辺に張り付け、個体識別を行った。試験に用いたトリガイの殻長平均値は45.8mm（標準偏差8.472mm、測定数150個体）であった。また、試験に供したトリガイと同一群について殻長と軟体重量および肥満度を把握した。肥満度は前報¹⁾により定義した計算体重比肥満度（RCW肥満度）、すなわち殻長－軟体重量関係式から求められる計算軟体重量に対する実測軟体重量の比率で表した。

飼育試験開始後は6日から16日の間隔で調査を行い、5籠中の斃死トリガイの個体数を計数した。また、測定用に5個体を取り上げた。取り上げはA区から行

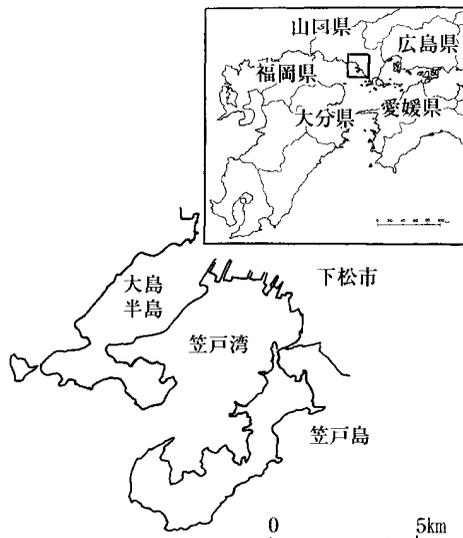


図1 トリガイ飼育試験実施海域

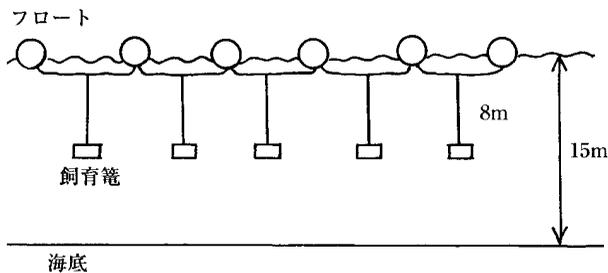


図2 トリガイ飼育試験に用いたロープ筏の模式図

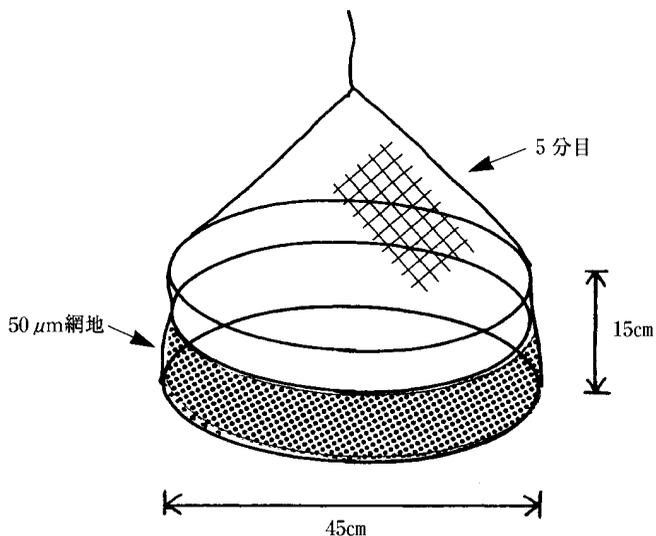


図3 トリガイ飼育試験に用いた丸形籠の模式図

い、試験区のトリガイがなくなると順次、次の試験区から取り上げた。調査時には垂下層付近から採水して、水温と溶存酸素量を測定した。また、海水中のクロロフィルa量を測定した。溶存酸素量はウィンクラー法

表1 飼育試験トリガイの殻長、軟体重量、肥満度、斃死個体数および期間歩留まり

年月日	経過日数	殻長 mean±s.d.mm	軟体重量 mean±s.d.g	肥満度 mean±s.d.	測定 個体数	斃死 個体数	期間 歩留まり
1999年 5月25日	0	45.7±8.47*	4.58±2.869	0.826±0.1503	5	0	1.000
6月8日	14	54.8±4.60	14.28±7.739	1.324±0.6680	5	1	0.983
6月17日	23	57.4±4.28	18.68±4.511	1.627±0.8258	5	2	0.986
6月23日	29	53.6±4.28	15.00±4.660	1.601±0.6331	5	2	0.902
7月6日	42	59.0±4.36	19.92±3.799	1.593±0.1450	5	13	0.974
7月22日	58	56.6±5.86	18.92±5.702	1.662±0.1170	5	3	0.925
8月5日	72	57.4±7.13	16.62±4.838	1.417±0.1522	5	8	0.667
8月17日	84	46.5±4.36	10.23±2.196	1.534±0.1642	4	31	0.776
8月24日	91	52.0±4.64	13.68±2.609	1.531±0.1252	5	13	0.625
9月9日	107	48.4±3.84	10.72±2.398	1.450±0.2237	5	15	0.500
9月17日	115	55.8±4.89	17.06±5.905	1.535±0.2425	10	10	0.500

*飼育試験に使用した150個体の測定値、解剖した5個体の殻長は41.4±9.91mm

で、クロロフィルaは、海水を吸引濾過したメンブレンフィルター粉砕物のアセトン抽出液を分光光度計の4波長を使用して測定^{*1}した。

結果

試験開始時および調査時に測定したトリガイの殻長、軟体重、RCW肥満度、死亡個体数および調査回次間の期間歩留まりを表1に示す。期間歩留まりは測定用に取り上げた個体数を期首個体数から除いて求めた歩留まりであり、推定通算歩留まりは期間歩留まりを掛け合わせたものである。

斃死の状況についてみると、5月25日から14日間は全く斃死はなかったが、24日目までに1個体が斃死してからは調査回次ごとに斃死個体がみられるようになった。斃死個体の合計は96個体であった。通算歩留まりは、8月5日まではほぼ80%あったが、以降は急速に低下して、9月17日には12.8%となった。斃死個体数は、期間歩留まりと期首個体数に左右され、期間歩留まりは期間の日数に左右されるので、いずれも斃死状況を示す指数としては適当でない。そこで、次式により日間生残率を求めて斃死状況を比較するための指数とした。

$$\text{日間生残率} = \sqrt[n]{(\text{期間歩留まり}(\%) / 100)}$$

n = 期間日数

日間生残率によって斃死状況をモデル化して、図4に示した。歩留まりの低下は、6月23日と7月6日の間および8月5日以降9月17日の試験終了までの期間に著しいことがみられた。一方、7月6日から8月5日までの間は比較的歩留まりの良いことがみられた。7月6日の調査時には飼育籠内のアンササイトの減少がみられた。7月22日からトリガイの殻頂付近を中心として、フジツボ、ムラサキガイおよびフサコケムシ類の付着がみられるようになった。特に前者は急速な成長を示して、トリガイの殻に広く付着して大型化していった(図5)。8月24日には個体識別のため

*1 気象庁編 (1988) : 海洋観測指針。 (財)日本気象協会, 東京, 261-263.

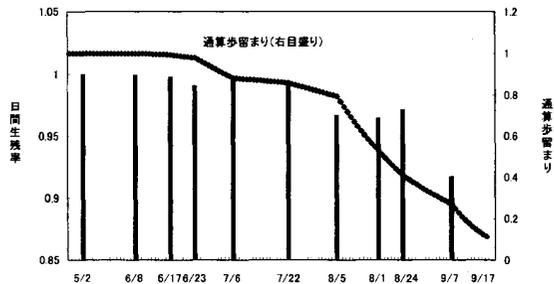


図4 飼育トリガイの日間残率とそれにより計算された通算歩留まり

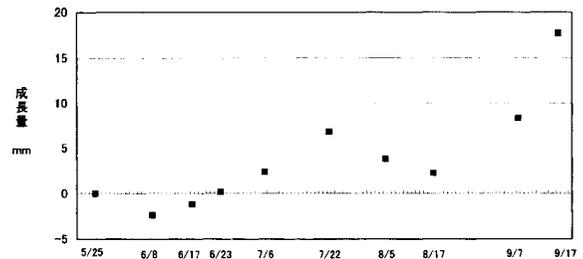


図6 飼育トリガイの個別殻長の成長量 (調査時殻長-飼育開始時殻長mm)



図5 飼育トリガイの付着物着生状況
1999年8月5日から8月17日の間に死亡したトリガイ。

殻頂付近に貼付したラベルがフジツボに覆われて見えない個体が多くなり、生きているトリガイの中に、付着生物が成長したため、ちょうつがいはずれた個体もみられた。この頃になると飼育籠内は汚染が進んで生きているトリガイならびに死に殻が悪臭を放つようになり、トリガイの斃死を助長する結果となった。

成長についてみると、5月25日の飼育開始時に45.8mmであった平均殻長は、9月17日の取り上げ時には55.8mmであった。この間の平均殻長は、46.5~59.0mmの範囲にあった。大島郡日良居地先の天然トリガイの殻長平均値は、5月27日に54.1mmであったものが9月9日には73.2mmに達していた¹⁾のに比べると、飼育トリガイの成長は著しく劣っていた。個体ごとの殻長成長量の平均値を図6に示した。5月25日の飼育開始時から6月17日までの23日間の殻長ののびがマイナス値となっている。貝殻が摩耗したり、軟体に吸収されたりすることがないとすれば、測定誤差もしくは個体番号の取り違え等の人為的誤差であろう。6月8日から7月22日の間は、成長量が前の調査時よりも大きな値となり、トリガイが成長していることを示している。8月24日はフジツボが固着していたため、トリガイの個

体識別ができなかったが、7月22日から9月9日までの間は成長量が7月22日の値よりも小さいか同じ位で、成長が停止していたことを示していた。9月17日には殻長の成長量は17.7mmの最大値を示したが、9月7日以降急速に成長したと考えるよりも、最終取り上げであったので、アンササイト中に深く潜り込んでいた成長の良い個体を取り出されたと考えられた。したがって、飼育トリガイの殻長が伸張したのは7月22日までであったと推定された。

図7にはトリガイの殻高、殻幅および軟体重量の実測値平均値が大島郡日良居地先の天然トリガイの殻長との関係式から予測される計算値からどのくらいの偏差を持っているかを示した。殻長、殻幅および軟体重量のそれぞれについて、偏差の平均値が0と有意差を持つかt検定を行い、有意差のある場合は図中のシンボルを黒塗りとし、そうでない場合は白抜きとして示した。殻高は10回の調査回次のすべてで、計算値よりも大きな値を示し、そのうち7回は0と有意差があった。殻幅は10回の調査回次の内、負の偏差が3回、正の偏差が7回で、そのうち1回は0と有意差があった。軟体重量は10回の調査回次のすべてで、正の偏差を示し、そのうち7回は0と有意差があった。表1に示すように、計算体重比は飼育試験開始時の5月25日に0.83であったものが、6月8日には1.32に急増して、その後は1.42~1.66の高い値を保ち続けた。これらの現象は、飼育トリガイの成長が殻高と軟体に偏っており、殻長と殻幅の成長は抑制されていることを示した。飼育トリガイは殻長に対する殻高の割合が大きく、円形に近い形態をしており、外観が天然トリガイと異なる傾向があった。9月17日の飼育トリガイの殻長(x mm)と殻高(y mm)の関係式は、

$$y = -11.59 + 1.181x \quad r = 0.981 \quad n = 10$$

が得られ、この式は大島郡日良居地先で採集された天

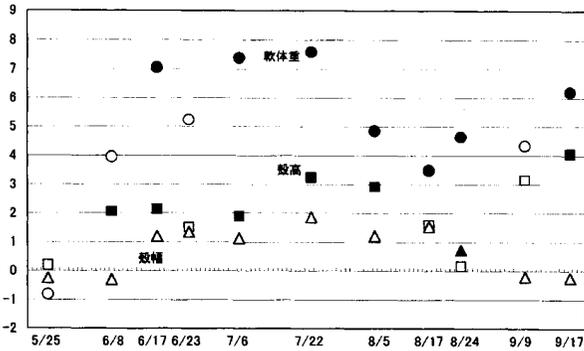


図7 飼育トリガイの殻高・殻幅・軟体重の計算値からの偏差
塗りつぶしのシンボルは偏差の平均値が0と有意に異なることを表す。

然トリガイの殻長 (x mm) と殻高 (y mm) の関係式¹⁾

$$y = 0.41 + 0.893x \quad r = 0.993 \quad n = 527$$

とは勾配が有意差を示した ($t = 9.524 > t(\infty, 0.001) = 3.291$)。

トリガイの生殖腺の発達については、別に報告するが、生殖腺組織摘出のために斧足部を解剖バサミで切った場合に白色の精液がにじみ出てくる現象が9月17日の試料では明瞭に認められた。

笠戸島三百瀬のロープ式養殖筏におけるトリガイ飼育籠垂下層(約8m)の水温、溶存酸素量およびクロロフィルa量を図8に示した。水温の最低値は5月25日の17.1℃、最高値は8月24日の25.4℃であった。溶存酸素量の最低値は9月17日の3.99ml/l、最高値は7月6日の6.74ml/lであった。クロロフィルaの最低値は7月22日の2.08μg/l、最高値は7月6日の5.37μg/lであった。

飼育トリガイの通算歩留まりが急減した時期は8月5日以降なので、8月5日までの観測値とその次の調査回次の8月17日以降の観測値を比較して表2に示した。ここでは、5月25日から8月5日までを安定期、8月17日から9月17日までを斃死期と呼ぶことにする。水温は安定期の平均値が20.4℃であるのに対して斃死期の平均値は24.8℃と明らかに斃死期が高かった。また、8月5日に初めて23℃を越え、斃死期は常に23℃以上となっていたので、23℃を越えると死亡する個体が多くなるように見受けられた。溶存酸素量は安定期の平均値が5.63ml/lであったのに対して、斃死期の平均値は4.36ml/lと安定期の方が高かった。

表2 飼育トリガイ安定期と斃死期の水温、溶存酸素量およびクロロフィルa量

期の区分	期 間	水 温 °C		溶存酸素量ml/l		クロロフィルa量μg/l	
		平均値	範 囲	平均値	範 囲	平均値	範 囲
安定期	5月25日～8月5日	20.4	17.1～23.5	5.63	4.70～6.71	3.22	2.08～5.37
斃死期	8月5日～9月17日	24.5	23.5～25.4	3.53	3.99～4.70	3.44	2.10～4.35

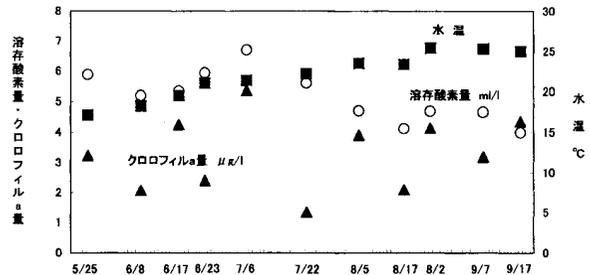


図8 飼育トリガイ垂下層の水質環境(水温、溶存酸素量、クロロフィルa量)

溶存酸素量も水温と同様に安定期と斃死期の境目である8月5日から大きく変化して4ml/l台に低下したので、5ml/l未満の溶存酸素量となると死亡する個体が多くなるように見受けられた。クロロフィルaは安定期の平均値が3.22μg/lであったのに対して、斃死期の平均値は3.44μg/lと斃死期の方が高かった。しかし、クロロフィルaは調査回次間の変動が激しいので、死亡個体の増減と関係が見いだしにくい傾向があった。

考 察

下松市笠戸島三百瀬において中層垂下飼育されたトリガイは、大島郡日良居地先の天然トリガイと比べると多くの相違点がある生息環境にあった。飼育籠に収容されていたことから、大型の害敵生物に捕食される危険性はなかった。中層に垂下されていたので、海底では起こるかもしれない海底面付近のみの無酸素状態に遭遇する危険もなかった。また、成層現象によって餌料プランクトンの供給が少なくなる可能性も低かった。これらの好条件を有する一方、悪条件も有していた。波浪による絶え間ない動揺ならびに調査時の籠の上げ下ろしは飼育籠内のトリガイ潜砂用底質流失の原因となった。アンスラサイトは比較的比重が軽い(1.42g/cm³^{*2})ため、波浪や調査時の取り扱いの影響で容易に流失した。西広ら³⁾、内野ら⁴⁾はトリガイ飼育容器の底質の流失はトリガイ死亡の原因となること

*2 化学大辞典編集委員会編(1951):化学大辞典、共立出版(株)、東京、300。

を報告しているため、これが6月23日と7月6日の間の歩留まり低下の原因と考えられる。そして、露出した殻はフジツボ等の付着生物が着生する原因となったと思われる。飼育日数の経過とともに飼育籠内の汚染は進行して、次第に生息に不適な環境となっていたことが想定される。藤田ら⁵⁾は、砂のない状態でトリガイ稚貝を飼育すると貝殻縁辺部が内側に湾曲する「変形貝」となり、すべて斃死することを報告している。西広ら⁶⁾は、中間育成段階で出現した「変形貝」は成長が停滞することを報告している。飼育トリガイは殻長方向および殻幅方向の成長が少なく、殻高方向に成長する傾向を示したのは「変形貝」ができるメカニズムと共通したものがあったと考えられる。岩尾ら²⁾は、海中垂下方式によってトリガイの飼育に成功しているが、筆者らの飼育方法との大きな相違は、潜砂用底質を重視していたことであった。アンストラサイトを等量の砂と混合して使用し、籠内に敷く厚さは筆者らの方法より1.5倍多い12cmであった。この飼育技術の差がトリガイの歩留まりを悪化させたものと考えられる。また、トリガイの養殖あるいは蓄養という目的のためには、筆者らの用いた垂下式籠飼育方法は適さないといえる。

生息環境の違いがトリガイに与えたもう一つの影響は、RCW肥満度が著しく高い値を継続したことであった。しかしながら、安定期においては1.6以上であったRCW肥満度が斃死期には1.4~1.5に低下しており、日良居地先の天然トリガイのRCW肥満度が斃死期に著しく低下した現象と共通性がある。飼育条件下においても天然トリガイの場合と同様に、トリガイのRCW肥満度を低下させる要因が働いていたことが考えられる。しかし、斃死期における飼育トリガイのRCW肥満度は日良居地先天然トリガイの2倍近い値であった。9月17日には生殖腺の成熟も観察されており、飼育条件下ではRCW肥満度が著しく低下して死亡する現象は起こらなかったと考えられる。

一方、歩留まりと成長期については、大島郡日良居

地先の天然トリガイと基本的には同じ型式であったといえる。安定期には歩留まりは高く、成長の方向が殻高方向となるという成長型式の違いはあったものの、成長をしていた。斃死期に入ると殻長の伸びが停滞した現象も天然、飼育トリガイに共通している。天然トリガイの成長停止が6月25日以降であるのに比べて、飼育トリガイの成長停止はこれよりも遅く7月6日以降であった。しかしながら、飼育トリガイの斃死期は8月5日以降であって、天然トリガイの斃死期の8月24日以降より早かった。天然トリガイでみられたようなRCW肥満度の著しい低下を伴う斃死現象ではなかったため、アンストラサイトの流出とこれにともなう付着生物の増殖と飼育籠の汚れが飼育トリガイを斃死させた主要な原因と考えられる。また、飼育トリガイにみられた高いRCW肥満度の持続と成熟をもたらした要因としては、良好な餌料環境があったものと考えられる。

文 献

- 1) 木村 博・檜山節久 (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 - II トリガイ資源の消長. 本誌, 1, 5-10.
- 2) 岩尾敦志・藤原正夢・藤田真吾 (1993) : トリガイ養殖に関する研究 - I. 京都海洋センター研報, (16), 28-34.
- 3) 西広富夫・西岡 純・藤原正夢 (1983) : 海底設置籠によるトリガイ稚貝の中間育成. 京都海洋センター研報, (7), 49-53.
- 4) 内野 憲・道家章生・辻 秀二 (1992) : トリガイ養殖の可能性について. 京都海洋センター研報, (14), 14-19.
- 5) 藤田真吾・吉田 弘・西広富夫 (1984) : 生海水を使った海上Up-welling装置によるトリガイ稚貝の飼育. 栽培技研, 13 (2), 21-27.
- 6) 西広富夫・西岡 純・藤原正夢 (1983) : 海底設置籠によるトリガイ稚貝の中間育成. 京都海洋センター研報, (7), 49-53.

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 - IV トリガイ生殖腺の成熟

木村 博

Study on Ecology of *Fulvia mutica* and its Resource Management in the Sea off
Northern Ohsima District in Yamaguchi Prefecture-IV
Development of Gonad of *Fulvia mutica*

Hiroshi KIMURA

Key words : *Fulvia mutica* ; gonad ; spawning ; maturation

トリガイ, *Fulvia mutica*にとって, 産卵は活力の低下と疲弊をもたらす要因と考えられており^{1), 2), 3)}, 斃死要因になっているとする見方^{4), 5)}もある。したがって, 大島郡日良居地先のトリガイが夏から秋にかけて死滅する現象を考察する上で, 生殖腺成熟の実態を把握することは重要であると思われる。生殖腺組織の標本を観察することにより, 大島郡日良居地先産トリガイの成熟過程を把握するとともに, これとは生息環境の異なるトリガイの生殖腺についても調査したので報告する。

材料および方法

生殖腺組織の観察に用いたトリガイは, 大島郡日良居地先産, 周防灘産ならびに日良居地先産を垂下式丸籠で飼育したものであった。これら経歴の異なるトリガイの採集日別標本数は表1に示した。日良居地先のトリガイは1998年7月29日から1999年10月24日までの間に22回実施した貝桁網試験操業⁶⁾で採集した。このうち, トリガイは20回の試験操業で採集された。トリガイの試料が得られなかったのは, 1個体も採集されなかった1998年12月25日と唯一の採集個体が破損してしまった1999年10月24日の操業だけであった。全採集数1,705個体のうち127個体から生殖腺組織標本作製した。異なる環境下における成熟状況を調べるために,

飼育トリガイについても生殖腺組織標本作製した。標本としたのは1999年3月24日および4月30日の試験操業により日良居地先で採集したものを水産研究センターにおいて水槽に収容していたトリガイ, およびこれらを下松市笠戸湾において丸籠に収容して5月25日から9月17日の間, 垂下飼育したトリガイ⁷⁾合計70個体であった。また, 1998年12月から1999年6月の間, 周防灘で操業した漁船から得た周防灘産トリガイ26個体についても生殖腺組織標本作製した。

生殖腺組織はトリガイ軟体の斧足腔にあるので, 消化管をさけるため斧足中央よりやや下部を体軸と垂直方向に解剖バサミで切断して, 足の筋肉とともに10%中性緩衝ホルマリン (Lillie液) で固定した。1~3日間固定後, 水洗し, 70%エチルアルコール中に保存し, 常法⁸⁾にしたがってパラフィン包埋した。剥切方向は原則として体軸と垂直方向としたが, 小型の個体は軟体部全体を体軸方向に切った。切片はhematoxyline-eosin染色した。

トリガイは雌雄同体なので, 卵母細胞の発達に応じて生殖腺の発達段階を判定することとした。発達段階区分は, アコヤガイについての立石⁹⁾, アサリについての桃山ら¹⁰⁾を参考にして, ①濾胞期, ②成長前期, ③成長後期, ④成熟期, ⑤放出期, ⑥放出終了期の6期とした。

Table 1. Number of *Fulvia mutica* which gonad were made up preparation for histological observation.

Sampling date	derived from			Sampling date	derived from		
	Hirai	Suoh-nada	cultured		Hirai	Suoh-nada	cultured
29-Jul.-1998	10			30-Apr.	6		
19-Aug.	14			16-May			13
3-Sep.	15			20-May			5
24-Sep.	1			27-May	6		
26-Oct.	4			8-Jun.			5
24-Nov.	1			9-Jun.		1	
13-Dec.		3		15-Jun.	6		
20-Dec.		4		18-Jun.			5
4-Jan.-1999		2		25-Jun.	6		5
26-Jan.		1		8-Jul.			4
28-Jan.	8			12-Jul.	6		
31-Jan.		2		22-Jul.			5
8-Feb.	3	2		28-Jul.	6		
19-Feb.		1		5-Aug.			5
24-Feb.		2		9-Aug.	6		
25-Feb.	4			17-Aug.			4
1-Mar.		1		24-Aug.	6		5
18-Mar.		2		9-Sep.	7		5
24-Mar.	6	1		17-Sep.			6
28-Mar.		1		28-Sep.	6		
5-Apr.		3					
14-Apr.			3	Total	127	26	70

Hirai means the shells were collected by the dredge net off Hirai

Suoh-nada means the shells were collected in the Suoh-nada

Cultured means the shells were cultured by suspending receptacles in Kasado Bay

結 果

卵母細胞の発達段階は次のように観察された。

- ①濾胞期 生殖上皮に付着した数 μm の卵母細胞が観察された。卵母細胞の出現頻度は大小さまざまなケースがあった。卵母細胞の大きさや染色性ならびに分布型式などによって、複数の発達段階があるとみられたが、発達段階の低い状態としてひとくくりにした。(図1-A)
- ②成長前期 濾胞内の卵母細胞は、楕円形から台形、三角形など不定形であった。細胞質は小型のものは紫色に濃染されるが、大きくなるにしたがって紫色は薄くなる。核は淡い赤紫色で、紫色に濃染される1個の核小体が大部分の細胞でみられる。細胞の径は8~40 μm 程度であった。(図1-B)
- 成長前期は斧足腔内の生殖細胞が一斉に発達するような像がみられることはなく、むしろ発達段階の低い卵母細胞に混じって、局所的に発達中の濾胞がみられる場合が多かった。
- ③成長後期 卵母細胞の形は、成長前期と同じであるが、細胞質は網状構造を示して、紫色がさらに薄くなった。細胞の径は40~50 μm で、濾胞に付着しているものが観察された。濾胞内の卵母細胞の数は、1~11

個であったが、5個前後みられることが最も多かった。発達段階の低い卵母細胞の数は減少した。大部分の卵母細胞で核小体は見えなくなった。核小体の有無は、卵母細胞内の代謝に違いのあることを表しているものと考えて成長期区分の目安とした。(図1-C)

- ④成熟期には卵母細胞は濾胞壁から離れて球形に近くなり、中央部に密集し⁹⁾、核小体を有する¹⁰⁾状態を想定していたが、このような像は観察されなかった。
- ⑤放出期には密集していた成熟卵の接着が緩くなり、核には仁(核小体)が顕著にみられる⁹⁾状態を想定していたが、この像は観察されなかった。

また、精子形成についても、アサリでみられた網目状構造の網目に沿って濾胞壁から中央に向かって発達する¹⁰⁾成長期の像(図1-C)は観察されたが、成熟期の像である渦巻き状^{9), 10)}の精子は観察されなかった。これらのことから、観察した標本中には成熟期および放出期の個体はなかったと思われる。

- ⑥放出終了期 濾胞期の卵母細胞が多数ある中に、円形で核小体を有する約50 μm の細胞が濾胞内に1個存在する像(図1-D)が2例みられた。放出終了期のアサリでは、濾胞内腔にはなお少数の成熟生殖細胞が存在している場合が多い¹⁰⁾とされるので、放出終了期と判定した。

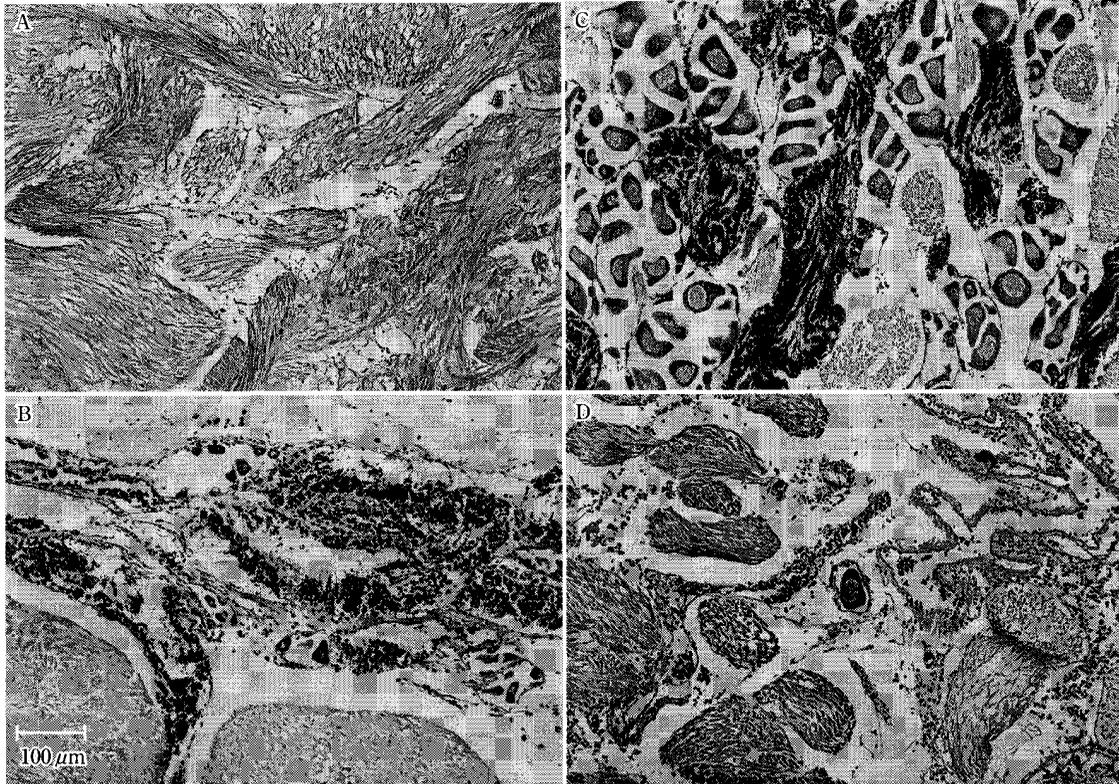


Fig.1. Developmental stages of *Fulvia mutica* gonad.

- A : follicle stage
- B : prophase growth stage
- C : latter growth stage
- D : post spawning stage with a remains of matured egg

日良居産，周防灘産および飼育トリガイについて採集日別殻長別成熟度を図2に示した。成熟段階は前述のとおり，成長後期が最も発達した段階であった。また，放出終了期と思われる2例は，発達が進んだ結果として到達した段階であった。これらの成熟段階にあった全20個体の採集日，殻長，軟体重量および肥満度を表2に示した。肥満度としては，殻長が異なった個体間でも比較が可能なRCW肥満度⁶⁾*1を用いた。この報告では成長後期の卵母細胞を持つトリガイを「発達群」，持たないトリガイを「未発達群」と呼ぶことにする。

大島郡日良居地先において発達群がみられる時期は10月と11月および4月と5月であった。発達群の殻長は10月のものは11mmと32mm，11月のものは38mmであった。4月のものは33mmと55mm，5月のものは39mmであった。10～11月のものは1998年春生まれ群であり，4～5月のものは1998年秋生まれ群であった⁶⁾。いずれの個体も，同時期に採集された個体と比べて特に殻長が大きい傾向はみられなかった。トリガイの成熟には同一時期の他の個体と比べて殻長の相対的な大小は関

*1 RCW肥満度 = 軟体重量 / 計算軟体重量 RCW : Ratio of meat weight to Calculated meat Weight

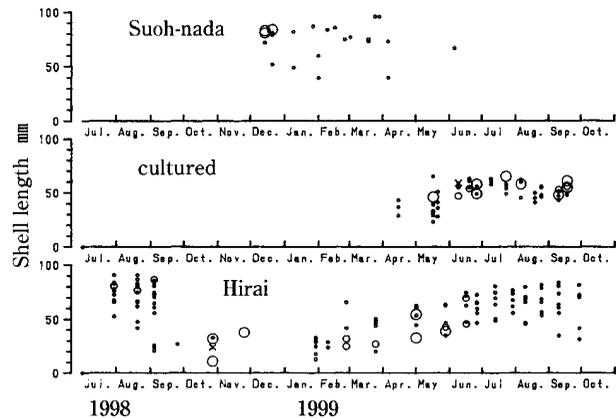


Fig.2. Shell length of *Fulvia mutica* and developmental stage of the oocyte in gonad.

Small circles mean the follicle stage, medium circles mean the prophase growth stage, large circles mean the latter growth stage and crosses mean the post spawning stage respectively.

係しないと考えられた。また，殻長11～55mmで卵母細胞の発達がみられているので，少なくとも殻長11mm以上ならば成熟する可能性があることがわかった。観察した個体数に占める発達群個体数の割合は，4～5月

Table 2. The shell length, meat weight and RCW of *Fulvia mutica* which oocyte which seemed to be in later-growth stage and post-spawning stage

sampling	S.L.mm	meat w.g	RCW	stage	derivation
26-Oct.-1998	24	0.6	0.594	p.s.	Hirai
26-Oct.	32	1.4	0.538	Lg.	Hirai
26-Oct.	11	not measured		Lg.	Hirai
24-Nov.	38	3.1	0.765	Lg.	Hirai
13-Dec.	83	29.4	0.970	Lg.	Suoh-nada
13-Dec.	81	28.7	1.009	Lg.	Suoh-nada
20-Dec.	84	55.3	1.768	Lg.	Suoh-nada
30-Apr.-1999	55	10.6	1.027	Lg.	Hirai
30-Apr.	33	3.3	1.179	Lg.	Hirai
16-May	46	4.0	0.620	Lg.	cultured
27-May.	39	4.0	0.956	Lg.	Hirai
8-Jun.	59	8.3	0.670	p.s.	cultured
26-Jun.	58	19.3	1.629	Lg.	cultured
26-Jun.	49	11.8	1.550	Lg.	cultured
22-Jul.	65	27.1	1.697	Lg.	cultured
5-Aug.	58	16.0	1.351	Lg.	cultured
9-Sep.	48	9.0	1.248	Lg.	cultured
17-Sep.	61	24.9	1.842	Lg.	cultured
17-Sep.	55	14.4	1.397	Lg.	cultured
17-Sep.	61	23.4	1.731	Lg.	cultured

RCW: ratio of meat weight to calculated meat weight
 p.s.: post spawning stage lg.: later growth stage
 Derivations are the same with table 1

は16.7%, 10~11月は60.0%であった。1998年春生まれ群は、同年秋に0.5歳で生殖腺が発達するが、まもなく死滅した。1998年秋生まれ群は翌年春に0.5歳で生殖腺が発達したが、その年の秋には生殖腺が発達することなく、死滅したことがわかった。

1998年秋生まれ群の一部を下松市笠戸湾内で飼育したトリガイ⁷⁾では、発達群は5月から9月の間に毎月みられ、のべ9個体であった。殻長の範囲は46~65mmであった。観察した個体数に占める発達群個体数の割合は、5月が5.6%, 6月が13.3%, 7月が11.1%, 8月が7.1%, 9月が36.4%であった。発達群の全個体に対する割合は9月に最も高く、次いで6月であった。同時期に取り上げられた未発達群と比べて、発達群は殻長が大きいことが5月と7月で見られるが、他の月では明らかでなかった。

12月から6月の間に周防灘で漁獲されたトリガイについては、発達群は12月にのみ3個体がみられた。殻長は81~84mmで同時期に漁獲された個体と比べて大きい傾向があった。また、12月の全観察個体に対する発達群の割合は、42.9%であったが、未発達群のうち2個体にはセルカリアの寄生がみられた。セルカリアの寄生があると成熟しないとする報告がある¹¹⁾ので、これを除いて計算した12月の発達群の割合は50.0%であった。

日良居産、周防灘産および飼育トリガイについて採集日別RCW肥満度別成熟度を図3に示した。大島郡日良居地先で10月と11月にみられた発達群のRCW肥

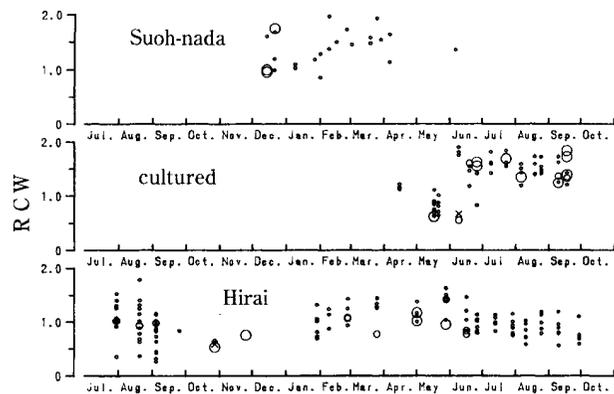


Fig.3. Ratio of meat weight to calculated meat weight(RCW) of *Fulvia mutica* and developmental stage of the oocyte in gonad.

Symbols are the same with fig.2.

RCW=meat weight/calculated meat weight.

The calculated meat weight was obtained according to relation expression of meat weight with shell length.

満度は、0.538と0.765で著しく低かった。この1998年春生まれ群では1個体の軟体重量測定ができなかった。4月と5月に採集された3個体は、0.956~1.179の範囲にあり、殻長-軟体重関係式から計算される標準的な軟体重量に近かった。一方、下松市笠戸湾内で飼育した群については、飼育開始前の5月の発達群のRCW肥満度は0.620で著しく低かった。しかし、6月27日から9月17日の間は平均1.556(1.248~1.842)で著しく高くなっていた。周防灘で漁獲された発達群のRCW肥満度は、平均1.249(0.970~1.768)であった。平均値は高いものの、3個体の内2個体のRCW肥満度はほぼ1であった。生殖腺の成熟とRCW肥満度の大小は、少なくとも卵母細胞が成長後期までの間は関係がないといえた。

放出終了期のトリガイは1998年10月25日に大島郡日良居地先で採集されたものと1999年6月8日に試料採取された飼育トリガイであった。前者の殻長は24mm, 軟体重量は0.6g, RCW肥満度は0.594, 後者の殻長は59mm, 軟体重量は8.3g, RCW肥満度は0.670であった。前者は1998年春生まれ群であり、それが同年の秋に産卵したことが確認された。また、後者は1998年秋生まれ群であり、それが翌年の初夏に産卵したことが確認された。これにより、トリガイの成熟年齢は約半年であることがわかった。産卵が確認されたトリガイの最小殻長は24mmであるが、同時期に成長後期に達していた個体の中に殻長11mmのものがあったので、トリガイは殻長11mmでも産卵する可能性が示された。

セルカリアの寄生については、大島郡日良居産の127個体ならびにこれを5月から9月の間、下松市笠戸湾で飼育した70個体には全くみられなかったが、周防灘産の26個体の中から3個体に寄生が確認された。

また、パーキンサス原虫の寄生はいずれのトリガイにおいても認められなかった。

考 察

この調査では、成熟期と放出期の生殖腺が観察されなかった。トリガイ生殖腺は非常に発達速度が速いことが理由として考えられる。西広¹²⁾はまったく成熟していないトリガイが飼育20日後には成熟して産卵したことを報告している。成長後期の卵母細胞から成熟・産卵に至る時間が短ければ、成熟期と放出期を観察する機会は少なくなる。西広¹³⁾はトリガイ受精卵の径が約65 μm であることを報告している。組織標本でみられた成長後期の卵母細胞の径は40~50 μm であった。組織標本作成過程で卵母細胞の径が縮むことを考慮すると、成長後期の卵母細胞は受精卵の大きさに近いので、成熟から産卵まで短時間で到達することは考えうることである。

トリガイの産卵期については、東京湾¹⁴⁾では3~7月の1回、宮津湾¹²⁾では5月と10~11月の2回、周防灘¹¹⁾では2~6月と8月~11月の2回、周防灘の飼育トリガイ¹⁵⁾では4~7月の1回、大島郡日良居地先を含む大島郡北部海域¹⁶⁾では10~11月の1回と報告されている。海域によって若干時期のずれはあるものの、基本的には春と秋のいずれか1回もしくは2回とされる点は共通している。この調査では、10月26日と6月8日に放出終了期のトリガイがみられた。また、天然のトリガイについてみると成長後期の卵母細胞を持つ個体の出現率の高い時期は9~12月および4~6月であったので、これまでの報告と同様に春と秋は産卵期であることが確認された。一方、7~8月にも飼育トリガイでは発達群がみられている。したがって、トリガイは成熟から産卵に必要な条件が整えば7~8月にも産卵する可能性があり4月の下旬から12月までは産卵期ということが出来る。

井上¹¹⁾は、トリガイの生物学的最小型は殻長38mmとし、藤原ら¹⁷⁾は種苗生産したトリガイを飼育して、平均殻長58mmで産卵したことを報告している。田ら¹⁴⁾は、東京湾のトリガイで「産卵に至るとは考えがたい」としながらも、殻長10mm台と20mm台に成熟個体を見いだしている。放出終了期とみなした組織像が異常な成熟

過程を観察したものでなければ、これまでの報告よりもさらに小さい殻長24mmのトリガイが産卵したことになる。成長後期の卵母細胞がそのまま発達して産卵に至るならば、生物学的最小型は殻長11mmまで考えられる。また、成熟年齢は約半年と考えられる。

日良居地先のトリガイ秋生まれ群は翌年春に産卵していると考えられるが、満1年の秋には産卵することなく死滅する。春生まれ群の個体数は秋生まれ群に比べてはなはだ小さい。日良居地先において春生まれ群が秋に行う小規模な産卵から、個体数の大きい秋生まれ群が形成されるとは考えにくい。当該海域内で生活環が完結していないと考えるべきであろう。

謝 辞

この調査のため、日々漁獲されたトリガイ試料を提供して下さった山口市漁業協同組合所属の野口桂助氏に厚くお礼申し上げます。また、パーキンサス原虫の寄生状況についてトリガイ生殖腺組織標本を検鏡して下さった山口県水産研究センター内海研究部桃山和夫博士にお礼申し上げます。

文 献

- 1) 井上 泰 (1955) : トリガイの生態学的研究 - I 成長について. 日本誌, **21** (1), 24-26.
- 2) 内野 憲・辻 秀二 (1991) : トリガイの帯状輪紋について. 水産増殖**39** (3), 249-253.
- 3) Tian, Y. and M. Shimizu (1998) : Hatch dates and growth rates of the cockle *F. mutica* estimated from daily growth lines in chondrophore in Tokyo Bay. Fisheries Science **64** (2), 251-258.
- 4) 岩尾敦志・藤原正夢・藤田真吾 (1993) : トリガイ養殖に関する研究 - I. 京都海洋研究センター研報, (16), 28-24.
- 5) 藤原正夢・岩尾敦志・西広富夫 (1990) : トリガイ種苗生産における採卵用親貝について (短報). 京都海洋センター研報, (13), 65-67.
- 6) 木村 博・檜山節久 (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 - II トリガイ資源の消長. 本誌, **1**, 5-10.
- 7) 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 - III 飼育トリガイの成長と生残. 本誌, **1**, 11-15.
- 8) 佐野 豊 (1970) : 組織学研究法. 南山堂, 東京, 79-176.
- 9) 立石新吉・安達甫朗 (1957) : アコヤガイ *Pinctada martensii* (DÜNKER) の生殖巣の周年変化に関する組織学的観察. 長崎大学水産学部研報, (5), 75-79.

- 10) 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. 山口内水試報告, (7), 19-34.
- 11) 井上 泰 (1955) : トリガイの生態学的研究-Ⅱ 産卵期について. 日水誌, **21** (1), 27-29.
- 12) 西広富夫 (1980) : トリガイの人工種苗に関する研究-I 産卵誘発と初期発生. 京都海洋センター研報, (4), 13-17.
- 13) 西広富夫 (1981) : トリガイの人工種苗と放流稚貝の成長について. 栽培技研, **10** (1) : 1-12.
- 14) 田 永軍・清水 誠 (1997) : 東京湾におけるトリガイの成長, 成熟と産卵期. 日水誌, **63** (3), 361-369.
- 15) 藤本敏昭・瀧口克己 (1990) : トリガイの種苗生産技術研究-Ⅱ 量産化のための基礎試験. 福岡豊前水試研報, (3), 123-130.
- 16) 尾串好隆・立石 健・原 健一 (1973) : 大島郡北部海域のトリガイ資源生態調査. 山口内水試報告, (3), 101-111.
- 17) 藤原正夢・藤田真吾 (1985) : 海上砂床飼育によるトリガイ稚貝の中間育成と母貝養成. 京都海洋センター研報, (9), 59-66.

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

松野 進・木村 博

Tolerance of Cockle, *Fulvia mutica* (REEVE),
against High Water Temperature and Low Dissolved Oxygen

Susumu MATSUNO and Hiroshi KIMURA

As a part of the studies on the fisheries biology of the cockle, *Fulvia mutica* (REEVE), in the coast of northern Yashiro island, Yamaguchi Prefecture, tolerance tests of the animal against high water temperature and low dissolved oxygen were made to clarify the cause of the mortality in the summer season. When food phytoplanktons and dissolved oxygen in the ambient water were sufficient, the animal survived until the water temperature reached 29°C. The first death of the animal was observed about 28 hours after the dissolved oxygen concentration was lowered at about 2 ml/l. Starved or parasitized animals tended to decrease the tolerance against low dissolved oxygen.

山口県大島郡橘町の北部地先海域における1998年7月から1999年3月にかけての調査によると、この海域のトリガイ *Fulvia mutica* (REEVE) は7月から9月にかけて逐次死亡することが明らかになった¹⁾。生息環境とトリガイの死亡との関係について、野上ら²⁾は酸素消費および低酸素水中における性状などから検討している。これによると水槽実験では水温20°Cで溶存酸素が2 ml/l以上では外見上影響がみられず、1.5 ml/l以下では比較的短時間でへい死に至るとされ、また、燧灘での調査結果によると、高水温期(25~27°C)の溶存酸素低下(1 ml/l前後)が死亡に最も大きく影響していると推定している。しかし、橘町地先海域での夏季の連続観測¹⁾によると底層(海底上1 m)の最高水温は約25°Cで、また、最低溶存酸素量は約2 ml/l(24°C)であり、水温と溶存酸素だけではこの海域での死亡の原因として決定的ではないと考えられる。しかし、高水温で低酸素の時期に死亡が発生していることから、この海域でも少なくとも高水温と低酸素は死亡と関連する要因であると考えられる。一方、アカガイでは高水温期に死亡する要因として餌料条件の悪化

が考えられている³⁾。そこで、トリガイの死亡に結びつくと考えられる環境の主要因として水温、溶存酸素、餌料を取り上げ、死亡原因を解明するための2段階の飼育試験を行った。第一段階として、溶存酸素量と餌料生物濃度が好適と考えられる条件下でトリガイの高水温耐性試験を行った。次に、第二段階として餌料生物濃度を変えて予備飼育したトリガイについて、一定水温下での低酸素耐性試験を行った。

材料および方法

1 高水温耐性試験

供試貝 橘町地先海域において1999年7月28日に実施した小型底びき網(貝桁網)試験操業により採集された天然トリガイを用いた。飼育水槽への収容は7月29日に行い、供試貝を無作為に5個体ずつ収容した。試験開始時の供試貝のサイズは平均殻長±標準偏差=69.7±8.6mm(N=50, 最大82mm, 最小49mm)であった。

試験区の設定 供試貝収容時の水温は23°C(冷却)とし、水温を遅く上昇させるA試験区から早く上昇させるE試験区まで5区の試験区を設定し、1試験区に

つき2水槽で実施した。各試験区の水温は図1に示すように3~12日間隔で1℃ずつ上昇させ、飼育開始から21日後に5区の試験区が26℃から30℃まで1℃差の5段階となるように設定し、その後は全試験区で9日ごとに1℃ずつ上昇させた。ただし、飼育開始から8日後までは予備飼育として全試験区の水温上昇を同じ設定とした。なお、同一水温で設定した2水槽間では水槽間の温度差はほとんどなかったが、A試験区の水温は他の試験区に比べ、変動幅が大きく、設定値より

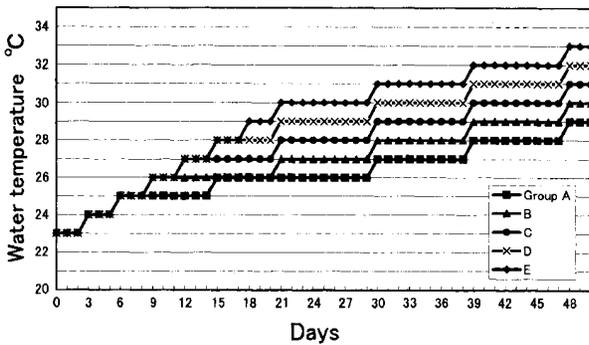


Fig.1. Schedule of temperature rearing water for a tolerance test of *Fulvia mutica* against high water temperature.

図1 高水温耐性試験の昇温設定

約1℃低かった日もあった。予備飼育の間のへい死は漁獲時の傷やストレスによると考えられたので、試験設定と同じ水温で保存していた同じ群のトリガイと入れ替えた。

飼育水の温度調節および給餌方法 図2に示すように自然海水および下記に示した餌料プランクトンの培養海水を餌料プランクトンの増殖の程度に応じて適量混合し、試験設定の最低水温(23~25℃)まで冷却した後、温度設定段階に従い順次加温し飼育槽へ給水し

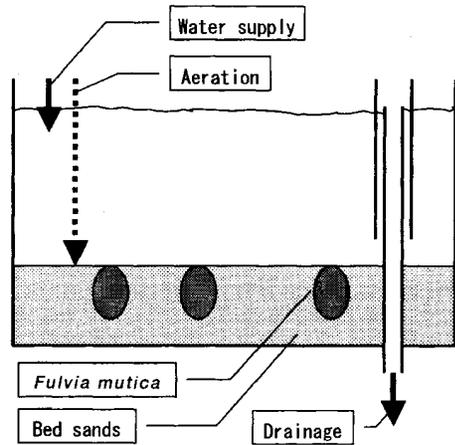


Fig.3. Rearing tank for a tolerance test of *Fulvia mutica* against high water temperature.

図3 高水温耐性試験の飼育槽

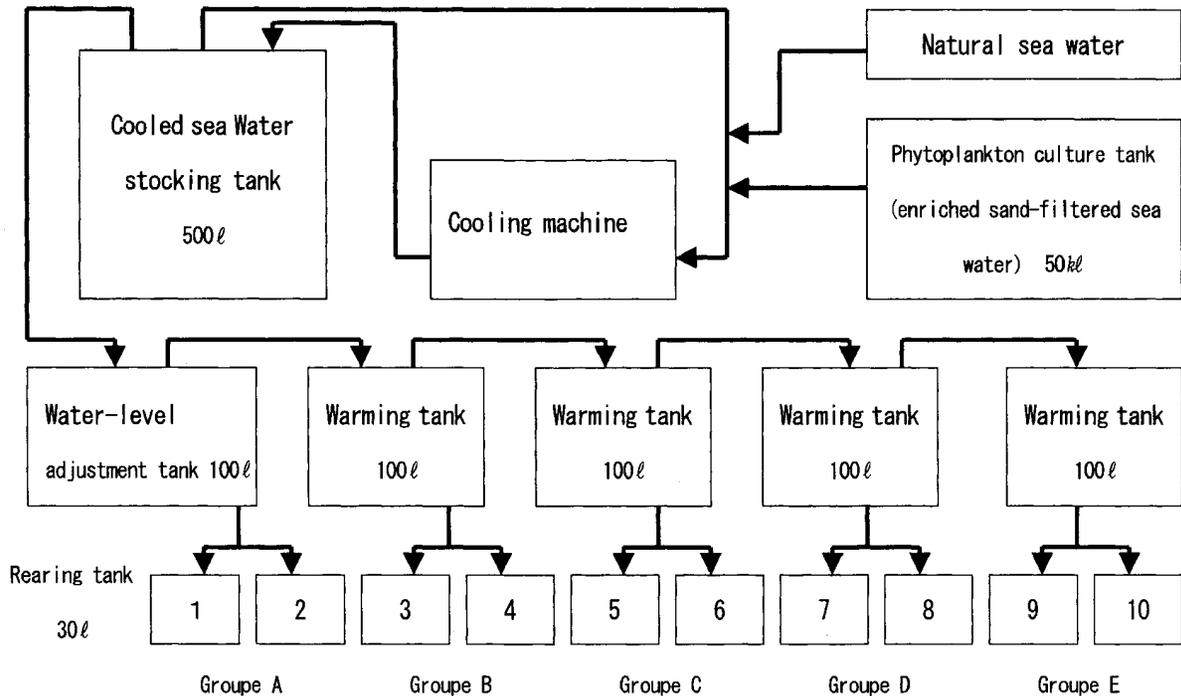


Fig.2. Control of rearing water temperature and feeding system for a tolerance test of *Fulvia mutica* against high water temperature.

図2 高水温耐性試験の給水系

た。飼育開始後8, 9, 29日, および35日後以降は自然海水だけを給水した。1日の給水量は飼育水量の40~50倍量とした。

餌料培養方法 餌料には屋外の50m³キャンパス水槽2槽に砂ろ過海水を35ℓ貯水し, 1ℓあたり硫酸アンモニウム(農業用肥料)100g, 過リン酸石灰15g(農業用肥料), メタけい酸ナトリウム九水和物18gを施肥した後, 増殖してきた植物性プランクトンを用いた。天然餌料プランクトンが増殖し, 給餌を開始した後は給餌量と同量の砂ろ過海水を連続注水し, 3~4日間隔で注水量に応じた施肥を上記の比率で行った。給餌には増殖状態がより良好な水槽の培養プランクトンを使用した。

飼育槽 図3に水槽の断面を示した。内寸460×305×深さ260mmのポリプロピレン製角型容器に海砂を10cmの厚さで敷き, 曝気管および底層排水管を取り付けた。砂層上面から水面までの水量は17ℓとした。砂層に還元層が発生した時や, トリガイのへい死により水質が悪化した場合は, 全換水および砂の洗浄を行った。

環境測定項目および方法

水温: 測温は棒状水銀温度計によった。

溶存酸素量: Y S I社製DOメーターで測定した。

餌料プランクトン: 優占種を同定するとともに, 血球計算盤を用い検鏡法により細胞数を計数した。

供試貝のへい死の判定法 足部にピンセットで刺激を与えても全く反応がなくなった時点をへい死とした。

2 低酸素耐性試験

供試貝 橘町地先海域において2001年4月11日の試験操業により採集した天然トリガイを, 山口湾に設置したロープ式筏の垂下籠で8月28日まで育成し, その後, 100ℓ水槽で屋外のキャンパス水槽で培養した

Caetoceros sp.を餌料として9月5日まで海砂を敷いた流水による予備飼育を行った。予備飼育を行ったトリガイをさらに, ウォーターバス(500ℓ長方形水槽, 25℃)中に30ℓポリカーボネート製円形水槽5槽(0.5μm精密ろ過海水を各25ℓ)を入れ, 給餌量を5段階とした5試験区を設定し, 室内培養した*Pavlova lutheri*, *Tetraselmis* sp., *Chaetoceros gracile*, *Nannochloropsis* sp.の4種類の餌料プランクトンで5日間給餌したものを供試貝とした。給餌量は収容貝の単位重量あたりA試験区を1とし以下1/2, 1/4, 1/8, 0倍量とした。餌料プランクトンについて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。止水飼育とし, 毎日, 給餌前に残餌がほとんどないことを確認してから全換水を行った。供試貝には殻表面に鉛筆で個体番号を記入した(表1)。供試貝A-1は段階給餌最終日に産卵し, 産卵数は230万個であった。

飼育水中の溶存酸素量の調節 200ℓアルテミアふ

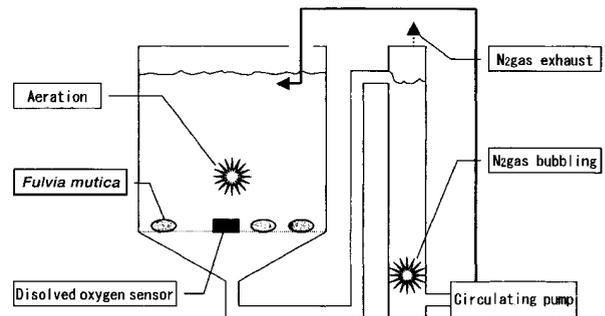


Fig.4. Control of dissolved oxygen concentration in the rearing water for a tolerance test of *Fulvia mutica* against low oxygen.

図4 溶存酸素低下試験装置

Table 1. Test *Fulvia mutica* used in the low dissolved oxygen tolerance test: They were fed these four phytoplanktons for 5 days just before the beginning of the test.

表1 低酸素耐性試験で供試したトリガイおよび予備飼育で給餌した餌料プランクトン

Test <i>Fulvia mutica</i>		Fed phytoplanktons							
Group	Number	Mean Shell length	Mean Weight	Fed quantity		Consumed quantity			
		(mm)	(g)	μg/g	Weight/5 days	Cells/g	Weight/5 days		
				Chlorophyll- <i>a</i>	Pheo pigments	<i>P.l.</i> × 10 ⁵	<i>T.sp.</i> × 10 ⁴	<i>C.g.</i> × 10 ⁵	<i>N.sp.</i> × 10 ⁶
A	3	52	43	9.26	1.12	15.45	16.46	5.05	7.38
B	2	56	50	4.63	0.56	7.72	8.23	2.52	3.38
C	2	56	49	2.32	0.28	3.86	4.12	1.26	2.02
D	2	55	49	1.16	0.14	1.93	2.06	0.63	1.09
E	2	56	54	0	0	0	0	0	0

P.l.: *Pavlova lutheri*; *T.sp.*: *Tetraselmis* sp.; *C.g.*: *Chaetoceros gracile*; *N.sp.*: *Nannochloropsis* sp.

化水槽と窒素曝気筒を連結した溶存酸素量調節装置(図4)を作成し、各濃度段階給餌の終わった供試貝を一緒にして水槽(アルテミアふ化水槽)に収容した。海水は0.5 μ mろ過海水を使用し、水温は25 $^{\circ}$ Cに設定した。収容日の翌日から窒素ガスを海水中に曝気し、飼育水中の溶存酸素量を低下させた。溶存酸素量の低下の程度は貝の活力やへい死状況を観察しながら、窒素ガスの海水中への曝気量を加減することにより調節した。夜間は水槽内に弱く空気を曝気し、溶存酸素量の自然低下を防いだ。また、予備水槽として環境条件(水温、溶存酸素量)をできるだけ同一とした水槽を設け、へい死貝を取上げた直後に残りの供試貝を新しい水槽に移槽した。試験期間中は給餌を行わなかった。

環境測定項目および方法 水温、溶存酸素量については高水温耐性試験と同様とした。

供試貝のへい死等の判定法 へい死の判定方法については高水温耐性試験と同様とし、反応は微弱だが閉

殻反応がある状態を瀕死とした。また、へい死個体および試験終了時の全ての個体について解剖し、生殖腺の発達程度、寄生虫の有無等について観察するとともに肥満度を測定した。

結 果

1 高水温耐性試験

各試験区の生残個体数、溶存酸素量および餌料プランクトンの優占種を表2に示した。また、各試験区の水温の推移およびトリガイがへい死した日を図5に示した。

飼育環境

溶存酸素：試験期間中に測定した飼育水の溶存酸素量の最低値は3.0ml/lで最高値は4.2ml/lであった。

餌料プランクトン：飼育水中の優占種は飼育開始から7日後までは*Nitzschia* sp. (5~15万cells/ml) およびプラシノ藻類(1万cells/ml)であった。10, 11

Table 2. Results of the tolerance test of *Fulvia mutica* against high water temperature.

表2 高水温耐性試験における生残個体数と飼育水の溶存酸素量および餌料プランクトン

Group	Number of survivors										DO (ml/l)	Fed phytoplanktons
	A		B		C		D		E			
Tank	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6	No.7	No.8	No.9	No.10		
Day0	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5		
1	5	5	5	5	5 (*1)	5 (*1)	5	5	5	5	(*2)	<i>Nitzschia</i> , Prasinophyceae
2	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	3.9-4.2	
3	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5		
4	(*1) 5	5	5	5	5 (*1)	5	5	5	5	5 (*1)	3.6-4.1	
5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5		
6	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	3.0-3.8	
7	5	5	5	5	5	5	5	5	5 (*1)	5		
8	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5		
9	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5		
10	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5		
11	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	3.6-3.9	<i>Nitzschia</i> , <i>Navicula</i>
12	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5		
13	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	3.3-3.7	
14	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5		
15	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5		
16	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5		
17	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5		
18	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	3.5-3.9	
19	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5		
20	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	3.6-3.9	Chlorophyceae, <i>Nitzschia</i>
21	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5		
22	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5		
23	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5		
24	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5		
25	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5		
26	4	5	5	5	5	5	5	5	5	3		
27	4	5	5	5	5	5	5	5	5	1		
28	4	5	5	5	5	5	5	5	5	0		
29	4	5	5	5	5	5	5	5	5	0		
30	4	5	5	5	5	5	5	5	5	0		
31	4	5	5	5	5	5	5	5	5	0		
32	4	5	5	5	5	5	5	5	5	0		
33	4	5	5	5	5	5	5	5	5	0		
34	4	5	5	5	5	5	5	5	5	0		
35	4	5	5	5	5	5	5	5	5	0		
36	4	5	5	5	5	5	5	5	5	0	3.7-4.1	
37	4	5	5	5	5	5	5	5	3	0		
38	4	5	5	5	5	5	5	5	2	0		
39	4	5	5	5	5	5	5	5	2	0		

*1 The dead cockle was exchanged for live one. *2 Minimum-maximum in 10 rearing tanks.

日後は*Nitzschia* sp. (6万cells/ml) および*Navicula* sp. (3万cells/ml) で、12~18日後までは*Nitzschia* sp. (5~15万cells/ml) であった。19~28日後までは緑藻類 (4~6万cells/ml) および*Nitzschia* sp. (1~2万cells/ml) であった。30~34日後までは*Thalassiosira* sp. (3~7万cells/ml) であった。

トリガイのへい死等の状況 最高水温を29℃以下に設定した水槽No.1~6では、予備飼育終了後は水槽No.1で19日後 (25.4℃) に1個体がへい死した以外は、へい死はなかった。水温上昇設定が最も速いE試験区の水槽No.9, 10では24日後 (30℃に設定してから4日

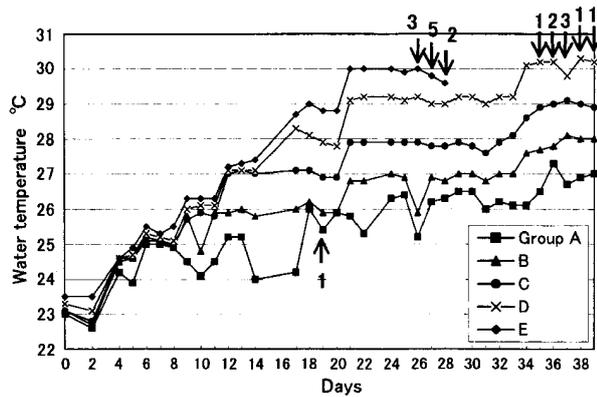


Fig.5. Changes of rearing water temperature and outbreaks of mortality (arrows with numbers of dead animals) in a tolerance test of *Fulvia mutica* against high water temperature.

図5 水温の推移とトリガイのへい死の関係

後)に半開殻, 半開殻足部露出状態の衰弱個体が各1個体観察され, 26日から28日後にかけて全数, へい死した。水温上昇設定が2番目に速いD試験区の水槽No.7, 8では34日後 (30℃に設定してから1日後)には全般に開殻状態が正常状態より開き気味となり, 水槽No.8では35日から39日後にかけて全数, へい死した。一方, 水槽No.7では37日後 (30℃に設定してから4日後)から38日後にかけて3個体がへい死したが, 39日後 (実験終了日)まで2個体が生残した。

2 低酸素耐性試験

試験開始から5日間, 溶存酸素を段階的に低下させた推移を図6に示した。この間, 水温は24.7~25.2℃, 塩分は32.0であった。試験開始から14.4時間 (以下, 試験開始からの時間で表示)までは水槽中への空気曝気だけをおこなった結果, 溶存酸素量は4 ml/l台であった。14.4時間に空気曝気を中止し, 窒素曝気を始めた。16.6時間に2.0ml/lまで低下した時点で窒素曝気を中止した。供試貝D-2は38時間に瀕死となり, 44.3時間にへい死が確認された。64.5時間には2.4ml/lまで上昇したため, 再度, 窒素曝気を行い, 65時間に1.5ml/lまで低下させ, 以後窒素曝気を中止して72.2時間までは1.4~1.5ml/lが保たれた。72.2時間には供試貝E-2のへい死を確認した。供試貝C-2のへい死を確認した86.5時間には1.8ml/lまで上昇していた。再度, 窒素曝気を行い, 87.5時間に1.0ml/lまで低下させ, 96時間まで0.8~1.0ml/lを保った。96時間には

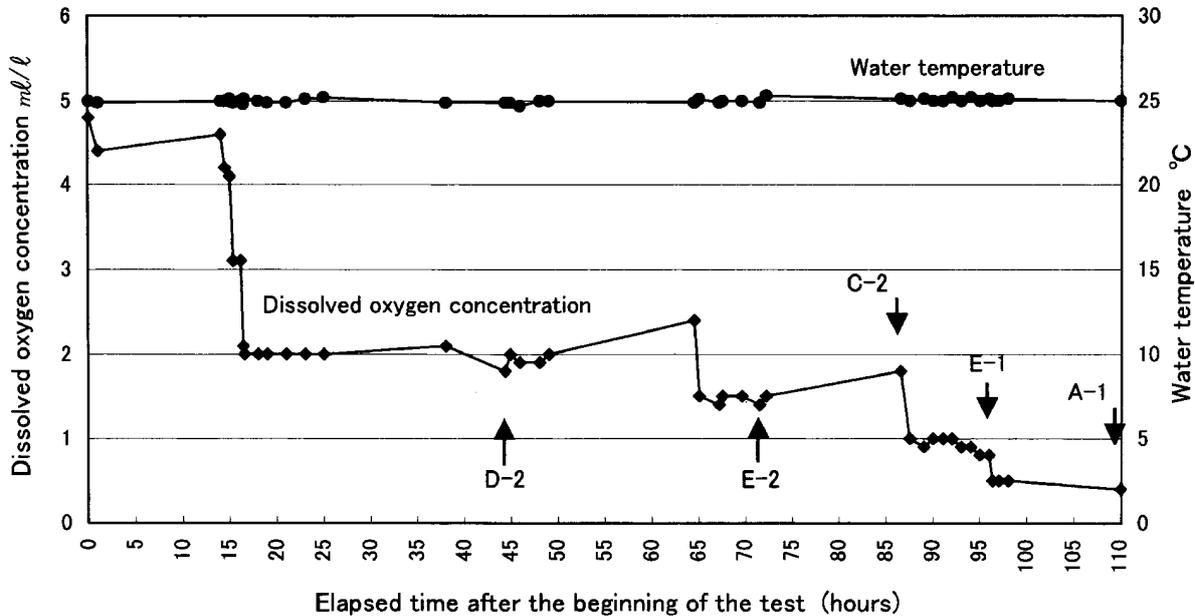


Fig.6. Changes of dissolved oxygen concentration and outbreaks of mortality (arrows with individual number) in a tolerance test of *Fulvia mutica* against low oxygen.

図6 溶存酸素量および水温の推移とトリガイのへい死

供試貝E-1のへい死を確認した。再度、窒素曝気を行い、96.3時間に0.5ml/lとし、110時間まで0.4~0.5ml/lを保った。110時間に供試貝A-1のへい死を確認し、試験を終了した。

終了時の生残個体のうち、供試貝A-2、B-2は刺激に対して敏感に反応したが、A-3、B-1、C-1、D-1は反応が微弱で瀕死状態であった(表3)。へい死時および試験終了時に解剖、検鏡した結果、全ての個体で卵、精子(雌雄同体)が観察され、成熟期であった。D-2の生殖腺にはセルカリアが寄生し、また、A-3、C-2には*Pinnotheres* spp. 各1個体が寄生していた。肥満度は給餌量の多い区ほど高く、少ない区より栄養状態が相対的に良好であることを示したが、AおよびB試験区を給餌量の多い区とし、C、DおよびE試験区を給餌量の少ない区とした場合の平均肥満度の差はt検定では有意とはならなかった($t=2.186 < t(9,0.05) = 2.262$)。生残率についても、給餌量の多い区では高く、少ない区では低い傾向にあったが、Fisherの正確確率検定⁴⁾では、このような結果、およびこれ以上に生残率の差が出る確率が0.175あり、今回設定した給餌量の多少で生残率に差が出るとは結論できなかった。

考 察

1 高水温耐性

19日後に水温上昇率を最も遅く設定したA試験区の水槽No.1で水温が26℃に上昇した時点で1個体がへい死したが、同一飼育条件下にあった他の9個体では異常は観察されず、試験終了時まで全てが生残していた

ことから、このへい死原因は水温との関係はなく、へい死個体に内在していたものと考えられた。その後は水温上昇率の最も早い試験区D、Eでいずれも飼育水温が30℃になってへい死したが、29℃では試験区C、D、Eのいずれでもへい死は起きておらず、試験区Dでは29℃で13日間生存していることから、29℃ではへい死しないものと推察された。試験期間の中盤からすべての供試貝で殻の表面縁部で新しい殻皮の形成が観察され、餌料条件についての問題はなかったと考えられた。従って、餌料と溶存酸素とが十分な条件下での高水温によるトリガイのへい死水温は29℃以上であると推察された。橘町地先海域の底層水温が29℃以上に上昇することはないので、当海域におけるトリガイのへい死原因が高水温だけによるとは考えられなかった。

2 低酸素耐性

先に述べたように、野上ら²⁾は水槽実験では水温20℃で溶存酸素量が2ml/l以上ではトリガイは外見上影響が見られず、1.5ml/l以下では比較的短時間でへい死すると報告している。今回の試験では溶存酸素量が約2ml/lにおいても約28時間後に1個体のへい死が観察された。設定水温条件の差(20℃と25℃)を考慮すると、野上らの結果と我々の結果はよく似たトリガイの低酸素耐性を示していると判断される。今回の試験では溶存酸素量が2ml/l以下に低下してから試験終了までの約4日間にへい死した個体は、前処理として5日間無給餌であった試験区Eの2個体、試験区Dで生殖腺にセルカリアが寄生していた1個体、試験区Cで*Pinnotheres* spp.が寄生していた1個体、ま

Table 3 Results of the tolerance test of *Fulvia mutica* against low dissolved oxygen.

表3 トリガイの低酸素耐性試験結果

Group	Individual number	Fed chlorophyll-a and pheo-pigments ($\mu\text{g/g}$ Weight/5 days)	Shell length (mm)	Flesh weight (g)	Coefficient of fatness*1	Condition	Parasite
A	1	10.38	64	27.07	1.033	Dead	
	2	10.38	49	11.42	0.971	Active	
	3	10.38	43	8.41	1.058	Weak	<i>Pinnotheres</i> spp. *2
B	1	5.19	61	24.07	1.060	Weak	
	2	5.19	51	11.43	0.862	Active	
C	1	2.60	60	20.82	0.964	Weak	
	2	2.60	52	11.17	0.794	Dead	<i>Pinnotheres</i> spp. *3
D	1	1.30	58	18.33	0.939	Weak	
	2	1.30	52	13.26	0.943	Dead	Cercaria in the gonad
E	1	0	56	15.61	0.889	Dead	
	2	0	57	16.15	0.872	Dead	

*1 Coefficient of fatness=flesh weight g/shell length mm³×10⁴

*2 Carapace length 11.7mm

*3 Carapace length 9.6mm

た、試験区Aで産卵後の1個体であった。このうち試験区Eの2個体を除く3個体は寄生物の存在や産卵行動が観察され、これらによる疲弊がへい死を促進させた可能性は否定できない。これら内在する疲弊要因が観察されなかった残りの7個体については、試験区Eの2個体はへい死、試験区C、Dおよび試験区Bの1個体では試験終了時に瀕死状態であったのに対して、前処理で給餌量の多かった試験区AおよびBの各1個体は試験終了時においても活力は良好であった。この結果はサンプル数が少なく統計処理上は有意とはならなかったものの、試験開始前の給餌量が少ないほど低酸素耐性が低い傾向を示している。さらに、ほぼ同じサイズの*Pinnotheres* spp. が寄生していた2個体では試験開始前の給餌量がより少なかった試験区Cの個体が溶存酸素量 $1.8\text{ml}/\ell$ の時点でへい死したのに対して、その4倍の給餌量であった試験区Aの個体は試験終了時まで生残していたことも給餌量の影響を示唆していると考えられる。試験区Eの無給餌期間がわずか5日間であることを考慮すると、トリガイは餌料不足条件下では比較的短時間に活力が低下することが推測される。

今回の試験では溶存酸素量 $1\text{ml}/\ell$ 以下で約1日間生き続けた個体がある一方、溶存酸素量 $1.8\text{ml}/\ell$ でへい死した個体もあった。このことから、低い餌料濃度が継続して衰弱しているか、内在する疲弊要因がある個体は $2\text{ml}/\ell$ を少し下回る溶存酸素量でへい死することが想像される。橘町地先海域の海底上1m層では $2\text{ml}/\ell$ を下回る低酸素は観測されていないものの、海底面直上では $2\text{ml}/\ell$ を下回る可能性はあり、さらに、当海域の餌料条件や分布するトリガイに寄生物が存在したり、生殖腺が発達したりする等の内在する疲弊要因によっては、 $2\text{ml}/\ell$ を上回る溶存酸素条件下でもへい死することも考えられた。

今回の調査対象海域とは異なるが、図7に山口県周防灘海域の赤潮調査（調査定点は徳山市から小野田市までの沿岸部4定点と宇部市沖の灘中央部の1定点）の1976年から2001年までの26年間のDIN（5月）の推移^{*}を示した。この結果によると、表層のDINは近年、低下傾向にあり、陸上由来のDINの減少を示唆していると考えられる。DINの減少は二枚貝の餌料条件に影響することが考えられ、今後、トリガイを含め二枚貝の分布等を調査する場合、水質環境条件の変遷とそれに伴う餌料条件を重視する必要があると考えられた。

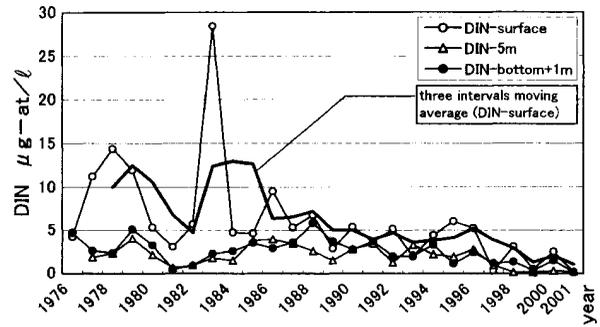


Fig.7. Annual changes of dissolved inorganic nitrogen (DIN) in the coastal waters of Yamaguchi Prefecture in Suo-nada from 1976 to 2001 (Data in May).

図7 山口県周防灘海域におけるDINの推移（5月、全定点平均値）

要 約

山口県大島郡橘町の北部地先海域における夏季のトリガイのへい死原因を解明する研究の一環として、高水温耐性試験および低酸素耐性試験を行った。餌料生物濃度と溶存酸素量が好適な範囲にある条件下では、飼育水温が 30°C になるとへい死する個体が現れることから、 29°C が耐高水温限界であると考えられた。約 $2\text{ml}/\ell$ の低溶存酸素量下では約28時間経過後からへい死個体が見られるようになった。また、摂餌量の少ない個体ほど、低酸素耐性が低い傾向があった。橘町地先海域の調査では夏季の底層水温は最高で 25°C 程度であることから、当海域でのトリガイのへい死原因は高水温だけによるものではなく、餌料濃度および寄生物や生殖腺の発達などの内在する疲弊要因と低酸素環境がへい死に影響することが示唆された。

文 献

- 1) 木村 博・馬場 俊典・檜山 節久・立石 健・多賀 茂 (2000)：平成10年度大島郡橘町地先トリガイ資源・生態調査。山口県内海水産試験場報告第29号，51-78。
- 2) 野上和彦・梅沢 敏・坂口清次・福原 修 (1981)：トリガイ*Fulvia mutica* (REEVE)の酸素消費量と高水温期におけるへい死との関係について。Bull. Nansei Reg. Fish. Res. Lab., (13), 18-28。
- 3) 有馬郷司・大池一臣・梅沢 敏・福原 修 (1989)：母貝集団形成と採苗環境。マリーナランディング計画レポート，(9)，85-93。
- 4) 石居 進 (1975)：生物統計学入門，培風館，東京，pp. 81-83。

* 山口県水産研究センター内海研究部，赤潮調査資料

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

馬場俊典・木村 博・立石 健

Study on Ecology of *Fulvia mutica* and its Resorce Management in the sea off
Northern Ohshima District in Yamaguchi Prefecture-VI
Enviromental features of the habitat

Toshinori BABA, Hiroshi KIMURA, Takeshi TATEISHI

近年、山口県大島郡（八代島）北部海域においてトリガイ *Fulvia mutica* が沈着してからその後夏季に死亡し、資源形成に至らない現象が起きている¹⁾。本研究は、この海域の水質及び底質の環境特性を把握し、トリガイの死亡原因究明の一助とすることを目的として、実施した。

方 法

図1に示す大島郡北部海域の調査定点4において、1998年6月25日から1999年10月21日の間に23回、栄養塩、クロロフィル-a及び植物プランクトン種組成分析用の試水を採水した。また、1998年7月29日から1999年10月21日の間に22回、図1に示す4調査定点において、水温、塩分の垂直分布を観測するとともに、底層水（水深-1m層）の溶存酸素量（dissolved oxygen；以下DOと略）測定のための採水および粒度組成、全硫化物（total sulfide；以下TSと略）、強熱減量（ignition loss；以下ILと略）及び化学的酸素要求量（chemical oxygen demand；以下CODと略）測定のための採泥を実施した。また、図1に示す定点Aの海底上1mに、メモリー式水温塩分溶存酸素計（三洋測器社製 MWQ-III）を設置して、1998年7月31日から9月10日まで、水温、塩分およびDOを連続観測した。観測の時間間隔は30分であった。

栄養塩類等分析用の試水は、北原式採水器（1.3ℓ容）を用いて水深0.5, 5, 底上1mの3深度から採水し、ポリ塩化ビニル製瓶（1ℓ容）に収容した。

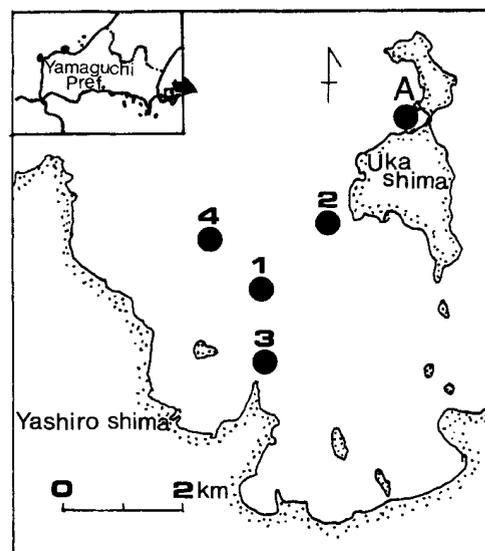


Fig.1. Map showing the sampling stations in the northern Yashiro shima.

図1 調査海域図

その日の内に試水の500mlを速やかに0.45 μmフィルター（ミリポア社製HA）でろ過し、ろ過水は栄養塩量の分析試料、フィルターはクロロフィル量の分析試料とした。また、ろ過しなかった残りの試水は、植物プランクトン検鏡のための試料とした。

栄養塩量は、ろ過した試水中のアンモニア態窒素（NH₄-N）、硝酸態・亜硝酸態窒素（NO₃-N+NO₂-N）、亜硝酸態窒素（NO₂-N）、リン酸態リン（PO₄-P）を日本海洋学会（1979）の方法²⁾に準じて、自動化学分析装置（プラン・ルーベ社製TRAACS-800）を用いて

測定した。そして、測定された溶存無機三態窒素 ($\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{NO}_2\text{-N}$) を合計して溶存無機態窒素 (DIN) とした。

全クロロフィル a (total chlorophyll-a; 以下Tchl-a と略) 量及びクロロフィルの初期分解産物を含むフェオ色素 (pheo-pigment; 以下Pheo-pig と略) 量は、ろ過後のフィルターに吸着されたものについて、吸光光度法³⁾ に準じて分光光度計 (島津製作所製UV-160) を用いて測定した。Tchl-a量はJeffrey&Humphrey (1975) の3点法⁴⁾ で、Pheo-pig量はLorenzenの方法 (1967)⁵⁾ でそれぞれ算出した。生きたクロロフィル a (chlorophyll-a; 以下Chl-a と略) 量はTchl-a量からPheo-pig量を減じて算出した。

植物プランクトン等の種組成は、調査翌日に培養倒立顕微鏡 (ニコン社製TMS) を用いて、試水を1mlずつ3回鏡検し、その平均値を求めた。

水温および塩分の垂直分布の観測は、メモリー式水温塩分計 (アレック電子社製AST1000PK) を用いて、海面から海底まで1m間隔で測定した。

DOの分析は、北原式採水器 (1.3 l 容) を用いて底上1mを採水して現場で固定後、その日の内に研究室に持ち帰りWinklerの滴定法³⁾ を用いて測定した。

採泥は、エクマンバージ型クラブ採泥器 (1/50m²) を用いて行った。採取した泥は、ポリ塩化ビニル製瓶 (250ml容) に収容し、速やかに冷暗室 (< 4℃) に保管した後、1週間以内に分析した。

粒度組成は、篩法によって分析し、粒径64μm未満を泥として泥分率 (%) を算出した。

TSは、検知管法⁶⁾ に準じガス検知管 (ガステック社製) を用いて分析し、乾泥1gあたりの硫化水素量を測定した。

ILは、磁性ルツボに泥をいれて乾泥パーセントを測定した後、600℃、6時間加熱後の減量を測定した。CODは、常法⁶⁾ に従い、過マンガン酸カリウムの消費量から乾泥1gあたりの酸素消費量を求めた。

結 果

DINの経時変化を図2に示した。

表層のDINは0.02~10.88 μg-at/l の範囲で、梅雨 (6月下旬) と秋季 (10~11月) に増加し、夏季 (7~8月) と冬季から春季にかけて減少した。秋季から冬季にかけての減少は緩やかであるが、梅雨から夏季にかけての減少は急激であった。また、最も低かった1999年4月30日と8月24日は0.05 μg-at/l 以下となっ

た。中層のDINはTr. (検出限界以下) ~3.17 μg-at/l の範囲であった。底層のDINは0.20~9.60 μg-at/l の範囲で、1998年と1999年では夏季の傾向が違った。1998年は夏季に増減を激しく繰り返し、初秋 (9月上旬) の増加後は緩やかに減少したが、1999年は梅雨時期から徐々に増加し、初秋に最も増加した後に徐々に減少した。周年を通してみると、秋季に最も増加し、晩春 (4月下旬) に最も減少する傾向がみられた。また、最も低かった1998年7月9日と1999年4月30日でも0.2 μg-at/l あり、最低値は表層のそれより高かった。PO₄-Pの経時変化を図3に示した。

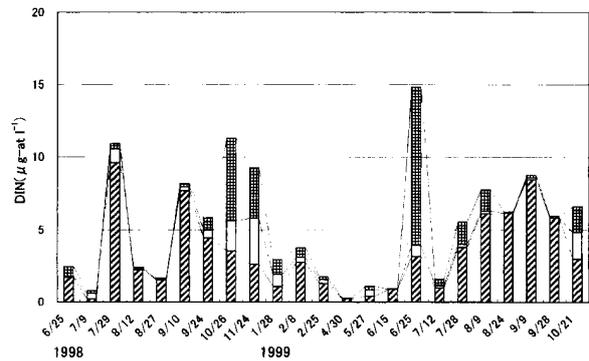


Fig.2. Seasonal change in DIN at 0.5m depth (check bar), 5m depth (open bar) and 1m above the bottom (oblique bar) layer at Stn.4 from June 1998 to October 1999.

図2 調査点4における0.5m層 (格子縞), 5m層 (白抜き) および底上1m層 (斜線) のDINの経時変化

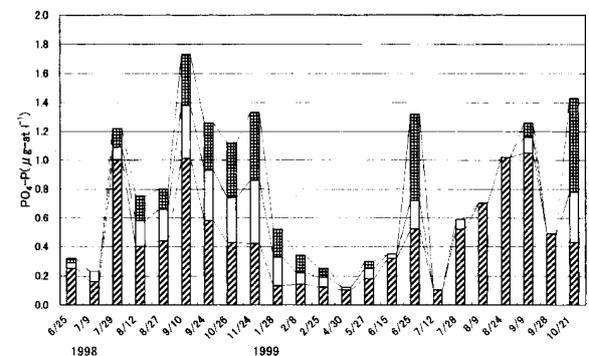


Fig.3. Seasonal change in PO₄-P at 0.5m depth (check bar), 5m depth (open bar) and 1m above the bottom (oblique bar) layer at Stn.4 from June 1998 to October 1999.

図3 調査点4における0.5m層 (格子縞), 5m層 (白抜き) および底上1m層 (斜線) のPO₄-Pの経時変化

表層のPO₄-PはTr.~0.65 μg-at/ℓの範囲で、表層のDINと同様に梅雨時期と秋季に増加し、夏季と冬季から春季にかけて減少した。また、増加後から減少する傾向もDINと同様であり、最も低い時は検出限界以下になっていた。中層のPO₄-PはTr.~0.44 μg-at/ℓの範囲であった。底層のPO₄-Pは0.10~1.05 μg-at/ℓの範囲で、底層のDINと同様な傾向がみられ、梅雨時期から増減を繰り返し、初秋に最も増加した後に徐々に減少し、晩春が最も減少した。また、DINと同様に最も低かった1999年4月30日と1999年7月12日でも0.1 μg-at/ℓあり、最低値は表層のそれより高かった。

DINとPO₄-Pの経時変化はほぼ同じ傾向であったが、表層と底層では明らかに底層の方が高い値を示した。

クロロフィル量を図4に示した。

表層のTchl-a量は0.59~5.82 μg/ℓの範囲で、秋季に最も増加して5 μg/ℓ以上となった。この内、生きたクロロフィルのChl-a量は0~4.66 μg/ℓの範囲で、1999年4月下旬と9月上旬を除きほぼ周年測定され、特に6月と10月が1998年、1999年とも2 μg/ℓ以上の値を示した。クロロフィルの分解産物を含むPheo-pig

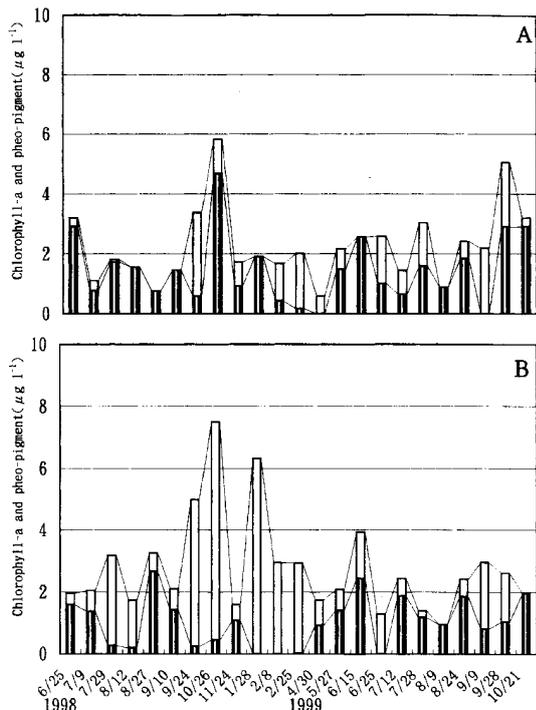


Fig.4. Seasonal changes in chlorophyll-a (stripe bar) and pheo-pigment (open bar) at the upper (A) and the bottom layer (B) at Stn.4 from June 1998 to October 1999.

図4 調査点4におけるクロロフィルaおよびフェオ色素の経時変化(上図:表層, 下図:底層)

量は0~2.78 μg/ℓの範囲で、1998年、1999年とも9月に2 μg/ℓ以上に増加した。

底層のTchl-a量は0.95~7.51 μg/ℓの範囲で、冬季に増加して5 μg/ℓ以上となり、夏季に減少する傾向がみられた。Chl-a量は0~2.65 μg/ℓの範囲で、1998年夏季にかなり減少し、いったん8月下旬に増加するがその後減少し、1999年1月以降1999年2月下旬までの冬季はほとんど測定されなかった。4月から再び測定されはじめ、6月下旬の調査時を除き、10月下旬の調査終了時まで測定された。一方、Pheo-pig量は0~7.05 μg/ℓの範囲で、Chl-a量の少なかった1998年夏季に増加し、また1998年9月下旬から翌年2月下旬の間も増加した。

プランクトンの詳細な種組成を付表に記した。鞭毛藻類と珪藻類のそれぞれについて、種ごとの細胞密度を合計した値の季節変化は図5に示した。

鞭毛藻類の合計細胞密度は、表層で1~69 cells/ml, 5m層で0~51 cells/ml, 底層で0~29 cells/mlの範囲であった。各層とも周年100 cells/ml以下であり、特に底層では最高でも30 cells/ml以下であった。時期とし

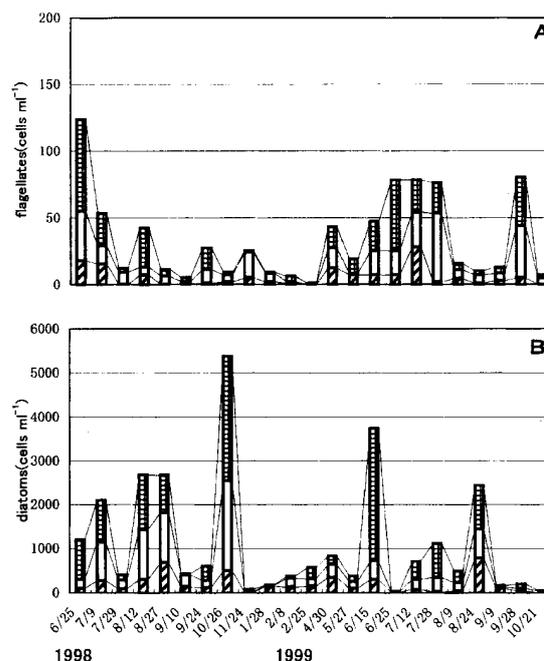


Fig.5. Seasonal changes in flagellates (A) and diatoms (B) cell number at 0.5m depth (check bar), 5m depth (open bar) and 1m above the bottom layer (oblique bar) at Stn.4 from June 1998 to October 1999.

図5 調査点4における0.5m層(格子縞), 5m層(白抜き)および底上1m層(斜線)の鞭毛藻類(上図)と珪藻類(下図)の経時変化

ては、梅雨または秋季に多くみられた。珪藻類については、表層で6~3024cells/ml, 5m層で8~2037cells/ml, 底層で8~774cells/mlの範囲であった。表層では1998年の7月29日を除く夏季と10月26日に、1999年の6月15日と8月24日に1000cells/ml以上の出現があった。底層では、最高で700cells/ml前後で、高い密度は1998年、1999年とも8月下旬にみられた。

Chl-a量について高い値がみられた事例としては、

- ①1998年8月27日, 底層で2.65 $\mu\text{g}/\ell$
 - ②1998年10月26日, 表層で4.66 $\mu\text{g}/\ell$
 - ③1999年6月15日, 表層で2.57, 底層で2.43 $\mu\text{g}/\ell$
 - ④1999年8月24日, 表層で1.85, 底層で1.85 $\mu\text{g}/\ell$
 - ⑤1999年10月21日, 表層で2.90, 底層で1.95 $\mu\text{g}/\ell$
- が挙げられる。

①は、*Chaetoceros* spp.や*Skeletonema costatum*などが出現し、珪藻類合計が680cells/mlと夏季の調査時では最も多かったことによる。②は、*Chaetoceros sociale*を主とした*Chaetoceros* spp.や*Thalassiosira mala*などが出現し、珪藻類合計で2,842cells/mlと多かったことによる。同日の底層においてChl-a量(0.46 $\mu\text{g}/\ell$)よりPheo-pig量(7.05 $\mu\text{g}/\ell$)のほうが多かったのは、出現していたプランクトン数は*Chaetoceros* spp.が448cel/mlと少なかったことに加えて、表・中層で増殖していた珪藻類からの沈降物などが底層に多量にもたらされたことによると推測される。③は、表層、底層とも*Skeletonema costatum*や*Leptocylindrus danicus*や*Rhizosolenia* spp.などが多く出現していたことによる。④は、*Chaetoceros* spp.が多く出現し、また底層では*Thalassiosira mala*なども出現していたことによる。⑤は、数的には優占種として*Chaetoceros* spp.が若干出現していた程度であったが、*Coscinodiscus* spp.などの大型珪藻類も出現していたことによるものと推測される。以上のようにChl-a量と珪藻類の出現数との間にはある程度の相関がみられた。しかし、⑤のようにChl-a量に出現プランクトンの数的なものよりプランクトンの大きさや細胞個々の活性が大きく関わっていることを示唆する結果もあり、この点については検討を要する。

二枚貝類に特異的な有害作用のある^{7), 8)}

*Heterocapsa circularisquama*は、出現していなかった。そのほか、魚介類に対する有害作用の強い赤潮プランクトンの最高密度は、*Heterosigma akashiwo*が12cells/ml, *Chattonella antiqua*が2 cells/ml, *Chattonella marina*が0.33cells/ml, *Gymnodinium*

*mikimotoi*が19cells/mlであって、トリガイの生息にとって問題のない低い密度であった。

底層水のDO値と底泥TS値の経時変化は図6に示した。底層水のDO値は4.8~8.9ppmで、1月から4月までの冬季は8.7ppm以上と高く、7月下旬から9月までの夏季は5.0ppm以下と低くなった。水産用水基準(1995)⁹⁾で述べている内湾漁場の夏季底層における底生生物の生息のため最低限維持しなければならない臨界濃度値の4.3ppm以下には夏季でもなっていなかった。

底泥のTS値は0.228~0.414mg/g乾泥で、1998年9月24日と1999年9月28日を除くと概ね0.30~0.36mg/g

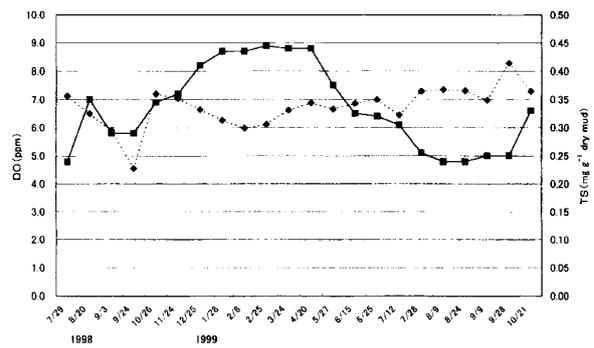


Fig.6. Seasonal changes in the mean dissolved oxygen (square) at 1m above the bottom layer and the mean total sulfide (diamond) in bottom materials of 4 stations from July 1998 to October 1999.

図6 底上1mの溶存酸素量(四角印)と底泥中(菱形印)の全硫化物の経時変化(調査4定点の平均値)

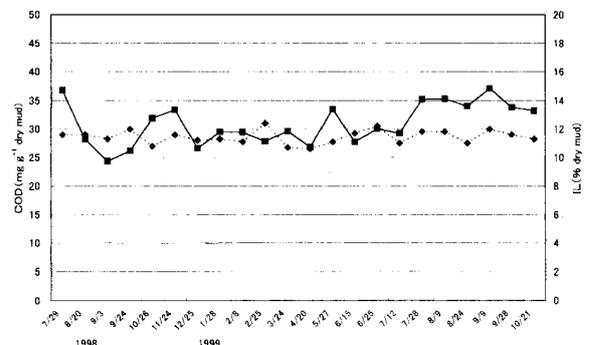


Fig.7. Seasonal changes in the mean chemical oxygen demand (square) and the mean ignition loss (diamond) in bottom materials of 4 stations from July 1998 to October 1999.

図7 底泥中の化学的酸素要求量(四角印)と強熱減量(菱形印)の経時変化(調査4定点の平均値)

乾泥の間で推移し、冬季がやや低く、夏季がやや高い傾向がうかがえた。一般的に底層水のDO値が高い時は底泥のTS値が低く、DO値が低い時はTS値が高い傾向があり、今回も同様の傾向が得られた。しかし、先の水産用水基準で述べた底層DO臨界濃度値から解析した東京湾以西の夏季の底質正常基準値0.2mg/g乾泥より周年高い値となっていた。

底泥のCOD値とIL値の経時変化は図7に示した。COD値は24.3~37.1mg/g乾泥で、1999年夏季(7月下旬~9月)はやや高い傾向を示したが、概ね25.0~35.0mg/g乾泥の間で推移した。しかし、TS値と同様に夏季底層DO臨界濃度値から解析した東京湾以西の夏季の底質正常基準値20.0mg/g乾泥より周年高い値となっていた。

IL値は10.6~12.4%で変動し、季節的な変化および特徴的な傾向はみられなかった。

底泥の粒度組成は、粒径63 μ m未満が99.32%(98.7~99.6%)を占めており、著しく泥分率の高い海域で

あった。年間を通じて、泥分率の変動はほとんどなく、潮流に運ばれてきた物質が沈降する海域であることが示唆された。

水温と塩分の垂直分布については、調査定点間の違いがほとんどなかったため、代表として定点1における観測結果を選び、水温は図8に、塩分は図9に示した。表層水温と底層水温の差は、10月から3月までの間はほぼ1 $^{\circ}$ C以内であった。4月には1 $^{\circ}$ Cを越え、6月から9月の間は2~4 $^{\circ}$ Cの差がみられ、成層の発達が見られた。表層塩分と底層塩分の差は、10月から4月までの間はほぼ1以内であった。5月から9月の間に差は1~3に拡大する傾向があるが、調査回次ごとの変動が大きかった。水温と塩分が同じ水深帯で急速に変化する現象は、4月、9月および10月でみられた。いずれも底層水の塩分が高く、河川水の影響を受けた水塊が表層を覆ったものとみられた。これらの水温・塩分双方についての躍層は次の調査時には消失していたので、長くとも2~4週間以内で消失することがわ

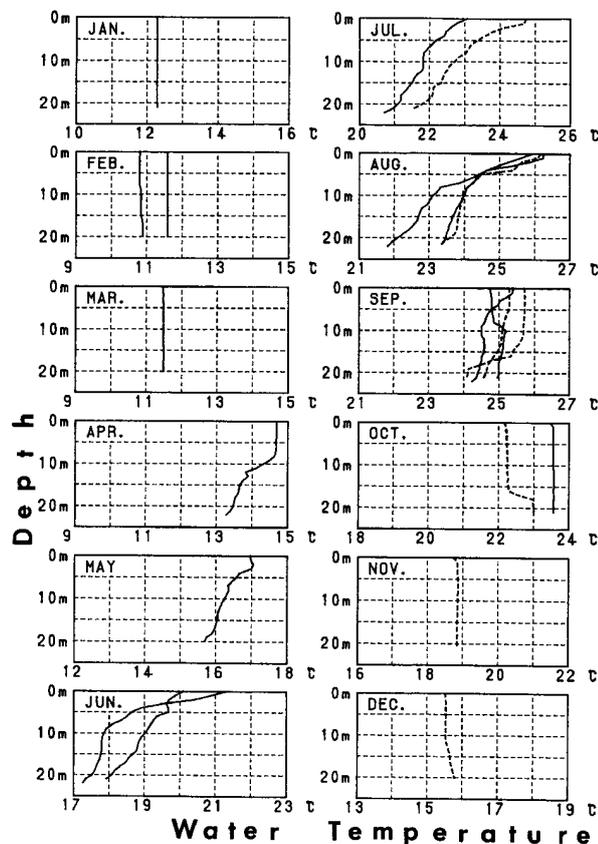


Fig.8. Vertical profiles of water temperature at Stn.1 from July 1998 to October 1999. (a broken line ; 1998, a solid line ; 1999)

図8 調査点1における各調査時の水温の鉛直分布 (破線; 1998, 実線; 1999)

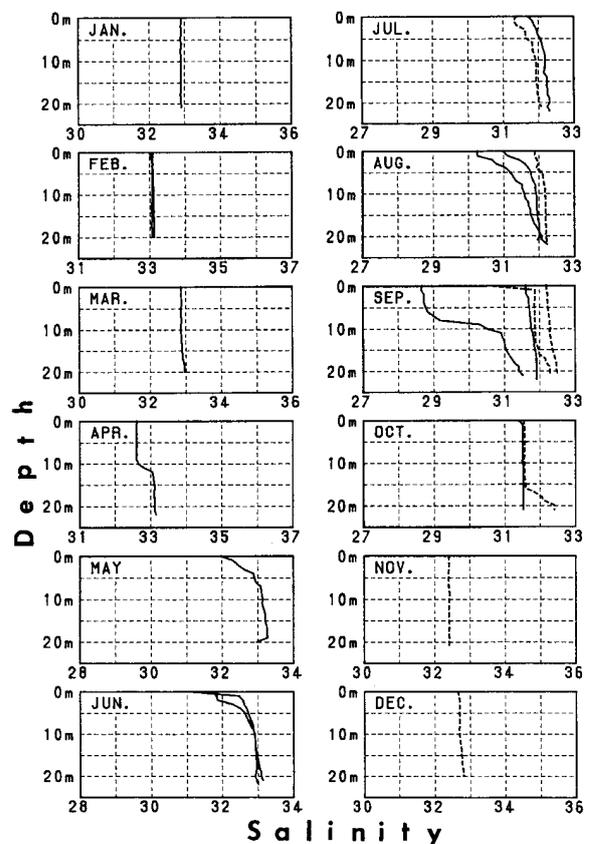


Fig.9. Vertical profiles of salinity at Stn.1 from July 1998 to October 1999. (a broken line ; 1998, a solid line ; 1999)

図9 調査点1における各調査時の塩分の鉛直分布 (破線; 1998, 実線; 1999)

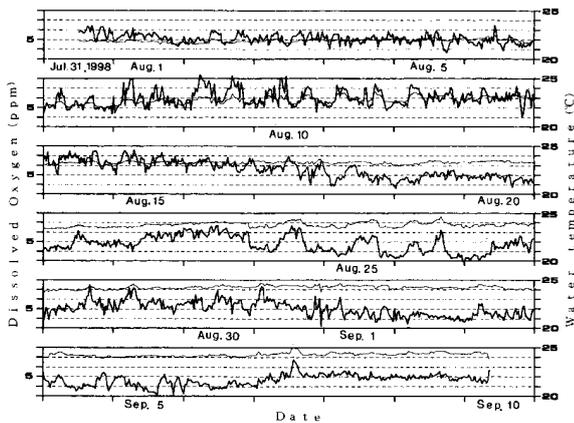


Fig.10. Records of dissolved oxygen (a big line) and water temperature (a small line) at 1m above the bottom layer at Stn.A from July 31,1998 to September 10,1998 obtained by memory type DO-thermister.

図10 1998年7月31日から9月10日までの調査点Aにおける底層の溶存酸素量と水温の連続観測結果(太実線;溶存酸素量,細実線;水温)

かった。また、6月を除いた各月で、表層と底層の塩分の差が1以下である観測結果が少なくとも1回は得られており、上下の水塊の混合が比較的速やかであることが示唆された。

底層水温、塩分およびDOの連続観測の結果のうち水温とDO値について図10に示した。水温は、8月上旬には22℃台であったが、中旬には23℃台となり、8月23日から観測終了日の9月10日まで24℃台が続いた。最高水温は、8月26日の24.68℃であった。DO値は、8月16日までは4ppm以上で推移したが、8月17日から9月6日の間は、3ppm台となることがしばしばみられた。8月26日夜間から27日未明にかけては、3ppm台が約10時間継続したが、そのほかの場合は3ppm台の継続時間は1時間程度であった。観測されたDOの最低値は8月27日の3.40ppmであった。また、塩分の最低値は34.54であった。

考 察

この海域の栄養塩量の特徴は、表層は梅雨や秋雨などによって栄養塩が供給される一方、珪藻類の増殖によって消費されるため、時には栄養塩がほとんどない状況にもなり、変動が激しいことである。それに対して底層は、梅雨後から徐々に栄養塩が増加して秋季以降減少して春季に最も低くなる傾向を示すが、表層のような栄養塩の枯渇状況にまではならない。

1999年10月21日調査時のようにChl-a量には、植物プランクトンの細胞数よりもプランクトンの大きさや細胞個々のChl-a量の方が大きく影響することを示唆する結果もあるが、Chl-a量と珪藻類細胞数とはある程度の相関がみられるので、植物プランクトン量の指標としてChl-aを用いることは妥当と考える。また、珪藻類が多数出現したときに底層でPheo-pig量が増大したことから、Pheo-pig量は増殖した珪藻類の残骸に含まれていたことが考えられる。

Tchl-a量は、表層では珪藻類の増減により栄養塩同様に変動が激しく、Tchl-a量中の生きたChl-a量と分解産物を含むPheo-pig量の占める割合はほぼ均衡していた。これに対して底層は、夏季に減少して晩秋に最も増加するが、秋季から冬季のTchl-a量中のほとんどがPheo-pig量で占められていた。

底層のChl-a量は周年低く、 $2 \mu\text{g}/\ell$ を越えたのは、22回の調査の内、2回だけであった。トリガイが植物プランクトンを主食としているとすれば、餌料が不足していた可能性がある。Tchl-a量を見ると春から夏は少ないが、9月から2月の間には高い値がしばしばみられる。トリガイが植物プランクトンなどの分解産物を餌として利用できれば、秋から冬は餌料不足の問題は少ないであろうと考えられる。

底質状況は、底層水のDOは底生生物の生息に影響を与えるほど低下することはなかったものの、水産用水基準の基準値などで検討すると底生生物にとって良い環境とは言い難い。水温による成層は発達するものの、塩分の成層が比較的短期間で崩壊していることから、夏季にも海水の循環があったものと考えられる。一方、底泥の泥分率が著しく高く、かつ安定していることから、日良居地先は潮流が緩慢で、周辺から浮遊してきた物質が沈降する渦流域の中心か、残差流などの流れの弱い海域と推測される。

今回得られた調査結果と檜山¹⁰⁾がとりまとめたトリガイ生息海域の環境とを比較してみる。日良居地先では底層水温は最高24.68℃が観測され、大島郡北部海域で得られた23℃¹¹⁾を上回ったが、宮津湾における25℃¹²⁾には達していなかった。泥分率は平均値が99.32%と高いものの、100%までが生息環境とされているので、生息に不適な値とは考えられない。IL値は、10.8~12.4%であって、生息環境の3.6~26.0%に含まれている。COD値は24.3~37.1mg/g乾泥であって、生息環境とされる6.9~34.4mg/g乾泥を若干上回った値がみられた。COD、TSで水産用水基準にある底層DO臨界

濃度値から解析した東京湾以西の夏季の底質正常基準値を超えた値がみられたが、局所的かつ一時的に出現した高い値であるのでトリガイの生息にとって悪影響を与えているとは必ずしも言えない。

海水交換の停滞、高水温、低塩分などによる躍層の発達などによりDOが臨界濃度値以下に低下し、トリガイに悪影響を与える恐れのある海域であるが、今回の調査ではトリガイを死亡させる具体的な要因は検出できなかったと考えられる。もし、環境要因によってトリガイが死亡しているとすれば、それは例えば、高水温と酸素量の低下などのように環境因子が複合的に作用している場合であると考えられる。

文 献

- 1) 木村 博・檜山節久 (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 - II トリガイ資源の消長. 本誌, 5-10.
- 2) 日本海洋学会 (1979) : 海洋環境調査法. 恒星社厚生閣, 東京, 666pp.
- 3) 日本気象協会 (1990) : 海洋観測指針. 気象庁 (編), 428pp.
- 4) Jeffrey, S.W and G.F.Humphrey (1975) : Biochem. Physiol. Pflanzen, **167**, 191.
- 5) Lorenzen, C.J. (1967) : Determination of chlorophyll and phaeo-pigments: spectrophotometric equations. *Limnol. Oceanogr.*, **12**, 343.
- 6) 日本水産資源保護協会 (1980) : 水質汚濁調査指針. 恒星社厚生閣, 東京, 552pp.
- 7) 山本千裕・田中義興 (1990) : 福岡湾で発生した2種類の有害赤潮プランクトンについて. 福岡水試研究報告No.16, 43-44.
- 8) Horiguchi, T. (1995) : *Heterocapsa circularisquama* sp.nov. (Peridinales, Dinophyceae) : A new marine dinoflagellate causing mass mortality of bivalves in Japan. *Phycol. Res.*, **43**, 129-136.
- 9) 日本水産資源保護協会 (1980) : 水産用水基準 (1995年版), 68pp.
- 10) 檜山節久 (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 - I 既往文献の整理と問題の所在. 本誌, 1-3.
- 11) 尾串好隆・立石健・檜山節久・原健一 (1971) : トリガイ資源生態調査. 山口内海水試報告No.2, 34-47.
- 12) 岩尾敦志・藤原正夢・藤田真吾 (1993) : トリガイ繁殖に関する研究 - 1. 京都海洋センター研究報告NO.16, 28-34.

Table 1-1 All plankotns at st.4 from 25 Jun. to 10 Sep. 1998. (cells ml^{-1})

付表1-1 調査定点4における1998年6月25日から9月10日までのプランクトン種組成 (cells ml^{-1})

species name depth(m)	25-Jun			9-Jul			29-Jul			12-Aug			27-Aug			10-Sep					
	0.5	5	Bottom-1	0.5	5	Bottom-1	0.5	5	Bottom-1	0.5	5	Bottom-1	0.5	5	Bottom-1	0.5	5	Bottom-1			
<i>Heterosigma akashiwo</i>	1.33	0.33																			
<i>Chattonella antiqua</i>	0.33																				
<i>Chattonella marina</i>							1														
<i>Chattonella sp. (type globosity)</i>	2	2	1	0.33	2	2		1													
<i>Gymnodinium mikimotoi</i>		0.33									19	1	7						1		
<i>Gymnodinium breve</i>	1	1		1	0.33	0.33				1	1								1		
<i>Gyrodinium spp.</i>	3	1	1	2	2	2		1	3		5	2		2	2				1		
<i>Katodinium sp.</i>																			0.1		
<i>Heterocapsa sp.</i>																					
<i>Prorocentrum triestinum</i>		2		18	4	2									1						
<i>Prorocentrum dentatum</i>	48	20	12			2		1													
<i>Prorocentrum sigmoides</i>														1							
<i>Prorocentrum micans</i>																					
<i>Ceratium furca</i>				1	1	2															
<i>Ceratium fusus</i>									3						2						
<i>Ceratium sp.</i>																			2		
<i>Scrippsiella sp.</i>	1	2	2	1	1	1				1	1			1							
<i>Peridinium sp.</i>	2								1		1			1							
<i>Protoperdinium sp.</i>						1															
<i>Gonyaulax sp.</i>		2	1			2									1						
<i>Noctiluca scintillans</i>				1	2						1										
<i>Eutreptiella sp.</i>																					
<i>Dictyocha sp.</i>	9	6	1						1												
<i>Ebrii sp.</i>	1																				
Total flagellates	68.66	36.66	18	24.33	13.33	15.33		3	9	0	29	6	7	5	6	0.1		3	2	0	
<i>Skeletonema costatum</i>	8			190	120			14	16		32	12	12	64	160	260				16	
<i>Thalassiosira mala</i>						30														150	50
<i>Thalassiosira diporocyclus</i>																					
<i>Thalassiosira spp.</i>	2	2	6					1	1	1				1	2	8			1	1	
<i>Detonula pumila</i>																				8	12
<i>Leptocylindrus danicus</i>	12		9	90	80	80		8		4											
<i>Minidiscus trioculatus</i>																					
<i>Stephanopyxis sp.</i>														8						6	
<i>Coscinodiscus spp.</i>	1	1	1					2	3	25											
<i>Asteromphalus sp.</i>																					
<i>Actinopterychus sp.</i>																					
<i>Rhizosolenia spp.</i>				38	80	70		10	11	22	116	60	8		8	4		4	8	20	
<i>Guinardia flaccida</i>									48										4	6	6
<i>Eucampia zodiacus</i>																					
<i>Hemiaulus sp.</i>																					
<i>Chaetoceros sociale</i>																					
<i>Chaetoceros sp.</i>	830	190	50	600	570	64		79	96	27	1020	1020	260	770	960	380		12	82	12	
<i>Ditylum sp.</i>																					
<i>Thalassionema sp.</i>																				18	6
<i>Nitzschia spp.</i>	30	10	35	30	30	18		3	2	20	64	48	12	4	4	4		6	12	8	
<i>Cylindrotheca closterium</i>								4	2												
<i>Navicula sp.</i>																					
<i>Pleurosigma spp.</i>						1															2
Total diatoms	883	203	101	948	880	264		121	179	99	1232	1140	293	846	1134	680		23	271	132	
<i>Mesodinium rubrum</i>													1							2	
<i>Ciliata spp.</i>																					
Other zooplankton								8	4	3	3										
Small flagellates	R	RR	RR	R	R	R			12	5	R	RR	RR	R	R	RR		8	6	5	

Table 1-2 All plankotns at st.4 from 24 Sep.1998 to 8 Feb. 1999. (cells ml^{-1})

付表1-2 調査定点4における1998年9月24日から1999年2月8日までのプランクトン種組成 (cells ml^{-1})

species name depth(m)	24-Sep			26-Oct			24-Nov			25-Dec			28-Jan			8-Feb					
	0.5	5	Bottom-1	0.5	5	Bottom-1	0.5	5	Bottom-1	0.5	5	Bottom-1	0.5	5	Bottom-1	0.5	5	Bottom-1			
<i>Heterosigma akashiwo</i>																					
<i>Chattonella antiqua</i>										12	2										
<i>Chattonella marina</i>																					
<i>Chattonella sp. (type globosity)</i>																					
<i>Gymnodinium mikimotoi</i>																					
<i>Gymnodinium breve</i>																					
<i>Gyrodinium spp.</i>	10	6	1	1	2	1		1	5	3				1	3	2		2	1	1	
<i>Katodinium sp.</i>																					
<i>Heterocapsa sp.</i>																					
<i>Prorocentrum triestinum</i>																					
<i>Prorocentrum dentatum</i>																2					
<i>Prorocentrum sigmoides</i>	3																				
<i>Prorocentrum micans</i>																					
<i>Ceratium furca</i>																					
<i>Ceratium fusus</i>																					
<i>Ceratium sp.</i>																					
<i>Scrippsiella sp.</i>										1											
<i>Peridinium sp.</i>	1	4																			
<i>Protoperdinium sp.</i>				1	1	1					1				1						
<i>Gonyaulax sp.</i>	1					1														1	
<i>Noctiluca scintillans</i>																				1	
<i>Eutreptiella sp.</i>																					
<i>Dictyocha sp.</i>																					
<i>Ebrii sp.</i>	1																				
Total flagellates	16	10	1	2	5	2		1	19	5	1	0	0	1	6	2		4	1	1	
<i>Skeletonema costatum</i>								18													
<i>Thalassiosira mala</i>	200	40	40	420								48	80								
<i>Thalassiosira diporocyclus</i>											29.7	37.1	32.7					0.3			
<i>Thalassiosira spp.</i>	8		8			2	2			2	1									6	
<i>Detonula pumila</i>											96	36	32						9		48
<i>Leptocylindrus danicus</i>																					
<i>Minidiscus trioculatus</i>																					
<i>Stephanopyxis sp.</i>					42				2											21	
<i>Coscinodiscus spp.</i>	12	7	37	2	4	40		10	4	5						2				1	35
<i>Asteromphalus sp.</i>																					
<i>Actinopterychus sp.</i>																					
<i>Rhizosolenia spp.</i>		8		2	4						22	2	6						3		1
<i>Guinardia flaccida</i>																			1		
<i>Eucampia zodiacus</i>																					
<i>Hemiaulus sp.</i>																					
<i>Chaetoceros sociale</i>				860	180															108	
<i>Chaetoceros sp.</i>	90	70	18	1530	1790	448					768	36	48	8	16			30	20	18	
<i>Ditylum sp.</i>											2										
<i>Thalassionema sp.</i>																					
<i>Nitzschia spp.</i>	12	6		8	15			20	10	6				12			1	2	8	60	18
<i>Cylindrotheca closterium</i>																					
<i>Navicula sp.</i>																					
<i>Pleurosigma spp.</i>	1	8	12			1			2		2		3	1		7					4
Total diatoms	323	157	115	2842	2037	491		48	20	13	919.7	159.1	215.7	10	17	150.3		52	189	130	
<i>Mesodinium rubrum</i>								2												1	
<i>Ciliata spp.</i>	3																				

Table 1-3 All plankotns at st.4 from 25 Feb. to 12 Jul. 1999. (cells ml^{-1})

付表1-3 調査定点4における1999年2月25日から7月12日までのプランクトン種組成 (cells ml^{-1})

species name	date			25-Feb			30-Apr			27-May			15-Jun			25-Jun			12-Jul		
	depth(m)	0.5	5	Bottom-1																	
<i>Heterosigma akashiwo</i>																					
<i>Chattonella antiqua</i>																					
<i>Chattonella marina</i>																					
<i>Chattonella</i> sp. (type globosity)																					
<i>Gymnodinium mikimotoi</i>																					
<i>Gymnodinium breve</i>																					
<i>Gyrodinium</i> spp.																					
<i>Katodinium</i> sp.																					
<i>Heterocapsa</i> sp.																					
<i>Prorocentrum triestinum</i>																					
<i>Prorocentrum dentatum</i>																					
<i>Prorocentrum sigmoides</i>																					
<i>Prorocentrum micans</i>																					
<i>Ceratium furca</i>																					
<i>Ceratium fusus</i>																					
<i>Ceratium</i> sp.																					
<i>Scrippsiella</i> sp.																					
<i>Peridinium</i> sp.																					
<i>Protoperidinium</i> sp.																					
<i>Gonyaulax</i> sp.																					
<i>Noctiluca scintillans</i>																					
<i>Eutreptiella</i> sp.																					
<i>Dictyocha</i> sp.																					
<i>Ebria</i> sp.																					
Total flagellates																					
<i>Skeletonema costatum</i>																					
<i>Thalassiosira mala</i>																					
<i>Thalassiosira diporocyclus</i>																					
<i>Thalassiosira</i> spp.																					
<i>Detonula pumila</i>																					
<i>Leptocylindrus danicus</i>																					
<i>Mnidosicus trioculatus</i>																					
<i>Stephanopyxis</i> sp.																					
<i>Coccolodiscus</i> spp.																					
<i>Asteromphalus</i> sp.																					
<i>Actinocyclus</i> sp.																					
<i>Rhizosolenia</i> spp.																					
<i>Guinardia flaccida</i>																					
<i>Eucampia zodiacus</i>																					
<i>Hemiaulus</i> sp.																					
<i>Chaetoceros sociale</i>																					
<i>Chaetoceros</i> sp.																					
<i>Ditylum</i> sp.																					
<i>Thalassionema</i> sp.																					
<i>Nitzschia</i> spp.																					
<i>Cylindrotheca closterium</i>																					
<i>Navicula</i> sp.																					
<i>Pleurosigma</i> spp.																					
Total diatoms																					
<i>Mesodinium rubrum</i>																					
<i>Ciliata</i> spp.																					
Other zooplankton																					
Small flagellates																					

Table 1-4 All plankotns at st.4 from 28 Jul. to 21 Oct. 1999. (cells ml^{-1})

付表1-4 調査定点4における1999年7月28日から10月21日までのプランクトン種組成 (cells ml^{-1})

species name	date			28-Jul			9-Aug			24-Aug			9-Sep			28-Sep			21-Oct		
	depth(m)	0.5	5	Bottom-1																	
<i>Heterosigma akashiwo</i>																					
<i>Chattonella antiqua</i>																					
<i>Chattonella marina</i>																					
<i>Chattonella</i> sp. (type globosity)																					
<i>Gymnodinium mikimotoi</i>																					
<i>Gymnodinium breve</i>																					
<i>Gyrodinium</i> spp.																					
<i>Katodinium</i> sp.																					
<i>Heterocapsa</i> sp.																					
<i>Prorocentrum triestinum</i>																					
<i>Prorocentrum dentatum</i>																					
<i>Prorocentrum sigmoides</i>																					
<i>Prorocentrum micans</i>																					
<i>Ceratium furca</i>																					
<i>Ceratium fusus</i>																					
<i>Ceratium</i> sp.																					
<i>Scrippsiella</i> sp.																					
<i>Peridinium</i> sp.																					
<i>Protoperidinium</i> sp.																					
<i>Gonyaulax</i> sp.																					
<i>Noctiluca scintillans</i>																					
<i>Eutreptiella</i> sp.																					
<i>Dictyocha</i> sp.																					
<i>Ebria</i> sp.																					
Total flagellates																					
<i>Skeletonema costatum</i>																					
<i>Thalassiosira mala</i>																					
<i>Thalassiosira diporocyclus</i>																					
<i>Thalassiosira</i> spp.																					
<i>Detonula pumila</i>																					
<i>Leptocylindrus danicus</i>																					
<i>Mnidosicus trioculatus</i>																					
<i>Stephanopyxis</i> sp.																					
<i>Coccolodiscus</i> spp.																					
<i>Asteromphalus</i> sp.																					
<i>Actinocyclus</i> sp.																					
<i>Rhizosolenia</i> spp.																					
<i>Guinardia flaccida</i>																					
<i>Eucampia zodiacus</i>																					
<i>Hemiaulus</i> sp.																					
<i>Chaetoceros sociale</i>																					
<i>Chaetoceros</i> sp.																					
<i>Ditylum</i> sp.																					
<i>Thalassionema</i> sp.																					
<i>Nitzschia</i> spp.																					
<i>Cylindrotheca closterium</i>																					
<i>Navicula</i> sp.																					
<i>Pleurosigma</i> spp.																					
Total diatoms																					
<i>Mesodinium rubrum</i>																					
<i>Ciliata</i> spp.																					
Other zooplankton																					
Small flagellates																					

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

木村 博, 檜山節久, 松野 進, 馬場俊典, 高見東洋, 立石 健

Studies on Ecology of *Fulvia mutica* and its Resource Management in
the Coastal waters off Northern Ohsima District in Yamaguchi Prefecture-VII
On Cause in Which *Fulvia mutica* Dies and Resource Management of the Shell

Hiroshi KIMURA, Setsuhisa HIYAMA, Susumu MATSUNO, Toshinori BABA,
Tohyoh TAKAMI and Takeshi TATEISHI

Resource of *Fulvia mutica* which consisted of autumn-born population perished by next October in the sea off Hirai which locates northern Ohsima district in Yamaguchi prefecture. A series of studies on change in population, cultivation in suspending receptacle, observation of gonadal maturation, chemical analysis of sea water and mud, tolerance against several conditions were carried out to clarify the reason in which the shells die. Authors discussed with result of the studies and came to a hypothesis on the mechanism in which the shells die, and propose the methods for management of the resource.

The factors which seemed to cause dying of the shell, such as high water temperature, low dissolved oxygen concentration, blooming of harmful phytoplankton, existence of parasite were not observed. In comparison using ratio of meat weight to calculated meat weight by relational expression of shell length with meat weight (RCW), the shells collected off Hirai were thin with the shells collected from several coastal areas in Japan where the shells survived till the next rising season. And also the shells were thin in comparison with the shells collected from the coastal areas in Yamaguchi prefecture in the years when the annual catch of the shell was abundant. The concentration of chlorophyll-a and pheo-pigment showed possibility that the supply of the foods for the shell was insufficient in the sea off Hirai.

Authors considered that the shell died by starvation in case of food supply being insufficient, because gonad of the shell uses energy or nutriment prior to basal metabolism for reproduction in spawning season after one year old.

As the methods for managing the resource, 1. thorough catch of the shell in May, 2. cultivation of collected shells within two months, 3. removing starfishes, were proposed.

Authors indicate that productivity of the Suoh-nada (a western part of the Seto Inland Sea) is going down passing the best time till 1987.

Key words : *Fulvia mutica* ; resource ; productivity ; Suohnada

山口県大島郡日良居地先のトリガイ、*Fulvia mutica*資源は、秋生まれ群と春生まれ群から構成されているが、春生まれ群はきわめて少数なため、資源は実質的に秋生まれ群で構成されている。しかし、秋生まれ群は翌年の夏から秋にかけて逐次死亡して、満1歳以降生残する個体がないことがわかった¹⁾。筆者らは、トリガイが死亡する原因について、生息環境の面とトリガイの生理的な面を同時に観察することによって解明を試みてきた。ここでは、一連の研究で得られた知見を既往の知見と重ね合わせて解析して、トリガイ死亡のメカニズムについて考察する。さらに、当該海域への資源加入機構と合理的な資源利用方法ならびに近年の資源動向について考察する。

材料および方法

大島郡日良居地先において1998年6月25日から1999年10月21日の間に延べ22回、前報²⁾に述べたような水質および底質に関する調査を実施した。これらの水質および底質環境に関する測定結果をトリガイが1年以上生存することのできる海域のものと比較することにより、死亡原因の検出を試みた。京都府宮津湾では、夏から秋にかけてトリガイが生残する^{3), 4)}ので、宮津湾のトリガイ漁場における水温、塩分およびクロロフィルaなどの環境⁵⁾について比較を行った。一方、トリガイが死亡した事例として、1976年に釜灘で発生した貧酸素水塊に関する水温や溶存酸素量の報告^{6), 7)}との比較を行った。また、水温とトリガイの酸素消費量の関係からトリガイの死亡条件を推定した野上ら⁸⁾、およびトリガイの高水温耐性について明らかにした松野ら⁹⁾を参考に検討した。

日良居地先のトリガイは、肥満度が著しく低下して死亡するという特徴があった¹⁾ので、他海域のトリガイと肥満度を比較した。肥満度としては殻長の異なる個体間での比較に適した計算体重比肥満度(RCW肥満度と呼ぶ)^{1) *1)}を用いた。RCW肥満度を求めるにあたっては、1998年9月から1999年10月の間に日良居地先で行った貝桁網試験操業で得たトリガイの殻長-軟体重量関係式¹⁾を使用した。比較対象には、日良居地先で採集したトリガイを下松市笠戸湾において垂下

式籠飼育した

①笠戸湾飼育トリガイ(1999年)¹⁰⁾

および前述のRCW肥満度が計算できる次の事例を選定した。

②宮津湾(1985年)¹¹⁾

③宮津湾養殖トリガイ(1989~1990年)¹²⁾

④東京湾(1989~1991年)¹³⁾

⑤五島灘(1968年)¹⁴⁾

⑥広島湾(1976, 1980年)⁸⁾

RCW肥満度は本文中の殻長-軟体重量関係式、月別平均殻長、肥満度(軟体重量/殻長³⁾)から計算した。②は平均殻長が不明であったので、同じ宮津湾で測定された月別平均殻長(1980~1981年)⁴⁾を当てはめた。⑤には秋生まれ群が特定できる5月の殻長組成図から読みとったモードを用いた。⑥は本文中の測定値から直接に計算した。

山口県瀬戸内海で漁獲されたトリガイについても、RCW肥満度の求められる事例を収集した。収集した事例は次のとおりであった。

⑦佐波島南(1952~1954年)¹⁵⁾

⑧大島郡北部海域(1970~1971年)¹⁶⁾

⑨秋穂町~岩国市沖(1979~1980年)¹⁷⁾

⑩光市沖(1991年)¹⁸⁾

RCW肥満度は本文中の殻長-軟体重量関係式もしくは殻長-軟体重関係曲線図、月別平均殻長、肥満度(軟体重量/殻長³⁾)から計算した。⑧および⑨は殻長組成図から読みとった平均殻長を使用した。計算された値は、日良居地先のトリガイのものと比較するとともに、RCW肥満度とそれを測定した年のトリガイ生産量^{*2)}の関係について検討した。

内野らはトリガイを捕食する生物として、スナヒトデ*Luidia quinaria*、ヒトデ*Asterias amurensis*、モミジガイ*Astropecten scoparius*¹⁹⁾およびイシガニ*Charybdis japonica*、シャコ*Squilla oratoria*、マダコ*Octopus vulgaris*、クロダイ*Acanthopagrus schlegeli*²⁰⁾をあげ、トリガイの中間育成²¹⁾や種苗放流²²⁾においても害敵生物の排除が有効であるとしている。日良居地先における貝桁網試験操業でもヒトデ類が大量に採集されているので、捕食圧^{20) *3)}を計算して宮津湾におけ

*1) $RCW肥満度 = \frac{\text{実測軟体重量}}{\text{計算軟体重量}}$
 $\text{計算軟体重量} = a \times SL^b$ SL: 殻長

RCW: Ratio of meat Weight to Calculated meat Weight

*2) 中国四国農政局山口統計事務所編、発行、山口農林水産統計年報 水産編

*3) 捕食圧 = $1 \times A + 0.4 \times B$

A, Bはそれぞれ一曳網あたりスナヒトデおよびヒトデ採集個体数

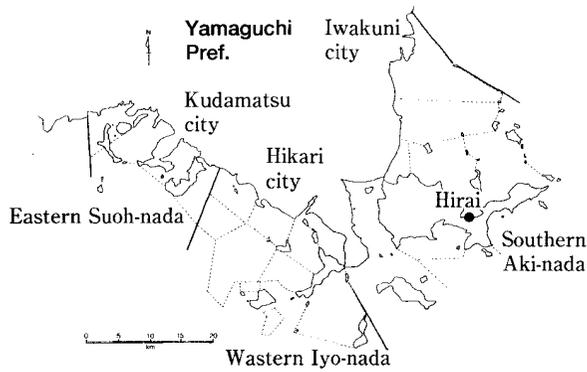


Fig.1. Division of the coastal waters along eastern Yamaguchi prefecture in the Seto Inland Sea for evaluation of the resources of *Fulvia mutica*. Broken lines show the area research for resources were carried out.

る捕食圧との比較を行った。また、大島郡周辺海域および岩国市沖海域においてトリガイ等の資源調査を実施した報告^{17), 23) -34)}からトリガイとヒトデ類の1曳網あたり採集個体数の経年変化を把握した。なお、この報告では、この海域を「安芸灘南部」と呼ぶことにする。また、熊毛郡長島周辺から光市沖の海域を「伊予灘西部」、下松市から新南陽市沖の海域を「周防灘東部」と呼ぶこととする(図1)。

山口県周防灘東部、伊予灘西部、安芸灘南部を対象として実施した貝桁網によるトリガイ等の資源調査報告は、前述のトリガイとヒトデ類の採集個体数について記載のあるもののほか、トリガイ採集個体数についての記載に限定すればさらに多数の報告^{35) -31)}がある。これらの試験操業によって採集されたトリガイの単位曳網時間あたり個体数について、海域間相互の相関ならびに全海域についての単位曳網時間あたり採集個体数と山口農林水産統計年報のトリガイ生産量との相関について調べた。

単位曳網時間あたりトリガイ採集個体数についての海域間相互の相関は、山口県周防灘東部、伊予灘西部、安芸灘南部および日良居地先の4海域について検討した。トリガイ資源の増大していた時代から減少した時代へと経年的な変化があったこと、採集個体数の年変動が非常に激しいことなどを考慮して、単位曳網時間あたり採集個体数について直に相関係数を計算したほか、3項移動平均値からの偏差についての相関係数およびSpearmanの順位相関係数を計算した。なお、3項移動平均値を求めるにあたっては、トリガイ採集個体数データの欠如した年は除いて、データのある年の

みを時系列的に配列して連続したデータを作成した。

貝桁網試験操業によって得られた単位曳網時間あたりトリガイ採集個体数と山口農林統計との関係は相関係数によって検討した。

結 果

日良居地先における底層(水深-1m)水温の最低値は、1999年2月25日の11.0℃、最高水温は1998年9月3日の25.4℃、1999年は9月28日の25.2℃であった。底層(水深-1m)溶存酸素量の最高は、1999年2月25日の8.9ppm、最低値は1998年7月29日の4.8ppm、1999年8月9日の同じく4.8ppmであった。底層水温と底層溶存酸素量および試験操業で採集されたトリガイ個体数は図2に示した。野上ら³⁾は、燧灘のトリガイは水温25~27℃、溶存酸素量1ml/l前後で斃死すると推定しているため、25℃の線を図2には書き加えた。真鍋⁷⁾は1976年8月に燧灘三豊海域でトリガイなどが大量斃死した時の底層溶存酸素量を2cc/l以下と推定しているため、溶存酸素量2cc/l=2.86ppmの線も図2には書き加えた。25℃を越える底層水温が観測されたのは、1998年は8月20日と9月3日の2回、1999年は9月28日1回であった。1998年の場合は、20日間程度25℃以上の状態が継続したと推定されたが、1999年の場合はこれより短期間であったと推定された。岩尾ら⁵⁾は宮津湾におけるトリガイ養殖試験で1991年8月20日に底層水温最高値約26℃を観測したが、養殖トリガイ(秋生まれ群)の歩留まりが大きく低下した時期は11月以降と報告している。松野ら⁹⁾はトリガイを25℃以上の水温で30日あまり飼育し、ト

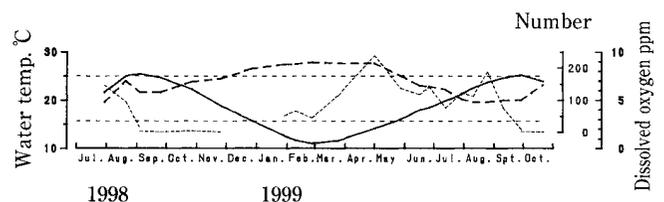


Fig.2. Water temperature (—) and dissolved oxygen concentration (---) at bottom layer, and number (.....) of *Fulvia mutica* collected by dredge net off Hirai.

Broken lines of 25℃ and 2.86ppm show the tolerable limit against high water temperature and low dissolved oxygen concentration for the shell, respectively.

リガイは29℃までの高水温に耐えられると報告している。また、1999年は底層水温が未だ25℃に達しない9月3日においてすでに試験操業のトリガイ採集個体数は8月と比べて大幅に減少していた。これらのことから、25℃の水温はトリガイの死亡要因ではないといえた。

溶存酸素量については、2.86ppmを下回ることはなかった。Weissの式⁴⁾により計算した日良居地先の酸素飽和度の最低値は1998年7月29日の66.1%、次いで1999年8月9日の67.0%であった。宮津湾では酸素飽和度80%以上で推移した⁵⁾のに比べると、日良居地先ではこれより低かった。しかし、矢野⁶⁾は魚類の異常行動、斃死が酸素飽和度50%以下で起こるが、トリガイは貧酸素状態に強いと述べている。また、1998年の場合は明らかではないが、1999年の場合はトリガイの死亡が始まるより前に酸素飽和度の最低値は出現していた。したがって、4.8ppmの溶存酸素量および66%程度の酸素飽和度はトリガイの死亡原因ではないといえた。

クロロフィルaについては、宮津湾³⁾と日良居地先²⁾で大きな違いがみられた。底層のクロロフィルa量は日良居地先では0~2.5 µg/lで推移したのに対して、宮津湾では8月と1月を除けば、5~20 µg/lで推移した。また、表層のクロロフィルa量は日良居地先が0~5 µg/lであったのに対して、宮津湾では5~20 µg/l以上であった。クロロフィルa量の測定法が異なっているので、単純な比較はできないが、日良居地先底層ではフェオ色素を加えた値でも夏期には最大4 µg/l程度なので、餌料条件は日良居地先が劣悪である可能性が示唆された。

また、水温の鉛直分布を比較すると、日良居地先²⁾では6月から8月の間、表層と底層で2~4℃の差があり、成層の発達うかがわれた。宮津湾³⁾では8月に2℃の差がみられたが、6月はほとんど温度差がみられなかった。日良居地先では宮津湾と比べて水塊の上下混合が不活発で、やはり餌料条件が劣る可能性が示唆された。

日良居地先のトリガイとその他の海域のトリガイについてRCW肥満度を比較した結果は、図3に示した。日良居地先では、1月に出現した秋生まれ群は徐々にRCW肥満度が増大し、5月には1.319に達したが、6月にほぼ1まで急低下した。その後は1以下で推移し、死滅直前の9月28日のRCW肥満度は0.776であった。

宮津湾の1985年のトリガイは天然貝であった。5月

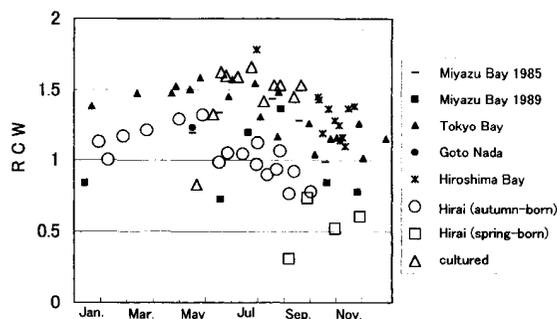


Fig.3. Change in RCW of *Fulvia mutica* collected at different locations in Japan.

RCW : Ratio of meat weight to Calculated meat Weight.

時点のRCW肥満度は1.189で、日良居地先の1.319と比べて若干低かった。しかし、日良居地先では6月から1前後に低下したのに対して、8月の1.436まで増大してから9月1.280、10月0.985と減少した。

宮津湾の1989年のトリガイは、陸上飼育していた前年秋生まれのトリガイ人工種苗を1989年6月から1990年1月まで海面で籠養殖したものであった。養殖を開始した時点でのRCW肥満度は0.724と非常に低い値であった。しかし、1ヶ月後には1.193と急上昇し、8月に1.364の最大値となった後は、10月0.840、11月0.777と低下した。1月のRCW肥満度は0.840で、日良居地先トリガイの1.128と比較して低かった。

東京湾のトリガイは春生まれ群である¹³⁾が、1月から6月いっぱい高いRCW肥満度を示した。7月から低下し始めて、10月から12月の間は1.013~1.157と相対的に低い値であった。1月から5月の間は日良居のトリガイのRCW肥満度よりも約1.2倍高い値を保ち、6、7月には約1.5倍ほどまで拡大した。

五島灘のトリガイRCW肥満度は、5月の秋生まれ群1例しか得られなかった。同時期における日良居のトリガイのRCW肥満度と比べてわずかに低かった。

広島湾のトリガイの平均殻長は、7月に63.45~65.65mmであったが、10月と11月のものは75.02~85.47mmの範囲にあって、発生時期は不明であった。RCW肥満度は7月に1.784と著しく高く、10~11月でも1.097~1.450の範囲にあって、同時期の東京湾産のものよりも高い値を示した。

飼育トリガイは日良居地先のトリガイを1999年4月30日に採集して5月25日から下松市笠戸湾において垂下式籠飼育したものであった。採集後は水槽に収容し

⁴⁾ 気象庁編 (1998) : 海洋観測指針. (財)日本気象協会, 東京, 163-164.

て、海水（非濾過）を注入して保存した。籠飼育開始時のRCW肥満度は0.826と低く、採集時の1.291から20日間（5月20日に測定した。）で64%に減少していた。しかし、RCW肥満度は飼育開始14日後の6月8日には1.324と1.6倍に急増した。6月以降は日良居地先トリガイのRCW肥満度が減少したのとは逆に1.627に増大し、9月17日の飼育試験終了まで1.417~1.662の高い値を保った。このRCW肥満度は東京湾のトリガイのそれよりも高い値であった。

日良居地先トリガイの春生まれ群は、1998年9月3日から11月24日の間にのべ9個体出現し、平均殻長は23.67~38.00mm、RCW肥満度は0.392~0.732と非常に低かった。

海域ごとに比較した結果、トリガイのRCW肥満度は日良居地先の春生まれ群<日良居地先の秋生まれ群<宮津湾秋生まれ養殖<宮津湾天然<東京湾春生まれ群<日良居地先秋生まれ飼育<広島湾の順であった。五島灘のトリガイは6月以降RCW肥満度が増大するのか低下するのかわからないため、順位付けは行わなかった。また、各海域ともRCW肥満度が増大する時期と減少する時期があった。海域別にみたRCW肥満度が減少する時期は、おおまかにいって、日良居地先は6月から9月、宮津湾が9月から12月、東京湾が7月から12月であった。日良居地先は9月でトリガイ秋生まれ群が絶滅するので10月以降についてはわからなかった。

周防灘産トリガイについてRCW肥満度の計算ができた事例を図4に示した。調査年次にかかわらず、RCW肥満度は夏から秋にかけて低下するという共通の変化形式を示した。RCW肥満度の低下する時期は、1970年と1991年は5月、日良居地先の秋生まれ群は6月と比較的早かったのに対して、1953年は9月ないし10月、1979年も10月頃で遅かった。また、RCW肥満

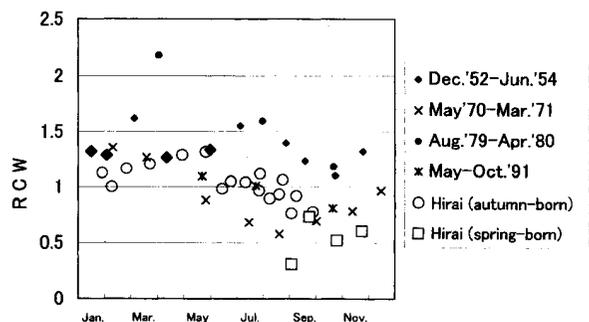


Fig.4. Change in RCW of *Fulvia mutica* collected in southern Aki-nada.

Table 1. Number of *Fulvia mutica*, starfishes (*Asterias amurensis*, *Luidia quinaria*, *Astropecten scoparius*) and *Echinocardium cordatum* collected by five minutes trawling of dredge net off Hirai and predatory intensity.

sampling date	<i>F.mutica</i>	starfishes			<i>E.cordatum</i>	predatory intensity*
		<i>A. amurensis</i>	<i>L. quinaria</i>	<i>A. scoparius</i>		
29-Jul-'98	36.50	21.25	47.00	4.50	1547	55.50
20-Aug.	23.50	23.75	124.50	4.50	11331	134.00
3-Sep.	3.75	42.00	74.00	4.25	8073	90.80
24-Sep.	0.25	35.00	63.50	1.50	3391	77.50
26-Oct.	1.00	18.25	39.50	3.50	1469	46.80
24-Nov.	0.25	33.50	285.50	2.00	406	298.90
25-Dec.	0.00	7.50	177.00	5.00	524	180.00
28-Jan.-99	13.00	4.00	194.00	9.00	329	195.60
8-Feb.	16.25	5.25	153.50	8.50	228	155.60
25-Feb.	11.25	4.50	144.00	4.50	568	145.80
24-Mar.	29.25	8.25	144.75	4.50	76	148.05
30-Apr.	59.75	6.25	174.75	5.00	374	177.25
27-May	34.00	1.25	329.25	6.25	394	329.75
15-Jun.	29.50	2.00	191.00	7.25	1116	191.80
25-Jun.	35.25	4.25	383.75	9.25	527	385.45
12-Jul.	18.50	2.50	421.75	5.25	57	422.75
23-Jul.	30.75	0.75	441.50	6.25	21	441.80
9-Aug.	28.25	0.25	344.50	5.25	12	344.60
24-Aug.	47.25	0.00	302.75	5.50	12	302.75
9-Sep.	19.00	0.00	185.25	4.50	1	185.25
28-Sep.	2.50	0.00	98.50	3.50	0	98.50
21-Oct.	0.25	0.00	74.00	10.00	2	74.00

* predatory intensity²⁰⁾ = 0.4 × No. of *A. amurensis* + 1.0 × No. of *L. quinaria*

度の低下が遅かった年は、周年RCW肥満度が1以下に低下しなかったことが共通していた。RCW肥満度が高かった年のトリガイ漁獲量を山口農林水産統計で見ると、1952年は4,724トン、1953年は3,904トン、1979年は936トン、1980年は1,520トンといずれも豊漁年であった。これに対して、RCW肥満度が低かった1970年は81トン、1971年は144トン、1991年は47トン、1999年は1トンといずれも不漁年であった。また、1954年は図中のシンボルを大きなポイントで示して1952年および1953年と区別しているが、RCW肥満度は日良居地先のものとほぼ同じであった。そして1954年のトリガイ漁獲量は180トンで、不漁年であった。春期のRCW肥満度が高いこと、RCW肥満度低下の時期が遅いこと、および夏から冬にかけてRCW肥満度の低下が不漁年に比べて少ないことが豊漁年の特徴といえた。

日良居地先における貝桁網試験操業で採集されたトリガイ、ヒトデ類およびオカメブンプク *Echinocardium cordatum* の個体数ならびに内野ら²⁰⁾ がトリガイに対するヒトデ類の捕食試験から導いたヒトデ類の捕食圧を表1に示した。1曳網あたり採集個体数はヒトデが平均10.02 (0~42)、スナヒトデが平均199.7 (40~442)、モミジガイが平均5.4 (1.5~10.0) で、捕食圧は平均203.7 (46.8~441.8) であった。また、同時に採集されたトリガイ個体数は平均20.0 (0.0~59.8)、オカメブンプク個体数は平均1,384 (0~11,331)

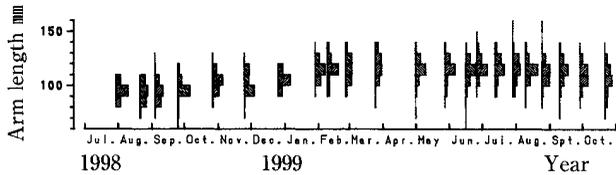


Fig.5. Change in relative frequency of arm length of *Luidia quinaria* collected with *Fulvia mutica* by dredge net off Hirai.

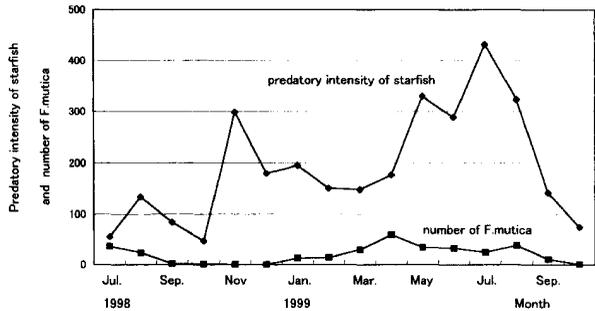


Fig.6. Monthly changes in predatory intensity of starfish and number of *Fulvia mutica* collected by five minutes trawling of dredge net.
 $\text{predatory intensity} = \text{No. of } Asterias \text{ amurensis} \times 0.4 + \text{No. of } Luidia \text{ quinaria} \times 1.0$

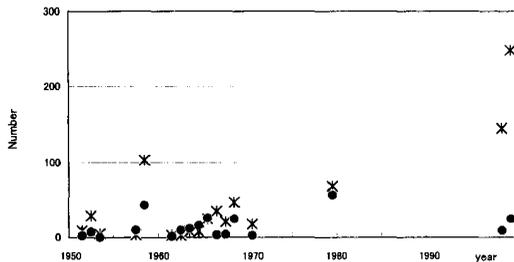


Fig.7. Change in number of *Fulvia mutica* (●) and starfish (*) collected by 10 minutes hauling of dredge net in southern Aki-nada.
 The last two years data were obtained off Hirai.

であった。オカメブクは1998年8月から9月にかけて1曳網あたり3,391~11,331個体と大量に採集された。しかし、翌年8~9月の採集個体数は0~12個体で、生息量は年単位の周期性を示さなかった。トリガイの採集個体数、ヒトデ類の採集個体数およびオカメブクの採集個体数は相互に関係があるようには見えなかった。

調査回次別のスナヒトデ腕長組成は図5に示すように、モードは90~120mmの範囲にあった。内野ら²⁰⁾は腕長80mmのスナヒトデがトリガイを捕食することを報

Table 2. Number of *Fulvia mutica* collected by the dredge net and total time in minute used for collection for evaluation of the resources just before the fishing season of the shell.

Year	Location							
	Hirai		southern Aki-nada		western Iyo-nada		eastern Suoh-nada	
	Nos.	Time min.	Nos.	Time min.	Nos.	Time min.	Nos.	Time min.
1970	16	30	60	170	380	725	302	361
	80	30	91	80	1311	760	724	560
	5	10	34	90	305	760	851	550
1975								
1980	574	40	2982	1010	1390	710	517	280
	433	20	9163	440	4569	770	1734	660
	42	20	1696	420	1896	700	1697	670
	89	30	1927	440	151	580	710	700
1985	19	40	502	420	257	560	814	730
	0	30	3	400	50	330	6	560
	44	30	572	340	1728	530	736	520
	24	40	68	380	36	490	136	580
1990	2	10	131	360	179	560	172	490
	5	10	39	360	216	600	44	460
	1	20	46	350	119	580	52	420
	9	40	57	400	1315	310	4	400
1995	1	40	28	350	12	420	10	380
	1	20	47	390	29	460	46	290
	26	20	88	330	9	480	3	370
	0	10	1205	320	1208	310	213	340
1999	1	20	124	340	30	420	0	320
	3	10	127	310	28	420	15	320
	0	10	320	320	104	280	4	320

告しているのに、トリガイの害敵となる大きさであった。図6に捕食圧の推移を示した。捕食圧は1998年11月に高まって約300を示し、1999年は5月から8月の間ほぼ300以上であった。内野ら²⁰⁾は宮津湾におけるヒトデ類の捕食圧は7~8月に高くなり、それぞれ8.5, 7.7と報告している。内野ら⁴⁾はヒトデ類分布調査に用いたものと類似した貝桁網を用いて、宮津湾奥における7回の曳網で330個体のトリガイを採集した事例を報告している。日良居地先におけるトリガイ漁獲個体数は前述の通り平均20個体であるので、木村ら¹⁾が日良居地先において使用した貝桁網と比較して、宮津湾の貝桁網の漁獲効率が特に低いとは考えられない。したがって、日良居地先のヒトデ類捕食圧は宮津湾の約40倍に達していることがわかった。

安芸灘南部における貝桁網の試験操業によって採集されたトリガイとヒトデ類の個体数(10分間曳網あたり)を図7に示した。ヒトデ類の採集個体数は1958年の103個体を例外とすると、1950年代から1960年代前半までは10個体以下であったが、1960年代後半から1970年には18~47個体、1980年には69個体、1998年と1999年はそれぞれ145個体、248個体となって、経年的に増加している傾向がうかがわれた。

日良居地先、安芸灘南部、伊予灘西部および周防灘東部の4海域における貝桁網試験操業によるトリガイ採集個体数と曳網時間は表2に示した。貝桁網の曳網

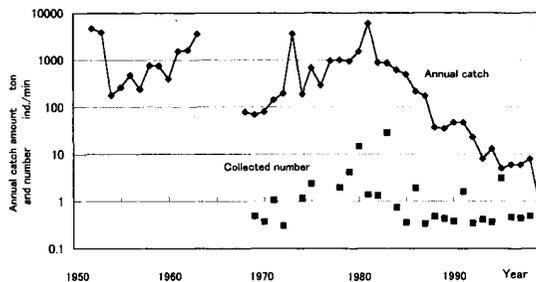


Fig. 8. Transition in annual catch of *Fulvia mutica* and number of the shell collected by a minute trawling of the dredge net in the coastal waters from eastern Suoh-nada to southern Aki-nada for the research on the resources just before the fishing season of the shell.

Table 3. Coefficient of product-moment correlation of *Fulvia mutica* number collected by a minute trawling of the dredge net between two locations in the Seto Inland Sea off Yamaguchi prefecture

	HIRAI	s. Aki-nada	w. Iyo-nada	e. Suoh-nada
HIRAI		0.858***	0.876***	0.780***
southern Aki-nada			0.960***	0.726***
western Iyo-nada				0.718***
eastern Suoh-nada				
(in case of deviation from 3-class moving mea)				
	HIRAI	s. Aki-nada	w. Iyo-nada	e. Suoh-nada
HIRAI		0.780***	0.832***	0.600**
southern Aki-nada			0.950***	0.657**
western Iyo-nada				0.702**
eastern Suoh-nada				
(in case of Spearmans coefficient of correlation)				
	HIRAI	s. Aki-nada	w. Iyo-nada	e. Suoh-nada
HIRAI		0.766***	0.580**	0.656**
southern Aki-nada			0.637**	0.760***
western Iyo-nada				0.700***
eastern Suoh-nada				

significant level : ** : 1% *** : 0.1%

時間は10分間を基本としていたが、調査回時によっては10分間曳網でない場合もあった。貝桁網試験操業結果から1分間曳網あたりトリガイ採集個体数を計算して図8に示した。1980年頃をピークとして、各海域ともトリガイ採集量は減少してきた。特に、周防灘東部海域は1990年以降、1分間あたりトリガイ採集個体数が0.1を下回る年が多く、トリガイ発生量の減少を示した。発生量の多い年は3~5年周期で出現し、3海域の発生量が同調して多くなる傾向がみられた。1分間あたり採集量が1以上をトリガイ発生量の多い年とすると、'71, '79, '80, '83, '86年は3海域がそろって発生量の多い年であった。'94年は安芸灘南部と伊予灘西部は1を越え、周防灘東部では資源水準が低下していたため1を越えなかったが、前年に比べて採集量は急増した。一方、'91年は伊予灘西部のみが発生量の多い年

であった。'86年までは発生量の多い年が3海域そろっていたが、その後は発生量の低下とともに発生量増大の同調性は見だしにくくなった。

山口農林水産統計年報によるトリガイの生産量と貝桁網試験操業を実施した全海域についての1分間曳網あたりトリガイ採集個体数を図8に示した。トリガイの生産量は、'52, '53, '63, '71および'81年に3,000トンを超える漁獲量があった。また、'52~'86年までは、ほとんどの年で100トン以上の生産量があり、1,000トンを超えた年も8回あった。しかし、'77年以降は急激に生産量が低下して、'94年以降は10トン未満となった。

農林水産統計年報のトリガイ生産量と貝桁網試験操業の1分間曳網あたりトリガイ採集個体数は、無相関であった ($r = 0.161$)。'81年は豊漁年であったにもかかわらず、1分間あたりトリガイ採集個体数は1.38と前年の10分の1以下の値を示した。また、貝桁網試験操業において1分間あたりトリガイ採集個体数が突発的に高い値を示す年にも生産量は増大しておらず、貝桁網試験操業結果からは農林水産統計のトリガイ生産量を予測することはできないことがわかった。

貝桁網試験操業によるトリガイの1分間あたり採集量について、海域間の相関係数を計算して表3に示した。日良居地先、安芸灘南部、伊予灘西部および周防灘東部は、いずれの相関係数でも高い値を示し、0.1%水準もしくは1%水準での有意な正相関であった。Speamanの順位相関係数を用いた場合は、トリガイ採集量の年による違いが量的に評価されにくくなるため相関係数の値が相対的に小さくなった。日良居地先から安芸灘南部、伊予灘西部を経て周防灘東部にわたる海域において、トリガイ発生量の多寡は共通の機構で決定されていることを暗示する結果となった。

考 察

大島郡日良居地先のトリガイが夏から秋にかけて次々に死亡して10月までに絶滅する原因は、外部的な因子である可能性はきわめて低い。これまで考えられてきたような25℃程度の高水温は死亡原因とはならず、トリガイを死亡させるような溶存酸素量の低い水塊は出現しなかった。馬場ら²⁾は二枚貝に特異的な毒性を持つことが知られる *Heterocapsa circularisquama*^{52), 53)}を検出せず、各種の赤潮プランクトンはトリガイの生存を脅かすような水準にはほど遠い低い密度であったことを報告している。尾申ら¹⁶⁾は、安芸灘のトリガイの2.9%にセルカリア寄生があ

ったことを報告しているが、日良居地先のトリガイ生殖腺組織切片には、セルカリアならびにパーキンサス原虫の寄生は認められなかった⁵⁴⁾。これらのことから、日良居地先のトリガイの死亡原因は、トリガイに内在する因子であることが想定される。

岩尾ら⁵⁾は、トリガイの春生まれ群と秋生まれ群の養殖種苗としての特質を検討し、秋生まれ群は満1年から成長が遅滞し、翌年春までの生残率が低いので、春生まれ群が養殖種苗として適していることを述べている。藤原⁵⁵⁾は、飼育している秋生まれのトリガイ親貝が9月から12月の間に死亡しやすく、翌年春の産卵期までの生残率は28~40%であることを報告している。日良居地先のトリガイは、1月に殻長20~30mmで出現する秋生まれ群であることから、満1歳の秋以降の生残が悪いことが類推される。しかし、内野ら¹¹⁾は宮津湾で7月に漁獲されたトリガイは秋生まれの1歳が78~80%を占めると述べている。つまり、宮津湾では秋生まれトリガイが満1歳以降も生残し、7~8月に漁獲対象となっている。宮津湾の秋生まれ群については満1歳から翌年7月の漁期までの日間死亡係数は0.0043⁴⁾とされるので、この間の生残率は約36%である。秋生まれのトリガイは1歳以降死亡しやすい傾向があるとしても、宮津湾では生き残り、翌年漁獲対象となるのに対して、日良居地先のトリガイは満1歳を過ぎたところで生残率が0となってしまう、この差が何に起因するかが問題である。そして、日良居地先と宮津湾の環境の比較から、餌料の量が日良居地先では不足している可能性が指摘できた。しかしながら、基礎代謝量の低い変温動物において、餌料の多寡が個体の生死を分かちと結論するには、さらに考察が必要である。

論議を単純にするため、まず、秋生まれ群のトリガイに限定して考察する。トリガイ殻表面には「克明輪」、「帯状輪紋」などと呼ばれる輪紋が観察されることがある。秋生まれ群の輪紋形成期間は、周防灘²³⁾、宮津湾¹²⁾および五島灘¹⁴⁾ともほぼ同じで、海域により1ヶ月程度のずれがあるが、第1輪紋は7~12月、第2輪紋は4~12月であると要約できる。トリガイの産卵期については、客観的な定義がないためか、田ら¹³⁾がとりまとめたように、春と秋を盛期として様々に表現され、2月から12月にわたっている。藤原ら⁵⁵⁾は、春生まれ群、秋生まれ群とも春秋の産卵盛期には生まれた時期に関係なく産卵することを報告している。木村⁵⁴⁾は、周防灘産、日良居地先産および飼育したトリガイ

について生殖腺組織を観察して、4~12月の間に生殖腺の発達した個体が出現すること、春生まれ群、秋生まれ群とも0.5歳のそれぞれ秋、春に生殖腺の発達があることを報告している。産卵期が4~12月にわたると考えると、輪紋形成期間と産卵期には次の関係が想定される。

- ① 0.5歳時の産卵期には、輪紋形成がなされない。
- ② 1歳時以降の産卵期に輪紋が形成される。

トリガイ殻の弾帯受(chondrophore)の長さは殻高とアロメトリー関係にあり、弾帯受に形成される日周輪⁵⁶⁾の間隔は、輪紋形成期には非常に密となる⁵⁷⁾。殻高は、殻長と線形関係¹⁾にあるので、輪紋形成期には殻長の成長が停滞すると考えられる。トリガイの殻の表面には微細な縞があり、飼育日数と形成縞数がほぼ等しい⁵⁸⁾ことから、毎日1本形成される日周輪の可能性が高い。したがって、トリガイ殻表面に出現する輪紋は成長不良のため日周輪が密集することによって形成されると考えられる。トリガイが成長不良となる現象は高水温のため、産卵および産卵による疲弊のためと解釈されることが多かったが、産卵期が4~12月にわたると考えると、産卵期であるためと考えられる。なお、春生まれ群についてみると、1.5歳の秋の産卵期から輪紋形成を開始するとする報告⁵⁵⁾があるので、輪紋形成期間と産卵期の関係に関する仮説の②が成立しないかもしれない。

日良居地先¹⁾、東京湾¹³⁾および宮津湾⁵⁾においては、

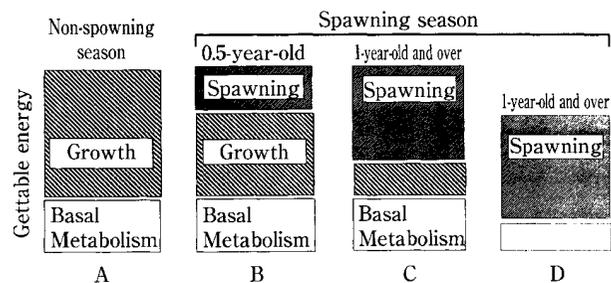


Fig.9. Schematic diagram explaining the hypothesis on the mechanism in which *Fulvia mutica* of autumn-born population dies in the spawning season off Hirai.

- A : Surplus energy is used for growth other than basal metabolism.
 B : Energy for spawning is less than surplus energy.
 C : Energy is primary used for spawning. When food supply is sufficient, surplus energy can be ensured for basal metabolism.
 D : After spawning energy is too little for basal metabolism, when food supply is not sufficient. *F. mutica* dies.

トリガイの成長が停滞する時期にRCW肥満度が低下する現象が共通してみられた。また、五島灘¹⁴⁾では第1輪紋形成後、トリガイが急速に成長することがみられた。トリガイの摂取したエネルギーの用途を基礎代謝、成長および生殖活動の3つに区分した場合、0.5歳の産卵期には基礎代謝が最優先とされ、余剰エネルギーが成長および生殖活動に向けられるのに対して、満1歳以降の産卵期には、生殖活動が最優先とされているのではないかと考えられる。すなわち、満1歳までは生存と成長がトリガイの第一目的であるが、満1歳以降は、生殖活動がトリガイの第一目的となるのではないだろうか。このため、産卵期においては生殖腺は自らの生殖活動のために必要なエネルギーあるいは栄養素を生体が生存していく上で必要な組織間の調整を無視して消費するため、代謝不全を起こしてトリガイが死亡するものと考えられる(図9)。日良居地先のトリガイは産卵期の前から産卵期間中にわたって他の海域のトリガイと比べて、RCW肥満度が低いことがみられたので、産卵期を乗り切るだけの栄養素の蓄積がなく、かつ産卵期間中の栄養素の補給も不足していたと推察する。おなじ日良居地先産のトリガイを笠戸湾の約8mの水深で垂下飼育した場合には、RCW肥満度は8月から9月の間1.5前後を保っていた。日良居地先の餌料環境は宮津湾と比べて劣悪であると考えられ、満1歳の産卵期を乗り切るだけの豊かさを持っていないことが、当該海域のトリガイが10月までに絶滅する原因であると考えられる。9月から11月の間に同海域に出現する春生まれ群のRCW肥満度が著しく低いことも、夏の間、餌料不足の環境となっていることを裏付けている。日良居地先のクロロフィルaの濃度は宮津湾のものとは比べてずっと低いことに加えて、成層の発達²⁾による水塊の停滞が餌料不足を一層深刻にするのではないかと推察される。

トリガイの資源発生量は日良居地先と安芸灘南部で強い相関が認められた。さらに安芸灘南部から伊予灘西部を経て周防灘東部にわたる海域まで相互に相関が強い。浮遊期稚仔の分布は少なくとも安芸灘南部から周防灘東部までの範囲で同調して増減しており、さらに広い地理的規模を分布の単位としている可能性が大きい。一方、周防灘を挟んで山口県の対岸にあたる福岡県豊前海では、1971年に空前のトリガイ大発生があり、30秒間の貝桁網試験操業でトリガイ400kgの採集がなされた事例が報告されている³⁹⁾。しかし、同年に山口県海域で行われた貝桁網試験操業では表2に示す

ように特別高い分布密度はみられていない。井上²⁴⁾はトリガイ稚貝の分布は周防灘中央部にはほとんどなく、島嶼等が存在するなどの地形要因が稚貝の沈着に影響するとしている。これらのことから、トリガイ浮遊稚仔の分布規模は、灘の数分の一程度の広がりを持つと考えられる。日良居地先のトリガイが0.5歳の春の産卵期に再生産を行っている可能性はあるものの、量的には微少であることと、浮遊稚仔分布規模が大きいことを考えると日良居地先のトリガイは無効回遊資源と見なすべきであろう。日良居地先のトリガイは絶滅する宿命を持っており、再生産にも寄与していないので、その資源利用の方法は漁獲し尽くすことも選択肢となる。発生翌年5月の時点で殻長30~60mm、平均54mmのものを漁獲するのが合理的資源利用方法の一つである。6月になると平均殻長は60mmになるが、肥満度は低下するので、水揚げ金額は5月に漁獲した方が大きいことが予想される。また、蓄養も有効な資源利用方法と考えられる。採集したトリガイを餌料の豊富な環境で飼育すれば、肥満度の高いトリガイが育成可能である。飼育期間が2ヶ月以内であれば、生残率は高く事業が失敗する危険性は低いと考えられる。

春生まれトリガイが、日良居地先では短期間で消滅してしまうのは、害敵生物、特にスナヒトデによる捕食が考えられる。筆者らは、日良居地先における貝桁網試験操業において、スナヒトデが殻長20~30mm程度のトリガイを丸飲みしているのを幾度も目撃した。日良居地先はヒトデ類の捕食圧が宮津湾の40倍に達しており、早急な対策が必要である。前川⁶⁰⁾は、「トリガイよりヒトデ分布量が多かった例もあり、特に稚貝期における被害率の高いことからして、操業時はもちろん、機会あるごとにこれら害敵生物の駆除につとめることが資源維持の一助となる」と述べ、井上²⁶⁾は、大島郡の漁業者が混獲したヒトデ、ブンブクチャガマを持ち帰っており、それぞれ、1,044貫、3,636貫処理したことを述べている。このような、漁業者の自主的取り組みや、それを支援する行政施策の取り組みが望まれる。また、この研究では充分明らかにならなかったが、ヒトデ類の分布量が経年的に増加している傾向がみられる。ヒトデ類は小型底曳網漁業の投棄対象生物であるが、投棄された後の生残率が高いので⁶¹⁾、底曳網漁業の影響によって優占種となった可能性もある。貝類資源に悪影響を及ぼす生物であるので、ヒトデを始め、生物群集の変遷とその機構についての研究が必要である。

山口県瀬戸内海におけるトリガイの漁期、つまり貝桁網等の操業始期は現在11~12月である。秋生まれのトリガイが生残することを前提とした漁期設定となっているが、トリガイを主体に考えた場合、11~12月は貝がやせて死亡する時期であって、適当とはいえない。品質の良い漁獲物を得るためには1~3月に漁獲することが望ましい。また、瀬戸内海的环境が変化したり、ヒトデ類の駆除事業が奏功したりして、春生まれ群が多く出現するようになった場合、東京湾で行われているような初夏の漁獲が合理的であろう。肥満度がピークとなる時期には海域差があるので、RCW肥満度が最も高くなる時期を選んで漁獲するのが合理的であろう。

井上²³⁾は日良居地先を指して「生物の棲息数少なく、トリガイの生息に不適な環境」と評したが、その日良居地先において1952年3月30日の試験操業では、殻長90mm以上のトリガイが採集個体数の30%を占めていたことを報告している。3月時点で90mm以上の殻長を有する個体は、少なくとも前年春生まれ群であり、2年前の秋生まれ群の可能性もある。50年近く前には、日良居地先に春生まれ群もしくは秋生まれ群が1年以上生残する環境があったことを示している。

図8のトリガイ生産量農林水産統計値は山口県のトリガイ生産量は1970年代中頃から1980年代中頃までが安定的に高く、最も生産量の多い「豊漁の時代」であった。1970年以前は、不漁年でも100トン以上の水準ではあったが、「豊漁の時代」と比べると生産量は低い値であった。「豊漁の時代」以前の豊前海の状況について有馬⁵⁹⁾は、「従来生息は認められていたものの量的には少なく漁業の主対象とはされていなかったトリガイ資源についても昭和39年に吉富沖で、昭和45年には簗島沖でと、ごく限られた海域でしかもごく小規模の発生があり、きわめて短期間ではあったがトリガイ漁業が行われるようになった。」と述べている。そして、アカガイ、サルボウおよびトリガイ等の大量発生を海域の富栄養化と結びつけている。農林水産統計値は1987年を境に、トリガイの生息する環境が急速に悪化していることを示している。トリガイが冬季に操業される貝桁網等底曳網の漁獲対象となるまでには4~12月にわたる産卵期を乗り切る必要があり、豊富な餌料環境が必要である。松野ら⁹⁾は、周防灘沿岸域において毎年5月に測定した水溶性無機態窒素量3項移動平均値が徐々に低下してきて、1988年以降5 $\mu\text{g-at}/\ell$ 以下となったことを指摘した。これらの現象は、1988年以降、山口県の安芸灘から周防灘にかけて、ト

リガイにとっての豊かな餌料環境が失われたことを示していると考えられる。トリガイのようなプランクトンもしくはデトリタスを餌料とする生物の資源量が激減していることは、瀬戸内海は富栄養化の状態にあるという固定観念の見直しを迫っているのかもしれない。

文 献

- 1) 木村 博・檜山節久 (2002): トリガイ資源の消長. 本誌, **1**, 5-10.
- 2) 馬場俊典・木村 博・立石 健: トリガイ漁場の環境特性. 本誌, **1**, 31-39.
- 3) 内野 憲 (1990): トリガイ種苗放流の現状. 日本海ブロック試験研究集録, (19), 27-32.
- 4) 内野 憲・辻 秀二・道家章生・船田秀之助 (1991): 宮津湾におけるトリガイの減耗の過程. 日本海ブロック試験研究集録, (23), 73-81.
- 5) 岩尾敦志・藤原正夢・藤田真吾 (1993): トリガイ養殖に関する研究-I. 京都府海洋センター研報, (16), 28-34.
- 6) 矢野 純 (1977): 燧灘の貧酸素水塊形成. 愛媛水試研報, (1), 9-17.
- 7) 真鍋寛定 (1978): 燧灘東部海域における溶存酸素量変化. 昭和51年度香川水試事報, 21-30.
- 8) 野上和彦・梅沢 敏・阪口清次・福原 修 (1981): トリガイ *Fulvia mutica* (REEVE) の酸素消費量と高水温期における斃死の関係について. 南西水研報(13), 19-28.
- 9) 松野 進・木村 博: トリガイの高水温および低酸素耐性. 本誌, **1**, 23-29.
- 10) 木村 博・高見東洋: 飼育トリガイの成長と生残. 本誌, **1**, 11-15.
- 11) 内野 憲・辻 秀二・道家章生・井谷匡志・船田秀之助 (1991): 宮津湾産トリガイの生物学的諸特性. 京都府海洋センター研報, (4), 1-5.
- 12) 内野 憲・辻 秀二 (1991): トリガイの帯状輪紋について. 水産増殖, **39** (3), 249-253.
- 13) 田 永軍・清水 誠 (1997): 東京湾におけるトリガイの成長成熟と産卵期. 日水誌, **63** (3), 361-369.
- 14) 立石 賢・町田末広・塩川 司 (1997): 大島町海域におけるトリガイの成長について. 長崎水試研報, (3), 108-115.
- 15) 井上 泰 (1955): トリガイの生態学的研究-III 桿晶体重量の季節的变化. 日水誌, **21** (1), 30-32.
- 16) 尾串好隆・立石 健・檜山節久・原 健一 (1971): トリガイ資源生態調査. 山口内海水試事業報告, (2), 34-47.
- 17) 中村達夫・宮後富博 (1981): 沿岸重要貝類分布調査 (昭和52・53-54年度). 山口内海水試事業報告, (8), 93-104.

- 18) 大橋 裕・吉岡貞範・木村 博 (1993): アカガイ・トリガイ資源調査. 山口県内水試事業報告, (22), 72-79.
- 19) 内野 憲・辻 秀二・道家章生・葭矢 護・船田秀之助 (1990): トリガイ種苗の食害による減耗と捕食種 (予報). 京都海洋センター研報, (13), 17-20.
- 20) 内野 憲・辻 秀二・道家章生・井谷匡志・船田秀之助 (1991): 宮津湾のヒトデ類3種によるトリガイの捕食とトリガイ種苗放流について. 京都海洋センター研報, (14), 7-13.
- 21) 内野 憲・藤原正夢・田中雅幸・桑原昭彦・辻 秀二・葭矢 護 (1988): トリガイ春生まれ種苗の囲網内における成長と生残. 京都海洋センター研報 (11), 17-23.
- 22) 内野 憲・辻 秀二・井谷匡志・道家章生・宗清正廣 (1993): 漁網沈設によるトリガイ小型放流種苗の保護. 栽培技研, 22 (1), 19-23.
- 23) 井上 泰 (1953): トリガイの生態学的研究 (第1報). 山口内水試調査研究業績, 5 (1), 21-29.
- 24) 井上 泰 (1955): トリガイ漁場に於ける生物群集について. 山口内水試調査研究業績, 7 (1), 77-84.
- 25) 井上 泰 (1957): 屋代島周辺漁場におけるトリガイ並びに共棲生物分布状況. 昭和31年度山口内水試事業報告, 33-37.
- 26) 井上 泰 (1958): 屋代島周辺漁場におけるトリガイ並びに共棲生物分布状況 (2). 昭和32年度山口内水試事業報告, 55-57.
- 27) 穂山展志 (1962): 重要貝類増殖試験. 昭和36年度山口内水試事業報告, 18-24.
- 28) 穂山展志 (1963): 重要貝類増殖試験. 昭和37年度山口内水試事業報告, 16-22.
- 29) 穂山展志 (1964): 重要貝類増殖試験. 昭和38年度山口内水試事業報告, 19-27.
- 30) 穂山展志 (1965): 重要貝類増殖試験. 昭和39年度山口内水試事業報告, 18-26.
- 31) 檜山節久・安村 長 (1966): 重要貝類資源調査. 昭和40年度山口内水試事業報告, 31-35.
- 32) 檜山節久・安村 長 (1967): 重要貝類資源調査. 昭和41年度山口内水試事業報告, 46-50.
- 33) 檜山節久・原 健一 (1968): 重要貝類資源調査. 昭和42年度山口内水試事業報告, 17-21.
- 34) 檜山節久・原 健一 (1969): 重要貝類資源調査. 昭和43年度山口内水試事業報告, 17-24.
- 35) 檜山節久・原 健一・尾串好隆 (1971): トリガイ・アカガイ分布調査. 山口内海水試報告 (2), 28-33.
- 36) 檜山節久・原 健一 (1970): トリガイ・アカガイ分布調査. 山口内海水試報告 (1), 9-14.
- 37) 尾串好隆・立石 健・檜山節久 (1973): 山口県瀬戸内海のトリガイ・アカガイ分布量調査. 山口内海水試報告 (3), 95-100.
- 38) 立石 健 (1974): 昭和47年度山口県沿岸重要貝類資源生態調査. 山口内海水試報告 (4), 54-63.
- 39) 陣之内征龍・中村雅人 (1977): 山口県内海沿岸重要貝類分布調査 (昭和49・50年度). 山口内海水試報告 (6), 105-111.
- 40) 高見東洋・河本良彦・宮後富博・岩本哲二・中村達夫 (1985): 重要貝類資源調査 (トリガイ・アカガイ). 山口内海水試報告 (13), 117-130.
- 41) 高見東洋・河本良彦・宮後富博・浜田文夫 (1986): 重要貝類資源調査 (トリガイ・アカガイ). 山口内海水試報告 (14), 76-78.
- 42) 高見東洋・宮後富博・浜田文夫 (1987): 重要貝類資源調査 (トリガイ・アカガイ). 山口内海水試報告 (15), 67-70.
- 43) 大橋 裕・高見東洋・門永圭史・白木信彦 (1991): 重要貝類資源調査 (トリガイ・アカガイ). 山口内海水試報告 (19), 36-42.
- 44) 大橋 裕・林 泰行 (1992): 重要貝類資源調査 (トリガイ・アカガイ). 山口内海水試報告 (21), 14-16.
- 45) 大橋 裕・木村 博 (1994): アカガイ・トリガイ資源調査. 山口内海水試報告 (23), 38-40.
- 46) 大橋 裕・村田 実 (1995): アカガイ・トリガイ資源調査. 山口内海水試報告 (24), 36-38.
- 47) 立石 健 (1996): トリガイ・アカガイ資源調査. 山口内海水試報告 (25), 31-34.
- 48) 三村勝則 (1997): トリガイ・アカガイ資源調査. 山口内海水試報告 (26), 33-37.
- 49) 林 泰行 (1999): トリガイ・アカガイ資源調査. 山口内海水試報告 (27), 32-34.
- 50) 木村 博 (2000): トリガイ・アカガイ資源調査. 山口内海水試報告 (28), 38-41.
- 51) 三村勝則 (2000): トリガイ・アカガイ資源調査. 山口内海水試報告 (29), 49-50.
- 52) 山本千裕・田中義興 (1990): 福岡湾で発生した2種類の有害赤潮プランクトンについて. 福岡水試研報, (16), 43-44.
- 53) Horiguchi, T. (1995): *Heterocapsa circularisquama* sp. nov. (*Peridinales*, *Dinophyceae*): A new marine dinoflagellate causing mass mortality of bivalves in Japan. *Phycological Research*, (43), 129-136.
- 54) 木村 博 (2002): トリガイ生殖腺の成熟. 本誌, 1, 17-22.
- 55) 藤原正夢・岩尾敦志・西広富夫 (1990): トリガイ種苗生産における採卵用親貝について (短報). 京都府海洋センター研報, (13), 65-67.
- 56) 田 永軍・清水 誠 (1997): トリガイの貝殻における成長線パターンと年齢査定. 日本誌, 63 (4), 585-593.

- 57) Tian, T. and M. Shimizu (1998) : Hatch dates and growth rate of cockle *Fulvia mutica* estimated from daily growth line in chondrophore in Tokyo bay. Fish. Science, **64** (2), 251-258.
- 58) Ohno, T. (1985) : Experimentelle Analysen zur Rhythmik des Schalenwachstums einiger Bivalven und ihre palaobiologische Bedeutung. Palaeontographica. Abt. A, **189**, 63-123. (大野照文 (1993) : 二枚貝の成長解析の現状. 月刊海洋, **25** (10), 613-621. より引用)
- 59) 有馬 功 (1972) : 昭和46年度における福岡県周防灘のトリガイの異常発生状況とその成長について. 昭和46年度福岡豊前水試研究業務報告, 186-194.
- 60) 前川兼佑 (1961) : 瀬戸内海, 特に山口県沿岸における漁業の調整管理と資源培養に関する研究, 山口内水試研究業績, **11** (1), 215.
- 61) 木村 博 (1994) : 小型底曳網漁船の投棄魚の研究 - IV 投棄された魚介類の生残率について. 山口内水試報告, (23), 1-8.

アカガイの新養殖技術の開発に関する研究 - I 基礎的条件下における可動式育成床の生産性

高見東洋・金井大成・原川泰弘・河村和寛

山口県のアカガイ養殖は、昭和59年から成長の不良現象や、大量へい死がみられるようになり¹⁾、下松市笠戸湾の海底で行われていたアカガイ養殖に大打撃を与えた。

アカガイ養殖の不良現象は、長期にわたったため平成11年の今日においては漁業者による養殖は、中間育成の事業のみで、本来の養殖事業は休止の状態にある。

高見¹⁾らは、アカガイ生育不良年(昭和59~61年)と正常な発育がみられていた昭和58年について、アカガイの年級別の生育についてパターン化し、海底養殖が難しくなった環境でも、養殖域を海底面から避ける養殖法で、アカガイの成長、歩留りが向上することをつきとめた。

有馬²⁾は、この生育不良時の海底域の環境について詳細な原因調査を行い、高水温期には環境悪化に加えて餌料条件が悪化することを究明した。

環境条件および餌料条件の改善を図るため、これまでに多段礁の利用によるアカガイ養殖試験³⁾も実施されてきたが、維持、管理面の問題を有している。

漁業者自ら取り組めるアカガイ養殖法の開発が急務であり、環境および餌料条件に対処した可動式育成床を開発した⁴⁾。

可動式育成床を、さらに実用化するために下記の試験を実施した。

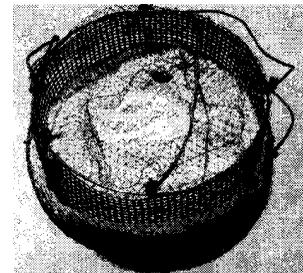
本事業を実施するにあたり、下松漁業協同組合の三国光義氏および守田平人参事他多くの方々に多大なご協力を賜った。

方法と結果

潜床基質と成長及び歩留り

(方法)

下松市笠戸島三百瀬地先(以後笠戸湾と言う)の水深15mの海底において、アカガイ種苗(平均殻長28.9mm, 1年貝, 以後アカガイ種苗と言う)を可動式育成



(全景)

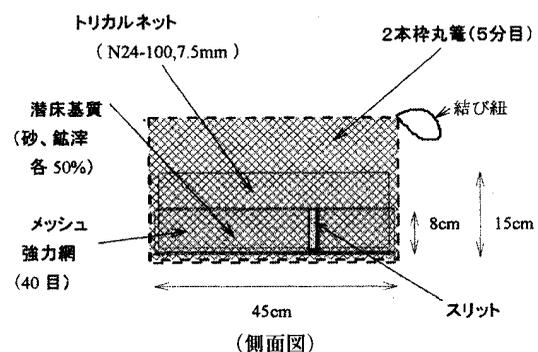


図1 可動式育成床

床(図1, 以後育成床と言う)を用い、潜床基質として、現場の海底泥、砂(粒径250~1000 μ mが94.7%を占める)、50%鈰滓(砂と鈰滓を50%容積比で混合したもの)および100%鈰滓区の4種の潜床基質(各区共に2組)を用いて、平成11年5月から試験を開始した。(結果)

2組とも同様な傾向であったため、1組の結果で表した。

成長の結果を図2, 歩留りの結果を図3に示した。

成長は、100%鈰滓区においてやや劣る傾向がみられたが、その他の区ではあまり差がみられなかった。

歩留りは、全般に90%以上であったが、マダコの食害にあった100%鈰滓区が8月には63.3%になった。

マダコによる食害の手口は、育成床の中央部に設けた網の開閉部の結び紐を緩めてアカガイが取り出せる程の大きさに開網して捕食し、捕食した貝殻を網の上

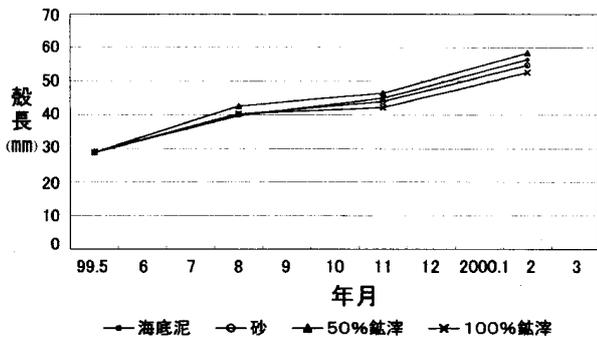


図2 アカガイ1年貝の潜床基質別の成長

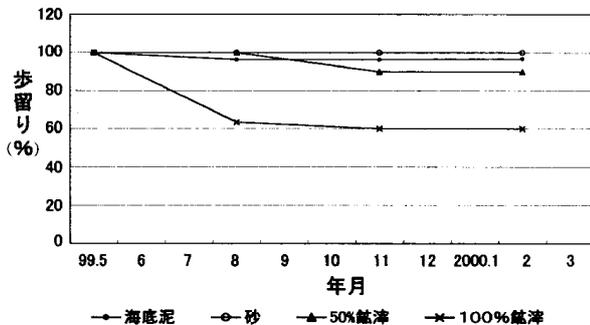


図3 アカガイ1年貝の潜床基質別の歩留り

面に置いたり、しばしば二枚の殻が切り離されていた。
マダコの食害対策には、育成床の結び紐の結び方法を工夫する必要があった。

潜床基質の交換間隔と成長及び歩留り

(方法)

笠戸湾において、アカガイの潜床基質に50%鉾津を用い、アカガイ種苗を30個あて収容し、潜床基質の交換間隔を2カ月、3カ月、6カ月および10カ月とし各試験区とも2組ずつ設置した。平成11年5月に試験を開始した。

(結果)

2組とも同様な傾向であったため、1組の結果で表した。成長の結果を図4、歩留りの結果を図5に示した。

6カ月経過した時点では、6カ月間隔の区が、2カ月および3カ月毎に交換した区よりも成長が優れていた。10カ月区は、成長・歩留りとも他区よりも優れていたが、育成床に付着生物がかなり付着し目詰まりがみられる危険な状態であった。

歩留りは、害敵生物に食害されなかった場合は90%以上であった。しかし、マダコの食害により2カ月区と3カ月区の歩留りは低下した。

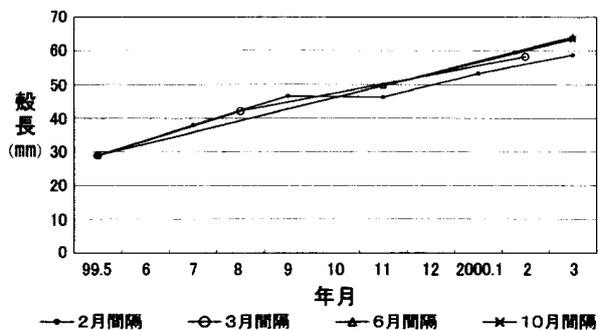


図4 アカガイ1年貝が示した潜床基質の交換期間と成長

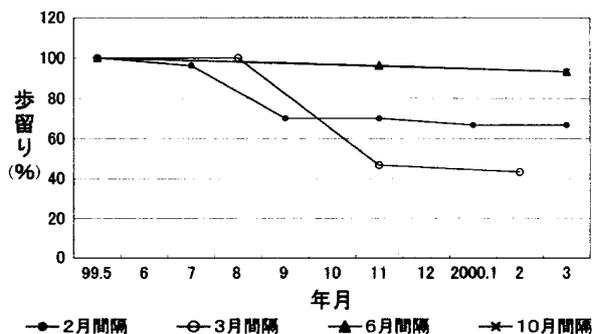


図5 アカガイ1年貝が示した潜床基質の交換期間と歩留り

収容密度と成長及び歩留り

(方法)

笠戸湾でアカガイ育成床を用い、アカガイ種苗の収容数を30個(200個/㎡)及び40個(267個/㎡)とし、水深15mの海底で平成11年5月から養殖試験を開始した。

(結果)

成長、歩留りの結果を図6に示した。

成長は、収容数が30~40個の範囲では、10カ月経過した平成12年2月には40個区の方が若干大きく成長した。
歩留りも40個区の方が幾分良い結果であった。

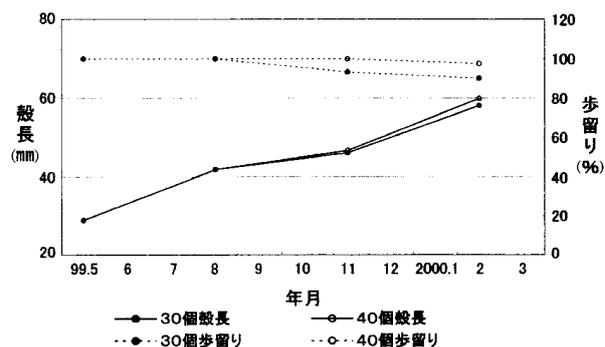


図6 アカガイ1年貝の密度別の成長・歩留り

従って、殻長60mmまでは、40個/基 (0.15㎡) の育成が可能であり、1㎡換算で267個に相当した。

海底域における育成床の設置層と成長及び歩留り (方法)

笠戸湾の水深15mの海底域において、育成床にアカガイ種苗を30個ずつ収容し、育成床の設置層を海底面、海底面上20cm、40cm、60cmおよび80cmの5層とし、平成11年5月から試験を開始した。

(結果)

成長の結果を図7、歩留りの結果を図8に示した。

成長は8月の時点では、5層のなかでは、海底面の成長がやや劣る傾向がみられた。他の層では、ほぼ近似した成長であった。11月の時点では、20cmと40cmの層が比較的成長がよかった。

歩留りは、11月の時点で海底面が90%、80cm層が86.7%となったが、20cm、40cmおよび60cm区は100%であった。平成12年2月の時点でも、とくに変化はみられなかった。

アカガイ育成床における底質改良材Mg(OH)₂の効果 (方法)

下松市笠戸湾の海底(水深約15m)において可動式育成床(50%鈹滓潜床基質使用)を用いMg(OH)₂の

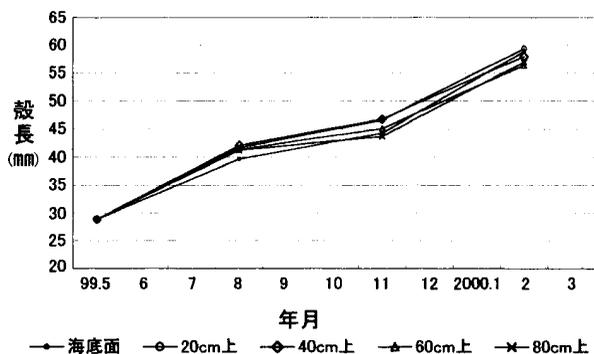


図7 育成床の設置層とアカガイ1年貝の成長

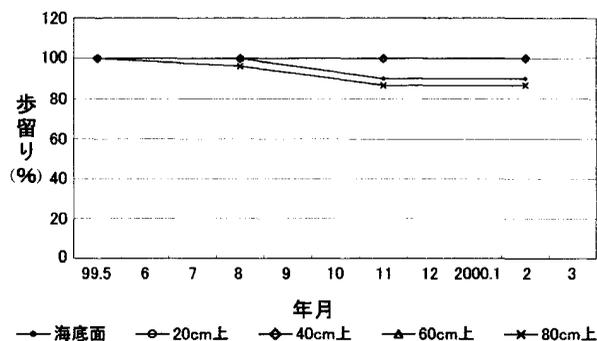


図8 育成床の設置層とアカガイ1年貝の歩留り

添加効果について試験した。

Mg(OH)₂の投入量は、単位面積(㎡)あたり0g(対照区)、100gおよび500gとした。試験は、平成11年5月から平成12年3月まで実施した。アカガイ種苗は、満1年貝(平均殻長28.9mm、平均重量5.8g)を用い育成床1基に30個あて収容した。

(結果)

成長、歩留りの結果を図9に示した。

500g/㎡区は、夏季高水温期を含む危険期の5月から10月の間は、他区に比して成長、歩留りとも良い傾向がみられた。10月以降については、その優位性はみられなかった。

対照区については、成長は5月から10月までの間は3区のなかで最も劣ったが、その後は他の試験区と差異はみられなくなった。

アカガイ育成床の季節的垂直移動と成長 (方法)

笠戸湾の前記場所において、アカガイ種苗を育成床に30個ずつ収容し、常に海底面に設置した区と、高水温期の7~10月の間海底面から50cm上層に引き上げて設置した区との比較試験を実施した(図10)。

供試アカガイは、前記と同様の1年貝であり、試験は平成11年5月から12年3月まで行った。

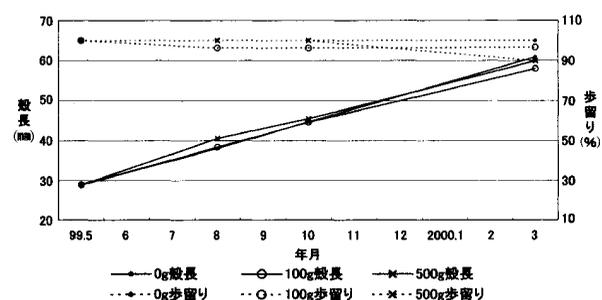


図9 アカガイ育成床の底質改良剤Mg(OH)₂の㎡当たりの投入量と成長・歩留り

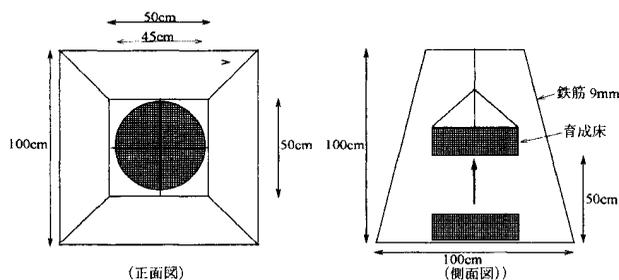


図10 アカガイ育成床の海底面と+50cm層の設置方法

(結果)

成長、歩留りの結果を図11に示した。海底面区より海底面から50cm上層区の方が、夏季高水温期において成長は優れる傾向がみられた。

歩留りは50cm上層区での93.3%に比べ、海底面区では66.7%と低かったが、これは前記したようにマダコの食害にあったためである。

育成床の近接設置におけるアカガイ1年貝の養殖

1) 通常密度の場合 (200個/㎡)

(方法)

アカガイ1年貝種苗を用い、育成床に30個 (200個/㎡) ずつ収容し、図12に示すように鉄筋枠から海底面に近接して4基、海底上20cm層に1基設置し、平成11年5月から平成12年3月まで比較試験を実施した。

(結果)

海底面に設置した4基のうち、1基 (No1) を代表させて海底上20cm層の設置区と対比した。

成長、歩留りの結果を図13に示した。

成長は、大量へい死危険期である夏季高水温期には、海底面よりも20cm上層の区が上回った。へい死の少ない冬季から春季にかけては成長差は広がらなくなった。3月には平均殻長28.9mmのサイズが両区ともに60mm付近に近づいた。

歩留りは93.3%以上であった。

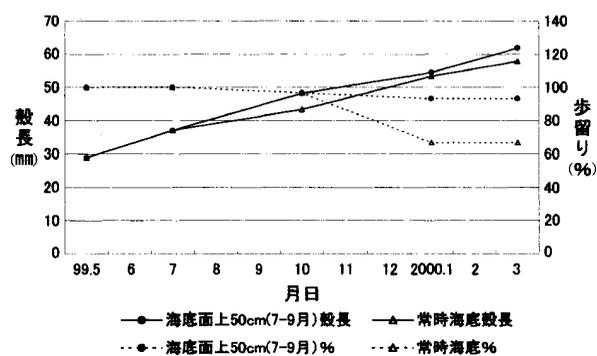


図11 アカガイ育成床の季節的垂直移動と成長・歩留り

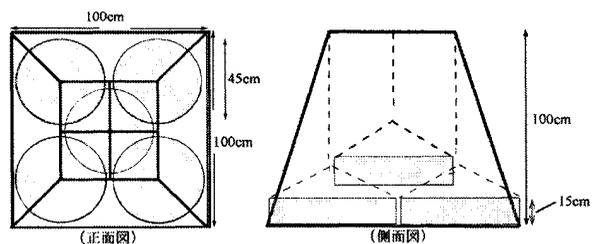


図12 アカガイ育成床の近接育成の方法 (9mm鉄筋枠取付け)

2) 高密度の場合 (666個/㎡)

(方法)

アカガイ1年貝 (平均殻長24.1mm, 平均重量3.2g) を育成床に100個 (666個/㎡) あて収容し、前記した図12のように鉄筋枠に4基は海底面に近接設置し、1基は海底面上20cm層に設置した。

試験期間は平成11年5月から12年3月までである。

(結果)

海底面に設置した4基のうち1基 (No1) を代表させて、海底上20cm層の設置区と対比した。

成長、歩留りの結果を図14に示した。

成長は、海底面に設置した区よりも海底面上20cm区の方が成長が良かった。とくに夏季の高水温期から差異がみられた。3月には海底面設置区が50.3mmに、海底上20cm層に設置した区が52.9mmに成長した。

歩留りは、11月の時点で海底面に設置したNo1区のみマダコの食害を受けたため64%となったが、他の海底面に設置した3つの区は91%以上であった。海底上20cm層は97.0%であった。

育成床の近接設置によるアカガイ2年貝の養殖

(方法)

生後満2年のアカガイ (平均殻長66.0mm, 平均重量

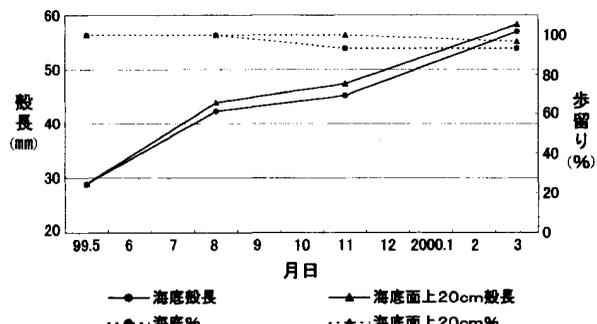


図13 育成床の近接設置によるアカガイ1年貝の成長・歩留り (通常密度の場合, 200個/㎡)

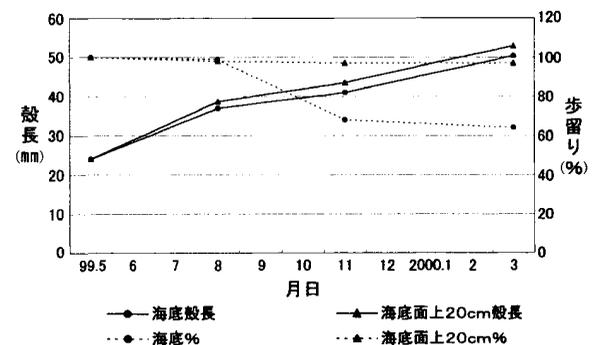


図14 育成床の近接設置によるアカガイ1年貝の成長・歩留り (高密度の場合, 666個/㎡)

76.5 g) を30個あて育成床に収容し、前記のように4基は海底面に近接設置し、1基は海底面上20cmの層になるように鉄筋枠に取り付け、平成11年5月から12年3月まで試験養殖を行った。

(結果)

海底面に設置した4基のうち1基 (No 1) を代表させて、海底上20cm層の設置区と対比した。

成長、歩留りの結果を図15に示した。

成長は、1年貝と同様に海底面よりも海底面上20cmの区が良い傾向がみられた。特に成長差が生じたのは夏季の水温が高い危険期 (5~11月) で、海底面では、成長が極めて遅いことによるものであった。

歩留りは両区とも優れ96.7%以上であった。

育成環境

(方法)

笠戸湾の養殖試験場所の水質環境として、水温、DO、塩分、pH等を、底質環境として全硫化物、IL、COD、粒度組成を、餌生物環境としてクロロフィル-a等を旬ごとに定期観測調査した。

(結果)

平成11年5月から12年3月までの底層での水温、DOを図16に、クロロフィル-aおよび底質の全硫化物量を図17に示した。

水温は、9.2℃ (H12.3.1)~24.7℃ (H11.9.17)、溶存酸素量は、9月 (H11.9.7) に最低の2.88ml/lとなったが問題はみられなかった。全硫化物は、生物の生存に問題があるとされる0.2mg/gを大半の期間で上回っていた。

クロロフィル-aは、7月に1.47 μg/lになったが、一般には、2~4 μg/lが多かった。

なお、海底環境が最も悪化する時期の1時間毎の水温とDOの連続観測結果では、水温は25℃をほとんど

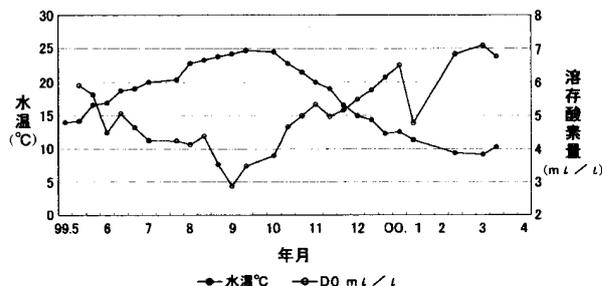


図16 平成11年度における笠戸湾底層での水質結果

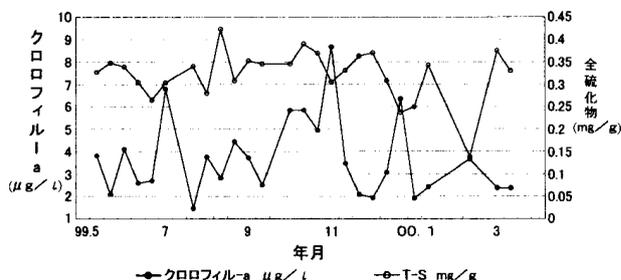


図17 笠戸湾底層でのクロロフィル-a量と全硫化物の変化

越えなかった。DOは、9月22日と10月3日は、1.5 ml/l 付近まで低下した時刻があった。

考察

昭和59年から、笠戸湾の養殖アカガイに成長不良やへい死現象がみられるようになった。

当時、南西海区水産研究所 (現瀬戸内海区水産研究所) 等の国の研究機関および当水産試験場 (現山口県水産研究センター内海研究部) は、マリーナランチング計画でアカガイ母貝団地構想の研究中であったため、原因究明のため水質、底質、懸濁物、植物色素、生理、疾病、寄生生物等を調査した。その結果、有馬¹⁾らは、海底でのクロロフィル-aが6月以降、成層や降雨の影響のため、底層の濃度が急激な低下を示し、秋の循環期まで値が低いまま推移することをとらえた。

このことからアカガイは、水温の高い夏は代謝が昂進してエネルギーを必要とするため、海底面において餌料条件が悪化することは生理的にも厳しい状態にさらされ、さらには個体維持さえ困難となりへい死すると報告している。

では、一体なぜこのような現象が生じ始めたのだろうか。

昭和60年には、笠戸湾には今までに発生がみられなかった有害プランクトン *Gymnodinium mikimotoi* (旧名 *Gymnodinium nagasakiense*) が7月11日に表層域を色濃く着色した。池田ら⁵⁾によると、その後

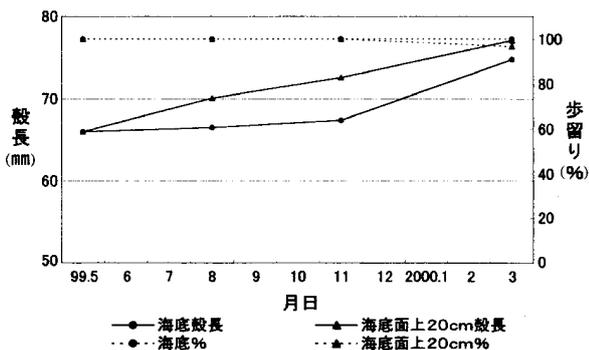


図15 育成床の近接設置によるアカガイ2年貝の成長・歩留り

周防灘全域に拡大し8月3日まで続いたことが報告されている。また、昭和61年にも、大規模に発生したことが松野ら⁶⁾によって報告されている。

高見ら⁷⁾は、赤潮の発生期に、海底域に出現する生物相の調査を定期的実施していたところ、7月16日にはハオコゼ、アイナメ、マアナゴのへい死がみられ、7月16日から17日までの1日で、ヒトデ駆除用に仕掛けた網籠に入網したマアナゴ、ヒトデのへい死がみられた。このような短期間のへい死は、初めてみられ赤潮との関係が深いと考えられた。

潜水調査の結果、水深約15mの海底面は、厚さ数十センチの白雲状の不透明層に覆われていたが、この現象は赤潮の腐敗分解物が沈殿堆積したのではないかと思われた。

こうした層が生物生存不適層を形成し、環境を悪化させると共に、餌料となる植物プランクトンの供給をも遮断したのではないかと推定した。

海底を避けた養殖法として、筏からの垂下式や多段礁の利用による養殖法が考えられた。

垂下式は、波の影響による殻皮の鱗毛が剥げ落ち品質に影響し、多段礁は潜床基質の維持管理、アカガイ種苗の蒔き付け及び取り上げには潜水作業や重機などが必要であるなど経済的な問題がある。

このため、一人または少人数で取り組みの可能な新養殖法として、可動式育成床を考案した。

可動式育成床を有効的に利用するため、その機能を十分知る必要がある。

育成床の潜床基質は、自然の海底と同じく長期間使用すると全硫化物が増加して黒化が進行し、アカガイの成長阻害要因となることが考えられる。

クルマエビの養殖場等で、底質改良剤として使用されているMg(OH)₂を潜床基質に混入させたところ、投入量が500g/m²で、夏季高水温期の危険期においても成長が抑制されない効果がみられた。しかし、水温が下がるその後の時期では、無投入区と差がみられなくなった。

また、海底での養殖と海底面上20cm離れた上層での養殖とでは、アカガイの年級、密度によらず危険期である5~11月の間は、海底面からわずか20cm離すことで成長がよくなることが証明された。

餌料条件および環境条件は、その年の赤潮の発生状況やさまざまな自然条件などによっても異なり、悪化

の程度によってへい死したり、またへい死しないまでも成長に影響するものと考えられる。

従って、環境が悪化する時期は、酸素量、全硫化物等の他、餌料条件を改善する必要がある、適宜適切な環境下で育成することが望ましい。アカガイでは、環境の悪化する時期のみ海底面からわずかに離すことで改善が可能であるといえる。

その方法として、育成床を海底面に固定するのではなく自由に環境が選べる可動式育成床を考案した。この方法は、中間育成を終えたばかりの満1年貝にも効果がみられ、出荷サイズに成長させる満2年貝には更に有効であった。

次の展開として、種苗サイズ、品質からみた適正収容密度、育成床の構造、底質改良法、新潜床基質の究明、高齢化に対応した機械化などに取り組む必要がある。

文 献

- 1) 高見東洋 (1987) : アカガイの養殖に関する研究-Ⅲ. 笠戸湾でみられた養殖アカガイの成長不良現象とその対策について. 山口県内海水産試験場報告, **15**, 1-6.
- 2) 有馬郷司・大池一臣・梅沢 敏・福原 修 (1989) : 母貝集団形成と採苗環境. 昭和63年度近海漁業資源の家魚化システムの開発に関する総合研究(マリーナランディング計画) プロGRESS・レポート, **9**, 85-91. 南西海区水産研究所.
- 3) 岩本哲二・藤村治夫 (1997) : ミルクイガイ・アカガイの養殖技術に関する研究-7. 山口県内海水産試験場報告, **26**, 11-16.
- 4) 高見東洋・金井大成・原川泰弘・河村和寛 (2000) : ミルクイガイ・アカガイの養殖技術に関する研究-Ⅳ. 山口県内海水産試験場報告, **29**, 74-78.
- 5) 池田武彦・松野 進・桃山和夫 (1987) : 昭和60年夏季発生Gymnodinium nagasakiense赤潮について. 山口県内海水産試験場報告, **15**, 58-66.
- 6) 松野 進・池田武彦・桃山和夫 (1988) : 昭和61年夏季に発生したGymnodinium nagasakiense 赤潮について. 山口県内海水産試験場報告, **16**, 142-148.
- 7) 高見東洋・河本良彦 (1986) : アカガイ人工母貝の養成と害敵防除技術. 昭和60年度「近海漁業資源の家魚化システムの開発に関する総合研究」(マリーナランディング計画) プロGRESSレポート, **6**, 97-106. 日本海区水産研究所.

アカガイの新養殖技術の開発に関する研究 - II 可動式育成床の特性と実用化

高見東洋・金井大成・原川泰弘・河村和寛

山口県では、昭和60年頃から瀬戸内海側において有毒プランクトンの*Gymnodinium mikimotoi*が大発生し、海底域の生物生育環境を著しく悪化させ養殖アカガイに大被害を与えた。平成10年度に山口県内海水産試験場（現山口県水産研究センター内海研究部）において可動式育成床¹⁾²⁾を開発し、へい死の多くなる時期は、海底から安全な層に回避できる方法を考案し、アカガイ養殖の復活の可能性を見出した。

可動式育成床を用いた各種の基礎試験を実施した結果、次のことが判った³⁾。潜床基質については、底質悪化の防止および軽量化が図れる鉾滓では、100%鉾滓の場合かえって成長が劣る傾向がみられた。育成床は、管理の間隔を2カ月、3カ月、6カ月および10カ月とした場合、成長や歩留り、付着生物による目詰まり等から6カ月間隔が適切であった。育成床での飼育可能個数は成長・歩留りからみると殻長60mmまでは、最高40個/基（266個/m²）は可能であった。育成床はわずか海底面上20cmの層に設置することで海底よりも成長の促進が図れた。

これらを礎とし、事業化に向けてより省力化、効率化、経済性を追求するとともに、持続的養殖技術開発の研究を目指し、可動式育成床を実用化するために下記の試験を実施した。

本事業を実施するにあたり、下松漁業協同組合の三国光義氏および守田平人等参事他多くの方々にご多大なご協力を賜った。

方法と結果

育成床の海底域の常設と季節的移動による成長及び歩留り

(方法)

下松市笠戸島三百瀬地先の笠戸湾（図1、以後笠戸湾と言う）の水深15mの海底において、アカガイ種苗（平均殻長36.2mm、平均重量10.8g、1年貝）を図2示

した養殖籠（52×113×20cm）に120個収容した。飼育試験した設置層は次の3通りとした。

- 1) 海底面に常設
- 2) 海底面上10cm層に常設
- 3) 7月から10月の間のみ海底面上10cm層に設置し他期は海底面に設置

潜床基質は海底面に設置した区は自然の海底泥を利用し、海底面上10cmに常設した区および季節的に海底面上10cm層に設置した区は鉾滓（日東紡k.k.製、ロックウール66Rの鉾滓）と砂（粒径250～1000μmが94.7%を占める）を容積比で50%づつ混合したものを使用した。海底面上10cm層で育成する方法は図2に示したカセット枠を用いた。試験区は、各2組づつ設けて平成12年5月から13年2月まで育成した。

(結果)

成長及び歩留りの結果は、2組とも同様な傾向を示したので、1組の飼育結果を図3に示した。成長は、

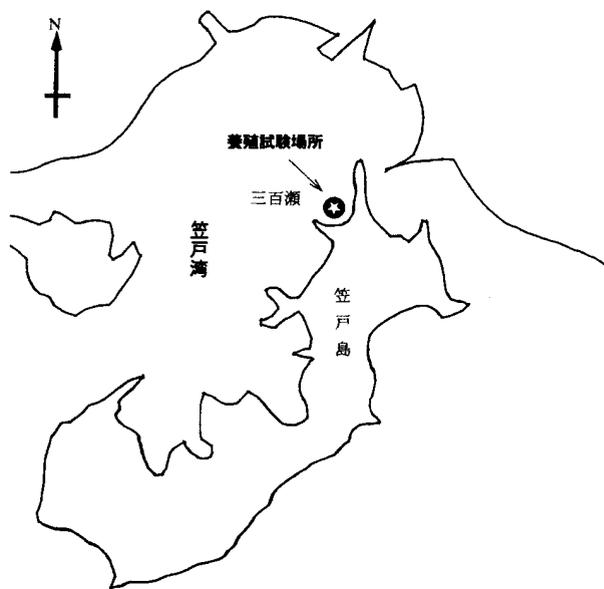


図1 アカガイ養殖試験場所

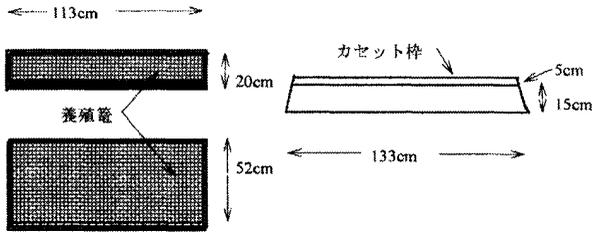


図2 養殖籠とカセット枠

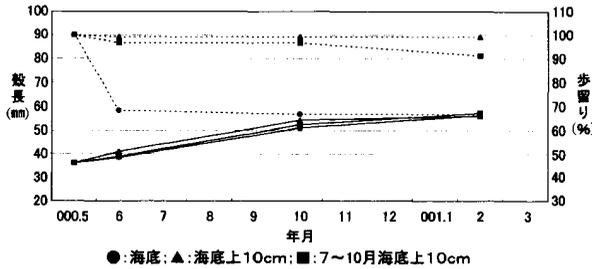


図3 アカガイ育成床の常設層と季節的移動層による成長・歩留り

10月の時点では常時海底面上10cm層に設置した区が最も優れており、次に7～10月の高水温期にのみ海底面上10cmに設置した区が続き、海底面に常設した区が最も低かった。しかし、平成13年2月には、殆ど差異はみられなくなった。

歩留りは常時海底面上10cm層が99.2%と最も高く、ついで7～10月の間を10cm層に移動した区となり、海底面に常設した区は飼育を開始してから1カ月後に約30%減耗した。この海底面の飼育の方法は、従来の一般的な養殖方法と同様に海底面に正常に着底できていない場合ヒトデの食害を受けやすい構造である。

種苗サイズと成長及び歩留り

(方法)

笠戸湾において0.15㎡の可動式育成床（図4、以下育成床という）を用いアカガイ（満1年貝）の種苗サイズが平均殻長29.1mm, 32.1mm, 37.9mmおよび41.7mmの4グループを用い育成床の設置層を海底と海底上10cm層の2カ所で行った。海底の育成方法は、図5に示したカセット枠を使用し、海底上10cm層での育成方法は、

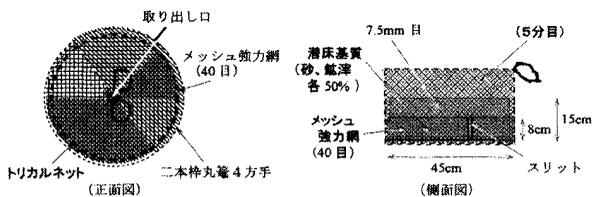


図4 可動式育成床

図6に示したカセット枠を用いた。試験区は両設置層ともに2組あて実施した。実施期間は平成12年5月から平成13年1月までである。

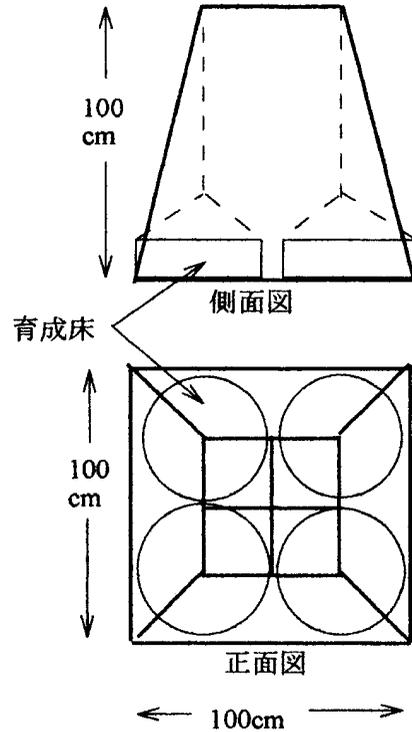


図5 カセット枠（台形）

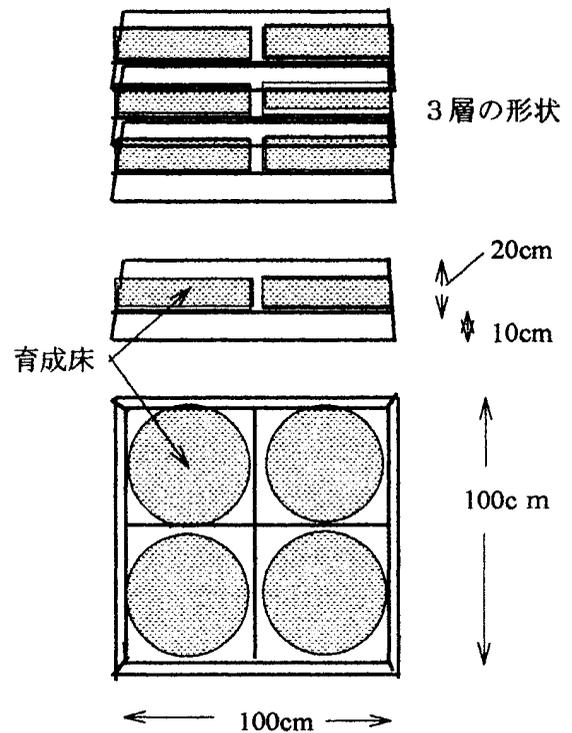


図6 カセット枠（多層可能な組み込み式）

(結果)

海底に設置した2組の成長及び歩留りの結果は、ほぼ同様な傾向を示したので1組を代表して図7に示した。成長は、飼育開始後9カ月目には、種苗サイズが41.7mmの区は65.5mm (70.0g)、37.9mmおよび32.1mm種苗は比較的大きさが等しくなり約60mmとなった。29.1mm種苗も順調に成長がみられ約56mm (41.5g) になった。また、歩留りは比較的高くいずれも93.3%以上であった。

海底上10cm層に設置した2組の結果は、やはり同様な傾向を示したので1組を代表して図8に示した。成長及び歩留りは、海底区と比較的似た傾向を示したが、最終的には海底上10cm層がわずかに成長が良い程度であった。歩留りはいずれも93.3%以上であった。

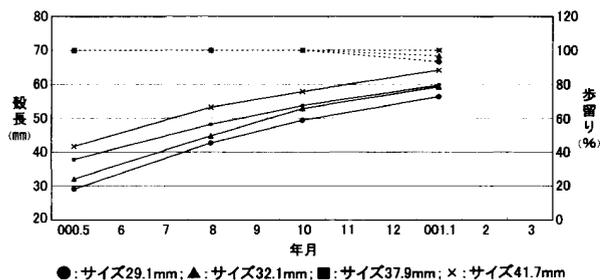
育成床による2年貝の成長及び歩留り

(方法)

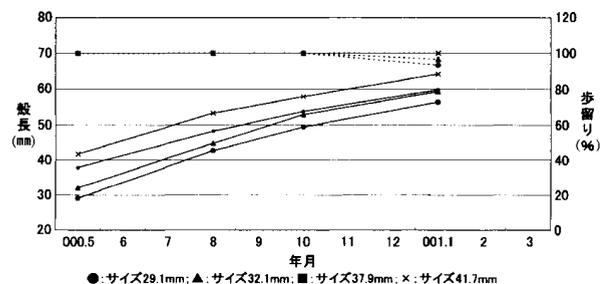
笠戸湾において生後満2年目の平均殻長63.8mm (67.9g) の供試貝を用い、育成床に30個ずつ収容して前記の図5に示したカセット枠に育成床を4基設置した。このようなカセット枠3台(試験区1, 2, 3)で平成12年5月から平成13年2月まで育成した。

(結果)

2年貝の成長及び歩留りの結果を図9に示した。成長は育成床によって多少の差異がみられた。9カ月後



●: サイズ29.1mm; ▲: サイズ32.1mm; ■: サイズ37.9mm; ×: サイズ41.7mm
図7 アカガイの種苗サイズと成長・歩留り
(海底に設置した育成床の場合)



●: サイズ29.1mm; ▲: サイズ32.1mm; ■: サイズ37.9mm; ×: サイズ41.7mm
図8 アカガイの種苗サイズと成長・歩留り
(海底上10cm層に設置した育成床の場合)

には、試験1区は平均殻長73.5mm (113.4g)、2区71.5mm (104.1g)、3区75.4mm (111.3g) といずれも70mm以上となった。歩留りは、それぞれ90%、100%および96.7%であった。

10カ月後(平成13年3月)に精密測定したところポリドラの寄生はみられず、肉質の色も良好であった。肥満度は、肉重量をw g、殻長をL cmとし、 $(w/L^3) \times 10^3$ で示すと10.3となり、身入りの良好な貝であった。身の占める割合は、肉重量をw g、殻重量をW gとし、 $\{w/(w+W)\} \times 100\%$ で示すと49.3%であった。

産地別種苗の成長及び歩留り

(方法)

産地の異なる2種類の種苗を用いた。種苗の一方は、山口県内海栽培漁業センターで種苗生産し、笠戸湾で中間育成した平均殻長32.1mm (7.3g) の下松産種苗(満1年貝)で、もう一方は、香川県栗島で種苗生産を行い、栗島海域で中間育成した平均殻長30.5mm (7.1g) の栗島産種苗(満1年貝)である。育成床に30個ずつ収容し、産地別に5基ずつ延縄式にして笠戸湾の海底に設置した。育成期間は、平成12年5月から平成13年2月までの9カ月間である。

(結果)

産地別の成長及び歩留りは、5基ともに同様な傾向がみられたので、産地別に1基を代表させて図10に示した。種苗は、下松産が1.6mm大きいですが、両種苗ともに順調な生育がみられ、9カ月後には下松産が59.0mm (49.8g)、栗島産が56.5mm (45.4g) となった。歩留りはそれぞれ96.7%、100%であった。

育成床の設置層別、潜床基質別の成長及び歩留り

(方法)

笠戸湾において海底面(図5に示したカセット枠使用)と海底面上10cmの層(図6に示したカセット枠使用)で潜床基質として砂(前記)および50%鈹滓(前記)を用いて比較した。アカガイ種苗は、生後満1年貝(平均殻長36.2mm、平均重量10.8g)で育成床に30個ずつ収容し、平成12年5月19日から平成13年1月30日まで育成した。

(結果)

成長及び歩留りの結果を図11に示した。成長は危険期である夏季高水温期を経過した時点では、海底面育成よりも10cm上層の方が優れていた。しかし、その後

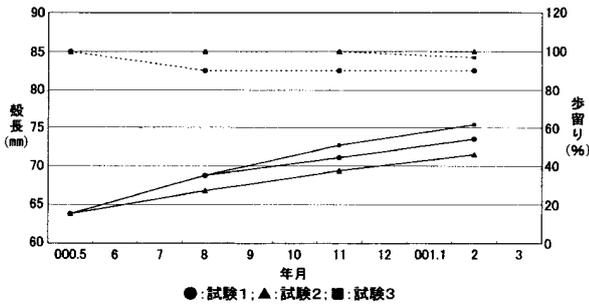


図9 アカガイ2年貝の育成床による成長・歩留り

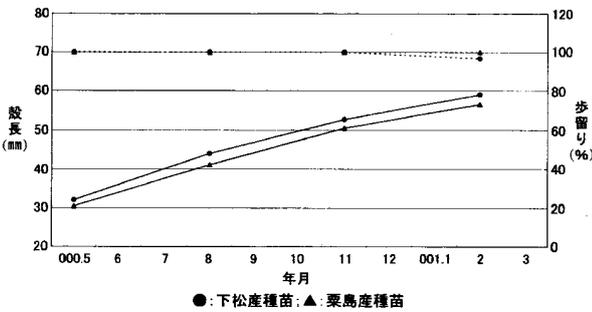


図10 産地別アカガイ種苗の成長・歩留り

は、両層の成長差はみられなくなった。歩留りは、いずれも100%に近い値であった。

収容数別（収容密度別）の品質と成長及び歩留り

(方法)

笠戸湾において生後満1年貝（平均殻長36.2mm，平均重量10.8g）を用い，育成床に収容する個数を25個，30個，35個および40個（収容密度換算でそれぞれ，1m²あたり166個，200個，233個および266個）とし，平成12年5月19日から平成13年2月7日まで育成して比較した。

(結果)

成長及び歩留りの結果を図12に示した。歩留りは，いずれの区も100%に近い値を示し，成長においても

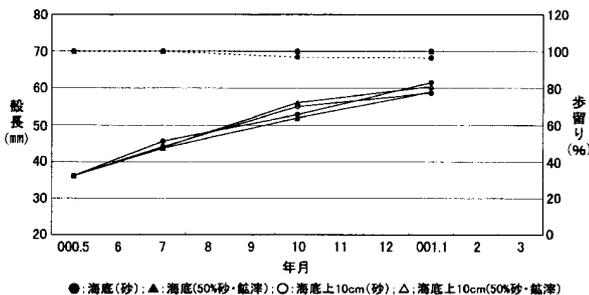


図11 アカガイ育成床の設置層別，潜床基質別の成長・歩留り

終了時点では，いずれの区も大きな差異は認められなかった。また，殻皮の残存状況は，殻長60mmまでなら40個の収容，すなわちm²あたり266個の密度までは問題がなかった。

軽量潜床基質別の成長及び歩留り

(方法)

笠戸湾において育成床に収容する軽量潜床基質としてノーバル（マカロニ形の発泡スチロール製緩衝材），フルーツキャップ（果物を保護するための発泡スチロール製緩衝材），化繊綿および木綿綿の4種を用い，アカガイ1年貝（平均殻長31.7mm，平均重量7.8g）を各育成床に30個ずつ収容し，平成12年6月8日から平成13年1月22日まで育成して比較した。

(結果)

成長及び歩留りの結果を図13に示した。成長は，開始後3カ月目の9月では，化繊綿が最もよく，最終的には化繊綿および木綿綿が他区に比して良かった。しかし，砂や50%鉛澤などの基質が平成13年1月には全般的に約60mmに達したのに対し，これら4種の軽量潜床基質では50mm程度にしか成長しなかった。歩留りは，ノーバルおよびフルーツキャップが96.7%であったが，化繊綿56.7%，木綿綿70%と低かった。

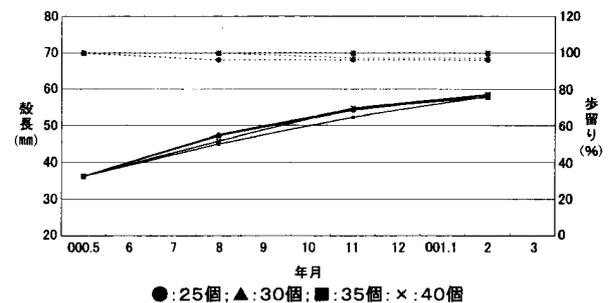


図12 アカガイ育成床の収容数別の品質と成長・歩留り

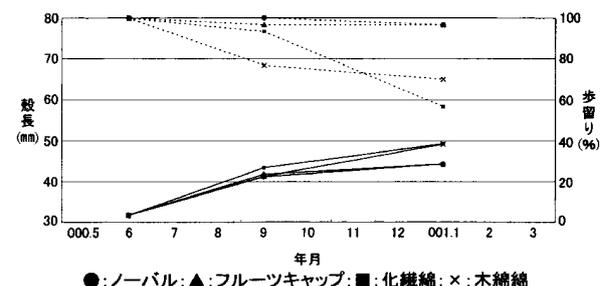


図13 アカガイ育成床に用いる軽量潜床基質別の成長・歩留り

育成環境

(方法)

笠戸湾の養殖試験場所の水質環境として水温、DO、塩分、pH等を、底質環境として全硫化物、IL、COD、粒度組成を、生物餌料環境としてクロロフィル-aを旬毎に観測した。また、海底環境が悪化する夏季（7月上旬～9月上旬）については、海底上10cm層の水温およびDOの連続観測（2時間間隔）を実施した。

(結果)

アカガイの生息域である海底での平成12年5月から13年3月の間の水温、DOおよびクロロフィル-aの調査結果を図14に、底質の全硫化物およびCODを図15に、さらに夏季高水温期については、海底上10cm層で2時間ごとに水温とDOを観測し図16に示した。

水温は最高24.9℃（H12.9.14）、最低8.14℃（H13.2.15）、溶存酸素量は8月下旬に最低の2.98ml/lとなったが問題はみられなかった。

底質の全硫化物は、生物の生存に問題があるとされている0.2mg/gを全期をとおして上回っていた。生物餌料の指標となるクロロフィル-aは、最低は5月上旬に1.46 μg/l、最高は10月中旬に7.75 μg/lであったが、全般に2～4 μg/lが多かった。

考 察

山口県下松市の笠戸湾は、昭和50年代に高品質の養殖アカガイを生産することで全国的に知られていた。昭和60年頃から*Gymnodinium mikimotoi*の大発生がみられ、アカガイのへい死や成長不良現象が生じ長期にわたったため現在ではアカガイ養殖は休止の状態にある。そこで高見らが開発した可動式育成床¹⁾²⁾により、夏季高水温期の危険期でもアカガイが生残することをつきとめ、これを基本にして実用化のための育成試験を実施した。

天然アカガイの生息域は、泥分率90%以上の軟泥質であり、赤潮やその他の要因等で海底環境が悪化した場合は、生息場所のCODや全硫化物の増大およびDOの減少がみられ、さらに夏季高水温期には成層が形成されることにより、表層および中層域で生産された餌料プランクトンが海底までとどかない可能性が大きくなる。これらを回避し、適切な潜床基質と良好な餌料環境で育成する必要がある。

貝類の潜床基質には、砂⁴⁾、カキ殻⁴⁾、濾過布⁴⁾、網²⁾などの化繊、アンスラサイト⁵⁾および鉍滓（エスプランソイル）⁴⁾などが使用されている。これまでに育成

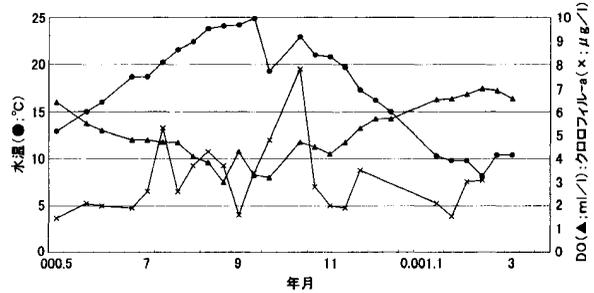


図14 平成12年度の下松市笠戸湾アカガイ養殖試験地（三百瀬）における海底域の水質環境

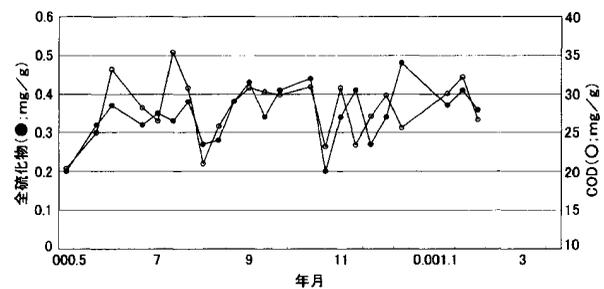


図15 平成12年度の下松市笠戸湾アカガイ養殖試験地（三百瀬）における海底底質環境

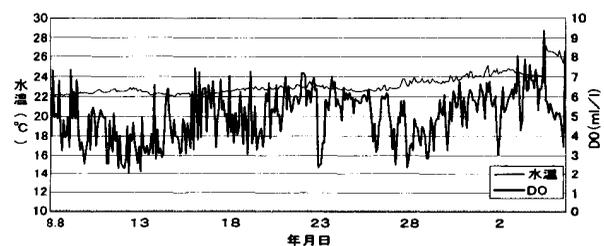
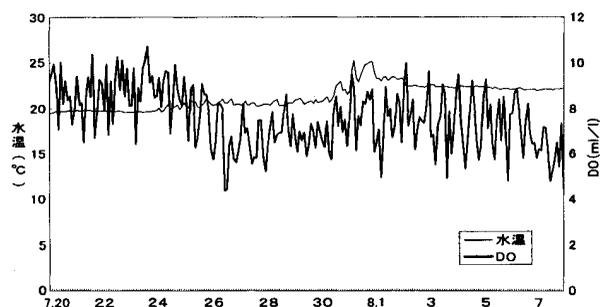
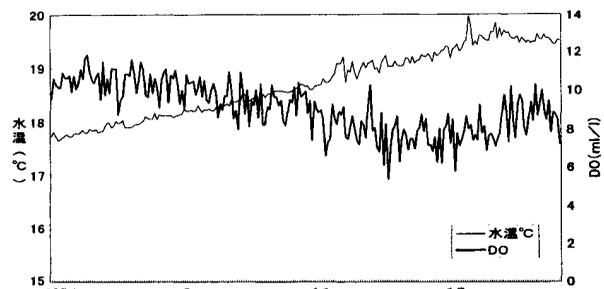


図16 平成12年度の笠戸湾における夏季高水温期の2時間ごとの水温、DO（海底上10cm層）

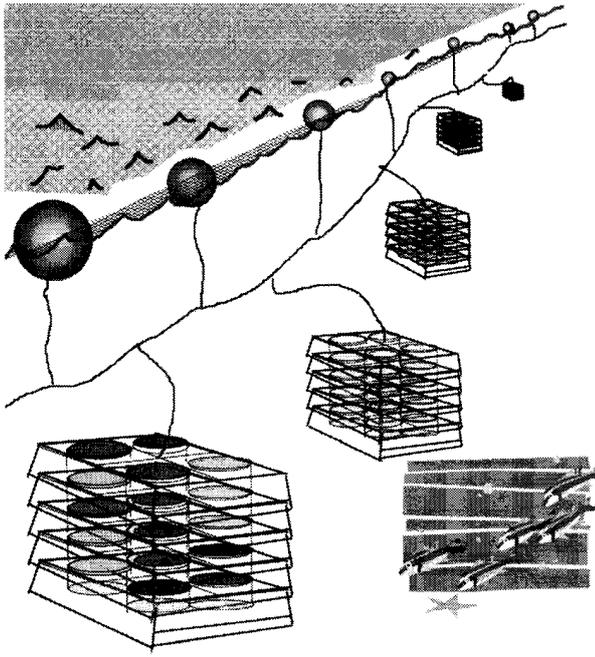


図17 新技術によるアカガイ養殖の近未来図

床を用いた養殖試験としては、鉾滓の混合率、潜床基質の管理期間、育成床に収容する適正個数等を見出ししてきた。

海底域の利用層について、平成11年度には海底上20cm以上あれば高水温季の成長が海底より優れることが判ったが、さらに追跡したところ海底から10cm上層でも海底よりも成長が優れ、単に7～10月の間のみ10cm

上げても効果がみられることが判ってきた。

種苗サイズは、32mm程度であれば約1年で約60mmに達し、40mm種苗では数ヶ月も早く60mmに達する。また60mm程度の2年貝は、約1年で70mmを越えコマーシャルサイズとなった。

今後は、最終段階として殻長60mm以後の品質の向上と、効率的かつ持続的な養殖法をめざした技術開発を行う必要がある。可動式育成床を用いたこれまでの研究成果のまとめとして、これからのアカガイ新養殖法の概念図を図17に示した。

文 献

- 1) 高見東洋 (1999) : アカガイの養殖, **36** (3), 62-65.
- 2) 高見東洋・金井大成・原川泰弘・河村和寛 (2000) : ミルクイガイ・アカガイの養殖技術に関する研究-IV. 山口県内海水産試験場報告, **29**, 74-78.
- 3) 高見東洋・金井大成・原川泰弘・河村和寛 (2002) : アカガイの新養殖技術の開発に関する研究-1. 基礎的条件下における可動式育成床の生産性について, 本誌
- 4) 藤村治夫・大橋 裕・金井大成 (1993) : ミルクイガイの放流技術に関する研究-III. 山口県内海水産試験場報告, **22**, 68-71.
- 5) 西広富夫・岩尾敦志 (1992) : 人工種苗を用いたトリガイ養殖試験. 日本海ブロック試験研究集録, **23**, 65-72.

テトラサイクリンによる稚ナマコ囲食道骨の標識

松野 進

Mass-marking of Circum-esophageal Ossicle in Juvenile Sea Cucumber,
Apostichopus japonicus, with Tetracycline

Susumu MATSUNO

Mass-marking method of juvenile sea cucumber, *Apostichopus japonicus*^{*1}, by tetracycline (TC)-marking of circum-esophageal ossicles was developed. Bright fluorescence derived from the ossicles were observed under epifluorescence microscope with blue excitation, when the animals were fed 10% TC mixed diet for 2 weeks, or were dipped in 100ppm TC sea water for 16 hours a day for 4 days. Fluorescence was distinguishable 161 days after the TC-marked juveniles were liberated in the coastal waters, indicating the available period about two times longer than that of the branding method which is now generally accepted to be the best marking of sea cucumber. About a half year after TC-marking, fluorescence could not be distinguished due to the newly produced bone around the ossicles. Active tetracycline against bacteria was not detected from the TC-marked animals collected 161 days after liberating.

マナマコ *Apostichopus japonicus*^{*1} の標識方法について、崔¹⁾ は体外型タグではナマコが異物の除去機能を持つことにより実用的価値がないことを示した。柳沢ら²⁾ は焼き印の火傷痕による標識が91日後にも確認できたことを報告している。その後1988年から1997年までマナマコの増殖に関連した水産庁の補助事業^{*2} が行われ、事業担当機関により焼き印の他、ラテックス、スパゲッティタグ、ニュートラルレッド、メチレンブルー、ALC、鉄サビ、マイクロワイヤータグによる標識が試みられたが、いずれも実用的価値において焼き印を超える標識方法の開発はできなかった。また、この事業においても焼き印標識の有効期間は、おおよそ3~4ヶ月間であることが追試された。このように焼き印法は現在、最も優れた標識方法とされているが、

栽培漁業で一般に放流される種苗のような小型個体に標識することは難しい。浜野ら³⁾ も指摘しているように、ナマコ種苗の海域への放流後の追跡調査は極めて困難であり、種苗への有効な標識方法の開発が望まれている。

テトラサイクリン (TC) は2価、3価の金属イオンとキレート結合することから、Ca⁺⁺と結合し動物の骨組織に沈着し、また、紫外線照射により蛍光を発することが知られている⁴⁾。TCのこの性質を利用して、TSUKAMOTO^{5, 6)} はアユの卵およびふ化仔魚へのTC浸漬による耳石への標識が有効であることを報告しており、NAKAMURA and SAKURAI⁷⁾ はスルメイカへのTC経口投与による標識で平衡石日周輪を実証している。また、棘皮類においてもKOBAYASHI⁸⁾、PEARSE and

*1 マナマコは体色により「アカ」、「アオ」、「クロ」の三つに区分されており、それらには生態的な差異が認められているが、現時点では同一種として扱われている。本報告では、括弧の中に体色を記述して区別した。
Apostichopus japonicus has been divided into three of "red", "green", "black" by the body color. Though there are ecological differences to them, in the current, it has been made to be one species. In this report, by describing body color in the parenthesis, it has been distinguished.

*2 愛知県・大分県・福井県・山口県 (1989~1993) 地域特産種増殖技術開発事業報告書 (棘皮類)
石川県・大分県・福井県・山口県 (1994~1998) 地域特産種増殖放流技術開発事業報告書 (棘皮類)

PEARSE⁹⁾, MÄRKEL¹⁰⁾ がいずれもウニ類の石灰組織の成長マーカーとしてTC注射を行い、殻の成長について報告している。

今回、筆者はTCを経口および浸漬投与した稚ナマコについて囲食道骨¹¹⁾での反応を調べることによりTCが標識として使用可能であることを明らかにするとともに、TC標識した放流稚ナマコの追跡調査を行ったので報告する。

材料および方法

標識方法

供試ナマコは1996年、山口県水産研究センター内海研究部において種苗生産された稚ナマコ（アオ、 15.2 ± 4.7 mm, N = 30）を、標識薬剤はテトラサイクリン塩酸塩 $C_{22}H_{24}N_2O_8 \cdot HCl$ （生化学用）を、餌料はリビックBW（理研ビタミン株式会社製の海藻粉末、以下、リビックと略記）を用い、標識方法は以下の2方法とした。対照にはリビックを単独で給餌して飼育した稚ナマコを用いた。

経口法 箱型水槽（寸寸：380×260×H240mm, 水量20ℓ）4基に稚ナマコを30個体ずつ収容し、TC添加率を4段階に変えて（表2）リビックとTCを均一に混ぜ合わせた後、海水を加え練り込んで調製した練り餌をそれぞれ2～20日間給餌して標識した。給餌は毎日、16～17時に底掃除後、翌日に練り餌が多少残ると予想される程度の量を数個に分けて、水槽底に均一に分布するように行った。試験期間中の飼育水温は12.9～18.4℃であった。

浸漬法 用いた水槽は経口法と同様とした。TC濃度は3段階とし（表3）、夕方17時から翌朝9時まで止水として浸漬を行い、2～20日間繰り返すことにより標識した。給餌はリビックを練り餌として、流水開始直後に与え、止水開始前に残餌を除去した。

標識検出方法

予備試験においてTCをリビックに添加して経口投与を行った結果、ナマコの囲食道骨が最も安定して標識されることがわかったので、これを標識検出対象部位とした。囲食道骨の生体からの摘出方法、付着している肉片の除去方法および蛍光観察方法は以下のとおりとした。

- ① 体長数mm以下の稚ナマコは体全体を、それより大きいものは囲食道骨を含む口側を解剖バサミで切り取り、採取する。
- ② 採取した部分を50mlビーカーに入れ、蒸留水10～20mlで脱塩（静置、時々攪拌）し、一回蒸留水を入れ替えて、再度、同様に処理する（約1時間×2回）。
- ③ 大きい肉片はピンセットで除去し、液体を捨てた後、サンプルのサイズに応じて1N-NaOH溶液を10～20ml加える。

a) 囲食道骨全体の形態を崩さずに残す場合は、常温で一晩静置し、肉片が残っている場合は、NaOH溶液を入れ替え再度静置し、緩やかに溶解させる。

b) 囲食道骨全体の形態の観察が必要でなく、蛍光標識だけの観察を目的とする場合は、NaOH溶液を加えた後ウォーターバス内で溶解状況を観察しながら加温する。加温すると肉片の溶解は速やかに進むが、囲食道骨連結部の化骨は崩壊し10個の骨板に分離し易い。

④ 囲食道骨が流れ出ないようにNaOH溶液を捨て、囲食道骨を一度蒸留水で洗浄した後、蒸留水10～20mlを加え、数時間静置（時々、攪拌）しNaOH溶液を充分洗浄する。

⑤ ピペットで囲食道骨を無蛍光スライドグラス上に採取する。多数のサンプルを処理する場合はリングマーク入りスライドグラスを使用する。ただちに検鏡しない場合や保存する場合は培養用マイクロウェルプレートを使用する。

Table 1. Rating of intensity of fluorescence derived from circum-esophageal ossicles of juvenile *Apostichopus japonicus* marked with tetracycline by blue excitation.

表1 検鏡時の蛍光標識程度の点数

Point	Intensity of tetracycline fluorescence
0	No fluorescence
1	Slight fluorescence from less than half of the specimen
2	Slight fluorescence from more than half of the specimen
3	Moderate fluorescence from whole of the specimen
4	Partial bright fluorescence in moderate fluorescence from the specimen
5	Bright fluorescence from whole of the specimen

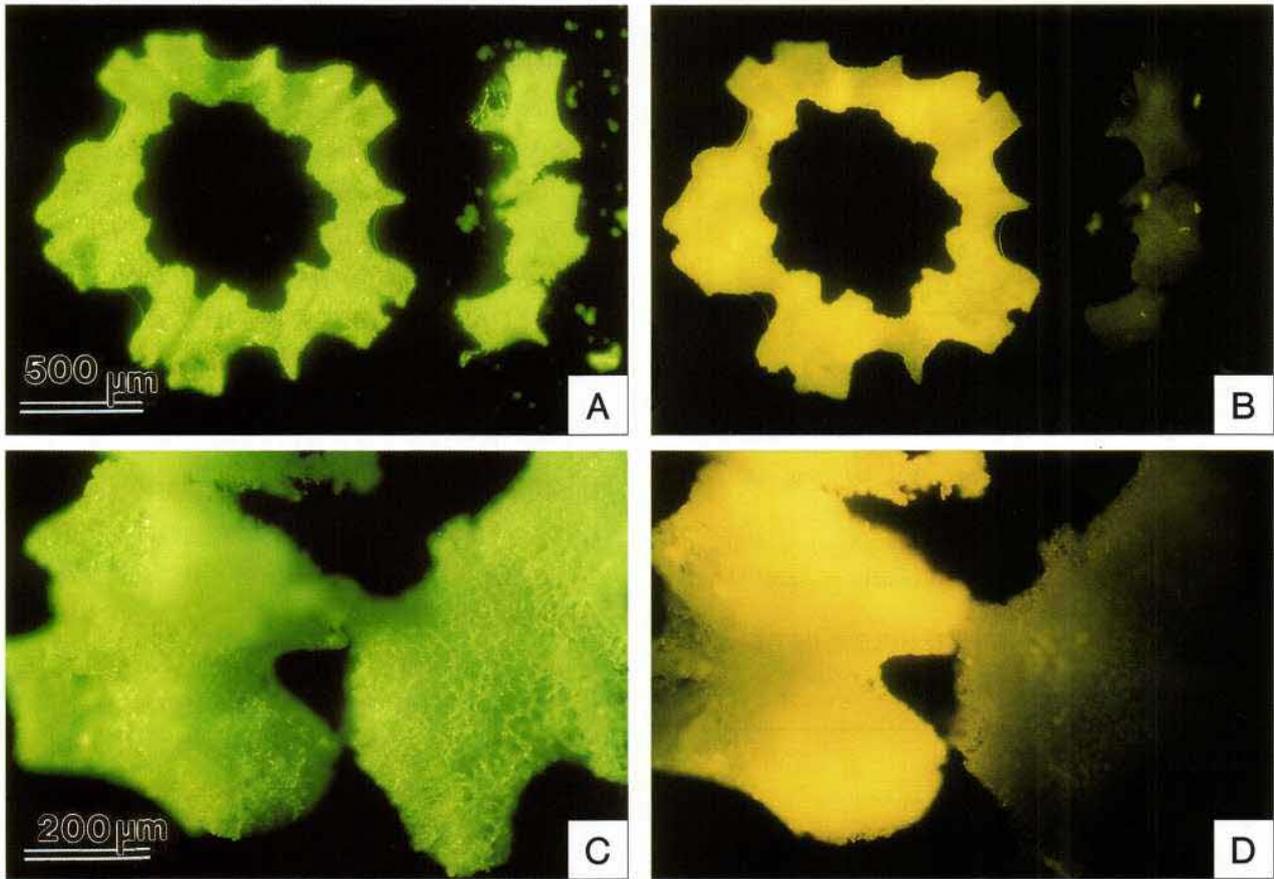


Fig.1. Epifluorescence microscopical photographs of circum-esophageal ossicles from juvenile *Apostichopus japonicus* (green type) marked with tetracycline by oral route (TC : RIVIC : Seawater=10 : 100 : 220, 13days).

A and C were observed under halogen lamp illumination, and B and D were observed under blue excitation, showing 4 points intensity in Table I. A and B, and C and D were the same specimen, respectively. In each picture, left specimen was from tetracycline marked animal, but right was not marked. Ossicles in the left specimen in A and B were artificially forced to turn inside out.

図1 咽食道骨へのTC標識例 (マナマコ (アオ))

A, Cはハロゲンランプで, B, Dは左側と同一物を落射蛍光ブルーフィルター励起で撮影。各写真では左の骨がTC標識されており, 右の骨は標識されていない。

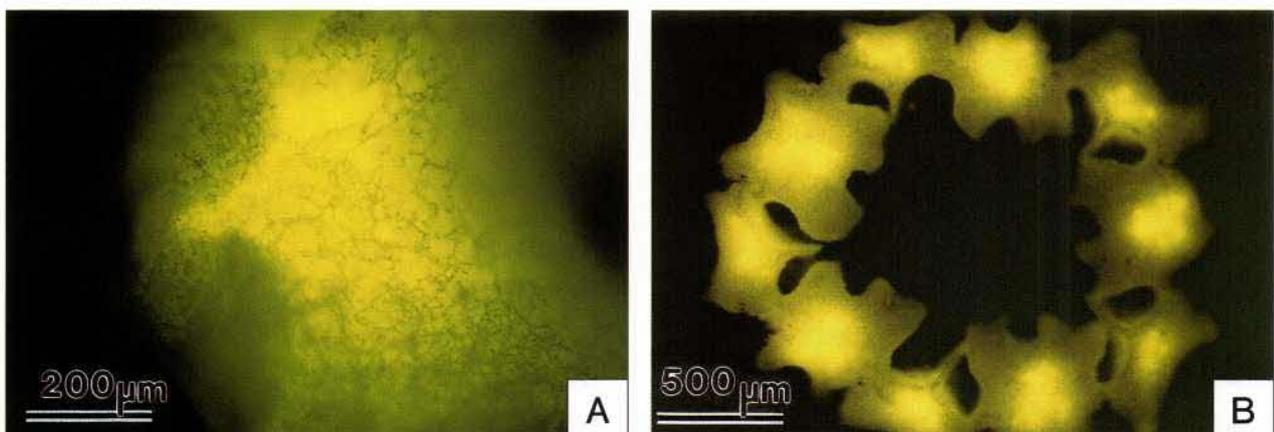


Fig.4. Fluorescence derived from circum-esophageal ossicles from *Apostichopus japonicus* collected 161 days (A, green type) and 110 days (B, red type) after being liberated with tetracycline marking.

Note the newly produced bone in the peripheral part of the ossicles shows no fluorescence.

図4 海域にTC標識放流して161日後のマナマコ (アオ) 再捕個体のTC標識 (骨板1個, A) および110日後のマナマコ (アカ) 再捕個体のTC標識 (骨板全体, B)

放流後, 標識部位の周辺部に新しく形成された骨組織は蛍光発色していない。

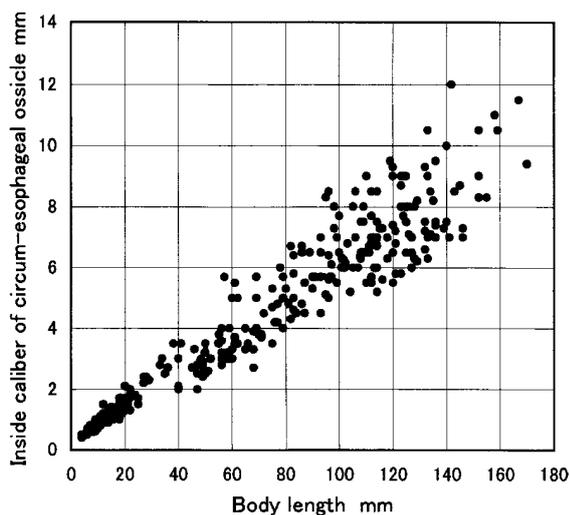


Fig.2. Relationship between body length and inside caliber of circum-esophageal ossicle of *Apostichopus japonicus* (green type).

図2 マナマコ (アオ) の体長と咽食道骨口径の関係

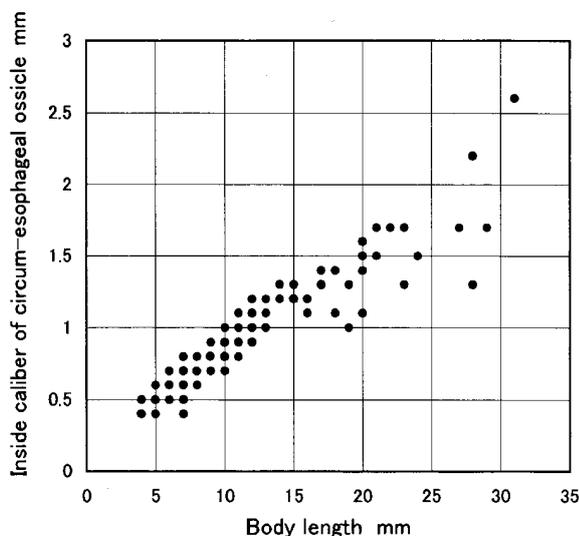


Fig.3 Relationship between body length and inside caliber of circum-esophageal ossicle of juvenile *Apostichopus japonicus* (red type).

図3 マナマコ (アカ) の体長と咽食道骨口径の関係

⑥ デシケーター中で常温乾燥を行う。保存する時は遮光する。

⑦ 落射蛍光顕微鏡を用い、ブルーフィルター励起により発色された黄色の蛍光 (図1) を観察する。

蛍光発色の程度は表1の基準により5段階に分類した。

また、咽食道骨を含む口部を蒸留水に浸漬した後、咽食道骨口径 (内径、長径と短径の平均値) を測定し、体長 (本報告の体長測定は特に記述しない場合はメントール麻酔¹²⁾ によった) と咽食道骨口径との関係 (図2, 3) を求めサンプル作成時のNaOH溶液添加量の決定等の参考とした。

標識稚ナマコの追跡調査

1996年生産種苗 (アオ) 放流の約20日前に種苗生産用の波板付着器から稚ナマコを剥離して取上げ、枠付き小割網 (80×80×60cmFRP枠, 200 μmPEネット) 中に収容した。小割網は2 ℓFRP水槽中に垂下し、エアレーションおよび給水 (砂ろ過海水) は小割網内に行った。収容日以降の14日間、毎日夕方にTC添加練り餌 (リビック:TC:海水=100:10:220) を小割網の底面に均一に分布するように投与して標識した。次の給餌前には小割網内の残餌および排泄物は除去した。放流種苗の体長は10.0±3.6mmであった。放流は1996年11月26日に山口県吉敷郡秋穂町竹島地先の水深0~1m付近の転石帯で行った。追跡調査は1997年5月6日, 9月18日, 29日, 10月6日に潜水または干潮時の磯採集で行った。

1997年生産種苗 (アカ) 飼育方法, 経口標識方法については1996年と同様とした。1997年は14日間の経口標識終了後, 濃度100ppmの浸漬標識をさらに3日間行った。放流種苗の体長は8.3±2.2mmであった。放流は1997年9月25日に山口県大津郡三隅町野波瀬漁港内の水深4m地点の細砂に転石が散在する場所で行った。追跡調査は1998年1月13日に潜水により行った。

TCの体内残留検査

秋穂町竹島地先で1996年に実施した標識放流試験に関連して, 1997年5月6日 (放流から161日後) の追跡調査で放流地点付近において採集されたナマコを, 咽食道骨を含む口部と, 内臓を除いた可食部とに分けて, それぞれ個体番号を付け, 冷凍保存した。咽食道骨の蛍光観察でTC標識の有無を識別後, 可食部をTC標識が認められた群と認められなかった群とに分けて, TC系抗生物質を畜水産食品中の残留物質検査法¹³⁾ に従って分析した。

結 果

標識率および標識強度

経口法 リビック100に対してTC添加量を20または10とした場合には, いずれの投与区においても投与4日後には全ての個体で標識が確認され, かつ検査個体の平均点数 (表1) も2.5以上の高い標識強度が得られた。添加量が5の場合には全ての個体で標識が確認されたのは投与13日後で, 点数2.5以上の高い標識強度が得られたのは20日後であった。添加量が2の場合には, 投与13日後には全ての個体で標識が確認されたものの, 20日間の投与期間中, 点数2.5以上の高い標識

強度は得られなかった。TC無添加リビックを投与した稚ナマコの囲食道骨には特異蛍光の発色は認められなかった(表2)。なお、TC添加量を20とした場合には、成長が遅れた個体があったが、それ未満の添加量ではそのような傾向は観察されなかった。

浸漬法 TC濃度を100ppmとした場合には、2日間の浸漬標識により全ての個体で標識が確認され、4日以後は検査個体の平均点数が4.2以上の極めて高い標識強度が20日後まで継続した。TC濃度が200ppmの場合には20日間の浸漬標識によっても全ての個体を標識することはできず、標識強度もほとんどの検査群で点数2.5以下の低いものであった(表3)。また、試験終了までに2個体がへい死した。TC濃度が500ppmの場合には、供試稚ナマコは浸漬直後に体が萎縮し、活動を停止したため、試験を中止した。

標識稚ナマコの追跡調査

1996年11月26日の放流地点、秋穂町竹島地先で、1997年5月6日(放流から161日後)の追跡調査により採集されたナマコの個体数は36個体(アオ)であった(表4)。このうちTC標識が認められた個体は22個体で採集個体のうちの61%で、これら標識個体の蛍光

発色の程度は大部分の個体で明瞭であった(図4)。これら標識個体の麻酔せずに測定した平均体長は75.1mmで最小49mm、最大115mmであった。1997年秋季に同地点付近で採集されたナマコ(アオ、体長125.8±16.2mm、N=56)では成長に伴って新たに形成された骨組織が障害となって明瞭な標識の確認はできなかった。淡く標識らしい発色が観察された個体について囲食道骨の骨板を中央付近で割るか、研磨する方法、骨板を粉砕する方法、酸により骨板を溶解させ吸光分析する方法およびパラフィン包埋切片を作成する方法を試みた結果、パラフィン包埋切片法のみ標識様の発色が観察されたが依然不明瞭で、断定するまでには至らなかった。

1997年9月25日に野波瀬漁港内に放流したナマコ(アカ)の110日後(最終調査)の再捕個体(表4)でもナマコ(アオ)と同様、囲食道骨板の中心部分に明瞭なTC標識が観察された(図4)。

TC体内残留検査

結果を表5に示した。TC標識の有無にかかわらず、いずれの群においても可食部からは細菌に対して活性を有するTC系抗生物質は検出されなかった。

Table 2. Detection of fluorescence derived from circum-esophageal ossicles of juvenile *Apostichopus japonicus* (green type) marked with tetracycline by oral route.*1

表2 経口投与によるTC標識試験の結果

Contents of the diet			Detection of tetracycline specific fluorescence					
wet weight			No. positive / No. examined (mean intensity*2)					
TC	RIVIC*3	Sea water	2days	4	7	13	20	
20	100	240	0/5 (0.0)	5/5 (2.6)	5/5 (3.0)	5/5 (3.2)	10/10 (2.7)	
10	100	220	0/5 (0.0)	4/4 (2.5)	5/5 (2.6)	5/5 (3.2)	10/10 (3.1)	
5	100	210	0/5 (0.0)	4/5 (2.4)	4/5 (1.6)	5/5 (2.4)	10/10 (2.9)	
2	100	204	0/5 (0.0)	4/5 (1.2)	4/5 (1.6)	5/5 (2.2)	10/10 (1.8)	
0	100	200	0/5 (0.0)	—	—	—	0/10 (0.0)	

*1: Tetracycline mixed diet was fed every day.

*2: See Table 1

*3: Sea algae powder, Riken, Inc.

Table 3. Detection of fluorescence derived from circum-esophageal ossicles of juvenile *Apostichopus japonicus* (green type) marked with tetracycline by water born route.*1

表3 浸漬投与によるTC標識試験の結果

Concentration of tetracycline	Detection of tetracycline specific fluorescence				
	No. positive / No. examined (mean intensity*2)				
ppm	2days	4	7	13	20
500	Juveniles shrank and stopped movement soon after treatment				
200	3/5 (1.4)	4/5 (2.0)	3/5 (1.0)	3/5 (1.6)	7/8 (2.8)
100	5/5 (2.6)	5/5 (4.2)	5/5 (4.2)	5/5 (5.0)	10/10 (5.0)
0	—	—	—	—	0/10 (0)

*1: Juveniles were dipped in tetracycline dissolved sea water for 16 hours every day.

*2: See Table 1

Table 4. Detection of tetracycline specific fluorescence in *Apostichopus japonicus* collected from the liberating site.

表 4 放流海域から採集したナマコのTC標識の検出結果

Liberating					Collecting				
Date	Location	Body color	Number	Size mm	Date	Days after liberating	Number	Size mm	Detection ratio of TC-marking %(size mm)
Nov.26, 1996	Aio	green	21,930	10.0±3.6	May 6, 1997	161	36	84.9±26.4	61(75.1±17.6)
					Sep.18, 1997	296			
					Sep.29, 1997	307	56	125.8±16.2	?
					Oct.6, 1997	314			
Sep.25, 1997	Misumi	red	8,055	8.3±2.2	Jan.13,1998	110	52	25.1±14.0	85(27.7±13.9)

Table 5. Analysis of tetracycline in *Apostichopus japonicus* collected from the liberating site in Aio, on May 6, 1997.

表 5 TC残留分析結果

Tetracycline marking	Number	Mean body length mm	Mean body weight g	Detection of tetracyclines
Yes*1	22	75.1±17.6	3.4±2.9	No
No	14	100.4±30.2	12.2±9.2	No

*1 Tetracycline marked juveniles 10.0mm in mean body length were liberated on Sep. 26, 1996.

考 察

経口投与による標識試験において、リビック：TC：海水の重量比が100：20：240の割合で調合した練り餌では稚ナマコの成長が遅れた個体がみられたことから、この添加量は稚ナマコに生理障害または摂餌忌避反応を起こすことが考えられる。標識率、標識強度の結果から経口投与ではリビック：TC：海水の重量比を100：10：220とした餌を2週間程度投与する方法が適切であると考えられた。ただ、小割り網の底に散在した餌ブロックへの稚ナマコの摂餌行動の強さは今回用いた供試稚ナマコの群により異なることが観察されており、摂餌行動が弱い群では標識率が低くなることが考えられた。浸漬投与による標識試験でTC濃度が200ppm、500ppmでは稚ナマコに明らかに生理障害を与えたが、100ppmでは4日目以降明瞭に蛍光標識され、かつ、生理障害と考えられる状態は観察されなかった。200ppmよりも100ppmの方が標識率、標識強度とも高い値が得られていることから、この方法による標識は飼育水を介しての骨組織への直接的なTCの沈着ではなく、経口投与と同様に、代謝により化骨形成時にTCがCa⁺⁺と結合するものと考えられ、浸漬投与についても摂餌行動の強弱と標識率との間には相関があるものと考えられる。より確実にTC標識を行うには、ナマコ自体の代謝の活性(活発な摂餌)を考慮して経口投与を2週間以上継続する方法、浸漬投与

を4日間以上繰り返す方法、また、これらを前後して組み合わせる方法が適切と考えられた。

標識放流後のナマコの成長に伴い囲食道骨も成長する。再捕個体の観察からTC標識部位の上層と10個の骨板の連結部分から新たな骨組織が被ってくることが伺えた。しかし、囲食道骨の標識部位と標識後に新たに形成された骨組織の境界が明瞭であり、標識後数ヶ月の成長では新しい骨組織が標識識別のための検鏡の障害となることはなかった。その後に標識部位の上に更に形成された骨組織が厚く被った場合には囲食道骨を直接検鏡してもTC標識の有無の識別は困難となった。パラフィン切片を作成して観察する方法は識別できる可能性も残されているが、通常の放流効果調査において多数のサンプルを処理する場合、サンプル作成過程が複雑過ぎる上、明瞭な標識が確認できておらず、実用的ではないと考えられた。

TC標識と焼き印標識の残存期間の差は秋季の放流群を冬季まで追跡できるか、冬季を越えた時期まで追跡できるかの差であり放流ナマコの定着を評価する上では大きな差があると考えられた。また、焼き印標識の標識付けは簡易で、識別も容易であるが、1個体毎標識付けする必要があるため、そのサイズもある程度の大きさが必要であることから、放流時の標識個体数や大きさが限られる。一方、TC標識は標識付けに時間を要し、識別のためのサンプル処理にも手間と時間がか

かるものの、ナマコの活力が良く摂餌活動が活発であれば基本的にはサイズに関わらず標識付けが可能であり、放流個体群全体を標識対象とすることができる。体長30mm程度以下でTC標識し、秋季に放流した群を追跡調査する場合、標識識別の実際的な有効期間は翌年の春までの約半年と考えられた。それ以降の追跡調査を行う場合、再度この時期のサイズのナマコに何らかの標識を行って追跡を行う方が大型個体の囲食道骨TC標識検出方法を開発するよりも実際的であると考えられた。

食品としての安全性の面で焼き印標識は全く問題がない。TC標識も稚ナマコで標識し約半年後に平均体長75mmまで成長した再捕群で、可食部から細菌に対して活性を有するTC系抗生物質は検出されなかった。ナマコは通常、稚ナマコの時期から数えて2回目の冬季以降から漁獲対象となる。従って、種苗生産された体長約30mm以下の稚ナマコの秋季放流群へのTC標識は食品衛生上問題はないと考えられる。しかし、TCが抗生物質であることからこの使用に際しては最小限に止め、さらに標識時の飼育海水等が短時間のうちに海域に流出しないように注意する必要がある。

要 約

稚ナマコへのテトラサイクリン (TC) による標識方法を検討した結果、TCを餌料に約10%添加して約2週間経口投与することにより、またはTC濃度100ppmで4日間、浸漬投与で囲食道骨が最も安定して標識されることが分かった。標識した稚ナマコを海域に放流し、追跡調査を行った結果、161日後に標識の確認ができ、従来、唯一有効とされてきた焼き印標識より約2ヶ月間有効期間が長かった。ナマコが約125mm程度に成長して標識部位に新たな骨組織が厚く被った場合には囲食道骨の直接検鏡によるTC標識の識別は困難となるため、有効期間は成長状況にもよるが、半年間と推察された。放流から161日後にTC標識が確認できた再捕個体群の可食部からは、細菌に対して活性を有するTC系抗生物質は検出されなかった。

謝 辞

本報告をまとめるにあたり、ご助言ならびに文献のご提供をいただいた水産大学校、浜野龍夫博士に深謝いたします。また、ナマコの飼育や調査の全般にわたりご協力いただいた当部職員の皆様に感謝の意を表します。

文 献

- 1) 崔 相 (1963) : なまこの研究. 海文堂, 東京, 90-97.
- 2) 柳沢豊重・柳橋茂昭・河崎 憲 (1984) : 焼印によるマナマコの標識方法. 水産増殖, **32** (1), 15-19.
- 3) 浜野龍夫・近藤正和・大橋 裕・立石 健・藤村 治夫・末吉 隆 (1996) : 放流したマナマコ種苗の行方. 水産増殖, **44** (3), 249-254.
- 4) 尾崎久雄 (1980) : 魚類薬理学Ⅲ, 抗生物質2, 緑書房, 東京.
- 5) Tsukamoto, K. (1985) : Mass-Marking of Ayu Eggs and Larvae by Tetracycline-Tagging of Otoliths. *Bull. Japan. Soc. Sci. Fish.*, **51** (6), 903-911.
- 6) Tsukamoto, K. (1988) : Otolith Tagging of Ayu Embryo with Fluorescent Substances. *Nippon Suisan Gakkaishi*, **54** (8), 1289-1295.
- 7) Nakamura, Y. and Sakurai, Y. (1991) : Validation of Daily Growth Increments in Statoliths of Japanese Common Squid *Todarodes Pacificus*. *Nippon Suisan Gakkaishi*, **57** (11), 2007-2011.
- 8) Kobayashi, S. (1969) : Calcification in Sea Urchins. *Calc. Tiss. Res.*, **4**, 210-223.
- 9) Pearse, J. S. and Pearse, V. B. (1975) : Growth Zones in the Echinoid Skeleton. *Amer. Zool.*, **15**, 731-753.
- 10) Märkel, K. (1976) : Structure and Growth of the Coronal Skeleton in *Arbacia lixula* Linne (Echinodermata, Echinoidea). *Zoomorphologie*, **84**, 279-299.
- 11) 椎野季雄 (1969) : 水産無脊椎動物学, 培風館, 東京, 303-305.
- 12) 畑中宏之・谷村健一 (1994) : 稚ナマコの体長測定用麻酔剤としてのmentholの利用について. 水産増殖, **42**, 221-225.
- 13) 厚生省生活衛生局乳肉衛生課編 (1990) : 畜水産食品中の残留物質検査法, 中央法規出版, 東京, 48-49.

阿武川における降海性アマゴ (サツキマス) *Oncorhynchus masou ishikawae* Jordan et McGregorの 放流試験

大橋 裕・畑間俊弘^{*1}・藤村治夫^{*2}・安成 淳^{*3}

Experimental release of the sea run form amago, the Japanese native salmon,
Oncorhynchus masou ishikawae Jordan et McGregor, at the Abu river
in Yamaguchi prefecture.

Yutaka OHHASHI, Toshihiro HATAMA, Haruo FUJIMURA and Atsushi YASUNARI

降海性アマゴ (サツキマス) *Oncorhynchus masou ishikawae* Jordan et McGregorの放流については、本荘¹⁾が1971年に、長良川の遡河マス中に標識アマゴを発見したのをきっかけに、岐阜県で研究が進められた。その後、水産庁の回遊性重要資源開発試験事業において岐阜県、愛知県、三重県、京都府により研究が進められた^{2) 3) 4) 5) 6)}。

山口県では阿武川において、阿武川漁業協同組合の要望で1981年から6年間サケ放流事業を実施してきたが、産業的効果がないことから一旦中断された。その後、1993年に受精卵を導入し阿武川漁協が独自で中間育成して再度放流を実施したが、これ以降はサケ卵入手が難しくなり放流を断念した。

このサケ放流の代替として、本県では瀬戸内海に注ぐ錦川、小瀬川等で遡上が知られ^{10) 13)}、遊漁者にも人気の高い降海性アマゴについて、1995年から阿武川において放流試験に取り組み、2000年に試験を終了したので、その結果について報告する。

なお、1995年から1998年は重要生物増殖実験開発研究事業により、1999年、2000年は内水面重要生物増殖試験事業により試験を実施した。

材料及び方法

放流場所 放流は、阿武川の河口から約15km上流にある阿武川ダムまでの水系 (松本川、橋本川、阿武川

本流、明木川)で行った (図1)。当該ダムは、堰堤95mの重力式アーチ型コンクリートダムで、魚道はない。また、明木川との合流点から約500m上流に流量調整用の相原調整池 (ゲート式堰堤) がある。

放流種苗 種苗は、阿武郡むつみ村木部殿川の大井川水系にある養魚場から、毎年孵化後約1年、平均全長約200mm、約2,000尾のアマゴ種苗を入手した (表1)。

これら放流種苗については、smolt化 (銀毛化) の必須条件とされる背鰭先端の黒化⁷⁾については調べなかった。このため、ここでは単に体表の銀色化の発現を銀化と呼ぶこととした。

1995年及び1996年種苗は、パーマークが明瞭でほとんどが銀化が認められないparr型であった。1997年種苗は約40%が、1998年及び1999年種苗は大部分が銀化個体であった。また、銀化個体にはかなりの割合でパーマークが認められる個体があったが、その割合については調べなかった。

当初2か年の種苗は、本試験用として銀化個体を選別することはしなかったが、後半3か年は、入手先の養魚場で本試験用に銀化個体をできるだけ選別したので、銀化率が高まった。

放流は毎年11月から12月にかけて実施した。各年の放流場所及び放流場所ごとの放流尾数は、図1のとおりである。

*1 現山口県水産課

*2 2001年3月退職

*3 現山口県防府水産事務所

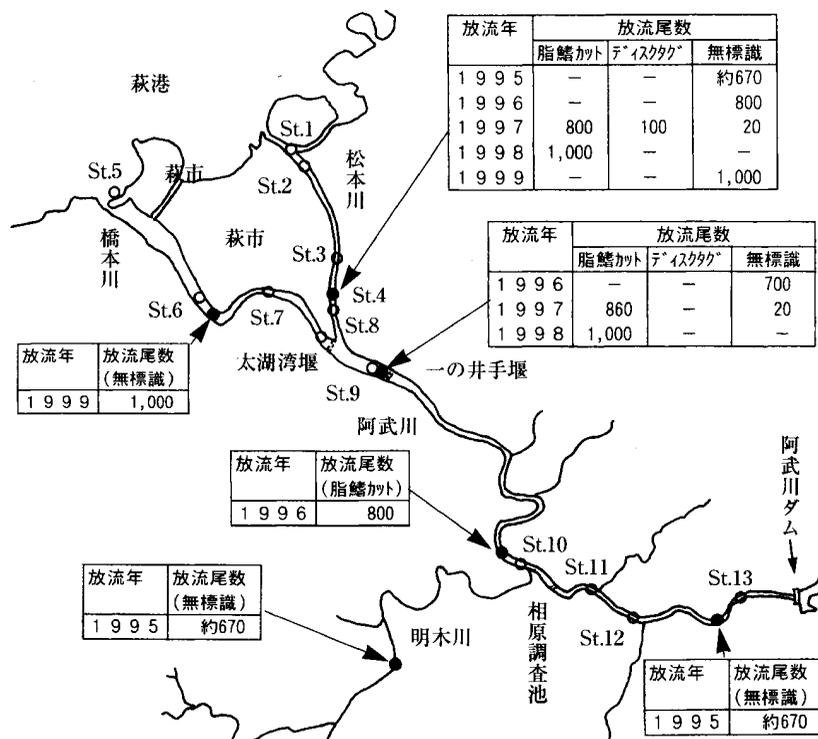


図1 放流試験場所図

各年放流種苗の放流場所、放流尾数及び釣獲調査定点

●：放流点 ○釣獲調査定点

表1 阿武川におけるアマゴ放流種苗

放流年月日	放流尾数 (尾)	平均全長 (mm)	平均体重 (g)	標識	備考
1995.11.6	2,000	188	52.1	無標識	ほとんどparr型, 銀化個体少
1996.11.26	2,300	195	46.7	脂鱸カト 800尾 無標識 約1,500尾	ほとんどparr型, 銀化個体少
1997.12.4	1,800	189	56.3	脂鱸カト 1,660尾 ディスクタグ 100尾 無標識 40尾	
1998.12.11	2,000	216	-	脂鱸カト 2,000尾	大部分銀化 銀化個体のパーマークの有無不明
1999.12.16	2,000	201	-	無標識 (全個体)	過半数銀化個体 銀化個体のパーマークの有無不明

追跡調査方法 降海性アマゴは、孵化後1年目の秋から冬にかけてsmolt化して冬に降海し、2年目の5~7月ごろ遡上するとされており^{9) 10) 11)}、各年の放流群について翌年に追跡調査を行った。調査は、刺網調査、ルアーによる釣獲調査、漁協や釣具店への遊漁情報聴取り調査等により行い、1998~2000年の3年間はルアーによる釣獲調査を主体とした(表2)。

釣獲調査場所は、図1に示したとおりである。釣獲調査については、1997年は5月に調査員1人が数日調

査を行った。1998年は調査員2名が、1999年、2000年は同じ調査員1名がアマゴの禁漁期明けとなる3月から概ねアユの解禁前の5月末までの間に、各年それぞれ通算42日、29日及び21日の調査を行った。

また、1998年放流群については、放流直後の移動、分散を目視により観察した。採捕個体については、全長、体重、性別、標識の有無、形態的特徴、胃内容物等について調べた。

アマゴは、孵化後1年目の秋期~冬季に河川残留型

表2 追跡調査方法

放流年	調査方法	調査時期	調査場所	調査漁具等
1995	刺網調査	1996. 5. 9	太鼓湾堰下 (St.8)	ナイロンテラス製 ^{*1} 4反
		1996. 5. 9~10	一の井手堰下 (St.9)	" 2反
	聴取り調査	1996. 3~9月		漁協・釣具店等
1996	刺網調査	1997. 5. 28~29	太鼓湾堰下 (St.8)	ナイロンテラス製 ^{*1} 5反
			一の井手堰下 (St.9)	" 5反
	釣獲調査	1997. 5月	*2	
	聴取り調査	1997. 3~9月		漁協・釣具店等
1997	刺網調査	1998. 5. 18	太鼓湾堰下 (St.8)	ナイロンテラス製 ^{*1} 6反
		1998. 5. 18~19	一の井手堰下 (St.9)	" 6反
	釣獲調査	1998. 3~6月	*2	ルアー
	聴取り調査	1998. 3~10月		漁協・釣具店等
1998	釣獲調査	1999. 3~5月	*3	ルアー
	聴取り調査	1999. 3~9月		漁協・釣具店等
1999	釣獲調査	2000. 1~5月	*2	ルアー
	聴取り調査	2000. 3~11月		漁協・釣具店等

*1 刺網: 7節, 網丈1.5m, 長さ30m

*2 松本川・橋本川及び阿武川本流 (阿武川ダム堰堤まで)

*3 松本川及び阿武川本流 (阿武川ダム堰堤まで)

(parr)と降海型(smolt)に分かれるとされている^{9) 10) 11)}。また、8月終わりから9月の中旬にかけてある大きさに達した個体がsmoltに向かい、それ以下の個体がparrのままであることが明らかにされている¹²⁾。ここでは、採捕個体の形態的特徴について、岐阜県、愛知県、三重県の共同調査²⁾を一部参考に、概ね下記5種類のタイプに類型化した。

parr型: パーマークが明瞭で、体色の銀化が見られず、体型は比較的体高が低く側偏しているいわゆるアマゴ型 (図2-1)。

parr-smolt型: 銀化しているがパーマークが認められ、背鰭先端の黒化はみられない。体型はparr型同様いわゆるアマゴ型 (図2-2)。

smolt型: 体色は銀化(smolt化)し、パーマークが認められない個体。背鰭先端の黒化が見られ、体型はparr型同様いわゆるアマゴ型 (図2-3)。

satsuki-parr型: 銀化しているがパーマークが認められ、背鰭先端の黒化は見られない。体型は体高が高く肥満したいわゆるマス型 (図2-4)。

satsuki型: 銀化しパーマークが認められず、背鰭先端の黒化が見られる。体型はparr-satsuki型同様いわゆるマス型 (図2-5)。

結 果

放流追跡調査結果

(1)放流直後の移動・分散 1998年放流群について放流直後の移動・分散を目視により観察した。放流後約3日間は放流点付近の投石下流のよどみや瀬尻付近などにかなり濃密に群れていた。約1週間後には放流点付近の数はかなり減少し、放流場所付近に残留している個体はトロ瀬の流芯等に移動し流下する水棲昆虫等を盛んに補食するのが見られた。また、放流2か月後も放流点付近に滞留している個体が数個体見られた。

(2)1996年調査結果 刺網調査では全く採捕できなかった。聴取り調査では、遊漁(ルアー)によるsatsuki型及びsmolt-parr型の2尾採捕を確認した。その他2尾の採捕情報があったが、タイプ等の詳細は不明であった(表3-1)。

(3)1997年調査結果 刺網調査では、前年放流群同様全く採捕できなかった(表3-2)。釣獲調査で採捕された2尾は、いずれもsatsuki型で標識は認められなかった。聴取り調査では2尾が確認されたが詳細は不明であった。

(4)1998年調査結果 刺網調査では、satsuki型が5

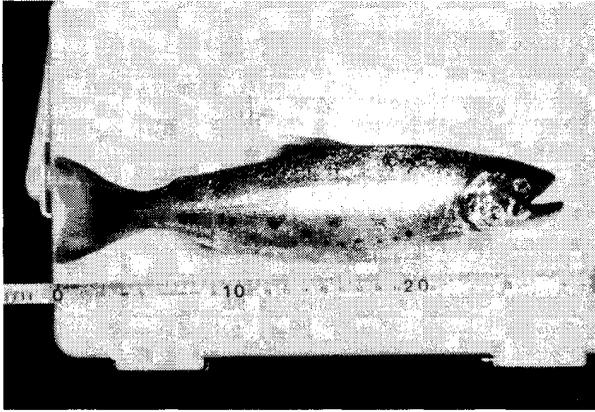


図2-1 parr型 2000年5月9日採捕
全長290mm, 銀化が認められない。

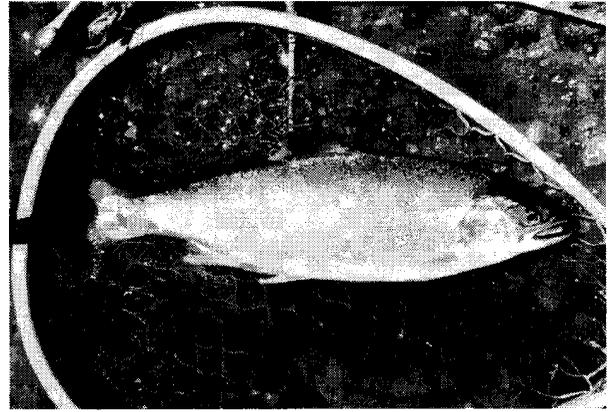


図2-4 satsuki-parr型 2001年5月5日採取
全長335mm, 肉眼ではパーマークがうっすら認められる。(写真ではパーマークの判別は困難)

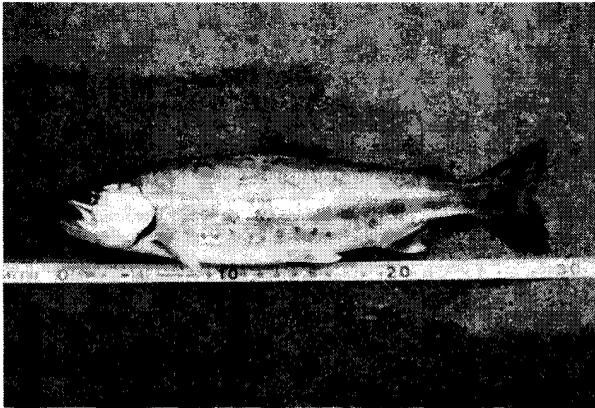


図2-2 parr-smolt型 1998年4月30日採捕
全長280mm, 銀化しパーマークが認められる。

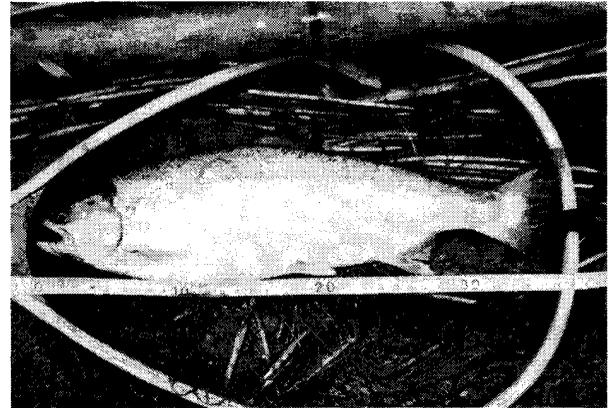


図2-5 satsuki型 2000年5月27日採取
全長370mm, 銀化しパーマークが認められない。
背鰭先端の黒化が見られる。

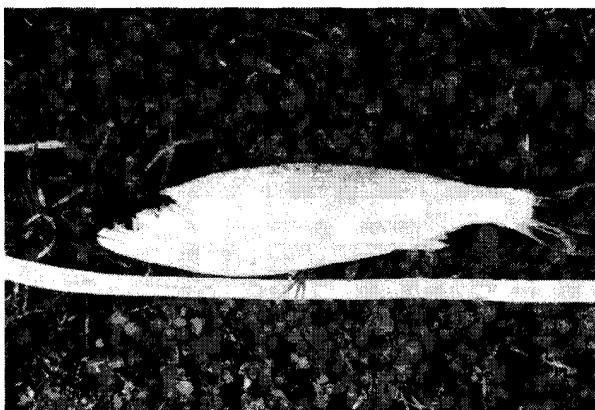


図2-3 smolt型 1999年4月20日採取
全長250mm, 銀化しパーマークが認められない。

図2 アマゴの形態的特徴による類型化

月19日に1尾採捕されただけであった(表3-3)。

釣獲調査では29尾が採捕され、parr型は4月2日と5月19日に各1尾、smolt型は3月25日～4月3日に4尾見られ、parr-smolt型は3月3日～4月2日に8尾見られた後、4月30日と5月2日に各1尾見られた。satsuki-parr型は4月15日と5月1日に各1尾見られた。satsuki型は4月30日に初めて出現し、6月28日までに10尾見られた。

このほか、聴取り調査で6月8日に1尾(詳細不明)、10月10日に1尾(婚姻色が強く発現しタイプの別は不明)が確認された。

標識の有無を確認した個体29尾のうち、21尾に脂鰭カット標識が確認された。ディスクタグ標識個体は、見られなかった。性別を確認した個体については、全てが雌であった。

また、胃内容物について調べた個体21尾中16尾がシロウオ、アユなどの小魚や水生昆虫等を捕食しており、5尾が空胃であった。

(5)1999年調査結果 釣獲調査では、smolt型は3月5日～4月26日に7尾見られた(表3-4)。satsuki-parr型は4月21日～5月7日に3尾見られた後、5月22日に1尾見られた。satsuki型は5月11日に初めて出現し、5月20日までに8尾見られた。

このほか、聴取り調査でsmolt型が3月31日及び4月7日に各1尾、parr-smolt型が3月31日に1尾確認された。parr型は、釣獲調査、聴取り調査とも見られなかった。

標識の有無を調べた全て個体に脂鰭カット標識が確認され、このうち性別を確認した18尾全てが雌であった。

また、胃内容物を調べた個体では、smolt型及びsatsuki-parr型は全てがシロウオ、アユなどの小魚や水生昆虫等を捕食していたが、satsuki型は8尾中7尾が空胃であった。

(6)2000年調査結果 釣獲調査では、parr型は5月9日に1尾、smolt型は3月7日に1尾、4月17日に2尾が見られた(表3-5)。parr-smolt型は5月18日に1尾見られただけであった。satsuki-parr型は4月18日～5月13日に4尾、satsuki型は5月13日～5月末に5尾見られた。

このほか、聴取り調査で1月21日にsmolt型1尾、10月27日及び11月3日に各々satsuki型1尾が確認された。

採捕個体の17尾のうち未確認の1尾を除き全ての個体に標識は認められなかった。このうち16尾は雌で、11月3日に採捕された1尾のみ雄であった。

また、胃内容物を調べた14尾中10尾がシロウオなどの小魚やユスリカ等を捕食しており、satsuki-parr型2尾及びsatsuki型2尾が空胃であった。

アマゴの採捕時期と全長及び体重との関係 5年間の追跡調査で得られたアマゴの採捕時期と全長及び体重との関係を図3及び図4に示した。

parr型は3～5月に見られ、大きさは全長255～350mm、体重182～455gであった。parr-smolt型は3～5月に見られたが、5月には少なくなった。大きさは、全長229～300mm、体重160～290gであった。smolt型

表3-1 1996年追跡調査結果

調査方法	採捕 月 日	採捕個体				特 徴	胃内容物	備 考
		全長 (mm)	体重 (g)	性別	標識			
刺網調査	5. 9～10							採捕無し
聴取り調査	4. 27	275	—	—	—	satsuki型	シロウオ4尾, 712尾(TL約5cm)	釣獲
	"	232	—	—	—	parr-smolt型	—	釣獲
	不明	—	—	—	—	—	—	2尾

表3-2 1997年追跡調査結果

調査方法	採捕 月 日	採捕個体				特 徴	胃内容物	備 考
		全長 (mm)	体重 (g)	性別	標識			
刺網調査	5. 28～29							採捕無し
釣獲調査	5. 10	300	—	—	無	satsuki型	—	
	5. 24	300	—	♀	無	satsuki型	巻貝6個(殻径約2mm)等多数	
聴取り調査	5. 10	320	—	—	—	—	—	釣獲
	"	400	—	—	—	—	—	釣獲

表3-3 1998年追跡調査結果

調査方法	No.	採捕 月日	採捕 場所 (st.)	採捕個体		性別	標識*	特徴	胃内容物	備考
				全長 (mm)	体重 (g)					
刺網調査	1	5.18~19	9	380	688	—	有	satsuki型	小魚(種類, 尾数不明)	
釣獲調査	2	3.3	4	250	—	—	—	parr-smolt型	—	
	3	3.4	4	230	—	♀	有	parr-smolt型	水棲昆虫多数ほか	
	4	"	4	248	160	♀	有	parr-smolt型	"	
	5	"	4	255	—	—	有	parr-smolt型	—	
	6	"	4	230	—	♀	有	parr-smolt型	—	
	7	"	4	255	—	♀	有	parr-smolt型	—	
	8	3.25	4	270	—	♀	無	smolt型	水棲昆虫多数	
	9	"	3	280	—	—	有	parr-smolt型	—	
	10	"	3	280	262	♀	無	smolt型	シロウメ27尾(TL約50mm)	
	11	4.2	9	255	182	♀	無	parr型	スリカ成虫多数ほか	
	12	"	11	293	290	♀	無	parr-smolt型	空胃	
	13	"	3	302	295	♀	無	smolt型	シロウメ11尾(TL約60mm)	
	14	"	3	280	285	♀	無	smolt型	シロウメ7尾(TL約60mm)	
	15	4.3	4	270	182	♀	有	smolt型	シロウメ成虫25尾ほか	
	16	4.15	10	270	178	♀	有	satsuki-parr型	小魚(種類, 尾数不明)	
	17	4.30	9	280	255	♀	有	parr-smolt型	水棲昆虫多数	
	18	"	9	320	350	♀	有	satsuki型	—	
	19	"	3	352	490	♀	無	satsuki型	空胃	
	20	"	11	325	400	♀	有	satsuki型	水棲昆虫少数	
	21	5.1	8	335	450	♀	無	satsuki型	空胃	
	22	"	6	380	650	—	有	satsuki型	—	
	23	"	8	370	590	♀	有	satsuki-parr型	712尾(TL約80mm)	
	24	5.2	4	295	240	♀	有	parr-smolt型	シロウメ2尾(TL約50mm), 水棲昆虫多数	
	25	5.6	10	280	235	♀	有	satsuki型	シロウメ成虫18尾	
	26	5.18	4	296	—	—	有	satsuki型	小魚(種類不明, 少数)	
	27	5.19	8	350	455	♀	有	parr型	空胃	
	28	5.26	9	260	—	♀	有	satsuki型	水棲昆虫多数	
	29	"	8	350	—	♀	有	satsuki型	—	
	30	6.28	—	330	—	—	—	satsuki型	—	
聴取り調査	31	6.9	8	400	—	—	—	—	—	釣獲
	32	10.10	8	320	—	♀	有	判別不能	空胃	釣獲, 婚姻色

注) —: 未確認
*: 脂鱗カット標識

表3-4 1999年追跡調査結果

調査方法	No.	採捕 月日	採捕 場所 (St.)	採捕個体		性別	標識*	特徴	胃内容物	備考
				全長 (mm)	体重 (g)					
釣獲調査	1	3.5	4	235	90	♀	有	smolt型	水棲昆虫等多数	
	2	"	4	230	110	♀	有	smolt型	ヒレ類3尾, シロウメ, 水棲昆虫等多数	
	3	"	4	230	90	♀	有	smolt型	—	
	4	4.14	4	230	—	♀	有	smolt型	スリカ, シロウメ成虫	
	5	"	4	240	—	♀	有	smolt型	"	
	6	4.20	4	250	—	♀	有	smolt型	シロウメ10尾(TL約30mm)	
	7	4.21	4	330	410	♀	有	satsuki-parr型	シロウメ5尾(TL約30mm)	
	8	4.26	12	280	250	♀	有	smolt型	711尾(TL約65mm)	
	9	5.5	4	335	—	—	有	satsuki-parr型	—	
	10	5.7	11	340	430	♀	有	satsuki-parr型	711尾(TL約70mm), シロウメ成虫多数	
	11	5.11	4	320	460	♀	有	satsuki型	空胃	
	12	5.12	13	330	450	♀	有	satsuki型	空胃	
	13	"	3	340	435	♀	有	satsuki型	空胃	
	14	5.13	9	340	510	♀	有	satsuki型	空胃	
	15	5.14	4	320	360	♀	有	satsuki型	空胃	
	16	"	3	340	470	♀	有	satsuki型	空胃	
	17	5.17	4	380	625	♀	有	satsuki型	ヒレ類	
	18	5.20	4	380	560	♀	有	satsuki型	空胃	
	19	5.22	3	370	725	♀	有	satsuki-parr型	シロウメ類23尾 (TL約40mm)	
聴取り調査	20	3.31	2	300	—	—	—	parr-smolt型	—	釣獲
	21	"	2	310	—	—	—	smolt型	—	"
	22	4.7	2	330	—	—	—	smolt型	—	"

注) —: 未確認
*: 脂鱗カット標識

は1月に確認された1事例以外は3月~4月に出現し, 5月には見られなくなった。大きさは, 全長220~300mm, 体重89~295gであった。次に, satsuki-parr型は4月中旬から見られようになり, 5月中旬まで多く, 時に5月下旬にも見られた。大きさは, 全長

270~370mm, 体重178~590gであった。satsuki型は最も遅く4月下旬から見られるようになり, 5月以降に採捕される個体は大部分がこの型であった。大きさは, 全長260~390mm, 体重235~725gであった。

アマゴの全長と体重の関係 1998~2000年調査採捕

表3-5 2000年追跡調査結果

調査方法	No.	採捕 月日	採捕 場所	採捕個体		性別	標識*	特徴	胃内容物	備考
				全長 (mm)	体重 (g)					
釣獲調査	1	3. 7	7	290	220	♀	無	smolt型	シロウ1尾, ヨコヒ ¹ 類	
	2	4.17	1	290	-	♀	無	smolt型	シロウ多数	
	3	"	7	300	-	♀	無	smolt型	シロウ多数	
	4	4.18	4	310	-	♀	無	satsuki-parr型	シロウ7尾, 71尾(TL70 mm), ヒ ¹ 科1尾	
	5	5. 3	8	300	-	♀	無	satsuki-parr型	空胃	
	6	"	8	310	-	♀	無	satsuki-parr型	スリカサ ¹ 多数	
	7	5. 9	4	290	-	♀	無	parr型	スリカサ少数	
	8	5.13	12	290	-	♀	無	satsuki-parr型	空胃	
	9	"	7	370	590	♀	無	satsuki型	空胃	
	10	"	8	330	440	♀	無	satsuki型	ヒ ¹ 科3尾	
	11	5.18	1	280	-	♀	無	parr-smolt型	ヒ ¹ 科1尾	
	12	5.21	11	390	-	♀	無	satsuki型	空胃	
	13	5.27	4	310	410	♀	無	satsuki型	シロウ	
	14	"	4	370	600	♀	無	satsuki型	シロウ, スリカサ ¹ , 71	
聴取り調査	15	1.21	5	250	-	♀	-	smolt型	-	釣獲
	16	10.27	4	360	-	♀	無	satsuki型	-	釣獲, 婚姻色
	17	11. 3	8	340	-	♂	無	satsuki型	-	釣獲, 婚姻色

注) - : 未確認
* : 脂鱗カット標識

個体の全長と体重の関係について回帰式を求めた結果, 図5に示したとおり次式が得られた。

$$Y = 2.880E - 07 X^{3.635}$$

$$Y : \text{体重} \quad X : \text{全長} \quad n = 39 \quad r = 0.975$$

考 察

刺網調査では, 技術の未熟さからわずか1尾しか採捕できなかった。ここでは釣獲及び聴取り調査で得られた結果に基づいて考察する。

1997年及び1998年放流群は, ほぼ100%の個体に標識したが, 採捕個体のうち標識の有無を調べた個体の標識率はそれぞれ72.4%及び100%とかなり異なった。前述したように, 降海性のアマゴは, 孵化後1年目の秋から冬にかけてsmolt化して冬に降海し, 2年目の5~7月頃遡上することが知られている^{9) 10) 11)}。この標識率に差が生じた要因として, 天然遡上群が存在する, 1996年放流群のなかに2シーズン目の越冬をした個体があり1997年放流群に混じった, いわゆる義務放流で上流の明木川等に放流したアマゴのうち銀毛化したものが混じった, 等の可能性が挙げられるが, 放流群と採捕個体の標識率が完全に一致している1999, 2000年両年における調査結果からこれらは考えにくい。標識作業従事者の話では, 1997年放流群は, 野外の放流現場において厳寒の夕方に短時間で脂鱗カット等の標識作業が行われており, 脂鱗カットが不十分であったり, 標識されなかった個体がかかなりあったとのことである。標識率に差が生じた要因は, この不完全な標識作業にある可能性が高い。

加藤¹¹⁾の天然水域における降海性アマゴの調査結果で

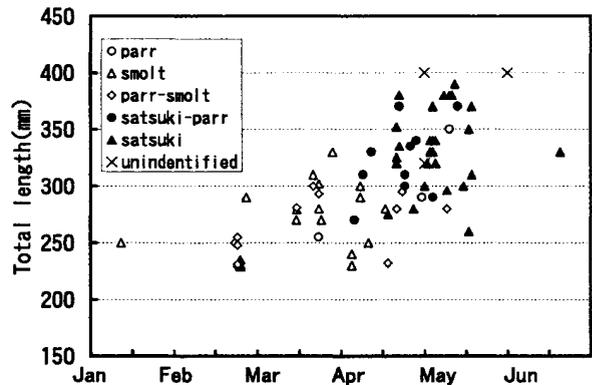


図3 アマゴの採捕時期と全長の関係

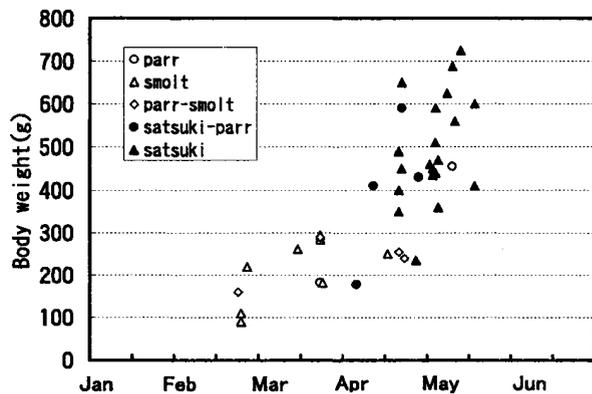


図4 アマゴの採捕時期と体重の関係

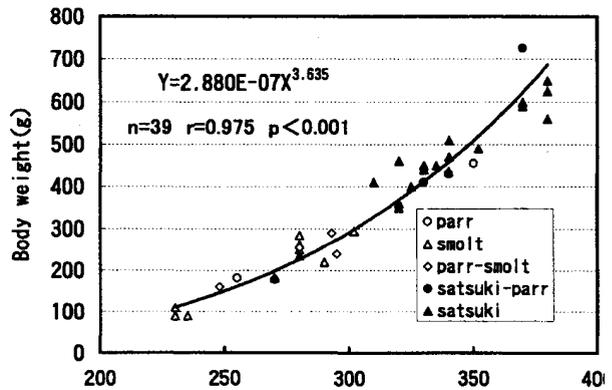


図5 アマゴの全長と体重の関係

は雌約65%、雄約35%の割合である。一方、白田ら⁸⁾は銀毛型の養殖アマゴはほとんどが雌であると述べ、天然水域では雄がsmolt化しやすいとも述べている。即ち、天然の降海性アマゴではかなりの雄が見られるのに対し、人工産のそれではほとんどが雌であると考えられる。本試験では、雄は2000年10月に再捕された1尾だけで、ほかは全てが雌であった。これらのことから、本試験では採捕個体のほとんど全てが放流種苗に由来し、かつ放流翌年に採捕されたものと見なして差し支えないと思われる。

5年間の放流試験の結果から、全体的に採捕尾数が少なく明確なことは言えないが、阿武川においてはアマゴ種苗の放流後の生態については、以下のように推測される。即ち、小型のparr型は降海することなく河川に残留し、多くは上流へ移動する。1995年及び1996年放流群の再捕率が極端に低かったのは、これら2年の放流群の大部分がparr型で、降海する個体がほとんどいなかったためであろう。

smolt型とparr-smolt型（1997～1999年の放流群については、銀化個体のパーマークの有無は調べていないが、これら両タイプが混在していると考えられる）は、冬に降海せず残留した個体で、概ね4月末までに降海して河川内からいなくなる。冬にどのくらいの割合が降海し、どのくらいの割合が春まで河川内に残留するのかなどは明らかではない。降海したアマゴは、satsuki-parr型又はsatsuki型のサツキマスとなって春に回帰する。satsuki-parr型は主として4月中旬から5月上旬に遡上するのに対して、より大型のsatsuki型は主として4月下旬から5月下旬にかけて遡上する（6月以降は、ほとんど調査してないので、遡上状況は不明）。

本荘らは、背鰭先端の黒化したsmolt種苗を放流して試験した結果、採捕された遡河マスは大半が空胃であったと述べている^{7) 9)}。一方、放流河川の長良川から一旦降海して直ちに木曾川へ迂回して遡河したと思われる個体では摂餌が認められたとも述べている⁷⁾。また、岐阜県、愛知県、三重県の共同調査³⁾では、河川影響下の海域で放流した場合、主群はその海域で生活していることが示唆されている。satsuki型の個体は空胃又は少量摂餌の個体が大部分であることから、降海し阿武川影響下の萩沖を回遊した後遡上してきたもので、satsuki-parr型は摂餌量が多い個体が多く、降海してすぐ遡河してきたか、河口付近に滞留し沖合まで出なかったのかもしれない。satsuki-parr型と

satsuki型の違いが、成長段階によるものか、生態的差異によるものかは不明である。

本試験では、放流種苗のsmolt化の程度については、十分吟味されなかった。特に、前2か年の放流群は銀化個体が少なく、ほとんどの種苗がparr型で降海性がない種苗であったと考えられる。

背鰭先端の黒化が認められる厳密な意味でsmolt化率の高い種苗が入手でき放流することができれば、一層放流効果を上げることができるものと思われる。

なお、1997年放流ではスズキによる食害の情報があり、1998年放流以降は放流後間もなく放流点付近にカワウと思われるウの一種が多数見られるようになった。そのほかサギ類、ミサゴ等魚食性の鳥類も観察され、かなりの放流個体が食害にあったと推察された。このほか、近隣の子供達によりかなり釣られているのが目撃されている。放流する場合これらについて対策が必要と思われた。

阿武川は、河口から約15km上流の本流に魚道の無い阿武川ダムがあり、遡河範囲はほぼダムまでの本流、最大支流の明木川水系及び小支流に限られる。また、阿武川ダム及び阿武川ダム堰堤から約1km下流に放水される佐々並ダムの発電は、いわゆるピーク時発電が主体のためダム下流は水位や流量の変化が著しく水温、濁度の変化も大きい。特に夏場の渇水期は、流量が大幅に減少し遡上魚が定位できる場所や産卵場は限定され、サツキマスの放流にそれ程適しているとは思われないが、後半3か年の放流群の再捕率は、全てのタイプを併せると0.9～1.8%であった。木曾三川の放流事例⁹⁾では、遡河マス（サツキマス）の主な集荷場である岐阜魚介市場での調査及び遡河マス仲買人に遡河マス収集を依頼する等綿密な調査を行った結果、4.18～5.51%の回収率が得られている⁹⁾。これに比較して今回得られた再捕率は、漁獲強度（調査員1～2名のルアー釣り）を考慮すると、それ程小さな値ではない。阿武川においては、一代採捕型の放流が有効であろう。

本種は、本来本県の日本海側には分布していない。近年、本来の分布域を無視した放流が、生態系の混乱を招くとして問題とされつつある。本県における本種の放流については、瀬戸内海側の天然遡上が確認されている河川では問題は少ないと考えるが、阿武川等日本海側の河川については、慎重に検討すべきであろう。また、胃内容物調査では水生昆虫などのほか、アユ稚魚、シロウオ、ヨシノボリなど内水面漁業の重要魚種

がかなり捕食されていた。放流量については、過大にならないよう注意しておく必要がある。

謝 辞

なお、本試験実施にあたり、計画に参画され、調査にご協力下さった渡辺 直氏、岩本哲二氏（現山口県光・熊毛地区栽培漁業協会光・熊毛地区栽培漁業センター勤務）、中野義久氏、井上存夫氏を始めとする山口県水産部関係者の方々並びに横山豊治組合長を始めとする阿武川漁業協同組合関係者の方々に深く感謝申し上げます。

要 約

- 1 山口県の阿武川河口域で、1995年から1999年にかけて、毎年11月～12月に孵化後1年目、全長約200mm、約2,000尾の降海性アマゴ種苗を放流し、追跡調査を行った。
- 2 採捕個体は、形態的特徴により、parr型、parr-smolt型、smolt型、satsuki-parr型、satsuki型の5つのタイプに類型化した。
- 3 採捕個体の標識率から、採捕された個体のほとんど全てが、前年に放流された個体と見なされた。また、1997～1999年放流群の回収率は、0.9～1.8%であった。
- 4 採捕個体の全長は230～400mm、体重は90～725gで、採捕時期が遅くなるほど大きい傾向であった。また、性別を調べた個体のほとんどが雌で、雄は1尾確認されただけであった。
- 5 parr型は3～5月に見られた。parr-smolt型は3～4月に多く、5月に少なくなった。smolt型は3～4月に見られた。
- 6 satsuki-parr型は4月中旬に出現し、5月中旬まで見られた。satsuki型は4月末に出現し、5月に採捕された個体の大部分がこのタイプで、各タイプの中で最も大型であった。
- 7 1997～1999年採捕個体の全長と体重の関係について回帰式を求めた結果、次式が得られた。

$$Y = 2.880E - 07 X^{3.635}$$

Y：体重 X：全長 n=39 r=0.975

参 考 文 献

- 1) 本荘鉄夫 (1974)：長良川の遡河マス中に発見した標識アマゴについて。岐阜水試研報, 19, 63-65.
- 2) 水産庁研究開発部研究課 (1977)：昭和52年度降海性アマゴの放流技術開発試験報告書。回遊性重要資源開発試験事業, 149pp.
- 3) 水産庁研究開発部研究課 (1979)：降海性アマゴの放流技術開発試験報告書 (Ⅱ)。回遊性重要資源開発試験事業, 231pp.
- 4) 水産庁研究開発部研究課 (1980)：降海性アマゴの放流技術開発試験報告書 (Ⅲ)。回遊性重要資源開発試験事業, 255pp.
- 5) 水産庁研究開発部研究課 (1981)：降海性アマゴの放流技術開発試験報告書 (Ⅳ)。昭和54年度放流結果。回遊性重要資源開発試験事業, 158pp.
- 6) 水産庁研究開発部研究課 (1982)：降海性アマゴの放流技術開発試験報告書 (Ⅴ)。昭和55年度放流結果。回遊性重要資源開発試験事業, 66pp.
- 7) 本荘鉄夫・岡崎 稔・森重 寿 (1975)：在来マス類の放流に関する研究-Ⅶ, アマゴの降海と遡河について。岐阜水試研報, 20, 1-12.
- 8) 白田 博・本荘鉄夫 (1975)：在来マス類の放流に関する研究-X, 伊勢湾で採捕された標識放流アマゴ (*Oncorhynchus rhodurus*) といわゆる本マスの鱗の大きさと隆起線数の比較。岐阜水試研報, 21, 9-14.
- 9) 本荘鉄夫 (1977)：アマゴの増養殖に関する基礎的研究。岐阜水試研報, 22, 1-103.
- 10) 藤村治夫 (1970)：山口県錦川におけるアマゴの生態について。水産増殖, 17 (3).
- 11) 加藤文男 (1973)：伊勢湾に降海するアマゴ (*Oncorhynchus rhodurus*) の生態について。魚類学雑誌, 20 (4), 225-234.
- 12) Tominori Kuwada, Yoshinaga Kawase, Hiroshi Usuda (1999)：Relationship between growth and smoltification in amago salmon *Oncorhynchus masou ishikawae* (Basic studies towards establishing parr strain). Bulletin of National Research Institute of Aquaculture, Supplement, 4, 45-48.
- 13) 藤岡 豊 (1991)：山口のさかな (藤岡 豊教授退官記念誌)。藤岡 豊教授退官記念事業会 (山口大学), 153pp.

魚介類を用いた発泡食品化に関する研究

浅原充雄・嶋内 潤・白木信彦

水産加工原料の安定確保は、水産加工業者にとって経営を左右する重要な問題である。最近沿岸資源は減少傾向にあり、原料の確保が困難になりつつある。その中で、加工向け利用度の低いイワシ類、スルメイカ等を見直し、この高度利用法を開発することは、重要な課題となってきた。

最近急速に高齢化が進み、高齢者用のソフト化食品素材、食品への要望が強くなってきており、健康面での機能性が勝れている水産物を利用したソフト食品の開発は、一般消費者のニーズに合致する。そこで、これら加工原料を用い、新たな食品素材、食品の技術開発を図るため、発泡性を取り組んだ利用技術の開発を目指した。本研究は、水産庁特定研究開発促進事業、平成8～12年度「低・未利用水産物を用いた新規食品素材の開発」の成果を取り纏めたものである。

方 法

水産原料の発泡化のための物理的、化学的処理ならびに発泡性を保持した組織化を検討する。

1) 原材料：マイワシ、マアジ、マサバ、アカハゼ、スルメイカ、メジロザメ

2) 試料の調整

①試料肉：数尾採肉（赤身肉含む）してスピードカッターで均一に混合ミンチし、メジロザメは、皮、血合肉、軟骨等を除いた普通肉をミンチし、試料肉とした。また、スルメイカ部位別は、胴部、頭脚部、耳部に分け、口部、眼球、軟骨、内臓等を除き、水洗、水切りしたもの（皮付き）をミンチし、試料とした。

②生殖腺：マイワシ（成熟）、マサバ（未成熟、成熟）、スルメイカ（成熟）より生殖腺を採取し、試料肉と同様に処理した。なお、スルメイカ卵巣は、試料検体から数%程度しか採取出来ないため、組織化用に量的確保が必要なため、市販品を用いた。（通常イカ白子として販売されている）

③加熱肉：試料肉20gをホモゲナイザー用カップに取

り、密封後、恒温水槽により、所定の温度で30分間加熱し、直ちに冷却、加熱試料とした。

3) タンパク質の化学修飾

①サクシニル化（コハク酸添加）：羽田野ら¹⁾の方法を参考にしてミンチ肉を直接サクシニル化する方法をとった。反応物を直接利用することを考慮して、食添に用いられているコハク酸（使用基準なし）を用い、この添加量を少なくする方向で、コハク酸の濃度が1%、2%になるよう様に用い、反応終了後4N NaOHで中和に要する量をあらかじめ調べ、500mlまたは1ℓビーカーにミンチ魚肉とミンチ魚肉の中和に要する量を減じて加水し、コハク酸の濃度が1%、2%なるように添加し、30℃の恒温水槽で1時間スターラー（井内 SCR-130型）、200r.p.m.で攪拌した。反応性が進むにつれて、粘性がでてくるため、適宜ガラスで強制的に上下層を攪拌した。反応物は、冷蔵庫に保存した。

②サクシニル化（コハク酸ナトリウム添加）：①の方法で、コハク酸にかえてコハク酸二ナトリウム（6水和物）を用いた。添加量は、コハク酸二ナトリウムとして0.5～4%添加した。コハク酸ナトリウムは、中性なので中和操作はしなかった。

③サクシニル化用の試料の調整：当初サクシニル化の試料は、2) 試料の調整の方法によるスピードカッターでミンチした試料肉を用いたが、この試料肉を①、②の方法で加水し、さらに10,000r.p.m. 2分間ホモゲナズ後、サクシニル化を図った。

④加熱サクシニル化肉：①、③の方法で調整したサクシニル化肉を50gホモゲナイザー用カップに取り、ラップフィルムで密封後、恒温水槽により、所定の温度で30分加熱し、直ちに冷却、加熱サクシニル化肉の試料とした。

4) 魚介類内部の発泡特性究明としての酵素処理

発泡性の測定方法に準じて²⁾ホモゲナイザー用カップに試料20g取り、加水30mlとし、これに酵素トリプ

シン、パバイン（何れも和光純薬工業(株)製）を全量に対して各0.5%添加，ラップフィルムで密封後，45℃の恒温水槽に1時間放置した。適宜容器ごと攪拌した。反応後，直ちに冷却し，発泡性を測定した。

5) 資料の発泡化と加熱ゲルの調整

調整試料を用い，スピードカッター（松下電器 K・3型）で播潰した。播潰時間は，最初攪拌1分後容器の蓋や側部等に飛び散ったペーストをヘラで容器内に戻し，2分間続けて播潰した。予備試験の結果，播潰3分間で十分発泡させることが出来たので，播潰時間は3分間とした。発泡ペーストは折り巾3.5cmクレハロンチューブに詰めた。また，加熱ゲル形態の比較の意味で，菓子用のプリン型容器（底径6.8cm，上径7.8cm，高さ6.5cm）にペーストに入れ，サララップで覆い，回りを紐で縛った。加熱は，当初85℃で20分間加熱したが，以下の試験結果から発泡性の高い配合区分程加熱による含気された空気の膨張がより大きくなり，冷却して収縮した時の泡の保持とゲルの好ましい形状保持に限界が見られたことから³⁾，加熱条件の検討により，加熱最高温度を80℃とし検討した。調整試料を用い，配合内容を検討後，スピードカッター（松下電器 K・3型）で播潰した。

6) 測定方法

①発泡性：前報²⁾の方法に準じた。すなわち，調整試料20gに加水し，ホモゲナイズ（日本精機 AM-3型 カップ容量216ml）後，100ml容メスシリンダーにホモゲナイズしたものを移し，容積を測定した。

$$\text{発泡性(発泡能)} = \frac{\text{発泡体積 (ml)} - \text{発泡前の体積 (ml)}}{\text{発泡前の体積 (ml)}} \times 100(\%)$$

②発泡安定性（静置法）：乳化安定性の評価法¹⁾を参考に上記の方法で，10,000r.p.m.で2分間ホモゲナイズ後，直ちに発泡物を50ml容メスシリンダーに移し，室温に放置し，分離水槽（下層）を経時的に観測し，分離した水槽の容積を測定した。

$$\text{発泡安定性(発泡安定能)} = \frac{\text{分離水槽 (ml)}}{\text{全層 (ml)}} \times 100(\%)$$

③発泡抑止率：発泡性の測定方法で，調整試料の内訳として発泡性の高いもの（スルメイカ耳部）と低いもの（魚肉）を混合し，発泡性の高いものを90%（18g），低いものを10%（2g）とした時の発泡性を次式により測定した。

$$\text{発泡抑止率} = \frac{\text{スルメイカ耳部の発泡性} - \text{魚肉混合割合10\%の発泡性}}{\text{スルメイカ耳部の発泡性}} \times 100(\%)$$

④比重：ホモゲナイズによる比重（g/ml）は，6）-

①の発泡性測定のパーストの重さを計り，発泡容積で除して出した。スピードカッターによる比重は，ペーストならびに加熱ゲルを100ml容積のメスシリンダーに50ml取り，この重さを計り，容積（50ml）で比重を出した。前法³⁾発泡性と比重の関係図から，未加熱ペースト，加熱ゲルの比重測定値から発泡性を求めた。

⑤加熱ゲルの物性測定：加熱ゲルは，高さ3cmに切断し，レオメーター（不動工業 NRM-2002 J型）で直径10mmの円盤状ブランジャーによる押し込み試験を行なった。押し込み速度は2cm/minに設定した。比較の意味で，通常練り製品の弾力測定に用いられている径5mmの球状で測定した。ゲル物性は，破断強度（g）と破断凹み（mm）を求め，各試料の各々の値ならびに平均値を示し，合わせて官能評価も行なった。

結 果

1. 魚種別の発泡性

1) 魚肉の発泡性と加水量の関係

発泡性は，加水100%以下では殆ど認められなかったが，150%を越えると250%迄は加水量の増加に伴って高くなった。魚種間ではマアジは最も低く，マイワシ，マサバ，アカハゼ，メジロザメはや、高く，スルメイカ（胴肉）は最も高くなった。ホモゲナイザー後は，マイワシ，マサバ，メジロザメは泡層とペースト層に分離したが，アカハゼ，スルメイカは分離しなかった。（図1）

2) 魚肉の発泡性とホモゲナイザー回転数の関係

マイワシ，マアジ，マサバの発泡性は，回転数の上昇とともに高くなり，その大きさはマイワシ>マサバ>マアジの順となった。一方，アカハゼ，メジロザメ，スルメイカの胴肉部は，回転数が増す程低下した。官能的には高速回転になる程クリーム様の滑らかさと緻密性が高くなる様に見えた。発泡性が低下した原因は，高速回転により生じた泡が破壊され，細くなったためと推定された。（図2）

3) 魚肉の発泡性とホモゲナイザー回転時間の関係

マイワシ，マアジ，マサバの発泡性は，ホモゲナイザー回転速度が5,000r.p.m.より10,000r.p.m.の方が高くなる傾向に，アカハゼ，メジロザメ，スルメイカ胴肉部は，5,000r.p.m.の方が10,000r.p.m.より高くなる傾向を示した。また，回転時間は，マサバを除いて他は，概ね時間とともに高くなった。5,000r.p.m.のスルメイカ胴肉部が最も高く，次にアカハゼであった。（図3）

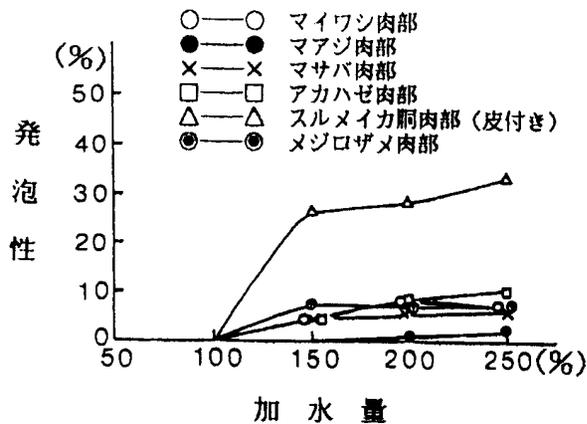


図1 魚肉の発泡性と加水量の関係
10,000r.p.m.で2分間ホモゲナイズ

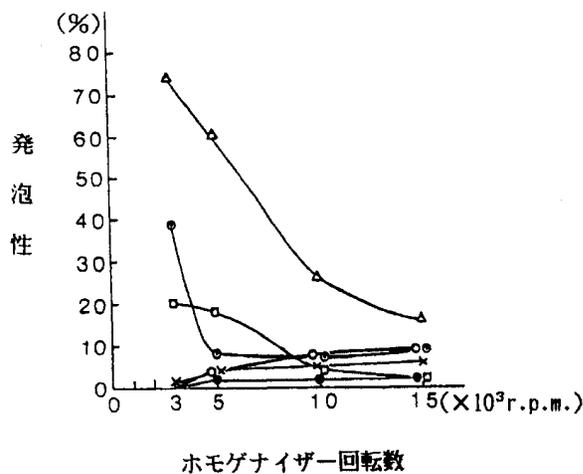


図2 魚肉の発泡性とホモゲナイザー回転数の関係
回転時間：2分間 加水量：150%

4) 魚肉の発泡性と食塩添加量の関係

マイワシ、マアジ、マサバの発泡性は、食塩添加量を増す程抑えられたが、マアジでは食塩0.5%添加、マイワシ2.0%、マサバ2.5%、アカハゼ1.5%で発泡性は見られなくなった。これは塩溶性タンパク質が溶解し始めるか、ほぼ溶解する濃度であり、魚肉が糊状となった状態であった。一方、メジロザメは、食塩0.5~1.5%では、添加量を増す程高くなり、1.5%をピークに2.5~3.0%では添加量を増す程漸減傾向にあったが、発泡性は、持続した。スルメイカ胴肉部は、食塩1.5%で塩溶性タンパクがほぼ溶解した状態であったが、食塩濃度の増加と共に発泡性は著しく上昇した。(図4)

5) 魚肉の発泡性と加熱温度の関係

魚肉に対する加熱は発泡性に影響し、マイワシでは60℃までは発泡性があったが、70℃では殆どなくなった。マサバでは30~70℃で発泡性があったが、80℃で

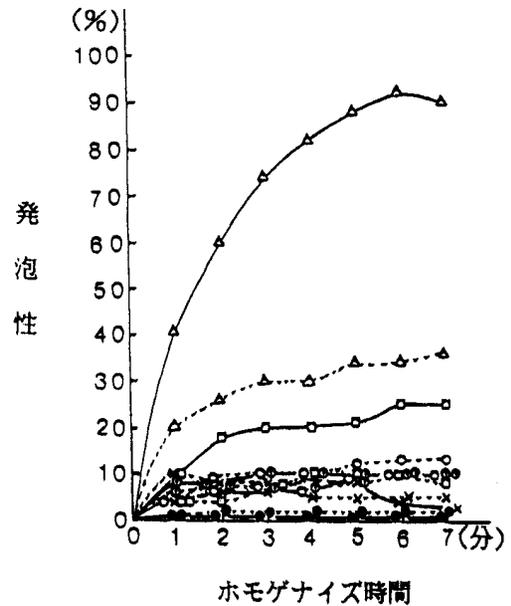


図3 魚肉の発泡性とホモゲナイズ時間の関係
回転速度：5,000r.p.m. — 加水量：150%
10,000r.p.m. - - - -

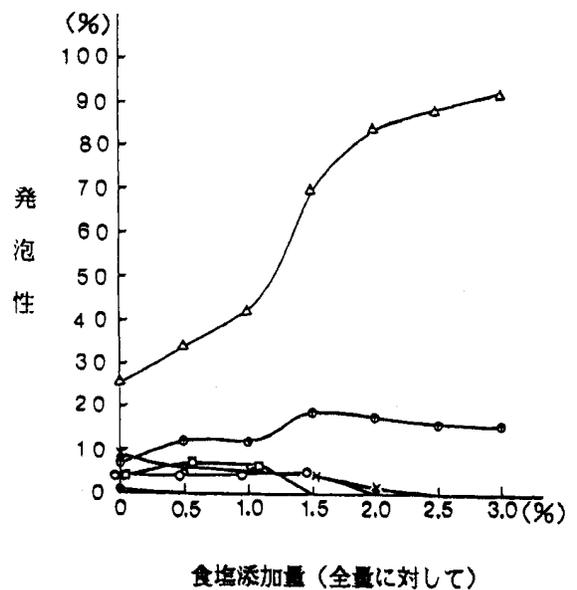


図4 魚肉の発泡性と食塩添加量の関係
10,000r.p.m.で2分間ホモゲナイズ 加水量：150%

はなくなった。マアジは、30~50℃では発泡性はないが、60~90℃と温度が高くなる程発泡性は僅かに高くなる傾向にあった。一方、アカハゼは、30~70℃で発泡性は高くなり、70~80℃で低下し、80~90℃でほぼ一定となった。アカハゼ、メジロザメ、スルメイカ胴肉部は、加熱しても、発泡性の機能を保持することが解った。アカハゼ、スルメイカ胴肉部は、加熱温度60℃までは、ホモゲナイズ後の泡層とペースト層の固液分離が見られなかったが、70℃以上の温度では泡層とペースト層(固液分離)の分離が見られた。メジロ

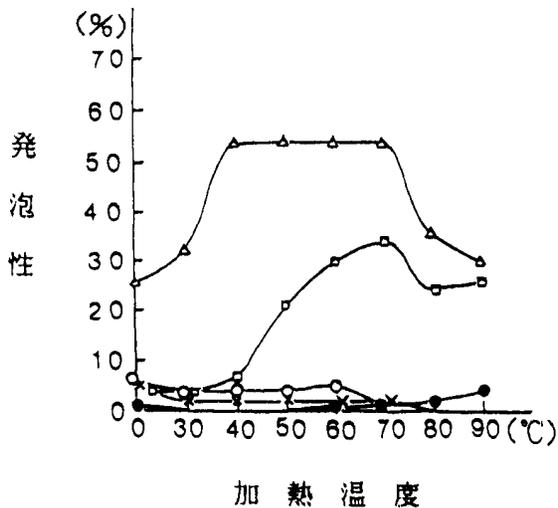


図5 魚肉の発泡性と加熱温度の関係
10,000r.p.m.で2分間ホモゲナイズ
加水量：150% 加熱時間：30分

ザメは、分離が40°Cより見られ、温度が高くなる程大きくなる傾向にあった。(図5)

2. スルメイカ部位別肉部の発泡性

1) スルメイカ部位別肉部発泡性と加水量の関係

発泡性は、胴肉部の皮付き、剥皮とも加水100%で殆ど見られなかったが、頭脚部、耳部は100%で発泡性が見られた。各部とも150~200%と増す程高くなった。発泡性は、ほぼ、耳部>頭脚部>胴肉部>胴肉部(剥皮)となった。胴肉部の皮付きは、剥皮のものより僅かに高かった。(図6)

2) スルメイカ部位別肉部の発泡性とホモゲナイザー回転数の関係

発泡性は、胴肉部皮付き、剥皮は、回転数を増す程低下した。頭脚部と耳部は5,000r.p.m.で最も高くなり、10,000~15,000r.p.m.と回転数を増す程低下した。

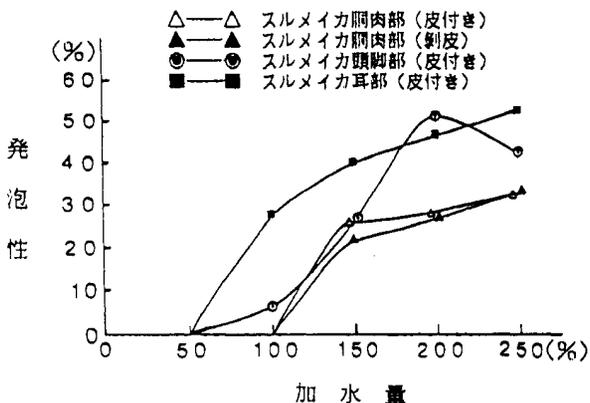


図6 スルメイカ部位別肉部の発泡性と加水量の関係
10,000r.p.m.で2分間ホモゲナイズ

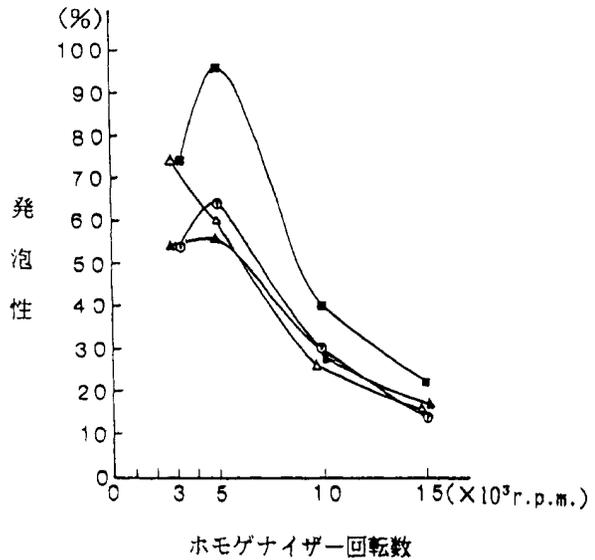


図7 スルメイカ部位別肉部の発泡性とホモゲナイザー回転数の関係
回転時間：2分間 加水量：150%

5,000r.p.m.での発泡性は、耳部>頭脚部>胴肉部>胴肉部(剥皮)となった。これより回転数が高くなる程各部位別肉部は、同じ値に近づいた。(図7)

3) スルメイカ部位別肉部の発泡性とホモゲナイズ時間の関係

発泡性は、各部位とも回転時間にかかわらず、ホモゲナイズ時間と共に上昇する傾向を示した。また、回転数では、5,000r.p.m.の場合の方が10,000r.p.m.の場合よりも発泡性が著しく上昇した。部位別では、5,000r.p.m.では耳部が何れのホモゲナイでも時間でも最も高く、その他の部位では、1~3分間はほぼ、頭脚部>胴肉部>胴肉部(剥皮)となり、5~6分間だけは、胴肉部>胴肉部(剥皮)>頭脚部に、7分間では、胴肉部(剥皮)>胴肉部>頭脚部と微妙に変化した。10,000r.p.m.では、発泡性は頭脚部と耳部はほぼ同じで最も高く、次に胴肉部>胴肉(剥皮)であった。(図8)

4) スルメイカ部位別肉部の発泡性と食塩添加量の関係

発泡性は、食塩添加量が多くなる程高くなる傾向を示した。頭脚部が最も高く、食塩1.5%までは耳部>胴肉部で、2.0~3.0%は、胴肉部>耳部となり、0.5~3.0%で胴肉(剥皮)が最も小さくなった。(図9)

5) スルメイカ部位別の発泡性と加熱温度の関係

発泡性は、各部位とも30~40°Cにかけて急に高くなり、50~60°Cでピークに達し、70~90°Cで低下した。発泡性の高さは、ほぼ、耳部>頭脚部>胴肉部>胴肉

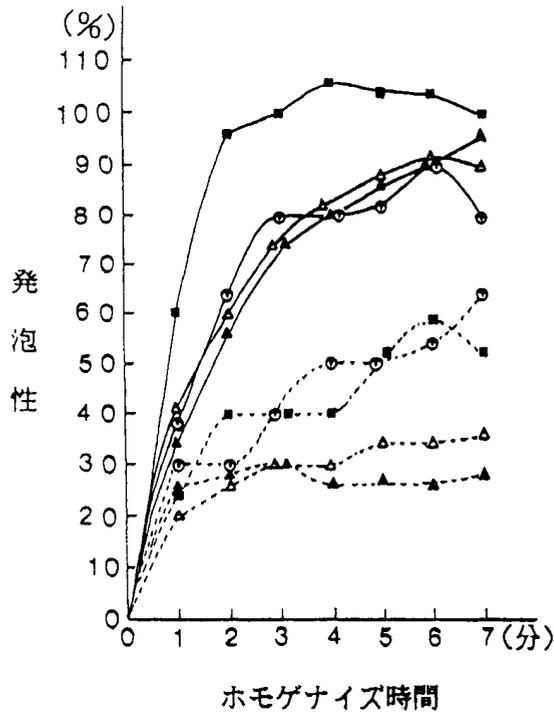


図8 スルメイカ部位別肉部の発泡性とホモゲナイズ時間の関係
 回転速度：5,000r.p.m. — 加水量：150%
 10,000r.p.m. - - - -

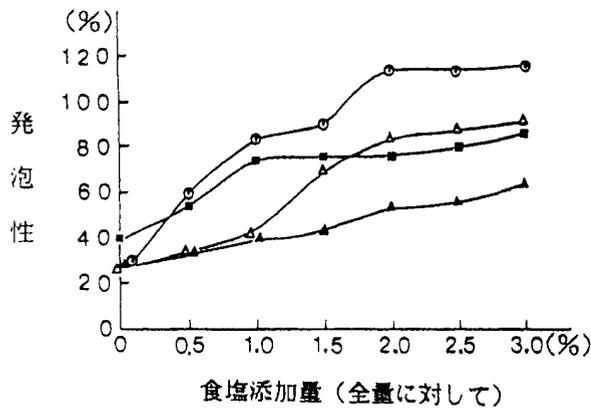


図9 スルメイカ部位別肉部の発泡性と食塩添加量の関係
 10,000r.p.m.で2分間ホモゲナイズ 加水量：150%

部（剥皮）であった。（図10）

3. 魚介類生殖腺の発泡性

これまでは肉部の発泡性を検討したので、生殖腺についても検討した。生殖腺として、マイワシとマサバは精巣と卵巣、スルメイカはこの他に包卵腺とニーダム氏嚢（図11）を用い、マサバでは、成熟度の影響を調べるために、未成熟の生殖腺についても検討した。なお、マアジの生殖腺は、入手できなかった。

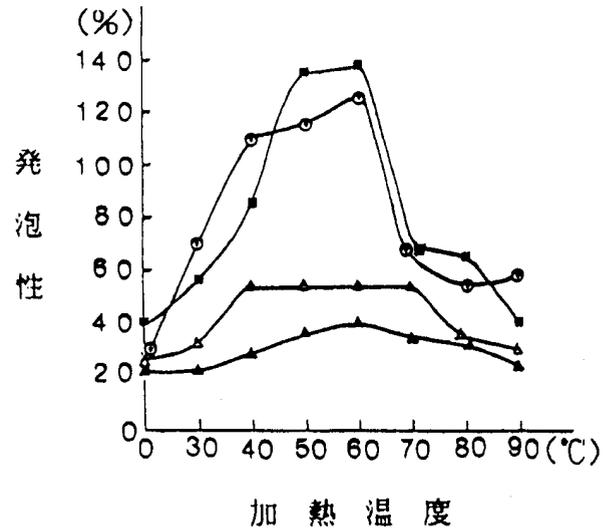


図10 スルメイカ部位別肉部の発泡性と加熱温度の関係
 10,000r.p.m.で2分間ホモゲナイズ
 加水量：150% 加熱時間：30分

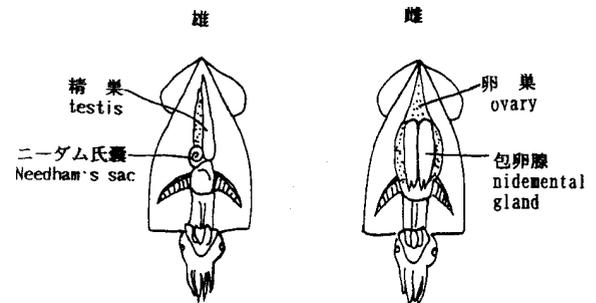


図11 スルメイカ生殖腺模式図

1) 魚介類生殖腺の発泡性と加水量の関係

マサバ卵巣の発泡性は、最も低く、加水100%でわずかに高くなり、それ以上加水すると逆に低下した。しかし、その他の試料では何れも、顕著な発泡が起こり、ある加水率で最高になる至適加水率が存在した。その至適加水率は、試料によつて異なり、マイワシとマサバは100%であったが、スルメイカ精巣とニーダム氏嚢は150%、スルメイカ卵巣は加水200%、包卵腺は250%になった。また、成熟度の違いについては、卵巣で差がなかったものの、精巣では、成熟した方が約2倍に達した。（図12）

2) 魚介類生殖腺の発泡性とホモゲナイザー回転数の関係

発泡性は、マイワシ精巣、マサバ精巣（成熟）、スルメイカ精巣、ニーダム氏嚢では、3,000r.p.m.より5,000r.p.m.でピークに達し、回転数10,000～15,000r.p.m.と高くなる程低下傾向を示した。マサバ精巣（未成熟）、スルメイカ卵巣は、3,000～

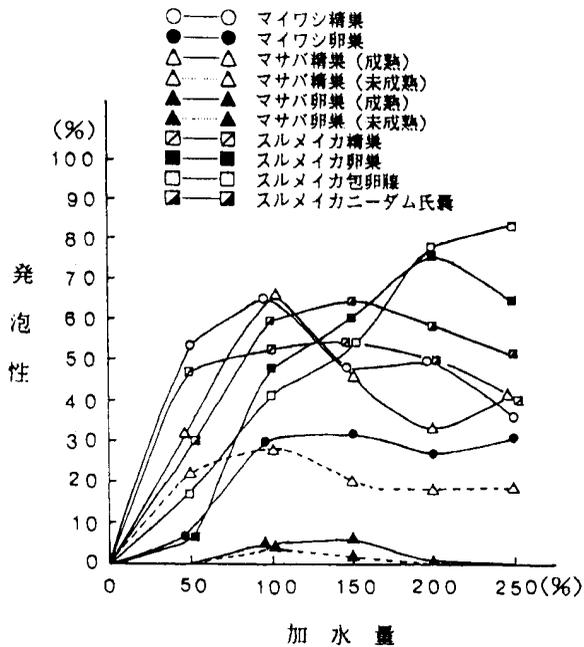


図12 魚介類生殖腺の発泡性と加水量の関係
10,000r.p.m.で2分間ホモゲナイズ

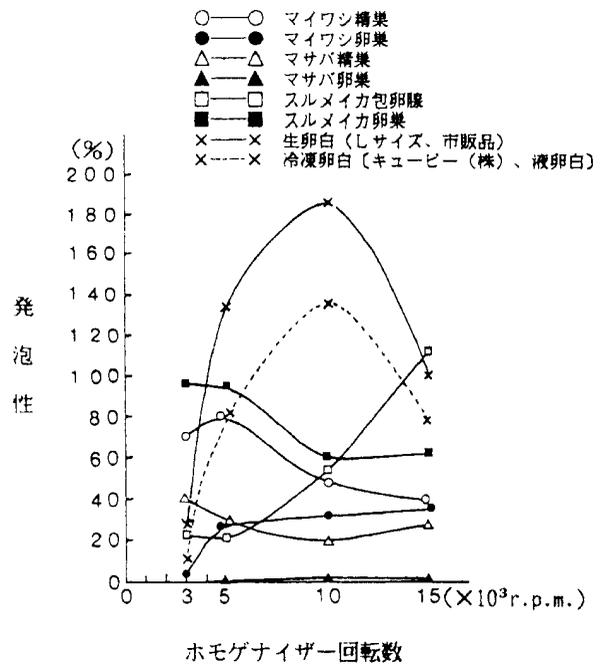


図14 魚介類生殖腺の発泡性と回転数の関係
回転時間：2分間 加水：150%

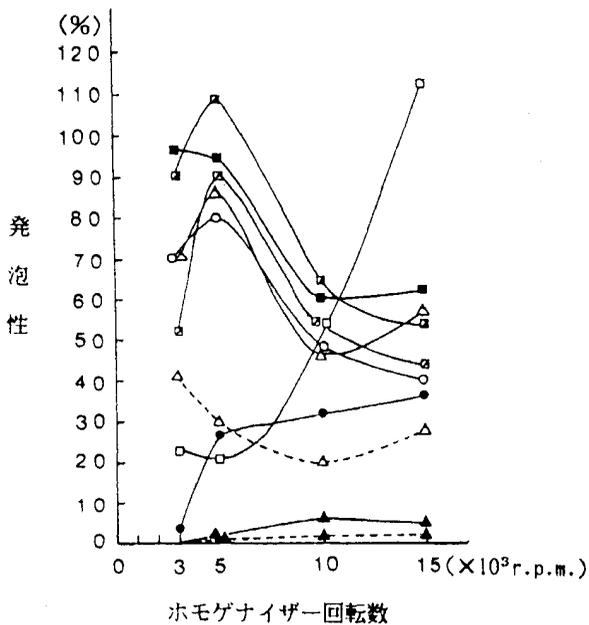


図13 魚介類生殖腺の発泡性と回転数の関係
回転時間：2分間 加水：150%

10,000r.p.m.で、回転数が増す程低くなる傾向を示し、10,000~15,000r.p.m.では、同じかや、高くなる傾向を示した。マイワシ卵巣とスルメイカ包卵腺は、回転数を増す程高くなる傾向を示した。マサバ卵巣は、未成熟、成熟とも回転数を高くしても低い値であった。

マサバ生殖腺の成熟度の違いによる発泡は、精巢では、成熟の方が未成熟より高く、回転数5,000r.p.m.で比べると、両者の間で約3倍の差が見られた。卵巣で

は、回転数を高くしても低く、両者の差は僅かであった。(図13)

本研究では、発泡性の高い低い低い指標は定めていないが、一般的に発泡性の高い鶏卵卵白を見ると、生卵白が最も高く、次に業務用で、かまぼこ等に利用されている冷凍卵白は生卵白より劣るが、両者とも回転数が10,000r.p.m.でピークに達した。発泡性の高い生卵白と生殖腺の発泡性のピークを比べて見ると、生卵白の発泡性100%に対して概ね冷凍卵白70%、マイワシ精巢40%、マイワシ卵巣、マサバ精巢で20%、マサバ卵巣1%、スルメイカ包卵腺60%、スルメイカ卵巣で50%となった。(図14)

4. 食品素材の発泡性と添加量の関係

発泡性の指標の参考として、発泡性の高い食品素材として、ケーキ、クリーム類に用いられる、乾燥卵白、ゼラチン、カゼインナトリウムを本報告の方法で発泡性を検討した。ゼラチンは加熱溶解後、室温まで冷却して測定した。乾燥卵白は、メーカーにより差があり、最も発泡性の高いものを用いた。乾燥卵白は、1~10%と添加量を増す程高く、ゼラチンは、1~10%の添加量ではほぼ同じで、このうち4~6%添加がや、高かった。カゼインナトリウムは、1~5%と添加量を増す程急激に高くなり、6~10%と添加量を増す程低下する傾向であった。官能的には、添加量を増す程緻密性(硬さ)を増した。(図15)

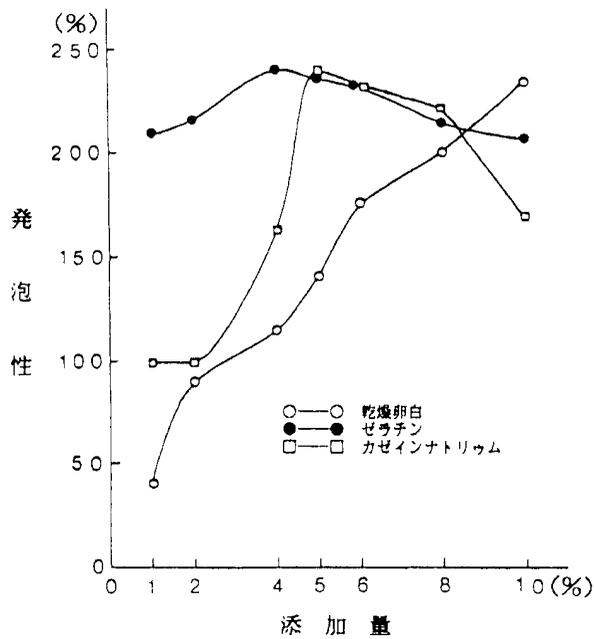


図15 食材素材の発泡性と添加量の関係
10,000r.p.m.で2分間ホモゲナイズ 全長50mlに調整

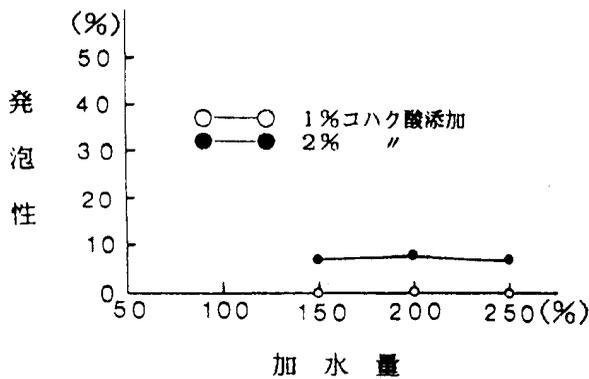


図16 コハク酸によるサクシニル化イワシ肉の発泡性と加水量の関係
10,000r.p.m.で2分間ホモゲナイズ

5. サクシニル化魚介肉の発泡性

タンパク質のサクシニル化による発泡性については、報告が少なく、大豆サクシニル化タンパクは、起泡性が高くなると報告されている³⁾。そこで、タンパク質の化学修飾として、サクシニル化については、一般的に無水コハク酸が用いられているが、安全性を考慮して食品添加物として使用できるコハク酸、コハク酸ナトリウムを用いて検討した。

1) マイワシサクシニル化肉(コハク酸添加)の発泡性と加水量の関係

発泡性は、1%コハク酸添加では、加水量を増やしても見られなかったが、2%コハク酸では、加水150~250%間では、ほぼ同じとなった。(図16)

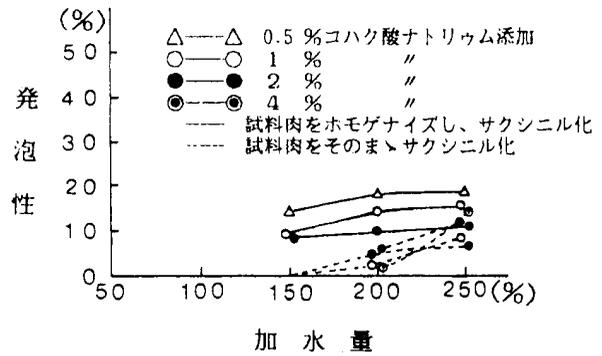


図17 コハク酸ナトリウムによるイワシ肉破細処理別サクシニル化肉の発泡性と加水量の関係
10,000r.p.m.で2分間ホモゲナイズ

2) マイワシサクシニル化肉(コハク酸ナトリウム添加)の発泡性と加水量の関係

結果の5-1)で、コハク酸添加により酸性になるため、魚肉タンパク質の生化学的特性や構造上の変化をきたすこと²⁾や反応後の4N NaOHによる中和操作の煩雑さ等からコハク酸ナトリウムを用いて検討した。なお、サクシニル化については、当初方法の2-①で調整した試料肉を用いたが、発泡性の値がまちまちであった。これは、サクシニル化に魚肉破碎の程度が影響したと考えられたので、この試料肉をさらに10,000r.p.m.でホモゲナイズし(方法の3-③で調整-この条件で十分であった)サクシニル化に供した。

マイワシの発泡性は、当初の試料肉を用いた場合は、コハク酸ナトリウム1~4%添加では、加水量を増す程高くなり、加水250%では、概ね1%>2%>4%コハク酸ナトリウムの順となった。試料肉をホモゲナイズした場合は、当初の試料肉より高くなり、加水量を増すほど漸増傾向を示した。発泡性は、0.5%>1%>2%コハク酸ナトリウムの順となり、添加量の少ない程高くなった。0.5%が1、2%より高くなったことは、サクシニル化により粘性が出てくるため、この粘性が発泡性を抑える作用をしたためと考えられ、コハク酸ナトリウムの添加量が少ない方が粘性が小さく発泡性が高くなったと推測している。また、コハク酸ナトリウムは、特異的な旨味が強く、1%までの添加では、この特異性を和らげることが可能と思われたのと、この試験で0.5%が最も発泡性が高かったことを考慮して、以下の試験では、添加量を0.5%にした。(図17)

3) 魚肉サクシニル化肉の発泡性と加水量の関係

魚肉サクシニル化の発泡性は、無処理に比べ、スル

メイカ胴肉部では、かなり高くなり、マイワシ、マアジ、マサバも高くなる傾向を示した。アカハゼ、メジロザメは変わらなかった。また、各魚種とも、概ね加水量を増す程高くなる傾向を示した。(図18)

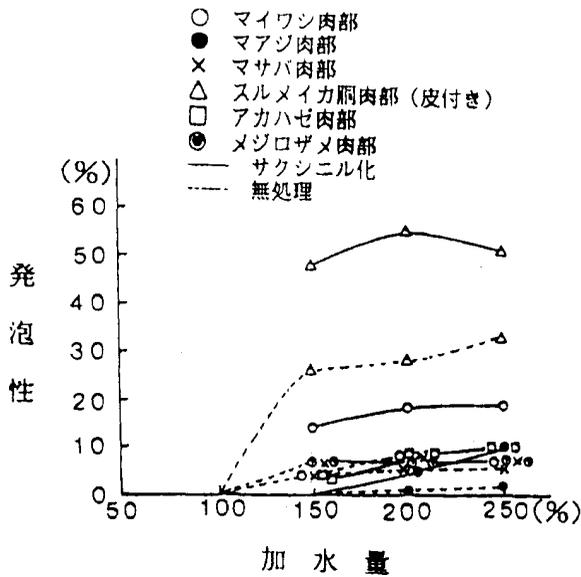


図18 魚化サクシニル化肉の発泡性と加水量の関係
サクシニル化：0.5%コハク酸ナトリウム添加
10,000r.p.m.で2分間ホモゲナイズ

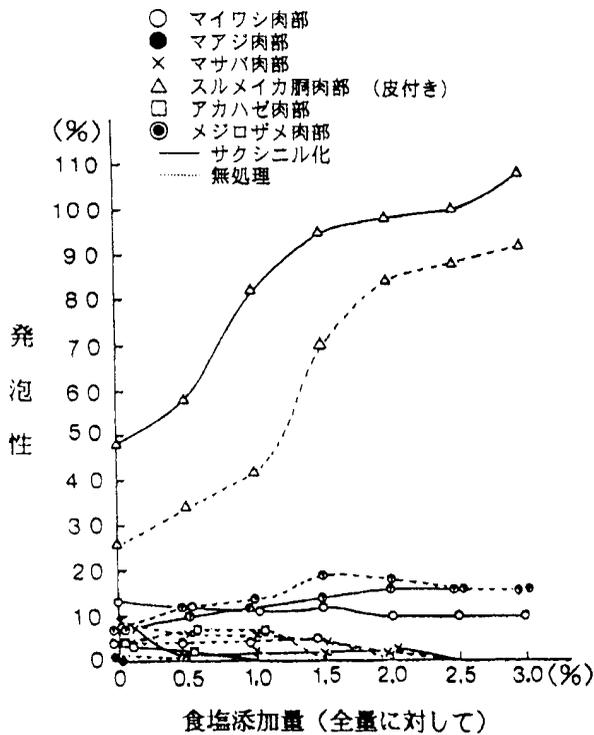


図19 魚肉サクシニル化肉の発泡性と食塩添加量の関係
サクシニル化：0.5%コハク酸ナトリウム添加
10,000r.p.m.で2分間ホモゲナイズ 加水量：150%

4) 魚肉サクシニル化肉の発泡性と食塩添加量の関係

魚肉サクシニル化の発泡性は、無処理に比べ、特にスルメイカ胴肉では高く、食塩濃度増加に伴い高くなる傾向であった。マイワシでは、や、高く、食塩濃度の増加とともに漸減する傾向を示した。また、マサバでは、サクシニル化、無処理とも、食塩2.5%添加で発泡性は、見られなくなり、アカハゼでは、サクシニル化は、1.0%で、無処理で1.5%で見られなくなった。マアジのサクシニル化は、食塩添加しても全く発泡しなかった。(図19)

5) 魚肉サクシニル化肉の発泡性と加熱温度の関係

魚肉サクシニル化の発泡性は、無処理に比べ、マイワシでは、加熱温度が高くなるにしたがって低くなり、60℃で見られなくなった。マアジでは、30~50℃では、発泡性は見られなかったが、60~90℃と温度が高くなる程僅かに高くなった。マサバでは40~90℃で温度が高くなる程少し高くなる傾向を示し、60℃で最も高くなった。アカハゼでは、サクシニル化は、無処理と同

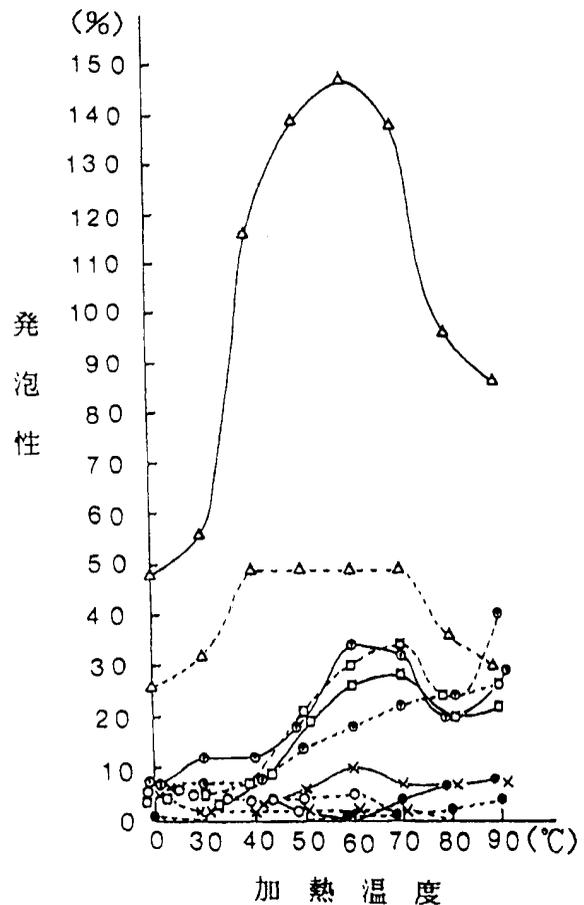


図20 魚肉サクシニル化肉の発泡性と加熱温度の関係
サクシニル化：0.5%コハク酸ナトリウム添加
10,000r.p.m.で2分間ホモゲナイズ
加水量：150% 放置温度：室温

様のパターンを示したが、サクシニル化は、無処理より低い値となった。メジロザメでは、30~70℃では高くなり、80~90℃では無処理の方が高くなる傾向を示した。一方、スルメイカ胴肉部では、加熱温度の上昇とともに著しく高くなり、60℃でピークに達し、70~90℃で低下した。各魚種とも60℃までは、ホモゲナイズ後の泡層とペースト分離は見られなかったが、70℃の温度では分離が見られた。メジロザメでは、40℃で泡層とペースト層の分離が見られ、温度が高くなる程分離が大きくなる傾向を示した。また、各魚種ともサクシニル化の方が無処理より泡層とペースト層の分離度合いが低いように見えた。(図20)

6. スルメイカ部位別サクシニル化肉の発泡性

サクシニル化による発泡性の改善は、魚類では効果が少なかったが、スルメイカ肉は魚肉より発泡性が高かったため、結果の2で差異が見られた部位別肉をサクシニル化し、この性状を検討した。

1) スルメイカ部位別サクシニル化肉の発泡性と加水量の関係

サクシニル化肉の発泡性は、無処理より何れの部位も高くなった。頭脚部では、加水150%で高く、200%

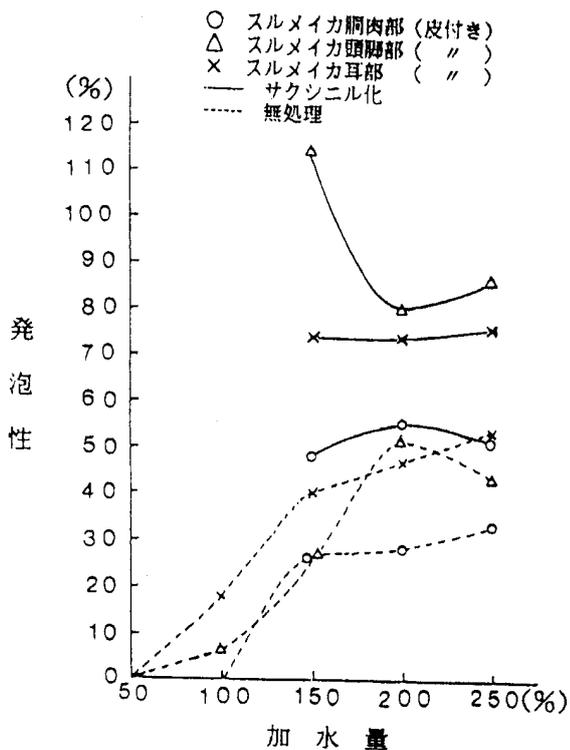


図21 スルメイカ部位別サクシニル化肉部の発泡性と加水量の関係

サクシニル化：0.5%コハク酸ナトリウム添加
10,000r.p.m.で2分間ホモゲナイズ

で急激に減少、200~250%でや、増加、耳部では、150~250%でほぼ一定、胴肉部では、150~200%で漸増、200~250%で漸減傾向を示した。発泡性の高さは、頭脚部>耳部>胴肉部の順となった。(図21)

2) スルメイカ部位別サクシニル化肉の発泡性と食塩添加量の関係

サクシニル化肉の発泡性は、無処理より何れの部位も食塩濃度の増加に伴って高くなる傾向を示した。頭脚部が最も高く、次に、食塩1.0%添加までは、耳部>胴肉部で、1.5~3.0%は、胴肉部>耳部となった。(図22)

3) スルメイカ部位別サクシニル化肉の発泡性と加熱温度の関係

サクシニル化の発泡性は、無処理より高く、40~60℃でかなり高くなり、60℃でピークに達し、70~90℃で低下した。50~60℃のピークでの発泡性の高さは、耳部>胴肉部 頭脚部であった。(図23)

7. 魚介類生殖腺の無処理、サクシニル化の発泡性

結果の3-1), 2) で生殖腺の発泡性と加水量ならびにホモゲナイザー回転数の関係を調べたが、引き続き発泡性と食塩ならびに加熱温度の関係を無処理、サクシニル化処理ものについて性状を検討した。

1) 魚介類生殖腺の発泡性と食塩添加量の関係

無処理の生殖腺の発泡性は、マイワシ精巣では、食塩0.5~2.0%添加では、添加量を増す程高くなり、2.0%をピークに2.5~3.0%添加は、添加量を増す程減少した。マイワシ卵巣は、添加量を増す程や、漸減傾向となった。マサバ精巣は、添加量を増す程減少傾向となり、1.5~3.0%では、添加量を増す程急激に低下した。マサバ卵巣は、マイワシ卵巣と同様に添加量を増す程や、減少傾向となった。一方、スルメイカ卵巣、包卵腺はや、増加傾向となった。食塩2.0%での発泡性の高さは、マイワシ精巣>スルメイカ精巣>マサバ精巣>スルメイカ包卵腺>マイワシ卵巣>マサバ卵巣の順となった。

サクシニル化生殖腺の発泡性は、特にマサバ精巣で、無処理に比べてかなり高くなり、食塩2.0~3.0%で、無処理では添加量を増す程急激に低下したが、逆にサクシニル化では急激に増加した。マイワシ精巣では、食塩0.5~1.0%でサクシニル化の方が無処理より高く、1.5~2.0%で逆に無処理の方がサクシニル化より高くなり、3.0%で両者ともほぼ同じとなった。スルメイカ包卵腺は、食塩添加量を増すと無処理のものよりや、高くなった。マイワシ卵巣、マサバ卵巣、スルメイカ卵巣は、食塩添加量を増しても無処理、サクシニ

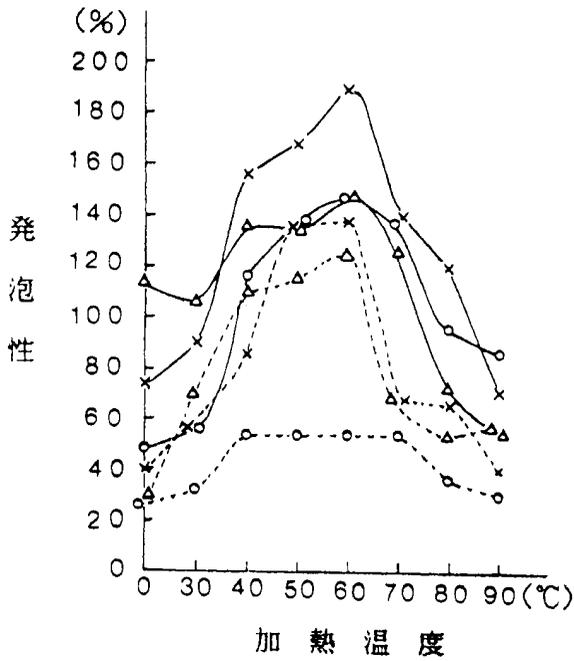


図22 スルメイカ部位別サクシニル化内部の発泡性と食塩添加量の関係
 サクシニル化：0.5%コハク酸ナトリウム添加
 10,000r.p.m.で2分間ホモゲナイズ

ル化ともほぼ同じ傾向となった。食塩2.0%での発泡性の高さは、マサバ精巢>マイワシ精巢>スルメイカ卵巣>スルメイカ包卵腺>マイワシ卵巣>マサバ卵巣の順となった。また、マイワシ精巢、マサバ精巢は、無処理では泡層とペースト層の分離は見られず、食塩添加量を増す程粘性が出て糊状のペーストとなった。サクシニル化マイワシ精巢は泡層とペースト層（固液分離がみられた）の分離が見られ、液状となった。食塩添加量を増す程泡層とペースト層の分離は少なくなり、食塩2.5~3.0%では、分離は見られなかった。サクシニル化マサバ精巢は、泡層とペースト層の分離が見られたが、食塩添加0.5~1.5%はやゝ分離し、食塩2.5~3.0%では、分離は見られなかった。マイワシ卵巣、マサバ卵巣は、無処理で、泡層とペーストの分離が見られ、食塩添加量を増す程分離がはっきりしてきた。（食塩2.0%以上）サクシニル化は、両者とも無処理と同様泡層とペースト層に分離して液状となっており、食塩添加1.5%以上で分離がよりはっきりした。液状については、生殖腺に含まれる酵素作用の影響が考えられ、精巢より卵巣の方が液化への酵素作用が強

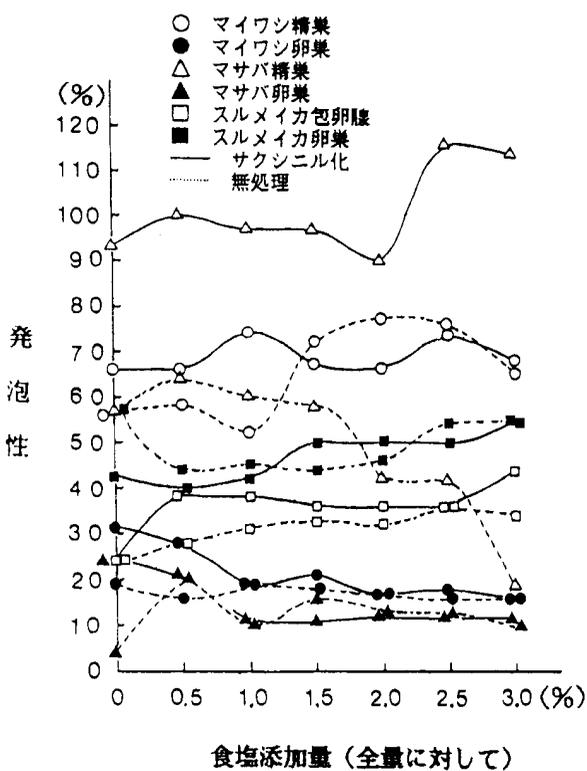


図23 スルメイカ部位別サクシニル化内部の発泡性と加熱温度の関係
 10,000r.p.m.で2分間ホモゲナイズ
 加水量：150% 加熱時間：30分

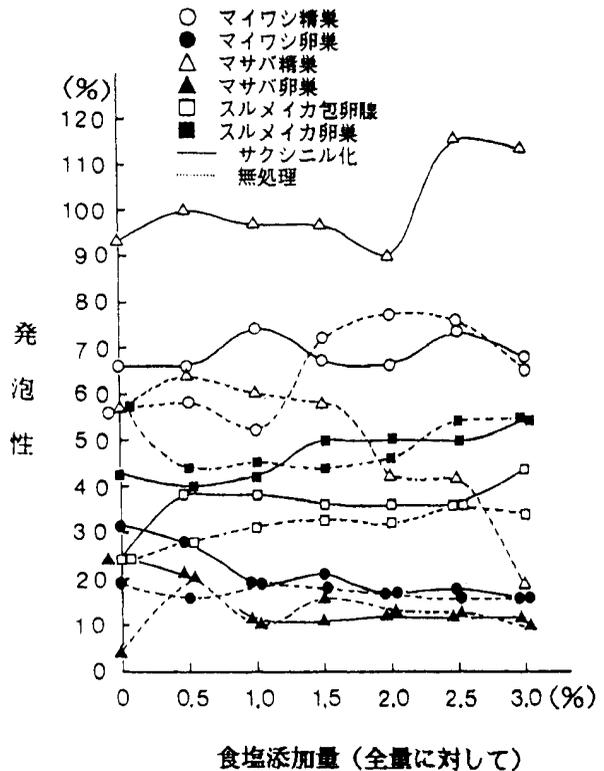


図24 魚介類生殖腺の無処理ならびにサクシニル化の発泡性と食塩添加量の関係
 サクシニル化：0.5%コハク酸ナトリウム添加
 10,000r.p.m.で2分間ホモゲナイズ 加水量：150%

いと思われた。スルメイカ卵巣，包卵腺は，無処理，サクシニル化とも泡層とペースト層の分離は見られなかった。(図24)

2) 魚介類生殖腺の発泡性と加熱温度の関係

無処理の生殖腺の発泡性は，マイワシ精巣では，30～40℃で漸減し，50℃で急激に低くなり，逆に50～60℃で急激に高くなり，70℃をピークに80～90℃で低下した。マサバ精巣は，マイワシ精巣と同様な傾向となり，80～90℃で急激に低くなった。マイワシ卵巣は，加熱温度が高くなる程低くなる傾向を示した。マサバ卵巣は，30～70℃では温度が高くなる程高くなる傾向を示し，70℃をピークに80～90℃は低くなる傾向を示した。スルメイカ卵巣は，加熱温度が高くなる程低くなる傾向にあり，80～90℃では急激に低下した。スルメイカ包卵腺は，30～60℃は漸増傾向に，70℃で低くなり，80℃で再び高く，90℃で低くなった。70℃のピークでの発泡性は，マサバ精巣>マイワシ精巣>スルメイカ卵巣>マサバ卵巣>スルメイカ包卵腺>マイワシ卵巣の順となった。

サクシニル化生殖腺の発泡性は，無処理と概ね同様なパターンを持つものとして，マイワシ精巣，卵巣，マサバ精巣，スルメイカ卵巣は，50～70℃で高く，70℃でピークとなり，80～90℃で低下した。60～70℃では，無処理よりサクシニル化の方が高く，特に，マサバ精巣は，著しく高くなった。一方，スルメイカ包卵腺は，30℃をピークに温度が高くなる程低下し，50～60℃にかけて急激に低下した。30～60℃では無処理よりサクシニル化の方が高かったが，これより高温になると，両者はほぼ同じとなった。マサバ卵巣は，30～40℃ではや、低くなり，40～90℃ではほぼ一定となった。50～70℃では無処理の方がサクシニル化よりや、高くなる傾向を示した。70℃での発泡性は，マサバ精巣>マイワシ精巣>スルメイカ卵巣>マイワシ卵巣>スルメイカ包卵腺>マサバ卵巣の順となった。無処理では，マイワシ精巣は，30～50℃で泡層とペースト層の分離が見られたが，70～90℃は分離が見られなかった。マイワシ卵巣，マサバ卵巣は各温度とも分離が見られ，マイワシ卵巣は，70～90℃で分離は小さくなった。マサバ精巣は，30～80℃で分離が見られなかったが，90℃では分離した。スルメイカ包卵腺は，各温度とも分離は見られなかったが，スルメイカ卵巣は，80～90℃の高温で分離した。

サクシニル化では，マイワシ精巣は，30～50℃で泡層とペースト層の分離がはっきりしたが，60～90℃に

かけて分離は小さくなった。マイワシ卵巣は，30℃で分離が見られたが，60～80℃で分離せず，90℃で分離した。マサバ卵巣は，無処理と同様各温度で分離が見られ，高温になる程分離がはっきりした。マサバ精巣は，各温度とも分離は見られなかった。スルメイカ包卵腺，スルメイカ卵巣は，両者とも分離は見られなかった。(図25)

8. 魚肉無処理肉とサクシニル化肉の安定性

無処理で安定性が高いのは，スルメイカ胴肉部>アカハゼ>マアジ>マサバ>メジロサメの順となった。サクシニル化すると，無処理より発泡安定性は高くなり，マイワシ，マアジ，アカハゼ，スルメイカ（無処理も同様）は24時間放置しても，液層の分離は見られなかった。また，図には示していないが，スルメイカの部位別，頭脚部，耳部の無処理肉，サクシニル化肉は，胴肉部と同様な結果となった。(図26)

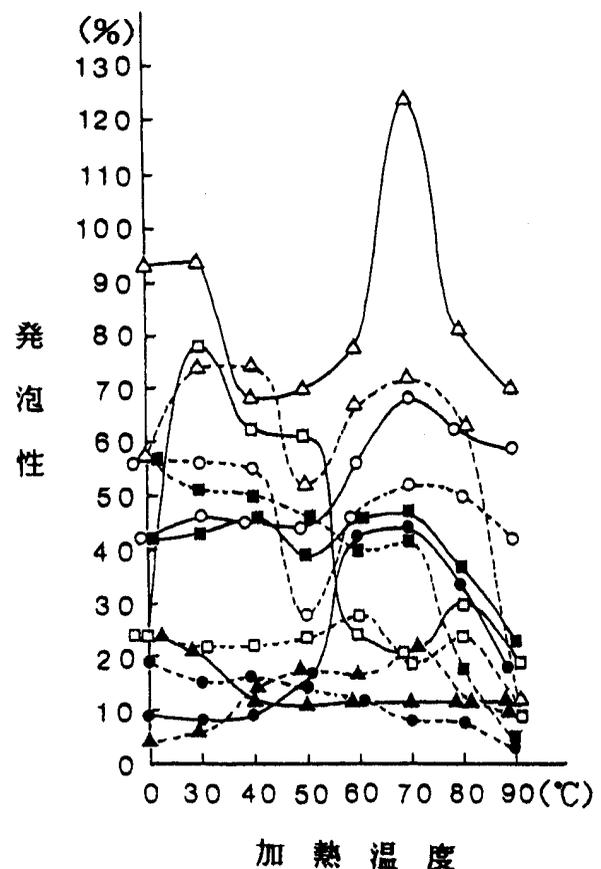


図25 魚介類生殖腺の無処理ならびにサクシニル化の発泡性と加熱温度の関係

サクシニル化：0.5%コハク酸ナトリウム添加
10,000r.p.m.で2分間ホモゲナイズ
加水量：150% 加熱時間：30分

9. 魚介類サクシニル化物の発泡性に及ぼす放置時間

スルメイカ各部位別肉部、マサバ精巢のサクシニル化物の発泡性は、無処理よりかなり高くなることが解った。サクシニル化物の発泡性及び放置時間の影響、つまり、自家酵素によるタンパク質の分解が発泡性を高めることが考えられた。これまでの試験で、サクシニル化は、反応温度30℃、反応時間60分に、サクシニル化物の温度の影響を見るのに30分放置する条件に設定してきたので、30℃でこの放置時間に相当する60分、90分の無処理での発泡性を検討した。サクシニル化は、結果の5、6、7のデータ（前報^{6,7)} データ）を基に図26に書き加えて示した。なお、この試験に用いた試料は、-30℃に貯蔵した同一試料カロットを使用した。また、解り易くするため、図28に、図27の放置時間0分、無処理0分の放置時間の値を1とした時の発泡性倍率に書き替えて示した。

両図からサクシニル化の発泡性は、放置時間による発泡性にサクシニル化による発泡性が加わったものと言える。

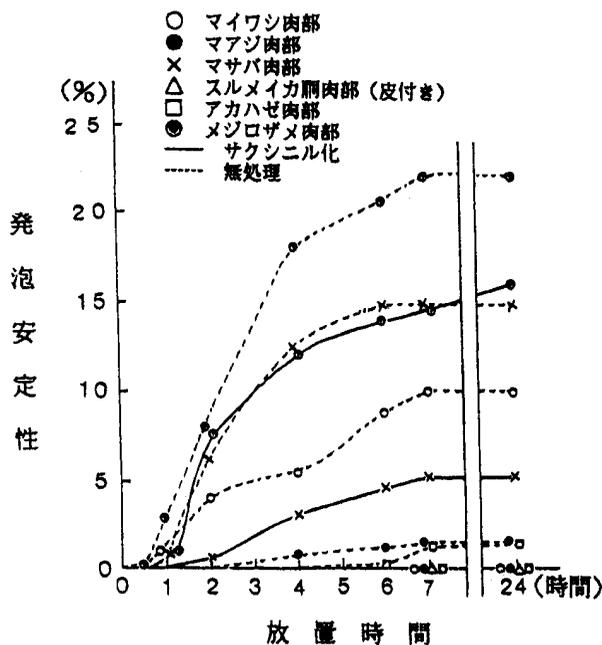


図26 魚肉無処理肉とサクシニル化の発泡安定性と放置時間の関係

サクシニル化：0.5%コハク酸ナトリウム添加

10,000r.p.m.で2分間ホモゲナイズ

加水量：150% 加熱時間：30分

分離水層 (ml)

$$\text{定性発泡安} = \frac{\text{分離水層 (ml)}}{\text{全層 (ml)}} \times 100\%$$

10. 魚介類の肉部ならびに生殖腺のサクシニル化（用語）と発泡性

本来サクシニル化はタンパク質に無水コハク酸を作用させ、サクシニル化反応を起こさせるものであるが、本報告で表現しているサクシニル化と言う用語は、上記のタンパク質の修飾の方法に記したごとく、魚肉や生殖腺のホモゲナイズ処理したものに、直接コハク酸二ナトリウムを溶液濃度として0.5%になるように添加し、反応させたもので、このサクシニル化の用語については、本事業の年度末報告会（平成9年度）で論議されたこともあったが、スルメイカ各部位別肉部の発泡性は、無処理よりサクシニル化の方がかなり高くなること、マサバ精巢は著しく高くなること、無処理よ

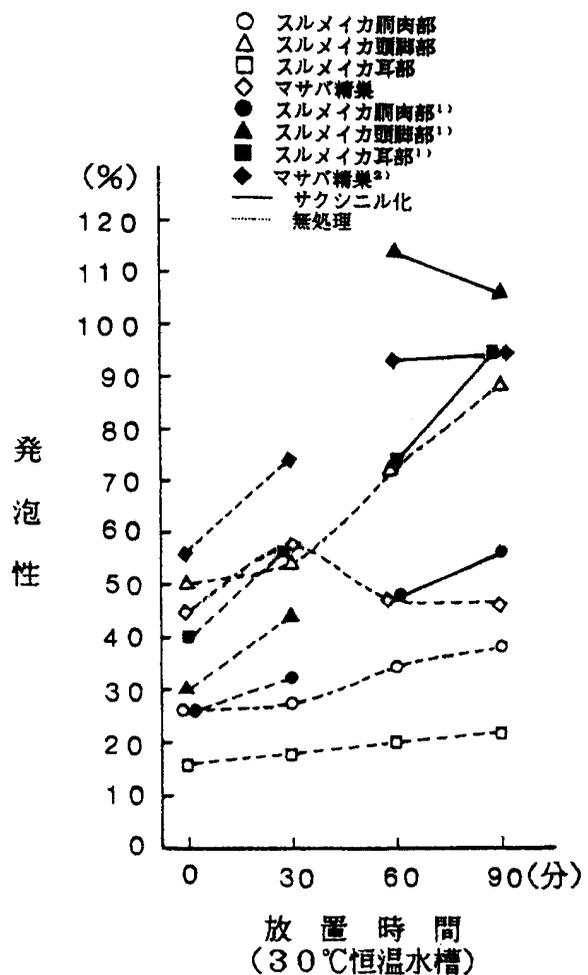


図27 スルメイカ各部位別肉部、マサバ精巢ならびにこのサクシニル化物の発泡性と放置時間の関係

サクシニル化：60分-サクシニル化に30℃で60分放置
90分-サクシニル化物を30℃で30分放置

¹⁾平成9年度報告 ²⁾平成10年度報告
(各区分とも-30℃に貯蔵した同一試料カロットを使用した)
10,000r.p.m.で2分間ホモゲナイズ 加水量：150%

りサクシニル化方が発泡安定が高くなること、また、サクシニル化反応が進むに従って粘性が高くなることを観察している。このことから、サクシニル化、つまり部分的にアシル化反応が進んだと解釈する方が本論を得ていると考えられる。また、コハク酸ナトリウム添加によるpHの変動によるタンパク質の変性も考えられたが、表1に示した示したごとく、0.5%コハク酸ナトリウム液自体のpH7.65と微アルカリで、各試料の微酸～中性に近く、強酸、強アルカリ域でないでpHによる影響⁶⁾は殆どないと思われた。(表1)

11. 酵素処理が魚介類発泡性に及ぼす影響

魚介類肉部のサクシニル化は、発泡性を高めることを明らかにしたが、マイワシ、マサバ卵巣⁷⁾は、サクシニル化反応で液状となり、泡層とベースト層に分離

表1 魚介類生殖腺ならびにスルメイカ耳部の無処理、サクシニル化のpH

試料	pH	
	無処理	サクシニル化
マイワシ精巣	6.72	6.85
マイワシ卵巣	6.23	6.27
マサバ精巣	7.17	7.07
マサバ卵巣	6.22	6.23
スルメイカ包卵巣	6.51	6.56
スルメイカ卵巣	6.35	6.37
スルメイカ耳部	6.85	6.87
0.5%コハク酸ナトリウム液	7.65	

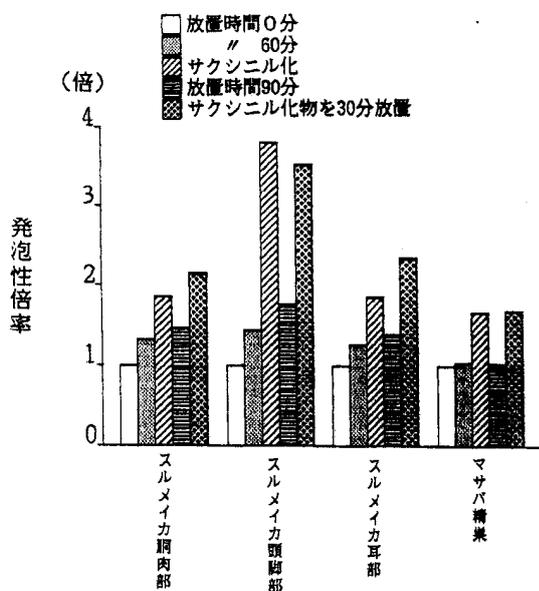


図28 スルメイカ各部位別肉部、マサバ精巣ならびにこのサクシニル化物の発泡性と放置時間の関係 (図27を書き替え)

発泡性倍率：放置時間0分の発泡性を1に、サクシニル化は、無処理0分の発泡性を1にした時の倍率

し、両者は、この反応は不適あることが解った。卵巣に含まれる強い酵素活性のためと考えている。そこで、魚介類肉部にタンパク質分解酵素トリプシン、パパインを作用させた場合、発泡性にどのように影響を及ぼすのか、特性究明の手段として検討した。

マイワシ、マアジ、マサバ肉部ではトリプシン、パパイン処理による発泡性の向上は認められず、マイワシで見られたエマルジョン様の発泡性も酵素処理で消滅した。しかし、アカハゼ、メジロザメ、スルメイカ各部位別肉部では、酵素処理で顕著な発泡性の増加が認められ、何れも200%以上に達した。また、酵素の種類による発泡性は若干異なり、スルメイカ胴肉部で

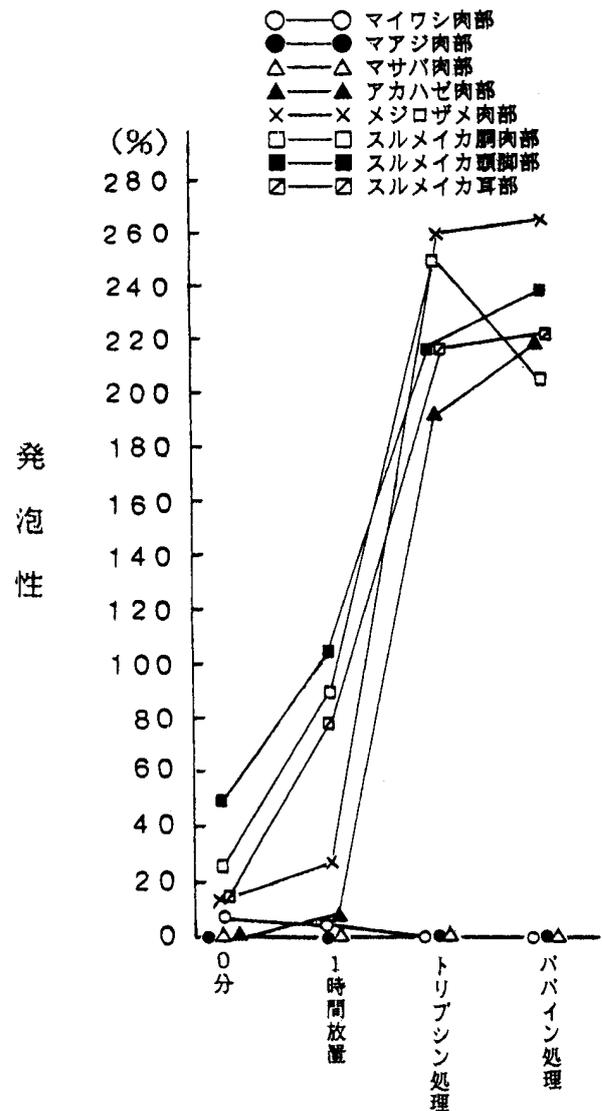


図29 魚介類肉部の放置時間ならびに酵素処理した肉部の発泡性

放置、酵素処理温度：45℃ 酵素添加量：0.5% 10,000r.p.m.で2分間ホモゲナイズ 加水量：150%

はトリプシンが、他の試料では、パパインがそれぞれ高くなった。(図29)

鶏卵卵白と卵黄の発泡性については、新鮮な卵より古い卵の方が泡立ち易い¹¹⁾とされていることから、タンパク質の適度な変性が発泡性を高めたと推測され、生卵白より凍結卵白、乾燥卵白の方が高い値を示した。

- A: 生卵白 (Lサイズ、市販品)
- B: 生卵白を-30℃で1日凍結
- C: 乾燥卵白 (太陽化学(株)を12.5% (生卵白相当)
- D: 生卵黄に加水150% 溶液に調整

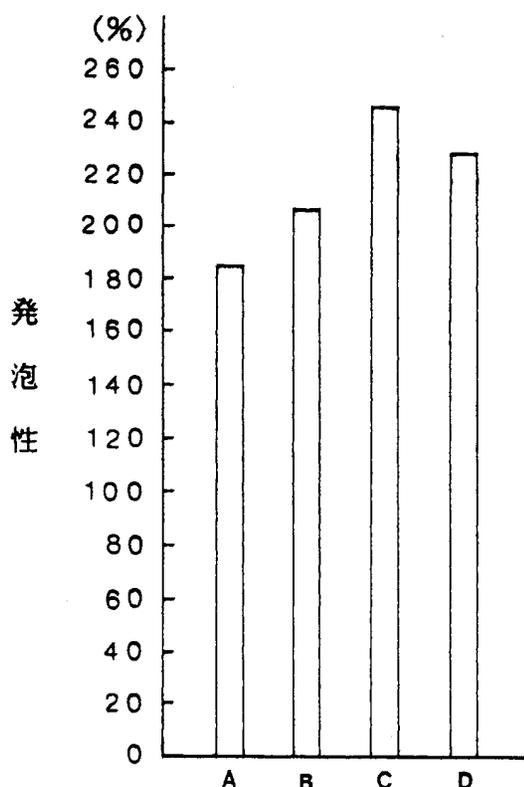


図30 鶏卵卵白と卵黄の発泡性
10,000r.p.m.で2分間ホモゲナイズ

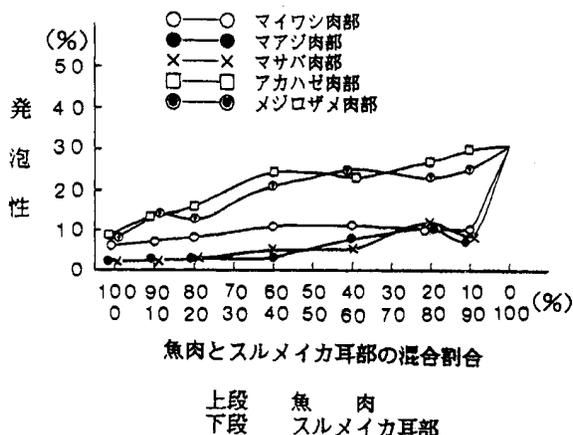


図31 魚肉とスルメイカ耳部の混合による発泡性の関係
10,000r.p.m.で2分間ホモゲナイズ 加水量:150%

卵黄は、加水すると起泡性が大きくなる¹⁰⁾ことから、加水を50~250%とし試験した。発泡性は、加水100~250%では、何れも200%を越え、この内最も高くなった加水150%の値を図示した。両図を比較すると酵素処理したアカハゼ、メジロザメ、スルメイカ各部位別肉部の発泡性は、概ね卵白、卵黄の発泡性と同じであった。(図30)

12. 発泡性の高いものと低いものの組合せ

(1)スルメイカ耳部との混合

魚介類の種類により発泡性の高いものと低いものがあることが解った。発泡性を保持した組織化を図るため、例えばマイワシ等の発泡性の低いものは、発泡性の高いスルメイカ等と組合せれば発泡のあるものが得られると予測し、予備的にイワシミンチ肉と十分発泡させたイカ肉なり鶏卵卵白を混合した場合、両者をミンチ(混合)すればする程、また、放置する程発泡性が減少し、消滅することを観察している。そこで、この事象を明らかにするため、スルメイカ部位別の中でも発泡性の高い耳部を用いて、発泡性の低い魚肉と混合した場合の性状を検討した。

1) 魚肉とスルメイカ耳部混合による発泡性の関係

マイワシ、マサバの発泡性は、低く、スルメイカ耳部を60~90%と増やしても若干高くなる程度であった。一方、アカハゼとメジロザメは、スルメイカ耳部を多くする程発泡性は、相対的に高くなった。また、アカハゼの方がメジロザメより混合による発泡性は幾分高いと言える。(図31)

2) 魚肉とスルメイカサクシニル化耳部の混合による発泡性の関係

結果の6からスルメイカ耳部をサクシニル化すると無処理より発泡性が約2倍ぐらい高くなることから、より発泡性の高いサクシニル化耳部と魚肉を混合して検討した。マイワシ、マアジ、マサバの発泡性は、図30と同様、より発泡性の高いサクシニル化耳部を混合しても発泡性は変わらなかったが、アカハゼとメジロザメは、耳部の混合割合が高くなる程無処理より高くなった。(図32)

3) 魚肉とスルメイカ耳部混合による発泡抑止率の関係

魚種により発泡性を抑えるものと発泡性を高めるもの(発泡性を妨害しない)の指標として、方法の6)-③の測定式により発泡抑止率として示した。これは、少量の魚肉、つまり、魚肉の混合割合を10%にした時(全体の4%に相当する)の発泡性を式により表したものであり、マイワシ、マアジ、マサバの発泡

抑止率は、70~90%と高く、発泡性を抑えるか、発泡したものを破壊する性質を持っていると見ることが出来る。一方、アカハゼ、メジロザメの発泡抑止率は3~20%と低く、発泡を妨害しないか、発泡を相乗させる作用を有していると言える。けられる。(このことは、昔から発泡食品であるハンペンにサメ類が用いられてきたことから裏づけられる。(図33)

(2)スルメイカ包卵腺との混合

結果の12-(1)から魚肉とスルメイカ耳部の組合せは、スルメイカ耳部の混合割合を増すと魚種により発泡性が高まるものと変わらないか、僅かに高くなるこ

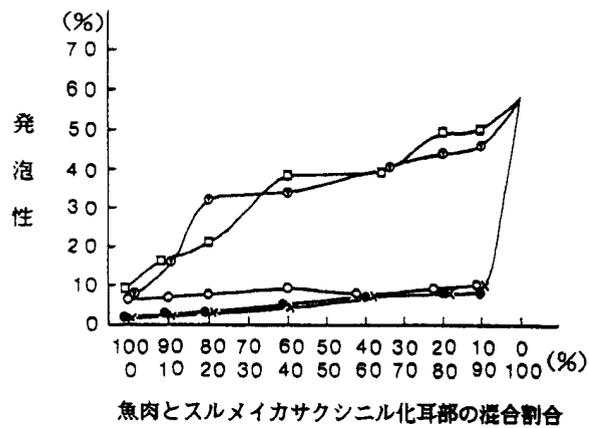


図32 魚肉とスルメイカサクシニル耳部の混合による発泡性の関係

10,000r.p.m.で2分間ホモゲナイズ 加水量：150%

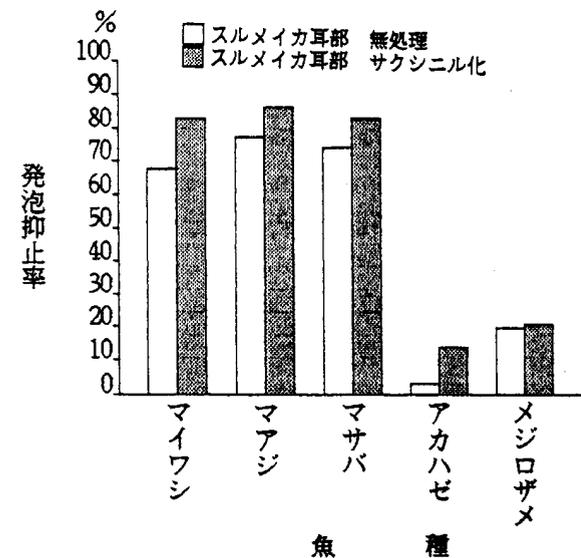


図33 魚肉とスルメイカ耳部（無処理，サクシニル化）の混合子（10：90）による発泡抑止率の関係

10,000r.p.m.で2分間ホモゲナイズ 加水量：150%

とが解った。スルメイカ包卵腺は粘性が強く、生殖腺の中で保水力が最も高く、発泡性も高かったことから、スルメイカ包卵腺を用いて、魚肉、スルメイカ部位別肉部、魚介類生殖腺を混合した場合の発泡性を検討した。

1) 魚肉とスルメイカ包卵腺混合による発泡性の関係

マイワシ、マアジ、マサバの発泡性は、スルメイカ耳部と混合した場合（図30）と同様に低く、スルメイカ包卵腺の混合割合を60~90%と増すとマイワシ、マサバで若干高くなり、耳部の混合よりや、高くなった。一方、アカハゼとメジロザメはスルメイカ包卵腺20%混合で最も高くなり、両者は、スルメイカ包卵腺の発泡性より高く、相乗効果が認められた。また、両者とも包卵腺をこれ以上増やしても一定となり、包卵腺の発泡性とほぼ同じ値となった。泡層とペースト層の分離は、包卵腺10%混合で何れも少なく、20%混合（メジロザメは30%混合）で分離は見られなくなり、混合割合を増す程粘性が強く、ペースト状となった。(図34)

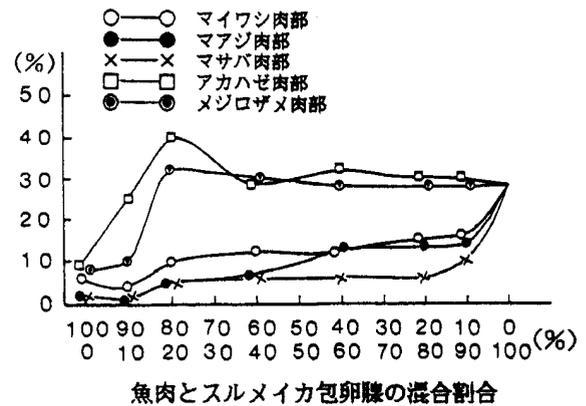


図34 魚肉とスルメイカ包卵腺混合による発泡性の関係

10,000r.p.m.で2分間ホモゲナイズ 加水量：150%

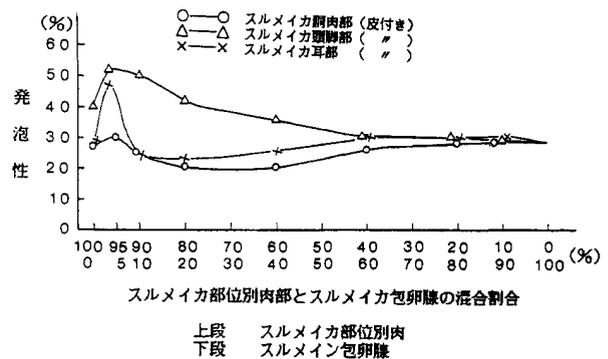


図35 スルメイカ部位別肉部とスルメイカ包卵腺混合による発泡性の関係

10,000r.p.m.で2分間ホモゲナイズ 加水量：150%

2) スルメイカ部位別肉部とスルメイカ包卵腺混合による発泡性の関係

スルメイカ頭脚部と耳部は、スルメイカ包卵腺5%混合で相乗的に発泡性は高くなり、頭脚部は10~40%と混合割合を増す程低下し（この混合範囲では相乗効果あり）、60~90%にかけて包卵腺の発泡性とほぼ同じ値となった。耳部は、10%混合で発泡性は急激に低下し、胴肉部も同様なパターンを示した。包卵腺10~60%混合は、むしろ相乗的に減らす傾向が見られた。包卵腺を60~90%と増すに従って包卵腺の性状が強く現れて、包卵腺の発泡性の値に収斂するよう見受けられた。泡層とペースト層の分離は、何れも見られなかった。（図35）

3) 魚介類生殖腺とスルメイカ包卵腺混合による発泡性の関係

魚介類生殖腺は、スルメイカ包卵腺5~10%の混合で相乗的に発泡性は高くなり、特に、マサバ精巣で120%、スルメイカニーダム氏嚢は107%と著しく高くなった。マサバ卵巣は、包卵腺20%混合が最も高くなった。包卵腺5~10%の混合での発泡性は、マサバ精巣>スルメイカニーダム氏嚢>スルメイカ精巣>マイワシ精巣>スルメイカ卵巣>マイワシ卵巣>マサバ卵巣の順となった。概ね各生殖腺は、包卵腺10~40%と混合割合が増す程低下し、40~90%と混合割合を増すに従って包卵腺の発泡性の値に収斂するよう見受けられた。また、各生殖腺は、包卵腺5%混合で泡層とペースト層の分離は見られなかった。マサバ卵巣の場合、10%混合で分離が見られなくなった。（図36）

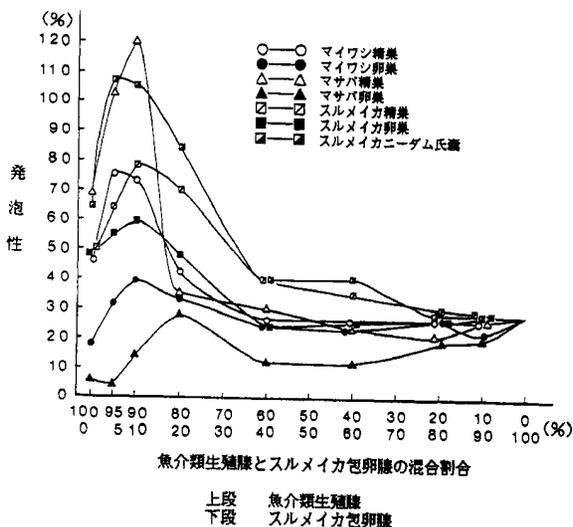


図36 魚介類生殖腺とスルメイカ包卵腺の混合による発泡性の関係

10,000r.p.m.で2分間ホモゲナイズ 加水量：150%

13. 試料肉ならびに生殖腺の一般成分

肉部については、マイワシ、マアジ、マサバ肉部、メジロザメ普通肉の水分は、61.7~77.0%と低く、アカハゼ、スルメイカ部位別肉は79.9~81.9%と高かった。粗タンパク質含量は、スルメイカ頭脚部、耳部が12.2~14.4%とやや低く、他は17.3~20.6%であった。粗脂肪含量は、アカハゼ、メジロザメ普通肉、スルメイカ部位別肉は、0.0~0.3%、マイワシで2.7%と低いのに対し、マサバ、マアジで10.2~11.8%とかなり高かった。粗灰分は、1.1~1.4%で試料間で差は見られなかった。

生殖腺については、マサバ卵巣の水分は66.3~68.2%と低く、マイワシ卵巣、スルメイカ包卵腺で71.9~72.9%とやや低く、マイワシ精巣、マサバ精巣、卵巣、スルメイカ精巣、卵巣、ニーダム氏嚢で78.8~81.6%と高かった。粗タンパク質含量は、19.6~19.7%、マイワシ卵巣、スルメイカ包卵腺で16.3~16.4%、マイワシ精巣、マサバ精巣、スルメイカ精巣、卵巣、ニーダム氏嚢で12.5~15.0%とやや低かった。粗脂肪含量は、マイワシ卵巣、マサバ卵巣、スルメイカ包卵腺で4.1~6.4%、他は0.8~2.3%と低かった。粗灰分は、1.7~2.1%で、試料間で特に差は見られなかった。この結果から、マイワシ、マサバの生殖腺の脂肪含量は、西元¹¹⁾の報告と概ね同じで、水分含量が少なくなるとタンパク質含量が高くなる傾向であった。マサバ精巣、卵巣の成熟度の違いによる差は、概ね認められなかったが、精巣、卵巣とも成熟の方が未成熟より水分、粗脂肪が幾分高かった。須山¹²⁾は、ニジマス¹²⁾の卵は、成熟に伴い水分、タンパク態窒素、灰分は増加するが、粗脂肪は減少したと報告している。このマサバ粗脂肪の減少傾向と似ている。スルメイカ精巣、ニーダム氏嚢の一般成分は、マサバ精巣と概ね同じだが、ニーダム氏嚢は、幾分粗タンパク質含量が低かった。また、

表2 試料肉ならびに生殖腺の一般成分

試料	水分	粗タンパク	粗脂肪	粗灰分
マイワシ肉部	72.4%	19.3%	2.7%	1.3%
マアジ肉部	74.0	18.2	10.2	1.2
マサバ肉部	61.7	18.0	11.8	1.1
アカハゼ肉部	81.1	18.1	0.0	1.3
メジロザメ普通肉	77.0	20.6	0.3	1.2
スルメイカ胴肉部(皮付き)	79.9	17.3	0.3	1.4
スルメイカ胴肉部(剥皮)	81.0	17.5	0.2	1.3
スルメイカ頭脚部(皮付き)	81.9	14.4	0.1	1.1
スルメイカ耳部(〃)	81.4	12.2	0.1	1.3
マイワシ精巣	80.9	14.1	2.3	2.0
マイワシ卵巣	71.9	16.3	4.6	1.9
マサバ精巣(成熟)	81.6	14.2	0.8	2.0
マサバ精巣(未成熟)	80.4	14.4	1.3	2.1
マサバ卵巣(成熟)	68.2	19.6	4.9	1.7
マサバ卵巣(未成熟)	66.3	19.7	6.4	1.7
スルメイカ精巣	78.8	15.0	1.0	2.1
スルメイカ卵巣	79.4	12.0	2.1	1.6
スルメイカ包卵腺	72.9	16.4	4.1	2.0
スルメイカニーダム氏嚢	80.6	12.5	1.7	2.0

表3 試験区分の配合組成 (マイワシ肉部-1)

配合内容	区分	A-1	B-1	C-1	D-1	E-1	F-1
マイワシ肉部		80 %	80	80	80	80	80
スルメイカ包卵腺		20	20	20	20	20	20
食塩*		2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
プルラン*		0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5
加水		143.7	142.5	141.3	140.0	138.8	137.5

各試験区分の配合内容は、マイワシ肉部-1と表示する。(以下同様の表記とする)
*食塩、プルランは、全量に対する添加量を示す(従って食塩2.5%の添加量は、6.25%となる)

表4 試験区分の配合組成 (マイワシ肉部-2)

配合内容	区分	A-2	B-2	C-2	D-2	E-2	F-2
マイワシ肉部		80 %	80	80	80	80	80
スルメイカ包卵腺		20	20	20	20	20	20
食塩*		2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
プルラン*		1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
キサントランガム*		0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5
加水		141.3	140.0	138.8	137.5	136.3	135.0

* 全量に対する添加量を示す。

表5 試験区分の配合組成 (マイワシ肉部-3)

配合内容	区分	A-3	B-3	C-3	D-3	E-3	F-3
マイワシ肉部		80 %	80	80	80	80	80
スルメイカ包卵腺		20	20	20	20	20	20
食塩*		2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
プルラン*		1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
キサントランガム*		2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
ローカストビーンガム*		0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5
加水		136.3	135.1	133.8	132.6	131.3	130.1

* 全量に対する添加量を示す。

表6 試験区分の配合組成 (スルメイカ胴肉部-1, スルメイカ頭脚部*-1, スルメイカ耳部*-1)

配合内容	区分	A-1	B-1	C-1	D-1	E-1	F-1
スルメイカ胴肉部		95 %	95	95	95	95	95
スルメイカ包卵腺		5	5	5	5	5	5
食塩**		2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
プルラン**		0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5
加水		143.7	142.5	141.3	140.0	138.8	137.5

* スルメイカ頭脚部、耳部は、胴肉部配合と同じ。 **食塩、プルランは、全量に対する添加量を示す。

表7 試験区分の配合組成 (スルメイカ胴肉部-2, スルメイカ頭脚部*-2, スルメイカ耳部*-2)

配合内容	区分	A-2	B-2	C-2	D-2	E-2	F-2
スルメイカ胴肉部		95 %	95	95	95	95	95
スルメイカ包卵腺		5	5	5	5	5	5
食塩**		2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
プルラン**		1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
キサントランガム**		0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5
加水		141.3	140.0	138.8	137.5	136.3	135.0

* スルメイカ頭脚部、耳部は、胴肉部配合と同じ。 **全量に対する添加量を示す。

表8 試験区分の配合組成 (スルメイカ胴肉部-3, スルメイカ頭脚部*-3, スルメイカ耳部*-3)

配合内容	区分	A-3	B-3	C-3	D-3	E-3	F-3
スルメイカ胴肉部		95 %	95	95	95	95	95
スルメイカ包卵腺		5	5	5	5	5	5
食塩**		2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
プルラン**		1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
キサントランガム**		2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
ローカストビーンガム**		0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5
加水		136.3	135.1	133.8	132.6	131.3	130.1

* スルメイカ頭脚部、耳部は、胴肉部配合と同じ。 **全量に対する添加量を示す。

この一般成分の結果と発泡性の間には、特に関連は見られなかった。(表2)

14. 加熱ゲル用配合区分の設定-1

試験配合内容は、以下述べる試験結果を基にマイワシ肉部は表3~表5に、スルメイカ胴肉部、耳部は表6~表8に示した。

発泡性を保持した加熱ゲルを作るため、結果の12-(2)からイワシ魚肉では、スルメイカ包卵腺を20%混合すると発泡性が若干高くなることから、包卵腺の配合割合を20%に設定し、スルメイカ各部位別肉部は、スルメイカ包卵腺を5%添加した場合が相乗的最も高くなることから5%に設定した。

結果の1, 2から発泡性を高めるには、魚介類肉部で加水が150%以上必要で、加水150%として計算上魚介類肉部の水分含量は85~90%の高水分含量を維持必要がある。この様な高水分含量は、加工品では木綿豆腐(86.8%)、卵豆腐(90.3%)、ヨーグルト(全脂無糖, 88.0%)、板こんにゃく(97.3%)と限られている¹³⁾。高水分ペーストの加熱組織化(ゲル化)を図るには、タンパク質の含量を増やすか、他のバインダー的な添加物を検討しなくてはならない。高水分を保持しつつ、試料肉部(落し身)に他の精製タンパク質-すり身等を添加して加熱ゲルを調整するのは、すり身の配合割合多くなることと、これにより発泡性の発現が困難(スケトウダラすり身は、殆ど発泡しない結果を得ている)になると考えられたので、多糖類の配合を検討することとした。

結果の3, 12-(2)からスルメイカ包卵腺は、保水性も強く、発泡性も高く、魚介類肉部と発泡性の相乗効果も高かったため、この組合せと、ゲル化の作用を少しでも高めるため、食塩の添加により、塩溶性タンパクの溶出とこのゲル化作用ならびに多糖類の中で保水性もあり、ある程度のゲル化作用もあり、添加量も少量ですむ等の条件を満たすものを検討し、プルラン^{14,15)}、ガム類のキサントランガム¹⁶⁾、ローカストビーンガム¹⁷⁾を取り上げ、この組合せを検討した。加水は、発泡性とゲル化を考慮して、加水は肉部に対して150%とした。各添加物の量は内割とし、添加量分だけ、加水を減らして調整した。加熱温度は、85°C、20分とした。

15. 魚介類肉部の加熱ゲル

1) マイワシ肉部加熱ゲルの官能評価

マイワシ肉部-1(表3)の播潰肉は、プルランの添加量が多い程粘性が高くなった。粘性が増す程発泡性は抑えられる傾向であった。加熱ゲルは非常に柔ら

かく、ゲル形成が非常に弱く、離水が多く、発泡性を高めた空気も分離し、ゲル物性は、測定不能であった。マイワシ肉部-2 (表4) マイワシ肉部-1の結果から表1の配合のプルラン添加量を全量に対して1%とし、保水性の高いガム類としてキサントタンガムを添加して検討した。キサントタンガムの添加量を増す程形成能もあるのり状粘性が増した。テクスチャーは、キサントタンガム1.5~2.5%添加が良く、2.0%が最も良かった。この中でゲル形成は、2.5%が良かった。しかし、全体的にゲル形成能が弱かった。

マイワシ肉部-3 (表5) マイワシ-2の結果、弱いながらゲル形成が出来ることが解ったので、キサントタンガムの添加量を全量に対して2.0%とし、さらに好ましいゲル形成能を高めるため、ローカストビーンガムを添加して検討した。ローカストビーンガムは、カラギーナン、キサントタンガムと相乗的にゲル強度を高めることと、離水を防止するとされている¹⁷⁾。この

ことから、ロカストビーンガムを添加することにより、よりゲル形成能を高めることが出来た。ソフト感もあり、テクスチャー的に良かったのは、ローカストビーンガム添加量1.0~2.0%であった。

2) スルメイカ各部位別肉部加熱ゲルの官能評価

①スルメイカ胴肉部の加熱ゲル

配合内容は、結果の15-2) から、マイワシ肉部の配合内容に準じた。スルメイカ胴肉部の加熱ゲルは、概ねイワシ肉部と同様な傾向を示した。スルメイカ胴肉部-1 (表6) は、保水と含気の保持する力がなく、非常に弱いゲルとなり、ゲル物性の測定は、不能であった。胴肉部-2 (表7) は、何れもゲル形成は非常に弱いものであった。胴肉-3 (表8) は、ローカストビーンガム添加量1.0~2.0%がゲル形成能もあり、テクスチャーには好ましかった。

②スルメイカ頭脚部の加熱ゲル

スルメイカ頭脚部-1 (表6) は、胴肉部と同様ゲル形成は非常に弱く、ゲル物性の測定は、不能であった。頭脚部-2 (表7) は、キサントタンガム0.5~

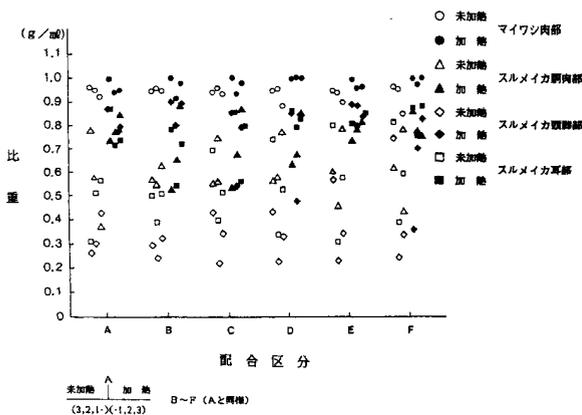


図37 マイワシ肉部, スルメイカ胴肉部配合区分別未加熱, 加熱ゲルの比重

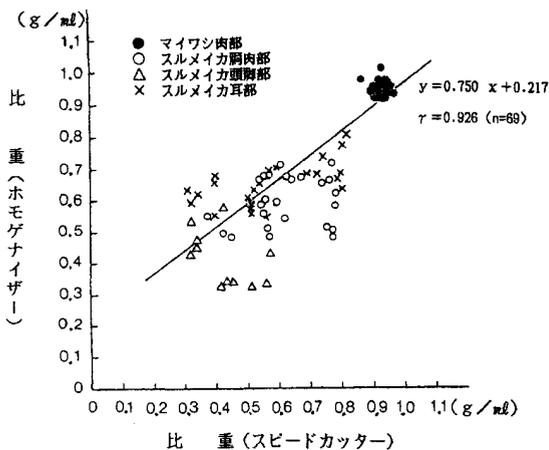


図38 マイワシ肉部, スルメイカ胴肉部配合区分別配合区分の異なる攪拌記による比重の関係

表9 試験区分の配合組成 (マイワシ肉部)

配合内容	区分	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦
マイワシ肉部		80	70	60	50	40	30	20
スルメイカ胴肉部		20	30	40	50	60	70	80
食塩		2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
プルラン*		1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
キサントタンガム*		2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
ローカストビーンガム*		1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
加水		133.8	133.8	133.8	133.8	133.8	133.8	133.8

* 全量に対する添加量を示す。

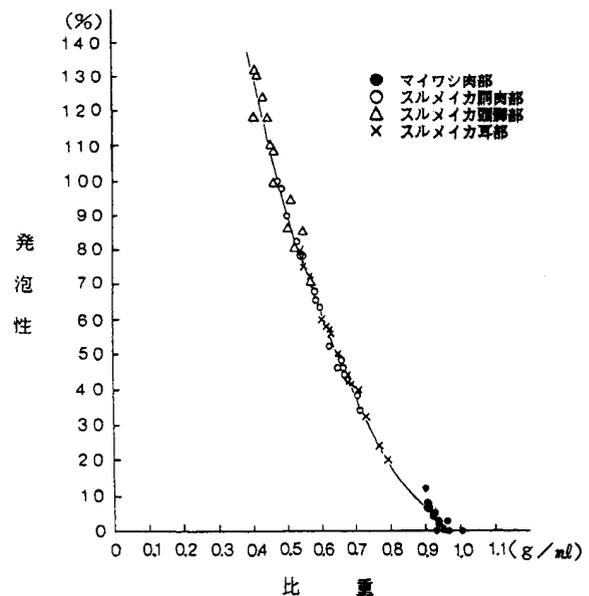


図39 マイワシ肉部, スルメイカ胴肉部配合区分の発泡性と比重の関係
10,000r.p.m.で2分間ホモゲナイズ (未加熱)

1.5%添加ではゲル形成能が弱く、形成出来なかったが、2.0~2.5%添加で弱いながら形成した。頭脚部-3(表8)は、ローカストビーンガム添加量1.0~2.0%でテクスチャー的に好ましかった。

③スルメイカ耳部の加熱ゲル

スルメイカ耳部-1(表6)は、胴肉部-1、頭脚部-1と同様ゲル形成は非常に弱く、ゲル物性の測定は、不能であった。スルメイカ耳部-2(表7)は、キサントガム添加量0.5~1.0%は、ゲル形成能が弱く、形成出来なかったが、1.5~2.5%添加で弱いながら形成した。スルメイカ耳部-3(表8)は、ローカストビーンガム添加量1.0~2.0%で、テクスチャー的に好ましかった。

次に、マイワシ肉部、スルメイカ各部位別肉の総合的なゲル特性を項目別に以下図に示した。

3) 未加熱、加熱ゲルの比重

各区分とも未加熱の方が加熱ゲルより相対的に低い傾向であった。マイワシ肉部は、スルメイカ胴肉部、頭脚部、耳部より未加熱、加熱とも高い傾向にあった。スルメイカは、添加物が多くなる程加熱区で高くなる傾向であった。(図37)

4) 異なる攪拌機(ホモジナイザーとスピードカッター)による比重の関係

異なる攪拌機による比重の関係は、発泡性の試験に用いたホモジナイザーと加熱ゲル作成に用いたスピードカッターとは相関が見られた。(図38)

5) 発泡性と比重の関係

発泡性と比重の関係は、図39に示すよう相関が見られ、図37の比重から各試験区の発泡性が推測可能となった。

6) マイワシ肉部加熱ゲルの異なるプランジャーによる破断強度と破断凹みの関係

異なるプランジャーによるマイワシ肉部の破断強度と破断凹みは図40、図41に示すように、マイワシ肉部の配合区分で高い相関が見られた。

本試験でソフトで弱いゲルの物性を測定するのに径10mmの円盤型のプランジャーを用いたが、通常、練り製品の弾力を測るのに径5mmの球状プランジャーを用いた測定データの蓄積が多いことから、両プランジャーとの関係を見たものであるが、これまでの試験結果から、径5mmの球状プランジャーを用いて練り製品(イワシミンチ肉に卵白、澱粉配合)の弾力測定で、破断強度100g以下では、折り曲げ試験でC~D、破断強度50g以下では、折り曲げ試験でD、つみれ状の

脆いものとなった。この破断凹みは、8~15mm、水分は65~70%であったこと¹⁸⁾等から、一般的に、このような物性値の範囲では、高水分を保持したものは、ゲル形成が困難と考えている。

7) スルメイカ胴肉部加熱ゲルの異なる形態による破断強度と破断凹みの関係

マイワシ肉部の発泡性は小さいが、スルメイカ肉部の発泡性は大きく、添加物の多いスルメイカ肉部の配合区分F-3でも、未加熱のもので発泡性は20~75%、ペースト中に10~40%含気することになる。イワシ肉

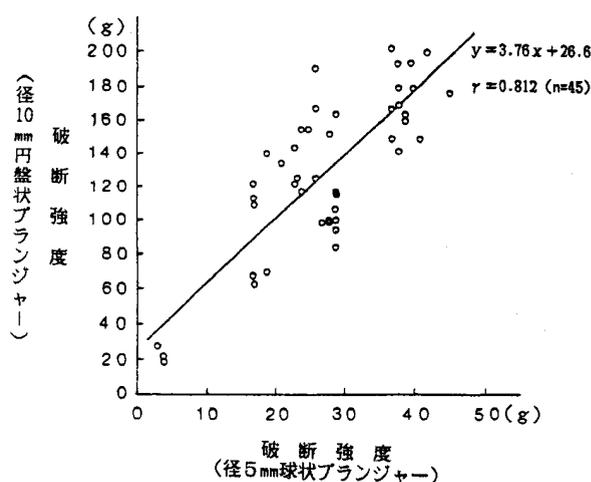


図40 マイワシ肉部配合区分の異なるプランジャーによる破断強度の関係

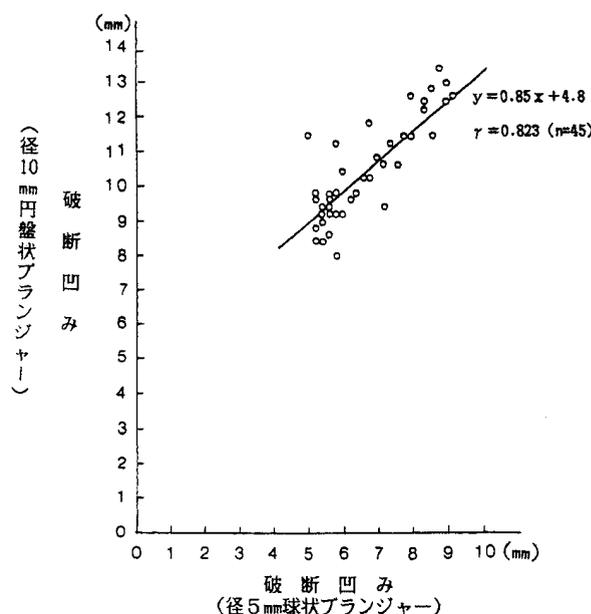


図41 マイワシ肉部配合区分の異なるプランジャーによる破断凹みの関係

部で10%以下の含気になる(図36, 38より推定)この空気が加熱により膨張, 冷却により収縮するため, チューブに入れたものは, 四方への膨張, 収縮が大きいいため, ゲル形成に何らかの影響を与えられたので, 発泡性の高いスルメイカ肉部を用いて, 菓子用プリン型容器にペーストを入れ比較した。プリン型容器は, 回りが固定されてするため, 空気の膨張, 収縮は容器の上下に限定されるため, 比較的形を保ち易く, ゲル形成に与える影響は少ないと推測した。

図42, 図43に示すように, ソフトで弱いゲル範囲では, チューブ詰め空気の膨張, 収縮があってもゲルの形成能はそこなわれないと思われた。

8) マイワシ肉部のスルメイカ包卵腺配合の加熱ゲル
結果の12-(2)から発泡性の低い(発泡を壊す)マイワシ肉部にスルメイカ包卵腺の配合割合20%でや、高

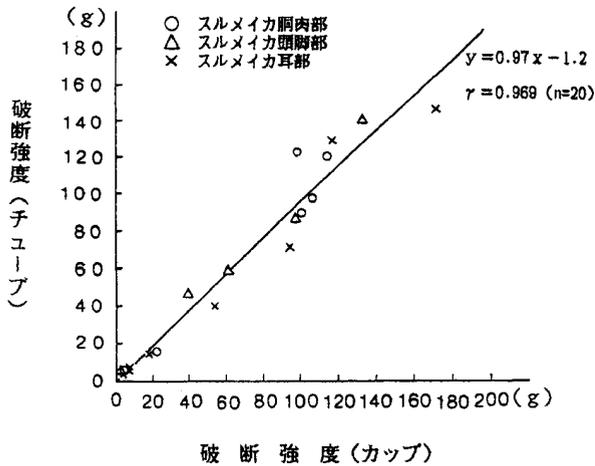


図42 スルメイカ胴肉部配合区分の加熱ゲルの異なる形態による破断強度の関係(平均値)

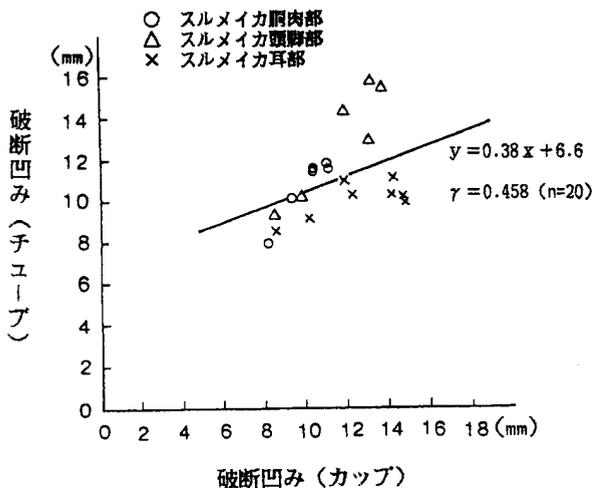


図43 スルメイカ胴肉部配合区分の加熱ゲルの異なる形態による破断凹みの関係(平均値)

くなり, 20~90%と増す程幾分高くなったことから, 多糖類の添加によるゲル形成の配合(表5)の結果を基に, 包卵腺を20~90%と割合を増やした表9の配合区分で検討した。図44に示すように比重は高く変化は少なかった。従って, 発泡性はあまり高くなかった。加熱ゲルの比重は, 未加熱より高く, 加熱により発泡性が低下したことになる。破断強度は, 包卵腺の割合が40~50%で高くなり, 70~90%と多くなる程低くなる傾向を示した。(図45)破断凹みは, 包卵腺の割合が多くなる程高くなった。(図46)また, 包卵腺の割合が多くなる程柔らかくプリン様の好ましいテクスチャーとなった。

9) スルメイカ各部位別肉部とスルメイカ包卵腺混合肉の発泡性に及ぼすプルラン, キサンタンガム, ローカストビーンガム添加量の関係

結果の15-2), 7) からスルメイカ各部位別肉部とスルメイカ包卵腺にプルラン, キサンタンガム, ローカストビーンガムの組合せで, 発泡性のある組織化が可能となった。

スルメイカの各部位別肉部の発泡性は高く, この発泡性を保持した組織化について, 配合した多糖類が発泡性に何らかの影響与えられたので, 表6~表8の配合割合に準じて検討した。

①スルメイカ部位別肉部の発泡性とプルラン添加量の関係

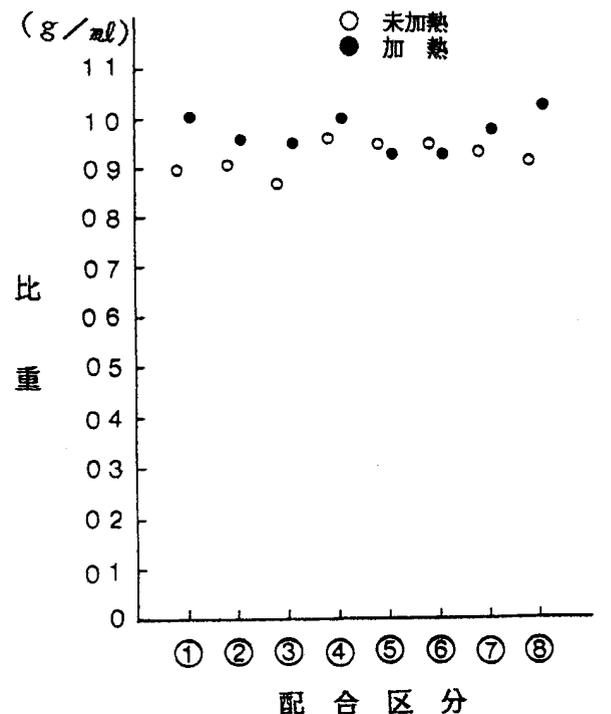


図44 マイワシ肉部のスルメイカ包卵腺配合区分別比重

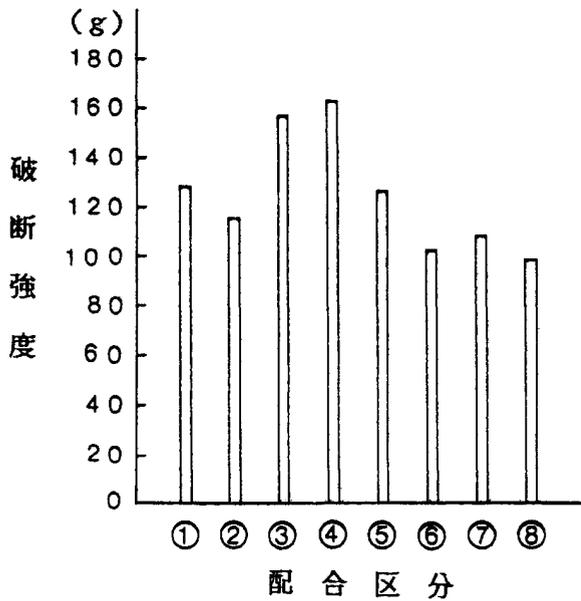


図45 マイワシ肉部のスルメイカ包卵腺配合区分別破断強度 (平均値)

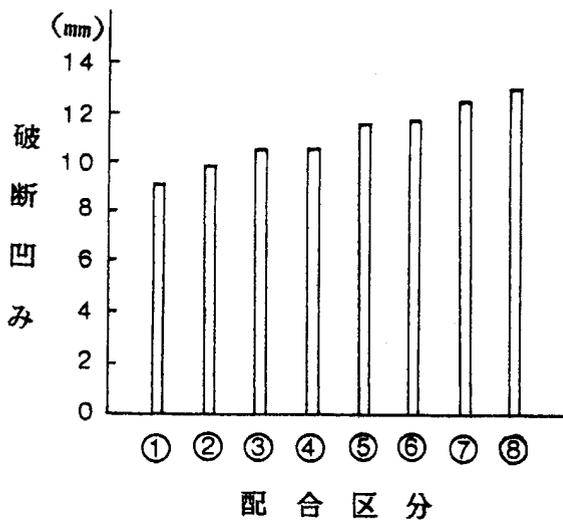


図46 マイワシ肉部のスルメイカ包卵腺配合区分別破断凹み (平均値)

発泡性とプルラン添加量の関係は、頭脚部では、0.5%添加では高くなり、0.5~2.0%で漸減し、2.5%では急減して無添加とほぼ同じ値となった。胴肉部と耳部は、概ね同じパターンで、胴肉部では0.5~1.5%添加で、耳部では0.5~1.0%添加で、無添加とほぼ同じで、これ以上の添加では両者とも低下する傾向を示した。(図47)

②スルメイカ部位別肉部の発泡性とキサンタンガム添加量の関係

発泡性とキサンタンガム添加量の関係は、胴肉部と耳部では、概ね同じパターンを示した。胴肉部は、

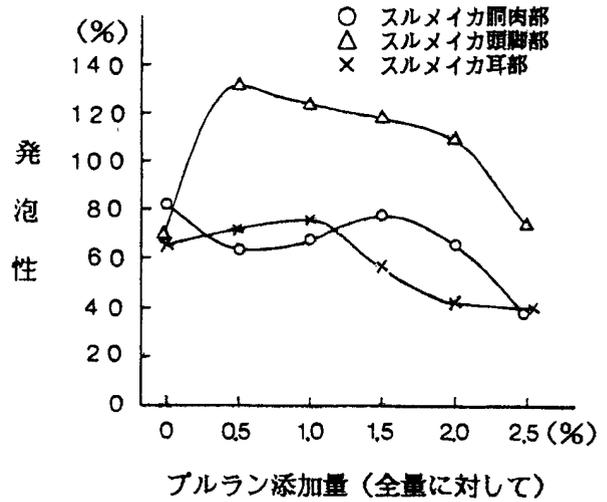


図47 スルメイカ部位別のスルメイカ包卵腺混合肉の発泡性とプルラン添加量の関係

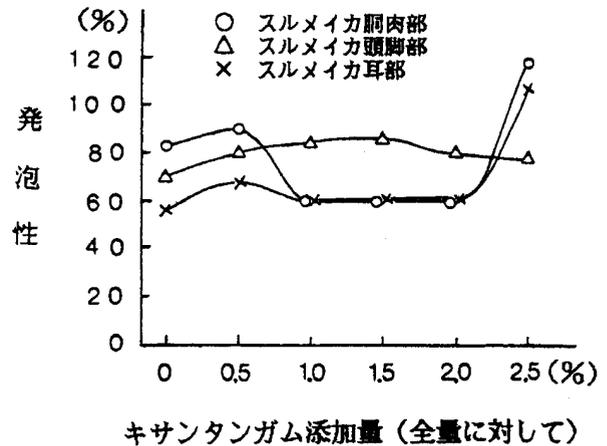


図48 スルメイカ部位別肉部とスルメイカ包卵腺混合肉の発泡性とキサンタンガム添加量の関係

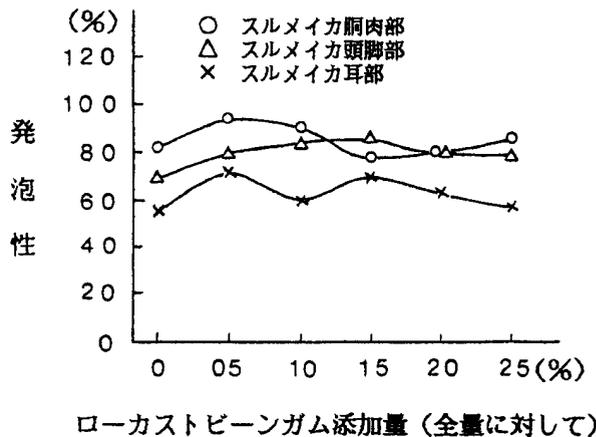


図49 スルメイカ部位別肉部とスルメイカ包卵腺混合肉の発泡性とローカストビーンガム添加量の関係

0.5%添加で漸増し1.0%で低くなり、2.0%まではほぼ一定で、2.5%で急増した。耳部は、0.5%添加で漸増し、2.0%まで無添加とほぼ同じとなり、2.5%で急増した。両者とも2.5%で急増したのはホモゲナイズで発泡性が高くなるとともに粘性も増してきて、ホモゲナイズの継続により回転刃にかかる圧力が間欠的に変化したことから、より空気を抱き込み易い状態になったと推定された。頭脚部は、0.5~2.5%添加まで、無添加とほぼ一定となった。(図48)

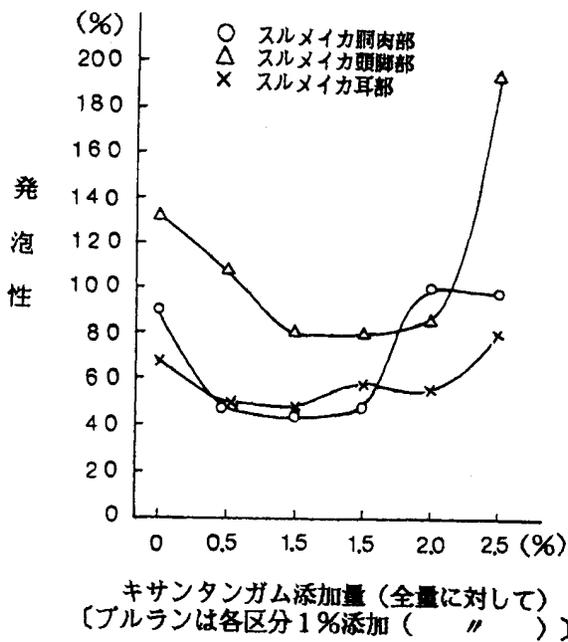


図50 スルメイカ部位別肉部とスルメイカ包卵腺混合肉の発泡性とキサントタンガム添加量の関係

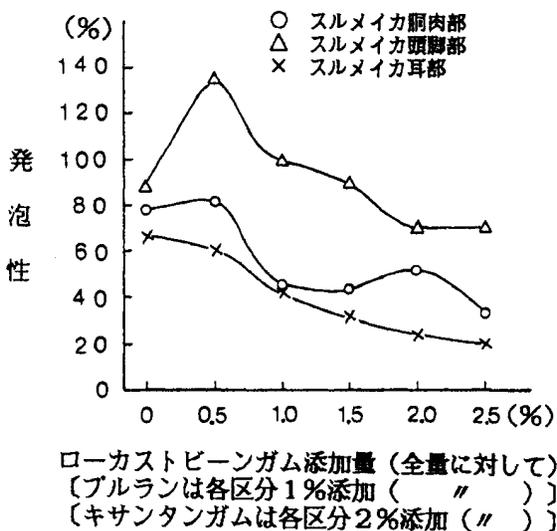


図51 スルメイカ部位別肉部とスルメイカ包卵腺プルラン、キサントタンガム混合肉の発泡性とローカストビーンガム添加量の関係

③スルメイカ部位別肉部の発泡性とローカストビーンガム添加量の関係

発泡性とローカストビーンガム添加量の関係は、スルメイカ各部位別では、ローカストビーンガム0.5~2.5%添加で、各区分とも各無添加とほぼ同じ値となった。(図49)

④スルメイカ部位別肉部の発泡性とプルラン (各区分1%添加)、キサントカガム添加量の関係

発泡性とプルラン、キサントタンガム添加量の関係は、各区分とも0.5%添加で急減し、頭脚部は、1.0%まで急減した。胴肉部は、0.5~1.5%でほぼ一定、頭脚部は、1.0~2.0%で、耳部は、0.5~2.0%でほぼ一定となった。胴肉部は、1.5~2.0%で急増、2.0~2.5%でほぼ一定となった。頭脚部は、2.0~2.5%で急増し、この関連の試験の中で、最も高くなった。(図50)

⑤スルメイカ各部位別肉部とプルラン (各区分1%添加)、キサントタンガム (各区分2%添加)、ローカストビーンガム添加量の関係

発泡性とプルラン、キサントタンガム、ローカストビーンガム添加量の関係は、0.5%添加で胴肉部は漸増、頭脚部は急増、耳部は漸減した。0.5~2.5%添加では、

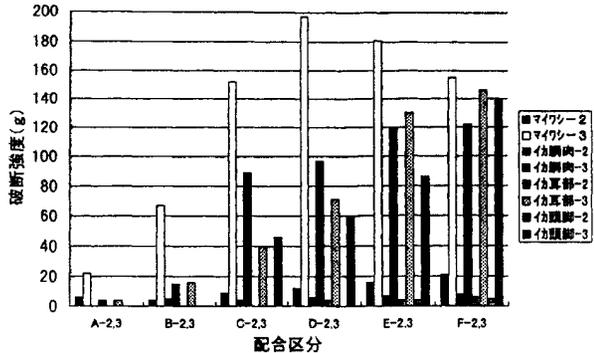


図52 マイワシ肉部、スルメイカ各部位別破断強度 (平均値)

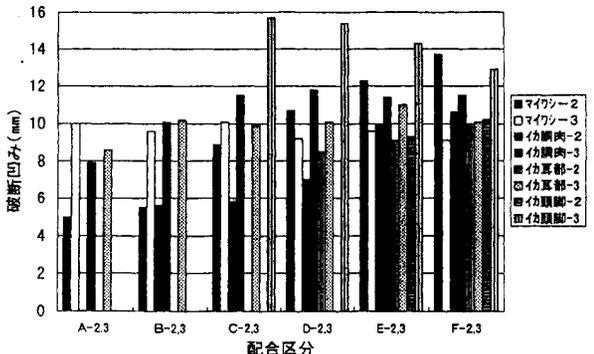


図53 マイワシ肉部、スルメイカ各部位別破断凹み (平均値)

各区分とも低くなる傾向を示した。(図51)

10) 魚介類肉部の加熱ゲルの破断強度と破断凹み

魚介類肉部の破断強度は、各試験区-2では、非常に小さかった。試験区-3は、マイワシ肉部では、D区のローカストビーンガム添加量1.5%が最も高く、これより添加量が多くても少なくとも低くなる傾向を示した。ゲルの物性が高いのはC~F区でローカストビーンガム添加量で1.0~2.5%の範囲で、添加量が多くなる程高くなる傾向を示した。(図52) スルメイカ各部位別肉部は、試験区-3でゲルの物性が高いのは、マイワシ肉部と同様C~Fでローカストビーンガム添加量1.0~2.5%の範囲であった。この発泡性は、図36と図38から加熱ゲルはC~F区で10~30%含気され、未加熱ペーストはC、D区で30~130% E、F区で20~75%含気されると推定された。

破断凹みは、スルメイカ頭脚部-3では、C~F区で12~16mmとや、高く、スルメイカ胴肉-3は、C~F区で概ね12mm、マイワシ肉部-2は、12~14mmであった。他はA区を除いてB~F区で、概ね10mm前後であった。(図53)

11) 魚介類肉部の加熱ゲルの水分含量

加熱ゲルの水分含量は、概ね85~88%の高水分含量であり、発泡性に必要な水分量は保持されていた。(表10)

表10 試験区分加熱ゲルの水分含量

配合内容	区分	A	B	C	D	E	F		
マイワシ肉部-1		88.8 %	88.6	88.1	85.7	85.3	84.9		
〃-2		85.7	86.1	85.5	85.8	85.9	85.7		
〃-3		84.4	86.1	83.9	83.1	83.0	82.1		
スルメイカ胴肉部-1		89.0	88.0	87.7	84.3	85.8	85.5		
〃-2		85.5	88.0	87.7	87.3	86.6	86.1		
〃-3		86.3	86.0	85.5	85.2	84.5	84.5		
スルメイカ頭脚部-1		87.1	88.4	87.7	86.8	86.0	86.8		
〃-2		86.6	88.3	87.3	87.3	86.1	86.2		
〃-3		85.8	85.7	85.6	85.5	84.8	84.2		
スルメイカ耳部-1		87.5	86.8	85.9	84.7	85.5	84.4		
〃-2		86.7	86.4	86.4	87.1	87.3	86.7		
〃-3		87.8	87.5	86.7	86.5	85.8	85.5		
配合内容	区分	①	②	③	④	⑤	⑥		
マイワシ肉部		84.0 %	84.4	84.8	84.2	87.5	86.6	87.4	87.3
スルメイカ包卵様水分: 84.4%									

表11 試験区分の配合組成 (マイワシ肉部, スルメイカ胴肉部, スルメイカ頭脚部, スルメイカ耳部)

配合内容	区分	マイワシ肉部	スルメイカ胴肉部	スルメイカ頭脚部	スルメイカ耳部
マイワシ肉部		80 %	—	—	—
スルメイカ胴肉部		—	95	—	—
スルメイカ頭脚部		—	—	95	—
スルメイカ耳部		—	—	—	95
スルメイカ包卵様		20	5	5	5
食塩		2.5	2.5	2.5	2.5
プルラン*		1.0	1.0	1.0	1.0
キサントガム*		2.0	2.0	2.0	2.0
ローカストビーンガム*		1.0	1.0	1.0	1.0
加水		133.8	133.8	133.8	133.8

* 全量に対する添加量を示す。

16. 加熱ゲル用配合区分の設定-2

結果14の加熱用加熱ゲルの設定-1の配合内容で魚介類肉部の加熱ゲルの官能評価は、結果の15-1), 2) からソフト感もあり、テクスチャー的に良かったのは、プルラン1%, キサントガム2%, ローカストビーンガム1~2%の配合であったこと、加水量は、設定-1に準ずること等を考慮して配合内容を設定した。試験配合内容を表11に示した。また、結果の15-7) から加熱による空気の膨張、収縮によるゲル化物の形成保持を考慮して、プリン型容器を用いた。

17. 配合区分の加熱ゲル

1) 設定配合区分の加熱ゲルの性状

結果13の加熱用加熱ゲルの設定-1では、加熱温度を85℃、20分としたが、結果の14から発泡性を保持したゲル形成に限界が見られたことから、加熱最高温度を80℃とし、加熱温度(40~80℃)と加熱時間(20~60分)によるゲル化について検討した。

①マイワシ肉部, スルメイカ部位別肉部配合区分の発泡性

マイワシ肉部配合区発泡性は、未加熱、加熱ゲルとも加熱温度、加熱時間別に差は少なく、低く5%以下で、低い値向であった。スルメイカ部位別肉部配合区発泡性は、概ね未加熱の発泡性と加熱ゲルの内、高い発泡性との差は、胴肉部で90%、頭脚部110%、耳部で80%と何れも高い値で、未加熱の発泡性を100%としたとき、発泡性が70~80%失われたことになる。加熱ゲルの発泡性は、胴肉部では加熱70~80℃、加熱時間20~60分では、40%近くあったが、他の区分は、20~30%の値となった。各区分とも加熱温度40℃では発泡性が低く、80℃の高温の方が高い傾向となった。(図54)

②マイワシ肉部, スルメイカ部位別配合区分の破断強度と破断凹み

マイワシ肉部配合区分の破断強度は、加熱温度区別では、80℃が最も高く、次に70℃で以下60℃と加熱温度が低くなる程低くなり、50℃と40℃は、ほぼ同じ値となった。加熱時間と破断強度の関係は、80℃と70℃は、時間経過しても、変わらないか漸増傾向を示した。60℃は、変わらないか漸減傾向を示し、50℃と40℃は、ほぼ一定の値となった。

スルメイカ各部位別配合区発泡性は、温度区別では、概ねマイワシ肉部と同様な傾向で、加熱温度が高い程破断強度が高くなる傾向を示していた。加熱時間と破断強度の関係もマイワシ肉部と同様の傾向と

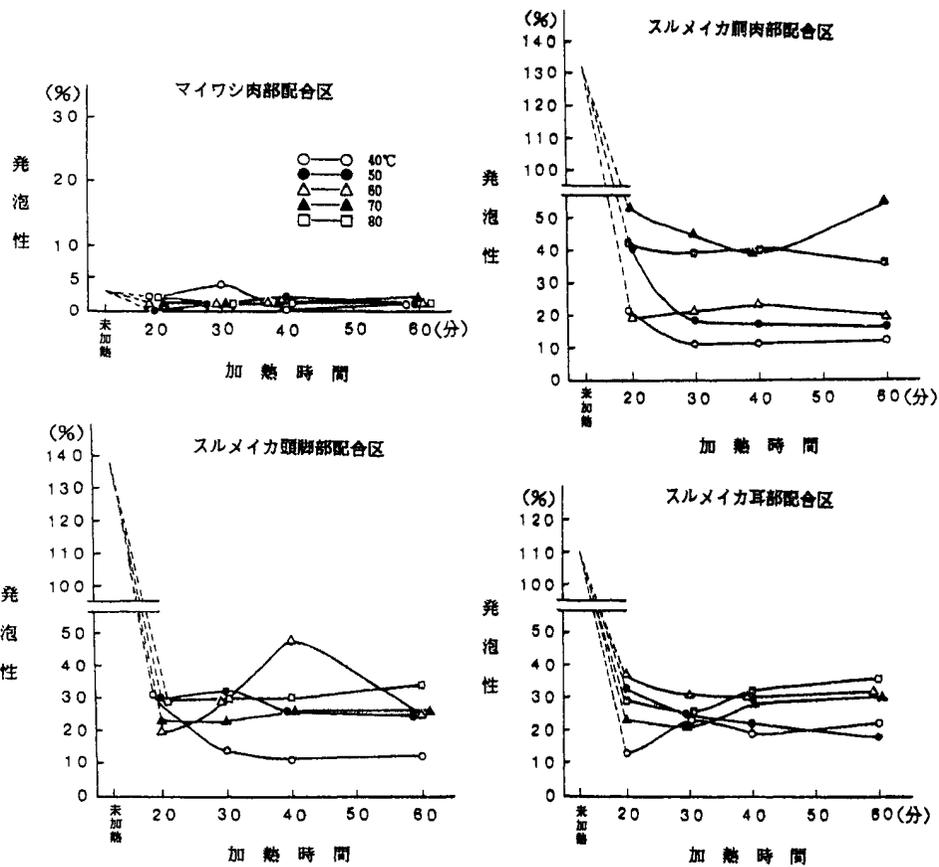


図54 マイワシ肉部，スルメイカ部位別肉部配合区分の加熱温度，加熱時間を異にした発泡性の変化

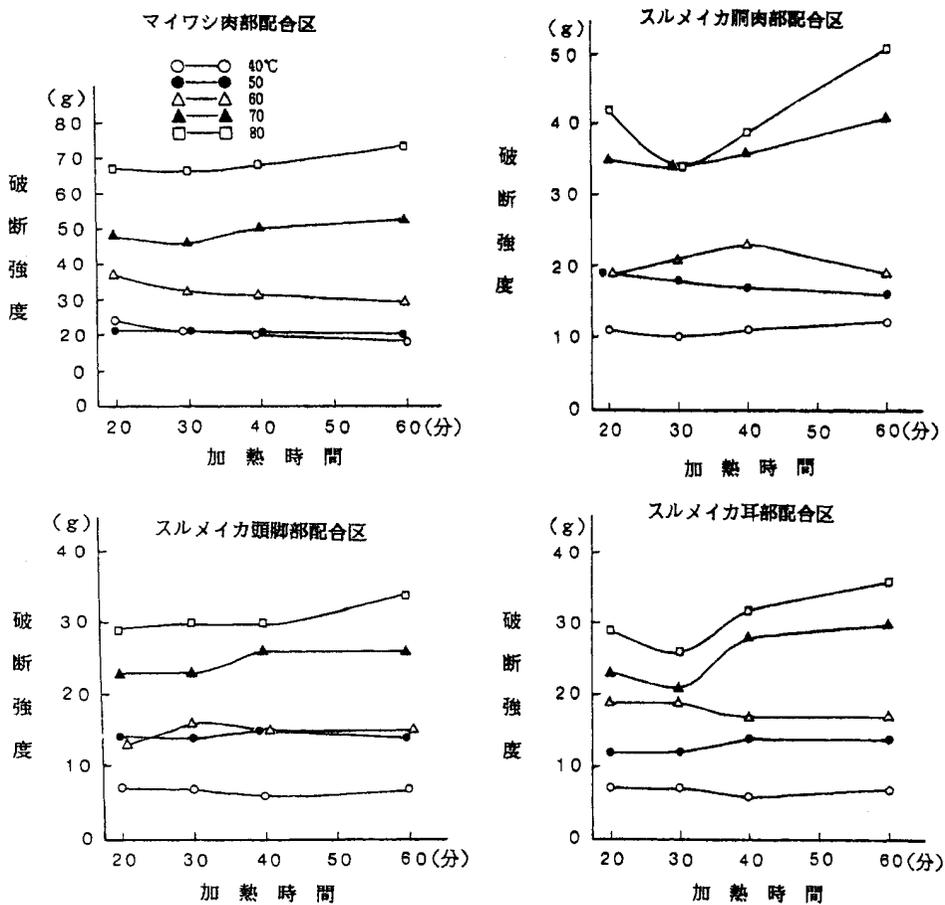


図55 マイワシ肉部，スルメイカ部位別肉部配合区分の加熱温度，加熱時間を異にした破断強度の変化

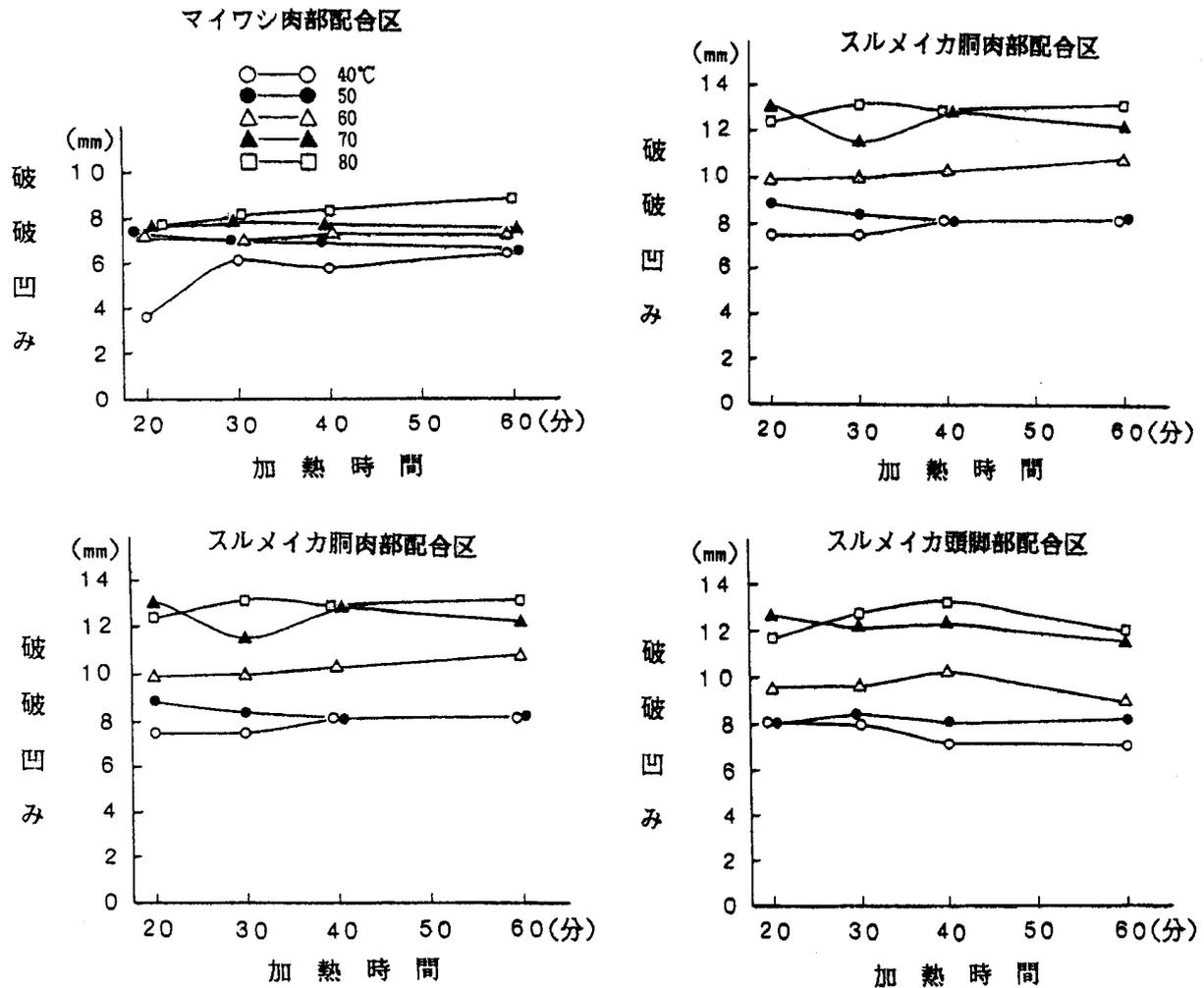


図56 マイワシ肉部，スルメイカ部位別肉部配合区分の加熱温度，加熱時間を異にした破断凹みの変化

表12 マイワシ肉部，スルメイカ部位別配合区分加熱ゲルの官能評価の結果

配合区分 加熱区分		マイワシ肉部	スルメイカ胴肉部	スルメイカ頭脚部	スルメイカ耳部
40℃	20分	のり様	のり様強い	のり様	のり様
	30	のり様、やゝ硬くなる	のり様、やゝ硬くなる、20分より性質	のり様、やゝ硬くなる	のり様、やゝ硬くなる
	40	のり様、べたつきぎみ、ペースト様	のり様 変わる	のり・泡雪(泡雪羹)様	のり・泡雪様
	60	のり様、ソフト	のり様、粘性高くなる	のり・泡雪様	のり・泡雪様
50	20	のり様、べたつきぎみ	のり・泡雪様 ¹⁾	泡雪・のり様	泡雪様 耳部は良い
	30	のり様、べたつきぎみ、40℃より柔らかい	のり・泡雪様、泡多くなる	泡雪様、餅ましい	泡雪様
	40	のり様、ソフト	のり・泡雪様	泡雪・のり様	のり様
	60	のり様、ソフト	のり・泡雪様	泡雪様、泡の感触ある	のり様
60	20	のり様、ソフト、40~50℃より良い	泡雪様、強まる	泡雪様、ソフト	泡雪・のり様
	30	のり様強まる、のり様食感良くない	泡雪・のり様 ²⁾ 、40~50℃より良い	泡雪・のり様、泡潰れる	○ 泡雪・のり様
	40	のり様、ソフト、食感良くなる	● 泡雪様、少しのり様	泡雪・のり様	● 泡雪・のり様
	60	のり様、ソフト、好ましい	泡雪様、好ましい、30分と同じ	● 泡雪様、泡潰れる	○ 泡雪・のり様
70	20	のり様、泡潰れる	泡雪・のり様、好ましい	泡雪・のり様、	○ 泡雪様
	30	● のり様、40~60℃より良い	● 泡雪様、少しのり様	● 泡雪様	● 泡雪様
	40	○ のり様	● 泡雪様	● 泡雪・のり様	● 泡雪様
	60	● のり様	● 泡雪様	● 泡雪様	● 泡雪様
80	20	○ のり・泡雪様、40~70℃より良い	● 泡雪様、少しのり様	● 泡雪様、少しのり様	○ 泡雪・のり様
	30	● のり・泡雪様	● 泡雪様	● 泡雪様	● 泡雪・のり様
	40	● のり・泡雪様、最も良い	● 泡雪様、最も良い	● 泡雪様、最も良い	● 泡雪、少しのり様、最も良い
	60	● のり・泡雪様	○ 泡雪様、泡潰れる	○ 泡雪・のり様	○ 泡雪・のり様

テクスチャーとして ●：大変好ましい ○：好ましい ¹⁾のり・泡雪様：のり様食感が泡雪様より強い ²⁾泡雪・のり様：泡雪様食感がのり様より強い

なった。(図55)

破断凹みは、加熱温度区別では、マイワシ肉部配合区では、差は小さいが、加熱温度が高い程、高くなる傾向を示した。加熱時間と加熱温度の関係は、80℃と40℃は、時間の経過とともにやや高くなる傾向を示し、他は時間を経過してもほぼ一定の値を示し、60分で概ね同じ値となった。

スルメイカ各部位別破断凹みは、温度区別では、温度が高くなる程高くなり、概ね60℃以上は、マイワシ肉部より高く、50℃と40℃は、マイワシ肉部と同じ値となった。加熱時間と破断凹みの関係は、加熱時間を経過しても、ほぼ一定の値になる傾向を示した。(図56)

③マイワシ肉部、スルメイカ部位別配合区分の官能評価

加熱ゲルの官能評価は、マイワシ肉部配合区は、加熱40~50℃は、のり様の食感が強く、テクスチャー的には、好ましいものではなかったが、60℃からやや好ましいものとなり、これより温度が高くなるほどより好ましくなった。80℃では、泡雪(泡雪羹)様の食感も感じられ、加熱時間40分が最も好ましかった。

スルメイカ各部位別肉部の配合区分は、各区分とも、50℃から泡雪様の食感が強まり、加熱温度が高くなる程破断強度の高まりに相伴って泡雪様の食感もより好ましいものとなり、80℃40分加熱が最も好ましいものとなった。マイワシ肉部は、発泡性も小さく、のり様の食感が強いが、スルメイカ各肉部は、発泡性が80℃で30~40%あり(図54)、泡雪様の好ましい食感となった。しかし、80℃、60分では、泡が潰れてのり様の食感が感じられるようになり、テクスチャーにや、劣るようになった。加熱条件は、80℃、40分が最も良く、以下の試験は、この条件とした。(表12)

2) トロロイモ粉を添加した配合区分の加熱ゲルの性状

結果の17-1) から加熱条件は、80℃、40分がテクチャー的に最も良かったが、より好ましいテクスチャーにするため、いわゆる“とろみ感”をもたせるため、トロロイモ粉(株猿田商店製、原料ジネンジョイモ)

表13 試験区分の配合組成(マイワシ肉部、スルメイカ胴肉部、スルメイカ頭脚部、スルメイカ耳部)

配合内容	区分	マイワシ肉部	スルメイカ胴部	スルメイカ頭脚部	スルメイカ耳部
マイワシ肉部	80	95	—	—	—
スルメイカ胴肉部	—	—	95	—	—
スルメイカ頭脚部	—	—	—	95	—
スルメイカ耳部	—	—	—	—	95
全乳	20	5	5	5	5
キサンタンガム*	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
0-カステイン*	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
トロロイモ粉*	0	0	0	0	0
加水	133.8	132.6	131.3	133.8	132.6

* 全量に対する添加量を示す。

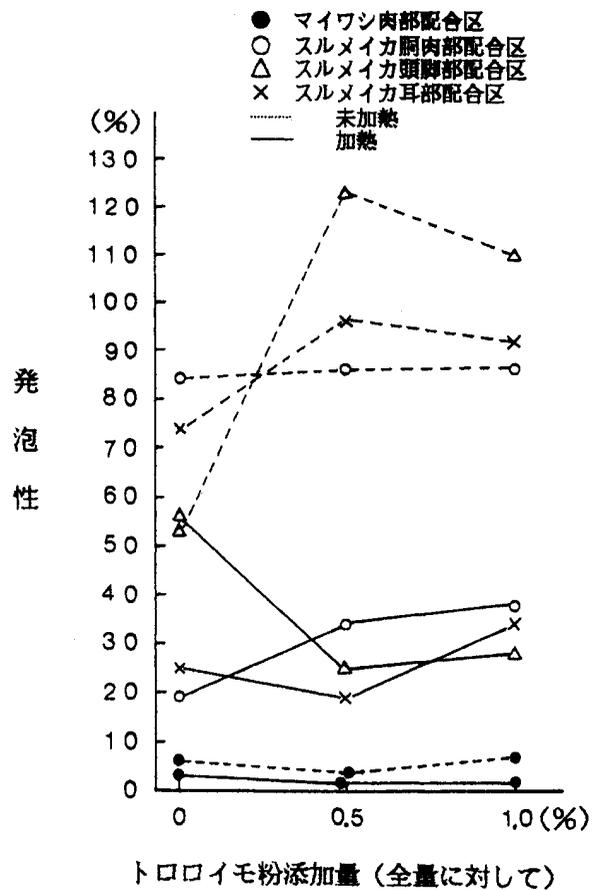


図57 マイワシ肉部、スルメイカ部位別肉部配合区分の発泡性とトロロイモ粉添加量の関係

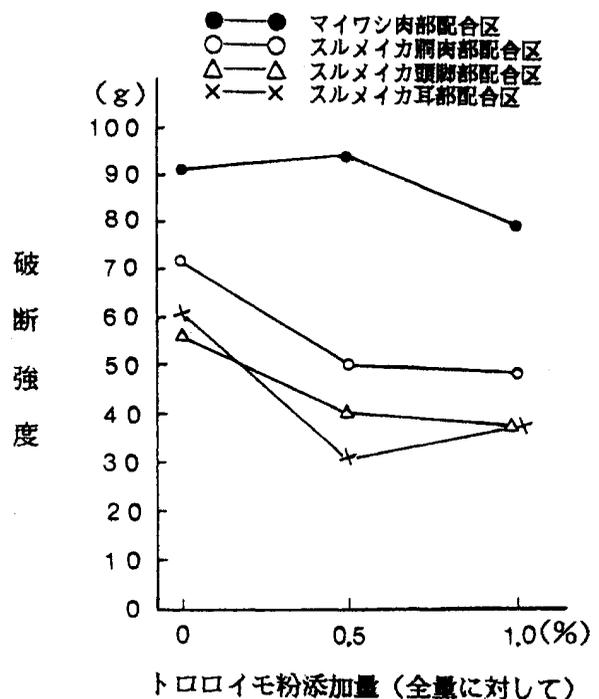


図58 マイワシ肉部、スルメイカ部位別肉部配合区分の破断強度とトロロイモ粉添加量の関係

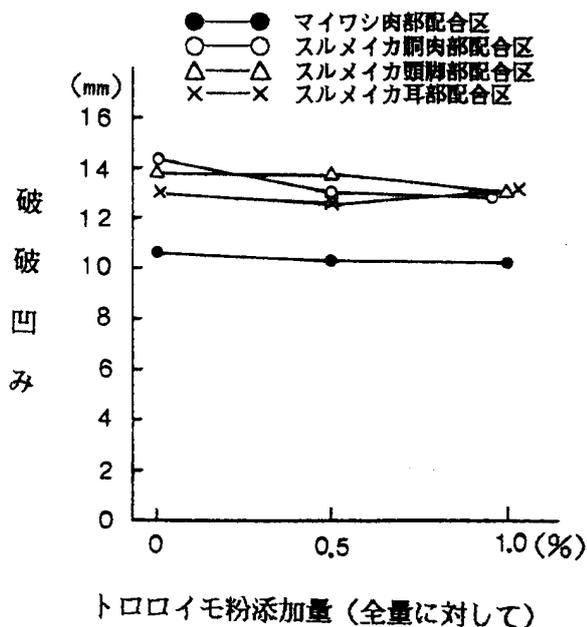


図59 マイワシ肉部，スルメイカ部位別肉部配合区分の破断凹みとトロロイモ粉添加量の関係

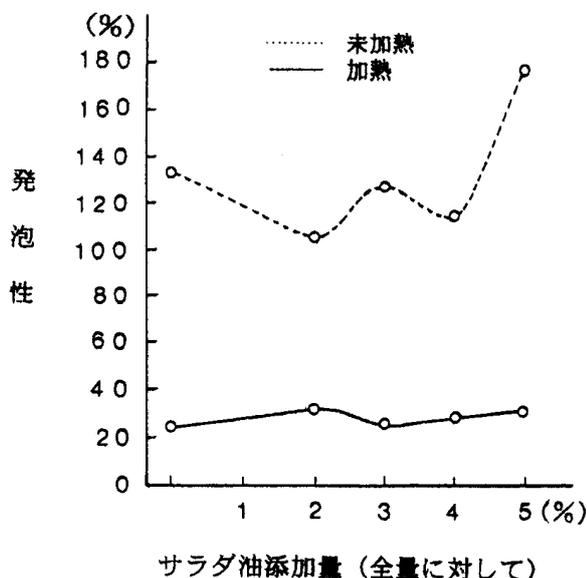


図60 スルメイカ胴肉部配合区分の発泡性とサラダ油添加量の関係

を0~1.0%添加し性状を検討した。試験配合内容を表13に示した。

①トロロイモ粉を添加したマイワシ肉部，スルメイカ部位別肉部配合区分の発泡性

未加熱の各区分の発泡性は，マイワシ肉部配合区分の発泡性は低く，スルメイカ発泡性は高くなった。トロロイモ粉添加により，スルメイカ胴肉部は変わらなかったが，頭脚部，耳部は高くなる傾向を示した。加熱により，発泡性は失われ，マイワシ肉部で2~3%，

スルメイカ各肉部は，トロロイモ粉添加0.5~1.0%で，20~40%となった。食感は，トロロイモ粉を添加すると未加熱では，なめらかさ，ぬめり感が感じられ，とろみ感は，添加量0.5%より1.0%の方がや、強く感じられた。加熱ゲルは，このとろみ感がなくなったが，なめらかさと少しぬめり感が残っており，テクスチャー的には好ましいものとなった。1.0%添加では，のり様食感が出てきて，泡雪様食感が抑えられぎみとなるため，添加量は，1.0%以下が望ましかった。(図57)

②トロロイモ粉を添加したマイワシ肉部，スルメイカ部位別配合区分の破断強度と破断凹み

各配合区分の破断強度は，トロロイモ粉添加は，マイワシ肉部でや、増加したが，1.0%添加では低下した。スルメイカ各部位別肉部は，概ね添加量を増す程低下する傾向を示した。(図58)

破断凹みは，マイワシ肉部，スルメイカ各部位別肉部は，無添加，添加区分ともほぼ一定の値を示した。(図59)

3) サラダ油を添加した配合区分の加熱ゲルの性状

加熱ゲルをより好ましいテクチャーにするため，結果の17-2)のトロロイモ粉の適用の検討に続いて，油脂によるまろやさ，口当たりの柔らかさをもたせるため，サラダ油0~5%添加し性状を検討した。試験配合内容は，表14に示した。

表14 試験区分の配合組成 (スルメイカ胴肉部)

区分	①	②	③	④	⑤
配合内容					
スルメイカ胴肉部	95	95	95	95	95
スルメイカ包卵*	5	5	5	5	5
食塩*	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
プルラン*	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
キサンタンガム*	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
0-カストビ-ンガム*	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
サラダ油*	0	2	3	4	5
加水	133.8	128.8	128.3	123.8	121.3

* 全量に対する添加量を示す。

①サラダ油を添加したスルメイカ胴肉部配合区分の発泡性

未加熱の発泡性は，サラダ油添加1~4%までは高く，概ね同じ値であったが，5%では急激に高くなった。加熱すると，これまでの一連の試験結果と同様発泡性は失われ，発泡性は，サラダ油添加1~5%までは，25~30%と概ね同じ値となった。未加熱では，食感は，サラダ油を添加すると粘性が強くなり，油によるなめらかさが出て，5%添加では，クリーム様となった。加熱ゲルは，泡雪様にまろやかさが出て，テクスチャー的には，3%添加が最も良かった。4%でね

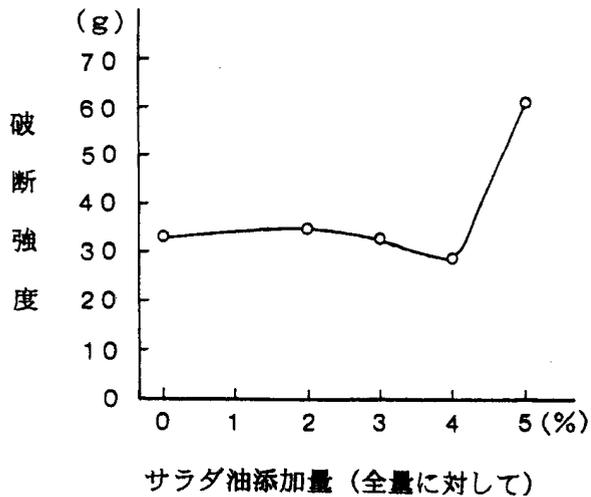


図61 スルメイカ胴肉部配合区分の破断強度とサラダ油添加量の関係

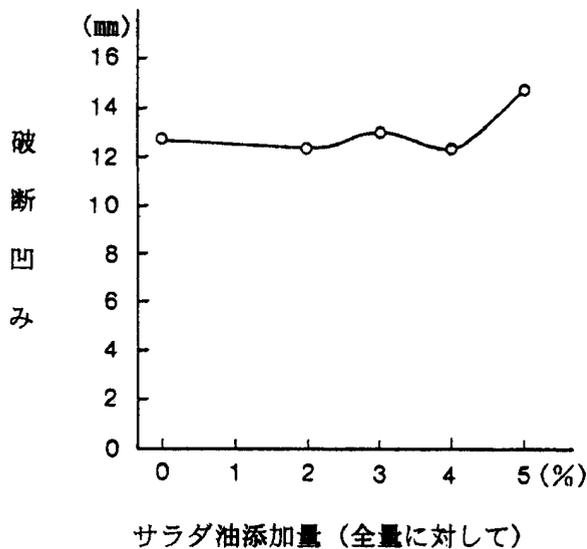


図62 スルメイカ胴肉部配合区分の破断凹みとサラダ油添加量の関係

っとり感、5.5%で泡雪様を抑えられ、のり様と異なるなめらかさが出てきた。このなめらかさは、トロロイモ粉添加によるなめらかさと食感は異なった。サラダ油添加量は、5%以下が望ましかった。(図60)

②サラダ油を添加したスルメイカ胴肉部配合区分の破断強度と破断凹み

破断強度は、サラダ油添加0~4%は、概ね同じかや、低下傾向を示したが、5%は、急増した。(図61)

破断凹みは、0~4%添加は概ね同じで、5%でや、高くなった。ちなみに、5%添加加熱ゲルの水分は82%で、計算上加水は145%になり、発泡性を高めるための水分含量は、結果の15-11)からも十分満たしている。(図62)

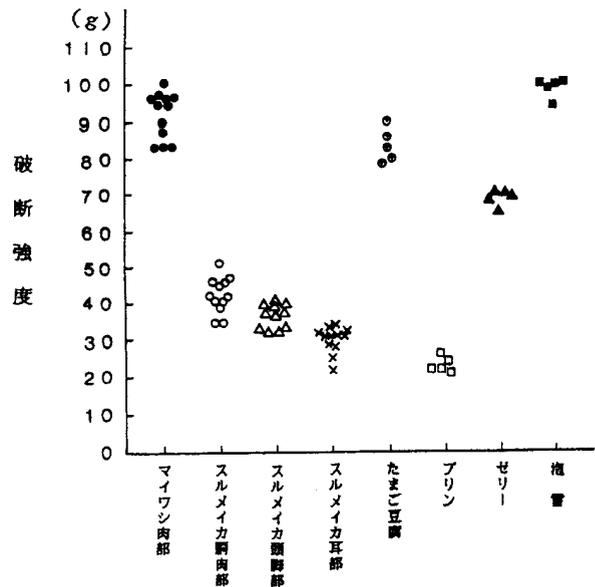


図63 マイワシ肉部、スルメイカ各部位別配合区分と市販品(たまご豆腐、プリン、ゼリー、泡雪)の破断強度の比較
試験区分: 80℃, 40分加熱

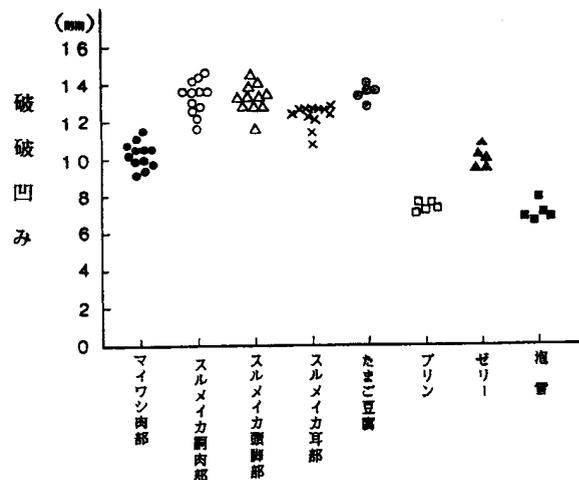


図64 マイワシ肉部、スルメイカ各部位別配合区分と市販品(たまご豆腐、プリン、ゼリー、泡雪)の破断凹みの比較
試験区分: 80℃, 40分加熱

18. 配合区分の加熱ゲルと市販ソフト食品の物性の比較

本研究の目標とする発泡性を応用した新規ソフト食品として、この各配合区分の加熱ゲルの物性の性状がどのような食品の範疇に入るのか、当加熱ゲルに近いと思われる市販品を数点選んで、これらの物性を比較検討した。

1) 配合区分の加熱ゲルと市販ソフト食品の破断強度と破断凹み

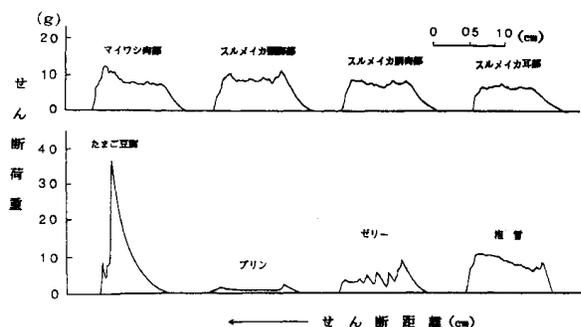


図65 マイワシ肉部，スルメイカ各部位別配合区分と市販品（たまご豆腐，プリン，ゼリー，泡雪）のせん断曲線パターン

試験区分：80℃，40分加熱

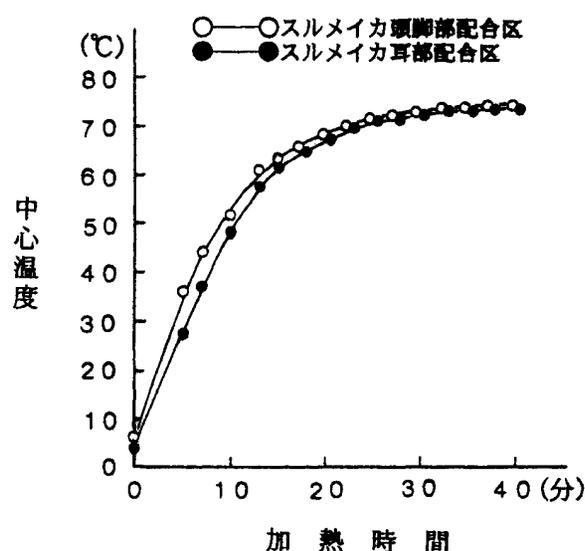


図66 湯水加熱によるプリン型ゲルの中心温度の変化
湯水温度：80℃ 容器：菓子用プリン型容器

表15 マイワシ肉部，スルメイカ部位別肉部配合区分の未加熱，加熱ゲル生菌数

配合区分	マイワシ肉部	スルメイカ胴肉部	スルメイカ頭脚部	スルメイカ耳部
生菌数				
未加熱 (個/g)	1.3×10^2	3.9×10^2	2.9×10^2	2.5×10^2
加熱 (個/g)	—	—	—	—

—：検出されなかったことを示す。

配合区分の加熱ゲル破断強度は，マイワシ肉部で，概ね卵豆腐，泡雪と同等で，スルメイカ部位別肉部でプリンより高く，ゼリーより低い範囲であった。(図63) 破断凹みは，各製品により特徴が見られ，概ねスルメイカ各部位別配合区とたまご豆腐が同じ値を示し，これよりやや低い値でマイワシ肉部配合区とゼリーが同じとなった。プリンと泡雪は最も低い値であっ

た。(図64)

2) 配合区分の加熱ゲルと市販ソフト食品のせん断曲線パターン

前報¹⁹⁾のカッター用の刃を用いる方法で得られるせん断曲線パターンから各配合区分の加熱ゲルと市販ソフト食品の物性を検討した。

配合区分の加熱ゲルのせん断曲線パターンは，マイワシ肉部とスルメイカ各肉部配合区では概ね同じパターンを示した。市販ソフト食品と比べると泡雪に類似しており，泡を含んだ不均一なゲルなため，せん断曲線は各区分とも小さなギザギザ様な凹凸のパターンを示した。他のソフト食品は，均一なゲルのため，前者のパターンと異なっている。また，均一なゲルでも，たまご豆腐，プリン，ゼリーでは，曲線パターンが異なった。(図65)

19. 配合区分の未加熱，加熱ゲルの生菌数

表11の配合区分で，80℃，40分の加熱ゲルは，ソフトで泡雪様の好ましいテクチャーになったが，食品としての安全性を確かめるため，生菌数の動向を調べた。

未加熱，加熱ゲルの試料は，2℃の冷蔵庫で一夜放置して，生菌数を測定した。発泡性の高い(含気した)スルメイカ頭脚部，耳部の配合区分の中心温度は，加熱時間23分で，両者は，70℃になり，40分で，74℃になった。(図66)

未加熱，加熱ゲルの生菌数は，未加熱ではマイワシ肉部，スルメイカ肉部で $1.3 \times 10^2 \sim 3.9 \times 10^2$ であった。加熱ゲルは，何れの区も生菌は，検出されなかった。(表15)

考 察

一般的に発泡性は，タンパク質が変性(物理的作用として，本研究ではホモゲナイズ)し，分子内に埋もれている疎水基の露出により，表面張力が低下して発泡するとされている^{20, 21)}。マイワシ，マアジ，マサバは，ホモゲナイズしても殆ど発泡せず，しかも，泡層とペースト層に分離している。同じ魚類でもアカハゼ²²⁾は，このかまば弾力が強く肉眼観察等で保水性が高く，発泡性もや、高く，また，泡層とペースト層の分離はなかった。昔から発泡食品である練り製品のハンペンに使用されているサメ類としてメジロザメを取り上げこの発泡性を検討した結果，魚類と異なる点は，ホモジナイザー回転速度が3,000r.p.m.の低速で高かったが，泡層とペースト層に分離した。スルメイカは発泡性が高く，アカハゼと同様分離はなかった。ホモ

ゲナイザー回転速度による発泡性は、5,000r.p.m.の方が10,000r.p.m.より概して高かった。この試験で、回転刃にかかる圧力が間欠的に変化したことから、ホモゲナイズ中に、泡の発生→泡の破壊→泡が密になる泡性の低下→肉から新たな泡の発生が以下繰り返すものと推定され、回転速度が泡の発生・破壊に影響するものと思われた。

食塩の添加は、マイワシ、マアジ、マサバ、アカハゼの魚類では、塩溶性タンパク質が溶け出て肉糊状態になり、それ以上の食塩の添加では、全く発泡しなかった。メジロザメでは、塩溶性タンパク質が溶け出して、肉糊状態となり、それ以上の食塩添加でも発泡性は持続した。スルメイカでは、食塩の添加量が多い程発泡性は高くなった。加熱温度は、温度が高くなってもマイワシ、マサバ、マアジの発泡性は低くて変化が見られず、アカハゼは70℃まで温度の上昇とともに高くなつたが、メジロザメは90℃まで温度が高くなる程高くなる傾向を示した。この発泡性の要因にコラーゲンの作用が考えられた。サメ類の筋基質は魚類に比べて多く^{23, 24)}、この筋基質の主要タンパク質はコラーゲンである。コラーゲン量を見るとサメ類普通肉のコラーゲン量は、他の魚類と比べてや、多い程度であるが、本報告に用いたメジロザメ普通肉は軟骨等の筋は除いたつもりだが、ホモゲナイザー刃に絡み付く筋が魚類に比べて多く、加熱試験では、高温になる程この筋が溶解していくことが観察されたことから⁶⁾、発泡性に関与したとも考えられた。しかし、マイワシ中骨の熱水抽出液(1:2)の発泡性⁷⁾は概ね10%、4倍濃縮すると30%とスルメイカ並みとなった。魚介類に含まれるコラーゲン含量(筋肉タンパク中のコラーゲン含量)は、マイワシ²⁵⁾で1.6%、マアジ^{25, 26)}で2.3~2.4%、マサバ²⁵⁾で2.1%、イカ²⁶⁾で2~3%、サメ類4.4~7.6%で、また、Yosinaka²⁷⁾らはウナギ、イシガレイ、マダイ、マサバの骨+鱗のコラーゲン含量(体重当たりのコラーゲン含量)は、1.8~3.2%と報告している。このことから、歩留、コラーゲンの可溶性を考慮して、イワシ中骨の抽出液中のコラーゲン含量は、5%近くは含まれていると推定した。ゼラチンの発泡性は、5%溶解液で本方法により概ね240%近くあり、このことから、この抽出液の発泡性は、高いものであると期待したが、予測に反して低く、中骨中に発泡性を妨害する物質あるだろうと思われた。この点も考えて、メジロザメに含まれるコラーゲンは、泡性を高める方に作用するのは、少ないと思われた。

スルメイカは、加熱により発泡性が上昇し、60℃で最も高い値を示した。また、これらの泡層とペースト層は60℃では分離しないが70℃になると分離した。スルメイカは、タンパク質分解酵素活性が強²⁸⁾く、肉を潰したり、加熱することにより、タンパク質の分解が促進される可能性があり、これらタンパク質の変化と発泡性との関係については、さらに検討する必要がある。

スルメイカの部位別肉部の発泡性が異なるのは、タンパク質の組織の構造の違い(構造の変化)により、発泡性に差が出たと思われた。田中²⁹⁾はスルメイカ胴肉(仮称:筋繊維A, B)、脚部(筋繊維a, b, c)、耳部(筋繊維A', B', C')と異なっていることを報告しており、部位による発泡性の違いに関与しているものと考えられた。魚介類生殖腺の発泡性は種類により差が見られた。魚類では、マサバ卵巣を除いて、魚肉より生殖腺の方が高いこと、卵巣より精巣の方が高いこと、マサバ生殖腺の成熟度の違いにより、卵巣では未成熟、成熟とも差がなく、低かったが、精巣では、成熟の方が、未成熟よりかなり高かった。スルメイカについても、胴肉部より精巣、卵巣、包卵腺、ニードム氏嚢が高いことが明らかになった。生殖腺の構成タンパク質の研究例は、魚肉タンパク質に比べて乏しく、卵巣については、リボタンパク質、精巣については、主要タンパク質としてヒストン、プロタミンが知られているが³⁰⁾発泡性との関連については、今後の検討課題である。

発泡性を高めるため、タンパク質の化学修飾としてタンパク質のサクシニル化について試みた。サクシニル化については多くの研究があるが、主な機能性は乳化性で、鶏卵黄で筒井³¹⁾ら、マイワシ筋原繊維タンパク質で羽田野³²⁾らが何れも乳化性が高くなることを報告している。また、サクシニル化率をあげる程乳化容量が増す²⁹⁾こと、マイワシタンパク質で9割がサクシニル化された³²⁾と報告されている。本来のサクシニル化は酸性の強い無水コハク酸が用いられ、これらの報告に適用された試料は、何れも精製されたタンパク質であるが、本報告で言うサクシニル化の用語(試験)は、食品として、安全性、利用し易い点を配慮して、魚肉ミンチに加水したものに対し0.5%コハク酸ナトリウムを添加し、サクシニル化した結果、魚類に比べてスルメイカでは発泡性を高め、食塩添加、加熱温度で著しくなった

魚介類生殖について概ね、無処理の場合の食塩の影響

は、精巢は卵巣より発泡性が高く、特にマサバ精巢は著しく高くなった。スルメイカ生殖腺は、泡層とペースト層の分離は見られ、特に、サバ卵巣は、食塩添加量を増す程ははっきりした。加熱温度の影響は、30~40℃ならびに70℃のピークが見られた。30~50℃で泡層とペーストの分離がマイワシ精巢、マイワシ卵巣、スルメイカ精巢で認められた。マサバ精巢は、30~80℃では分離は見られず、90℃で分離した。スルメイカ精巢、卵巣は、70~90℃の高温で分離したが、包卵腺は分離しなかった。サクシニル化した場合、食塩添加では、無処理より高くなり、食塩添加の場合、イワシ精巢、卵巣は液状に分解したが、食塩3%の添加では、分離がなくなった。スルメイカ生殖腺は何れも分離しなかった。加熱温度での発泡性は、食塩添加の場合と同様無処理より高くなった。発泡性に魚介類生殖腺のサクシニル化反応の適用は、含有されているタンパク分解酵素により、特にマイワシ、マサバの卵巣は、サクシニル化により液状となり、(30℃で1時間反応させたので、酵素反応の至適温度に近かったためだと推定している)両者は不適と考えている。ちなみに、サケ落し身にサケ精巢の添加は、落し身ゲルの弾力をかなり阻害することが報告³³⁾されている。この阻害作用にプロテアーゼが関与していると思われる。また、無処理の場合、スルメイカ卵巣は80℃以上で分離したが、サクシニル化したものは分離せず、無処理のスルメイカ頭脚部、耳部は70以上で、サクシニル化すると両者は80℃以上で分離が見られ、サクシニル化することにより、高温加熱しても、泡層とペースト層の分離を防ぐ、すなわち保水性が与えられたと推定された。サバ生殖腺の成熟度の違いによる発泡性は、卵巣では未成熟、成熟とも殆ど差はなかったが、精巢では成熟したものが未成熟はるかに高くなった。また、スルメイカニードム氏囊の発泡性は、加水量との関係は、スルメイカ包卵腺と、ホモゲナイザー回転速度の関係はスルメイカ精巢パターンと類似した。以上のことから、生殖腺の発泡性は、魚肉に比べ魚種のみならず生殖腺の部位により種々に異なり、これも魚種特有の特性でありと思われた。また、発泡安定性は、無処理のものより高くなった。発泡性を高めたことについては、コハク酸ナトリウムを用いたため、pHは微酸性~中性に近く、酸によるタンパク変性が防げたこと、本試験のサクシニル化率は測定していないが、おそらく穏やかなサクシニル化、つまり部分的サクシニル化で発泡性を十分高めることが出来るものと推測している。

Hamada³⁴⁾らは、サクシニル化率がタンパク質の違いによって異なることを報告している。有効な発泡性を得るにも魚介類肉部や生殖腺の種類により、すなわち、タンパク組成ならびに酵素作用の影響が考えられ、本試験からもサクシニル化の発泡性は、放置時間(反応時間)による発泡性とサクシニル化による発泡性が加わったもの推定された。このことから、タスパク質の変化とサクシニル化への最適条件の検討も必要と思われた。

魚介類肉部の発泡性の魚肉特性が幾つか明らかになったが、これらの生殖腺の発泡性は、含まれている強いタンパク質分解酵素により、マイワシ、マサバの卵巣に見られるように液状となり、発泡性を抑制する傾向が見られた。マイワシ、マアジ、マサバは、トリプシン、パバイン処理しても全く発泡しなかったが、アカハゼ、メジロザメ、スルメイカ各部位別肉部の発泡性は、著しく高くなり、一般的に発泡性の高い鶏卵白、卵黄と同等かより以上の発泡性を示した。このことから、アカハゼ、メジロザメ、スルメイカ肉部は、元々鶏卵白、卵黄並の発泡性が高くなる性質をもっているものと考えられた。アカハゼ、メジロザメは、発泡させるためのホモゲナイザーの回転速度を低下(3,000r.p.m.)する程発泡性がかなり高くなったが、アカハゼは、加熱により、メジロザメは、食塩添加、加熱により、発泡性はや、高くなる程度になった。スルメイカ各部位別肉部は、食塩添加、加熱、サクシニル化でかなり高くなることから、スルメイカはメジロザメに比べてタンパク質の変性がおこり易く、タンパク質の構造上、発泡性が高くなる形に移行したたものと思われた。しかし、酵素処理すると、アカハゼ、メジロザメタンパク質が非常に発泡し易い形に、スルメイカは、より発泡性が高くなる構造に変化したと推測される。タンパク質分解酵素による作用を大きく受けるタンパク質は、発泡性が高く、作用を受けにくいものは、発泡性が小さく³⁵⁾なる。このことは、タンパク質分子の構造上のゆらぎに反映される³⁵⁾ということからもうなずける。タンパク質(ペプチド)のNH基のHは、水に入れると水分子のHと非常に交換し易くなる^{36, 37)}ことから、本報告で言うコハク酸ナトリウムによるサクシニル化が起ると考えられ、このタンパク質のゆらぎが酵素処理によりどのように変化するか、トリプシ^{38, 39)}、パバイン⁴⁰⁻⁴²⁾のタンパク質に対する作用部位が異なっていることと、酵素処理しても、全く発泡しなかったマイワシ、マアジ、マサバ肉質の

性状等から、発泡性とタンパク質の分子構造上の変化の関係についての検討も必要と思われる。

発泡性が高いか低いかにについては、水産物においては、発泡性の指標がなく、今後検討しなくてはならない。発泡性の高いと言われる鶏卵白より、魚介類生殖腺は低かったが、スルメイカ肉部は、概ね生殖腺同等かやや低かったが、スルメイカ肉部は、発泡性が高いと認識している。

魚介類の発泡性の要因について、その魚介類もっている特性-主としてタンパク質に要因があると考えられる。スルメイカの発泡性は、魚類より高いが、魚肉とイカ肉のタンパク質の構成には特に大きな違いはなく⁴³⁾、イカ類にはパラミオシン^{43, 44)}を含んでいる点である。パラミオシンは、他のミオシンの理化学的性状⁴⁴⁾と似ているが、スルメイカパラミオシン⁴⁵⁾は、アクトミオシン(スケトウダラ冷凍すり身から調整)に添加したときの加熱ゲルは、パラミオシンの含量が多くなる程破断応力を増加させ、少量の添加(5~15%)は伸び率を増加させる性質が明らかにされているが、しかし、現在のところ、この構成タンパク質と発泡性の関係は不明である。鶏卵白については、タンパク質の発泡性が明らかにされており、タンパク質の種類により著しく異なる⁴⁶⁾とされている。この発泡性については、タンパク質の構造と機能の関連³⁵⁾について、様々な面から究明されている。また、中村⁴⁶⁾は、卵白構成タンパク質のアミノ酸のうち非極性側鎖をもつアミノ酸の割合が多い程発泡性が高いことを認めている。そこで、この考え方に立って魚介類に当てはめ、既往の分析データからみると、マイワシ⁴⁷⁾、マアジ⁴⁷⁾、マサバ⁴⁷⁾、スルメイカ⁴⁷⁾の筋肉タンパク質は、類似したアミノ酸パターンをもち、発泡性に関係するといわれる非極性のアミノ酸⁴⁸⁾であるアラニン、バリン、ロイシン、イソロイシン、プロリン、メチオニン、フェニルアラニン、トリプトファンの全アミノ酸中に占める割合をみると、マイワシ40%、マアジ40%、マサバ普通肉41%、血合肉42%、スルメイカ39%で変わらない。しかし、筋肉の遊離アミノ酸は、筋肉アミノ酸に比べて著しく異なり、特定のアミノ酸が偏る場合が多いとされている。マイワシ^{49, 50)}、マアジ^{47, 49, 50)}、サメ類⁴⁹⁾、スルメイカ⁵¹⁾の非極性アミノ酸の全アミノ酸に対する割合は、マイワシ普通肉2~9%、血合肉9%、マアジ普通肉6~9%、血合肉7%と低く、サメ類は22~27%、スルメイカは23~42%となった。ちなみに卵白⁵²⁾は41%となる。これまでの試験から、マ

イワシ、マアジ、マサバの発泡性は低く、メジロザメはやや高く、スルメイカは最も高くなること、酵素処理により、発泡性高くなることから、遊離アミノ酸に関しても、これらの数値の傾向と発泡性の関連が見られ、発泡性の要因を探る一つの方法と考えられた。しかし、トリプシン、パパイン処理によるタンパク質の分解が魚種により、発泡性が著しく高くなったり、全く発泡しなくなったことから、タンパク質の一次構造から発泡性との関連⁵³⁾を推察して見たが、大きな違いが見いだせず、発泡性とタンパク質の構造の関係は、少なくとも、一次構造の違いからではなく、高次構造の関係が推測され、発泡性と分子構造上の変化の関係についての検討も必要と思われた。

発泡性の高いものと低いものの組合せについては、発泡性の高いものとしてスルメイカ耳部を用い、発泡性の低い魚肉と混合した場合、魚肉の種類により、発泡性が高くなるものと低いまま効果のないのがみられた。マイワシ、マアジ、マサバの肉部は効果がなく、発泡性を妨害しているように推測された。これは、上述のごとく、鶏卵白の発泡性を左右する要因として明らかされている卵白構成アミノ酸に占める非極性アミノ酸が高い⁴⁶⁾、言い換えると魚肉の遊離アミノに占める非極性アミノ酸の割合が低いと推測している。アカハゼ、メジロザメはスルメイカ耳部の混合割合が高くなる程相対的に高くなった。これは、魚種特性が強く現われたと思われた。

スルメイカ包卵腺²⁾は、発泡性が高く、粘性が強い。加水を250%と多くしても、また、食塩添加、高温処理しても泡層とペースト層の分離が見られなかったことから、発泡性の高い素材として用い、魚肉、スルメイカ部位別肉部、魚介類生殖腺と混合した場合、肉部ではアカハゼ肉部、メジロザメ肉部でスルメイカ包卵腺10%混合した混合した場合相乗効果が見られた。スルメイカ部位別では胴肉部で包卵腺5%混合で相乗効果があり、魚肉より各部位の混合試料がより高くなった。魚介類生殖では包卵腺5~10%の混合でマサバ精巢、スルメイカニーダム氏嚢が著しく相乗効果を、マイワシ精巢、スルメイカ精巢、スルメイカ卵巣がかなりの相乗効果を得た。相乗効果の高く現われたのは、何れもそれ自体発泡性の高いものが包卵腺と相乗的に高くなる傾向であった。少量のスルメイカ包卵腺混合で相乗的に発泡性が高くなった理由は、ホモゲナイザー中に包卵腺を主体に気泡が、乳化作用によるミセルが生成し、これを核に気泡が多く生成し、これが混合試

料の発泡性を相乗的に高めたと推定された。これに関連して発泡性の低いサバ卵巣をホモゲナイズにより発泡させ、しばらく静置後（泡層が幾分残っている）再びホモゲナイズすると発泡性が著しく高くなった例も得ている。また、包卵腺の混合割合を高めるとペースト層は密となり、発泡性が抑えられ、包卵腺自体の発泡性の値に収斂された。

スルメイカ包卵腺の発泡性が高いことについて考えられることは、Kimura⁵⁴⁾らはアルゼンチンインレックス包卵腺の粘質物の主要成分は、ムチンでO-結合型糖鎖（ムチン型糖鎖）に富んでいると報告している。最近糖鎖の機能⁵⁵⁾注目されてきているが、加藤^{56, 57)}はタンパク質と多糖類をハイブリット化させると著しく乳化性を高めることが出来る。また、遺伝工学的手法によりリゾチームに多糖類を結合することにより、高い乳化性を保持したものに改変出来ることを報告している。アルゼンチンインレックスと同じアカイカ科（スルメイカ科）に属するスルメイカ包卵腺にもムチン型糖鎖が富んでいると推定される。乳化性の高いものが必ずしも発泡性が高いとは言えないが、一般的に発泡性の高いものは、乳化性が高く、スルメイカ包卵腺の発泡性は、タンパク質と結びついた糖鎖（多糖類）が重要な働きをしていると考えられた。スルメイカニードム氏嚢は、発泡性も高く包卵腺と類似した強い粘性を有していて、両者はイカ発生上必要な成分を保持していると思われる。包卵腺は産卵に際し、包卵腺由来のゼリーを分泌、この中に卵を排出して、直径60~80 μ mの卵塊を形成^{58, 59)}する。ニードム氏嚢については、精子は精莖と呼ばれる一種のカプセルに詰め込まれ、ニードム氏嚢中に保有される⁵⁸⁾。何れもスルメイカの受精・発生上重要な生殖上の一部になっているものであり、魚卵についても、表層胞には糖タンパク質が極めて高く含有されていると報告されている⁶⁰⁾。これら生殖腺を-30℃で凍結させて、室温に放置した時魚肉に比べてかなり早く解凍し、なかでもスルメイカ包卵腺、ニードム氏嚢は、他の生殖腺に比べて早いようであった。このことから逆に凍りにくくする性質を備えていると推定され、卵、精子の凍結を防ぎ、細菌、カビ等の微生物の侵入を阻止する生体防御的な機能⁵⁵⁾は糖鎖が担っており、魚介類生殖腺にもこの機能が備わっていると思われる。タンパク質に結合した糖鎖の構造の違いが、発泡性に影響したと思われる。発泡性の要因をさぐる一つの方法と考えられた。この様に、スルメイカ包卵腺、ニードム氏嚢については、健康機能性の

存在が十分予測され、発泡性とあいまって素材としての利用方法の検討も必要と思われる。

発泡性の要因については、上記で述べたごとく、幾つかの考え方を推測したが、本質的には、タンパク質の構造-分子構造の変化をホモゲナイズ、食塩添加、加熱ネサクシニル化、プロテアーゼの作用、魚介類肉部、生殖腺の混合、糖鎖（糖タンパク質）等の物理的、化学的処理により幾つかの点が明らかとなったが、基本的な性状を明らかにするためには、タンパク質の高次構造の変化の変化との関連の検討が必要である。また、スルメイカの部位別により、発泡性が異なるのと、筋肉の構造の違いとの関連、魚介類の種類による発泡性違いは、魚種特性として片付けられるが、これらの面を含めて発泡性の原理・原則を明らかにすることは、重要なテーマである。

発泡性を保持したまゝ組織化するには、水分含量を85%以上の高水分にし、発泡化を図り、加熱によりタンパク質の変性からくる保水性の低下を防止する必要がある。加熱による、つまりゲル化に当たり、保水性が強く、発泡性の高いスルメイカ包卵腺の配合は、今の所必要不可欠であり、この他少量の添加でこれらの条件を満たしたものとして、多糖類のプルラン、キサンタンガム、ローカストビーンガムを取り上げ、これらの組合せにより、つまり、プルラン1%、キサンタンガム2%、ローカストビーンガム1~2%の配合でテクスチャー的にも好ましいものが出来た。

これらの多糖類は、発泡性を抑制せず、むしろ相乗的に高める場合もあった。この中で最も粘性の高いキサンタンガムでは、キサンタンガム単独のみの1%添加は、ホモゲナイズにより、空気を抱き込ん（気泡の発生）でいるが、発泡性は見られなかった。プルラン、ローカストビーンガムも発泡性は見られなかった。スルメイカ各肉部にこれら多糖類の添加が発泡性を維持または高めた要因は、タンパク質には、多くの機能性⁶¹⁾があり、反応性の高い基⁶²⁾を有している。多糖類にもタンパク質反応性の特性⁶³⁾があり、サクシニル化（コハク酸ナトリウム添加）により発泡性を十分高めたこと、また、加藤^{56, 57)}は、タンパク質と多糖類をハイブリット化させると著しく乳化性を高めた一すなわち、発泡性を高めた等のことから、ホモゲナイズ2分と短い時間であるが、配合したスルメイカ各肉部とスルメイカ包卵腺のタンパク質と包卵腺に含まれる多糖類ならびに添加した多糖類が部分的に反応結合して、発泡し易い形態になったと推定した方が説明出来る

考えられた。発泡性を保持したマイワシ加熱肉は、通常ねり製品の弾力測定に用いられている5mmプランジャーと本試験でソフトな弾力測定に用いた径10mm円盤状プランジャーの関係をみると、5mmプランジャーに換算すると破断強度20~40g、破断凹み5~9mmの範囲に、スルメイカ部位別肉部で破断強度25~30g、破断凹み5~9mmとなり、ほぼ似た様な値となった。両者ともプリン様のゲル形成が出来、ソフトな弾力の指標となりえると思われた。マイワシ肉部に発泡性の高い包卵腺を20~90%と配合割合を増し、プルラン、キサントランガム、ローカストビーンガムを添加しても、発泡性は、2~10%と小さかった。これイワシ魚肉特有の発泡性を押さえる力が上回ったと考えられた。また、包卵腺の配合割合が60~90%と多くなるほど破断強度は、低下傾向となり、破断凹みは逆に高くなり、このことは、包卵腺は、しなやかさを付与すると考えられ、これが好ましいテクチャーを生み出すものと思われた。

スルメイカ各部位にこれらの多糖類添加は、未加熱の状態では、発泡性の高いクリーム状のものになった。これを加熱すると包気した空気、離水が大きくなり、発泡性の高いものほど強く、組織化しないか弱いゲル状のものとなった。しかし、これらの多糖類を適切に組合せることにより、ソフトなプリン様のテクチャーを持つ組織化が可能となった。このことは、破断強度の値が小さい割には破断凹みの値が大きいことから推測している。

組織化のため、密封した状態では、空気の膨張等により、形が崩れ易くなる。破断凹は、チューブよりカップの方がや、高めであり、形成状態も良かったことから、型枠に入れた方が望ましかった。

これまでの試験の加熱は、85℃、20分としたが、含気された空気の膨張により好ましいゲル形成保持に限界がみられた。このことから以下の本試験では、加熱温度40~80℃、加熱時間20~60分で試験し、80℃、40分加熱が泡雪（泡雪羹）様の食感が感じられ、テクチャー的に最も好ましいものとなった。結果の14で、表11に示した配合内容の単独あるいは2~3の組合せでは、組織化は困難であったが、配合全体を用いることで淡雪様の好ましいゲル化となり、マイワシ、スルメイカのタンパク質に、スルメイカ包卵腺のタンパク質、ムチン（ムチン型糖タンパク質）、プルラン、キサントランガム、ローカストビーンガム等が複雑に絡みあい、気泡の固定と好ましいゲル形成が出来たため

と考えている。このことから、加熱による空気圧（蒸気圧）と形成したゲルを壊さないするための、圧力調整法（容器より空気圧を逃す）の検討が必要である。

最近、高齢者向け食品として、喉ごしの良い「つるつる」、「ずるずる」と言ったウエットなものが好まれてきている。そこで、結果の16-1)のゲルをより好ましいテクスチャーにするため、「とろみ感」をもたせることとし、トロロイモ粉（ジネンジョイモ）を添加して検討した結果、加熱ゲルはなめらかさとぬめり感が残り、好ましいテクスチャーとなった。表11の配合でも、プルラン自体にとろみ感があり、この未加熱の配合も好ましいかった。トロロイモ粉を添加したものは、未加熱ではより好ましいものであったが、加熱により、このとろみ感はなくなった。この性状は、トロロイモでは、良く知られたこと⁶⁴⁾であるが、プルランも同様に熱変性により消失したと思われた。トロロイモ粉を0.5~1.0%添加すると破断強度は低下傾向みとなった。多糖類のガムは、かまぼこの足の補強効果はないと言われているが⁶⁵⁾、本試験に用いた多糖類は、むしろゲルを増強する方に作用し、配合内容で異なると考えられた。しかし、とろろいも粉は、ゲルを低下する作用を示したが、破断凹みは、無添加と変わらず、このことから、よりソフト感のある加熱ゲルが形成出来たと考えている。

脂質の添加は、まろやかさ、口当たりの柔らかさを出すとされているが、スルメイカ胴肉部配合では、サラダ油を3%添加がテクスチャー的に最も良く、それより多く添加するとねっとり感やべとつき感が出てくるため、5%以下が望ましかった。サラダ油添加による乳化物を形成し、添加量が多い程白さを増した。発泡性は、サラダ油添加4%までは、概ね同じで変化は見られなかったが、5%添加では、急増した。発泡性は、乳化機構における油滴球が空気に置き替わった機構⁶⁶⁾になるとされていて、逆に、乳化は、発泡性の微細な空気が油滴球に置き替わると考えられ、乳化による発泡性は、脂質の添加とともに同じか低下すると予測したが、5%添加で発泡性が急増したことは、スルメイカ胴肉の発泡性と乳化による発泡性が相乗して高くなった。つまり、適当な脂質の添加による乳化は、空気を抱き込み易く、これが発泡性を高めたと考えられた。5%添加で、加熱ゲルの破断強度で急増し、破断凹みもや、高くなったが、これは、条件により、乳化によるすり身の加熱ゲルの破断強度、破断凹みの向上を伊藤ら⁶⁷⁾、野田ら⁶⁸⁾、岡崎ら⁶⁹⁾が報告し、ゲル

の構造的な変化を推察しているが、本試験結果も同様な現象が起っていると思われた。ただ、加熱ゲルの物性がすり身に比べて非常に弱いこと、配合している多糖類とゲルとの関連も考慮して発泡性急増の要因も検討する必要がある。また、加熱ゲルは、ソフト感のあるまろやかなものが出来、トウモロコシ粉添加のものとは食感が微妙ことなり、この用途向けの検討も必要と思われた。

本研究の配合区分(表11)の加熱ゲルと市販ソフト食品の破断強度、破断凹み、せん断曲線パターンを比較すると、この各加熱ゲルは、市販品の中でも、プリンから卵豆腐に至る柔らかい範疇に入っているものと思われた。配合区分の加熱ゲルの物性は、結果の17-1) -③官能評価結果とこれらのせん断曲線パターンから泡雪に近いものと推測されるが、厳密には、泡雪とは、のり様、柔らかさ、食感等が微妙に異なっており、新しい食品の開発をするためにも、これらテクスチャーとしてのジャンルの位置づけについての検討が必要であると思われた。

今後は、ソフト食品素材・食品として介護用、幼児用、一般向け用への用途向けの検討が必要である。

要 約

低未利用水産物を用いたソフトな食品素材、食品を開発するために、発泡性を取り込んだ利用技術開発を取り上げ、まずは、マイワシ、マアジ、マサバ、アカハゼ、メジロザメ並びにスルメイカ肉部と生殖腺を用いて物理的、化学的処理による原料の発泡特性を検討〔1)~15)〕した。更に、得られた知見に基づいた食品素材、食品を開発するために、ゲル化と保水助剤の効果も含めて検討〔16)~27)〕した。その結果、加熱ゲルの物性は、プリン状から卵豆腐に至る範疇で、ソフトで新しいテクスチャーを持つ食品を作れることが判明した。

- 1) 魚介類肉部の発泡性は、スルメイカが最も高く、次いで、アカハゼ≒メジロザメ>マイワシ≒マサバ≒マアジの順に低くなった。
- 2) スルメイカの部位別(皮付き)の発泡性は、耳部>頭脚部>胴肉部>胴肉部(剥皮)の順となり、皮の占める割合も関与することが示唆された。
- 3) 試料を磨砕しつつ発泡させる装置としてホモゲナイザーを用い、回転数と時間を変えて発泡性を調べると、ホモゲナイザー回転数は、5,000r.p.m.の方が10,000r.p.m.より高く、1~7分では、回転

時間が長い方が高くなる傾向を示した。マイワシ、マアジ、マサバは、回転数(3,000~15,000r.p.m.)が高くなる程高くなり、アカハゼ、メジロザメ、スルメイカ各部位は逆になり、回転数が高くなる程低下する傾向となった。但し、スルメイカ耳部、頭脚部は、5,000r.p.m.が最も高くなった。

- 4) 食塩添加(0.5~3.0%)は、マイワシ、マアジ、マサバ、アカハゼでは、添加量が多くなりにより、塩溶性タンパク質の溶解が進む程発泡性はなくなった。メジロザメは添加量を増すに従ってやゝ高くなる傾向を示した。スルメイカは添加量を増す程メジロザメよりさらに高くなり、部位別では頭脚部が最も高くなった。
- 5) 加熱(30~90℃)によるマイワシ、マアジ、マサバの発泡性は、殆ど認められず、アカハゼ、メジロザメ、スルメイカは加熱により高くなり、アカハゼは70℃付近、メジロザメは90℃付近、スルメイカは50~60℃で最大となった。
- 6) 魚介類生殖腺の発泡性は、マサバ卵巣を除いてマイワシ精巣、卵巣、マサバ卵巣、スルメイカ精巣、包卵腺、ニーダム氏嚢は、魚肉より高く、スルメイカと同等かそれ以上の高い値となった。また、卵巣よりも精巣の方が高く、スルメイカ卵巣、包卵腺は、最も高い値を示した。また、魚類では、卵巣よりも精巣の方が高い傾向を示した。
- 7) 生殖腺の成熟度の違いによる発泡性は、マサバ卵巣では未成熟、成熟とも概ね差はなく低かったが、精巣は、成熟の方が未成熟より可なり高い値となった。
- 8) タンパク質の化学修飾としてサクシニル化による発泡性の改善は、魚類では効果が少なかったが、スルメイカでは各部位とも食塩添加、加熱温度による発泡性は、無処理より高く、効果は大きかった。本報告で言うサクシニル化は、コハク酸を用いなくても、コハク酸ナトリウムで良く、添加量は、魚肉に対して0.5%が適量であった。
- 9) サクシニル化による発泡安定性は、無処理より高く、マイワシ、マアジ、アカハゼ、スルメイカでの効果は大きく、24時間放置しても、泡層とベースト層の分離は見られなかった。
- 10) 生殖腺の発泡性は、無処理の場合、食塩添加量(0.5~3.0%)を増す程マイワシ精巣、スルメイカ包卵腺、卵巣はやゝ増加傾向に、マイワシ卵巣、マサバ卵巣は減少傾向となった。サクシニル化し

た場合、無処理よりマイワシ精巢、スルメイカ包卵腺は高く、マサバ精巢が最も高くなった。他は無処理の場合と同様な傾向となった。

- 11) 加熱(30~90℃)による発泡性は、無処理の場合マイワシ精巢、マサバ卵巣、卵巣は70℃付近に、スルメイカ包卵腺は60℃付近にピークが見られた。マイワシ卵巣、スルメイカ卵巣は温度が高くなる程低下する傾向を示した。サクシニル化した場合、70℃付近でマサバ卵巣は、無処理より著しく高くなった。
- 12) スルメイカ各部位別肉部、マサバ精巢のサクシニル化により発泡性が著しく高くなるのは、反応時間の間、自家酵素によるタンパク質分解での発泡性が加わったためであった。
- 13) 魚肉のトリプシンとパパイン処理による発泡性の改善は、メジロザメとスルメイカに見られ、マイワシ、マアジ、マサバは、全く発泡しなかった。
- 14) 魚介類肉部、生殖腺の一般成分と発泡性には特に関連はみられなかった。
- 15) 発泡性の高いスルメイカ耳部と魚肉混合の発泡性は、マイワシ、マアジ、マサバの肉部は、スルメイカ耳部の混合割合を高めても、若干高くなる程度であったが、アカハゼ、メジロザメ肉部は、スルメイカ耳部の混合割合を増す程高くなった。
- 16) 発泡性の高いスルメイカ包卵腺5~20%の混合割合で、アカハゼ肉部、メジロザメ肉部、スルメイカ胴肉部、頭脚部、耳部、マイワシ精巢、卵巣、マサバ精巢、スルメイカ精巢、卵巣、ニーダムシ氏嚢と相乗効果が見られた。特に、マサバ精巢、ニーダム氏嚢の相乗効果が高かった。
- 17) 組織化用の配合組合せで、発泡性を出すには、少なくとも加水150%以上(全体とし水分85%以上)する必要があり、このような高水分ものをゲルするのは困難であったが、ゲル化と保水助剤(プルラン、キサンタンガム、ローカストビーンガム)により、発泡性の保持とゲル化の改善に非常に効果的であった。
- 18) マイワシ肉部、スルメイカ肉部の加熱ゲルで、ソフト感もあり、テクスチャー的に良かったのは、プルラン添加1%、キサンタンガム2%、ローカストビーンガム1~2%であった。
- 19) 発泡性を起こす手段として、異なる方式のホモゲナイザーとスピードカッターでは、発泡物の比重には相関が見られた。
- 20) 発泡性と比重の関係に相関が見られ、発泡物の比重のから発泡性が推定出来た。比重から換算した発泡性は、マイワシ肉部で概ね未加熱で1~10%、加熱ゲルで1~8%、スルメイカ各部位別肉部は、未加熱で20~130%、加熱ゲル10~30%であった。
- 21) 形態の異なる加熱ゲルのチューブとカップでは、破断強度、破断凹みに相関が見られた。未加熱で発泡性の高いものほど加熱後、空気、水分が分離して、ゲル形成が非常に弱くなった。ゲル形成出来たものでは、チューブよりカップの方が破凹みが深く、形成状態等から見て、組織化当たってチューブより型枠に入れた方が良いと判断された。
- 22) 組織化用として用いたプルラン、キサンタンガム、ローカストビーンガムの添加は、この組合せと少量の添加で、発泡性の保持ならびに相乗的に高める作用があった。また、加熱ゲルの物性を高めるため、この添加量を増すと、粘性や破断強度は高くなったが、発泡性は低くなる傾向を示した。
- 23) 本試験で用いた配合割合のテクスチャー的に最も好ましい加熱条件は、80℃、40分であった。
- 24) トロロイモ粉の添加は、未加熱では、とろみ感があったが、加熱するとこのとろみ感がなくなったが、なめらかさとぬめり感が残り好ましいテクスチャーとなった。トロロイモを0.5~1.0%添加すると破断強度は低下したが、破断凹みは変わらなかった。
- 25) サラダ油の添加は、5%以下が望ましく、加熱ゲルは、脂質によるまろやかさが出て、3%添加がテクスチャー的に好ましいものとなった。
- 26) 各配合区の加熱ゲルの生菌は、何れも検出されなかった。
- 27) マイワシ、スルメイカ肉部の配合 組合せの加熱ゲルの物性は、加熱温度・時間の調整(85℃、40分)によりプリンから卵豆腐に至る柔らかいものにすることが可能となった。

謝 辞

本研究を遂行するにあたり、有益なご指導、ご助言を頂きました。当時、水産庁中央水産研究所加工流通部長(現、東京農業大学生物産業学部教授)にありました西岡不二男氏に深謝いたします。

文 献

- 1) 羽田野六男・高野秀明・高間浩蔵 (1979) : 多獲性多脂魚タンパク質の高度利用 - II, マイワシ・サクシニル化筋原繊維タンパク質の化学的性質と機能特性. 日水誌, **45** (7), 861-865.
- 2) 浅原充雄・嶋内 潤・田中良治 (1997) : 平成 8 年度低・未利用水産物を用いた新規食素材の開発に関する成果報告書, 山口県外海水産試験場.
- 3) 浅原充雄・嶋内 潤・白木信彦 (2000) : 平成11年度低・未利用水産物を用いた新規食品素材の開発に関する成果報告書, 山口県水産研究センター.
- 4) 山野善正・鶴 敏之・杉原史郎・三木栄三 (1982) : モノグリセライドによるエマルジョンの安定性と粘性. 日食工誌, **29** (3), 137-142.
- 5) 齋尾恭子 (1987) : 第 4 節 大豆タンパク食品の機能性, 起泡性. 大豆とその加工 I (渡辺篤二・齋尾恭子・橋詰和宗共著, 建帛社, 東京, pp.289-292).
- 6) 浅原充雄・嶋内 潤・田中良治 (1998) : 平成 9 年度低・未利用水産物を用いた新規食品素材の開発に関する成果報告書, 山口県外海水産試験場.
- 7) 浅原充雄・嶋内 潤・白木信彦 (1999) : 平成10年度低・未利用水産物を用いた新規食品素材の開発に関する成果報告書, 山口県外海水産試験場.
- 8) 志水 寛 (1981) : 肉タンパク質と水の相互作用, pH の影響. 新版魚肉ねり製品 (岡田 稔・衣巻豊輔・横関源延編), 恒星社厚生閣, 東京, pp.38-40.
- 9) 村田安代 (1984) : 第 2 部 素材を中心とする調理, 卵. 調理科学 (調理科学研究会編), 光生館, 東京, pp.331-341.
- 10) 河村フジ子 (1984) : 第 1 部 調理操作, 泡立てる. 調理科学 (調理科学研究会編), 光生館, 東京, pp.191-195.
- 11) 西本淳一 (1990) : I. 栄養成分の分布と消長, 一般成分. 魚肉の栄養成分とその利用 (竹内昌昭編), 恒星社厚生閣, 東京, pp.9-33.
- 12) 須山三千三 (1958) : ニジマス卵成熟中の一般成分の変化. 日水誌, **24** (8), 656-659.
- 13) 科学技術庁資源調査会編 (1982) : 四訂日本食品標準成分, 大蔵省印刷局, 東京.
- 14) 中村 敏 (1986) : 第 7 章 新素材, プルラン. 食品加工の革新技術 (木村 進・亀和田光男監修), シーエムシー, 東京, pp.269-274.
- 15) 中村 敏 (1987) : 第 2 章 デンプン系新素材, プルラン. 食品新素材の開発と応用 (亀和田光男・監修), シーエムシー, 東京, pp.87-97.
- 16) 黄海三雄 (1988) : キタンサンガム. 天然添加物と新食品素材, 食品化学新聞社, 東京, pp.48-50.
- 17) 坂本 武 (1988) : ローカストビーンガム. 天然添加物と新食品素材, 食品化学新聞社, pp.43-45.
- 18) 浅原充雄・菅 昭人・田中良治・松森 茂 (1985) : 組織化による魚体の食品素材化. 昭和59年度魚介類有効栄養成分. 利用技術研究成果の概要 (水産庁), pp.292-319.
- 19) 浅原充雄・菅 昭人・田中良治・松森 茂 (1988) : 凍結粉碎肉 (ファインミート) の変性処理による食品素材化. 昭和63年度魚介類有効栄養成分利用技術研究成果の概要 (水産庁), pp.401-425.
- 20) 北島直文・土井悦四郎 (1987) : 泡沫の物性. 日食工誌, **34** (8), 549-557.
- 21) 土井悦四郎 (1994) : 食品の分子構造と機能特性. 京大食糧科学研究報告, **57**, 3-12.
- 22) 浅原充雄・田中良治・田井中剛 (1933) : 低利用魚のかまぼこ形成能について. 水産物の利用に関する共同研究, 第33集, 8-13.
- 23) 志水 寛・清水 亘 (1960) : 水産動物に関する研究 - X X VIII, 魚類筋肉の蛋白組成. 日水誌, **26** (8), 806-809.
- 24) 渡部終五 (1994) : 1. 魚の栄養の科学, 魚類のタンパク質. 魚の科学 (鴻巣彰二監修, 阿部宏喜・福家伸也編), 朝倉書店, 東京, pp.1-11.
- 25) K. Sato, R. Yoshinaka, M. Sato and Y. Shimizu (1986) : Collagen Content in the Muscle of Fishes in Association with Their Swimming Movement and M-eat Texture. Nippon Sisan Gakkaishi, **52** (9), 1595-1600.
- 26) 畑江敬子 (1994) : 5. 魚の調理・加工の科学, 魚介類の調理. 魚の科学 (鴻巣彰二監修, 阿部宏喜・福家伸也編), 朝倉書店, 東京, pp.133-146.
- 27) R. Yoshinaka, K. Sato M. Sato and H. Anbe (1990) : Distribution of Colla-gen in Body of Several Fishes. Nippon Sisan Gakkaishi, **56** (3) pp. 549.
- 28) 福田 裕 (1993) : イカの利用加工. 水産物の利用に関する共同研究, 第33集, 1-7.
- 29) 田中武夫 (1958) : イカ肉の利用・加工に関する組織学的及び組織化学的研究 - 1, イカ肉の組織的特性. 東海水研報, (20), 77-89.
- 30) 山口勝己 (1992) : 第 III 章 魚介類非筋肉組織の化学, 生殖腺. 水産利用化学 (鴻巣彰二・橋本周久編), 恒星社厚生閣, 東京, pp.205-216.
- 31) 筒井知己・小原哲次郎 (1980) : サクシニル化鶏卵卵黄蛋白質の乳化特性. 日食工誌, **27** (6), 293-297.
- 32) 羽田野六男・高野秀明・高間浩蔵・座間宏一 (1979) : 多獲性多脂魚タンパク質の高度利用 -, マイワシ・サクシニル化筋原繊維タンパク質の乳化特性と可溶化. 日水誌, **45** (8), 951-954.
- 33) 福田 裕・永峰文洋・石川 哲・柳谷 智・松原久・山内 寿一 (1986) : たん白変性および配合成分の特性利用による組織化. 昭和60年度魚介類有効栄養成分利用技術研究成果の概要 (水産庁), pp.449-481.
- 34) M. Hamada, Y. Nagai, N. Kai and Y. Tanoue (1997) :

- Influence Added Amounts of Succinylation Level for some Protein. Journal of National Fisheries University, **46** (2), 95-99.
- 35) 中村 良 (1998) : 6. 卵の調理, 泡立ち性, 卵の科学 (中村 良編), 朝倉書店, 東京, pp.86-93.
- 36) 猪飼 篤 (1988) : 第七章 生きた姿, 立体構造. はたらくバイオ分子タンパク質, 東京化学同人, 東京, pp.93-107.
- 37) 濱口構造 (1990) : 6. 蛋白質の動的構造, 蛋白質分子内部のゆらぎ, 改訂蛋白質機能の分子論, 学会出版センター, pp.152-163.
- 38) 生化学辞典, 2版 (1990) (今堀和友・山川民生監修), 東京化学同人, 東京, p.935.
- 39) 酵素ハンドブック, 7刷 (1990) (丸尾文治・田宮信雄監修), 朝倉書店, 東京, pp.545-546.
- 40) 生化学辞典, 2版 (1990) (今堀和友・山川民生監修), 東京化学同人, 東京, pp.1010.
- 41) 酵素ハンドブック, 7刷 (1990) (丸尾文治・田宮信雄監修), 朝倉書店, 東京, pp.557-558.
- 42) 石下真人・鮫島邦彦 (1995) : 酵素処理による食肉の軟化. 食肉の科学, **36** (1), 5-10.
- 43) 今野久仁彦 (1994) : 1. 魚の栄養の科学, 無脊椎動物のタンパク質. 魚の科学 (鴻巣彰二監修, 阿部宏喜・福家伸也編), 朝倉書店, 東京, pp.12-21.
- 44) 土屋隆英国 (1977) : 無脊椎動物の筋原繊維タンパク質. 魚肉タンパク質 (日本水産学会編), 恒星社厚生閣, 東京, pp.24-42.
- 45) 松崎松一郎 (2000) : 第7章 加工によるイカの成分変化. イカの栄養・機能成分 (奥積昌世・藤井建夫編著), 成山堂書店, 東京, pp.164-173.
- 46) 中村 良 (1995) : 食品蛋白質の特性と機能に関する分子科学的研究. 日食工誌, **42** (9), 720-726.
- 47) 須山三千三・鴻巣彰二編 (1987) : 第3章 魚介類筋肉の主要成分. 水産食品学, 恒星社厚生閣, 東京, pp.14-70.
- 48) 渡部終五 (1992) : 第II章 魚介肉の化学, タンパク質 (鴻巣彰二・橋本周久編), 恒星社厚生閣, 東京, pp.40-74.
- 49) 藤田真夫 (1988) : I. 分布, 脊椎動物の含窒素化合物. 魚介類のエキス成分 (坂口守彦編), 恒星社厚生閣, 東京, pp.25-43.
- 50) 佐藤 守 (1990) : I. 栄養成分の分布と消長, 遊離アミノ酸. 魚肉の栄養成分とその利用 (竹内昌昭編), 恒星社厚生閣, 東京, pp.44-54.
- 51) 石川宣次 (1991) : 第6章 利用と化学, 筋肉の化学的性状. イカ-その生物から消費まで- (奈良敬二・奥谷喬司・小倉通男共編), 成山堂書店, 東京, pp.352-259.
- 52) 青山頼考 (1998) : 4. 卵の栄養, タンパク質, 卵の科学 (中村 良編), 朝倉書店, 東京, pp.43-47.
- 53) 浅原充雄・嶋内 潤・白木信彦 (2001) : 平成12年度低・未利用水産物を用いた新規食品素材の開発に関する成果報告書, 山口県水産研究センター.
- 54) S. Kimura, Y. Sugiura, H. Mizuno, N. Kato and Y. Hanaoka (1994) : Occurrence of a Mucin-type Glycoprotein in Nidamental Gland Mucosubstance from Squid *Illex argentinus*. Fisheries Science, **60** (2), 193-197.
- 55) 大西正健 (1996) : 5. 糖鎖の生理・薬理活性. 糖質の科学 (新家 龍・南浦能至・北畑寿美雄・大西正健編), 朝倉書店, 東京, pp.146-172.
- 56) 加藤昭夫 (1994) : 多糖類修飾による蛋白質の機能変換と新規食品素材の開発. 日食工誌, **41** (4), 304-310.
- 57) 加藤昭夫 (1996) : タンパク質の多糖修飾による高機能化. 化学と生物, **34** (10), 695-701.
- 58) 浜辺基次 (1962) : 日本海西南海域におけるスルメイカの発生的研究. 日水研報告, (10), 1-45 (1962).
- 59) 桜井泰憲 (1995) : 23. 産みの苦し二世誕生-スルメイカの散乱. イカの春秋 (奥谷喬司編著), 成山堂書店, pp.165-173.
- 60) 北島 健 (1996) : 魚卵に学ぶ:N-グリコシ型糖タンパク質の構造と機能. 日水誌, **62** (2), 289-290.
- 61) 畑江敬子・青木 宏 (1984) : 第3部 調理と食品成分, 蛋白質. 調理科学 (調理科学研究会編), 光生館, 東京, pp.447-467.
- 62) 大井龍夫 (1998) : 1. 序論, タンパク質を構成する原子団. タンパク質の科学 (鈴木敦士・渡部終五・中川弘毅編), 朝倉書店, 東京, pp.6-12.
- 63) 大橋司郎 (1990) : 12. 食品工業における多糖類, 概説, 多糖類の機能と具備すべき特性. 食品ハイドロコロイド科学 (西成勝好・矢野俊正編), 朝倉書店, 東京, pp.152-160.
- 64) 今泉雅子 (1998) : 第2部 素材を中心とする調理, いも (付. こんにゃく). 調理科学 (調理科学研究会編), 光生館, 東京, pp.294-299.
- 65) 岡田 稔 (1999) : 第9章 副原料の科学, 多糖類ガム, セルロース. かまぼこの科学 (岡田 稔), 成山堂書店, 東京, pp.201.
- 66) 山内文雄 (1990) : 13. 植物蛋白質の構造と機能特性, ダイズ蛋白質. 食品ハイドロコロイドの科学 (西成勝好・矢野俊正編), 朝倉書店, 東京, pp.172-179.
- 67) 伊藤秀明・石川 哲・福田 裕 (1997) : 組織化(ゲル化)中の魚肉における脂質と魚肉蛋白の相互作用. 平成2年度水産利用加工研究推進全国会議資料 (水産庁中央水産研究所), pp.93-96.
- 68) 野田誠司・岡崎恵美子 : 魚油乳化によるすり身加熱ゲルの物性向上効果. 平成9年度水産利用加工研究推進全国会議資料 (水産庁中央水産研究所), pp.149-152.

- 69) 岡崎恵美子・永瀬光俊・野田誠司 (1998) : 乳化すり身の加熱ゲル形成に及ぼす加熱温度の影響. 平成10年度水産利用加工研究推進全国会議資料, pp.169-172.

継代選抜された帯紋型青色アサリの遺伝的多様性減少

酒井治己^{*1}・土川陽子^{*1}・出射邦明^{*1}・鬼頭 鈞^{*1}・
岸岡正伸・松野 進・立石 健・井手尾 寛^{*2}

Loss of Genetic Diversity in the Banded Purple Shell Breeds
of the Japanese Littleneck Clam, *Ruditapes philippinarum*,
Selected for Several Generations

Harumi SAKAI^{*1}, Yoko DOGAWA^{*1}, Kuniaki IDEI^{*1}, Hitoshi KITO^{*1},
Masanobu KISHIOKA, Susumu MATSUNO, Takeshi TATEISHI,
and Hiroshi IDEO^{*2}

Loss of genetic diversity in the banded-purple shell breeds of the Japanese littleneck clam, *Ruditapes philippinarum*, selected for 6 generations was analyzed in terms of allozyme indices. Heterozygosity decreased and the inbreeding coefficient increased substantially from generation to generation. The calculated mean effective population size was far less than the mean actual number of parental clams.

本報告は、平成7年度から11年度までの5ヶ年計画で行った水産庁委託「生態系保全型種苗生産技術開発事業」で行った水産大学校との共同研究であり、その結果の一部を水産大学校研究報告、49(1)、29-33、2000に報告した。

結果の要約 アサリ *Ruditapes philippinarum* は、貝殻の紋様と色彩の変異の極めて多い二枚貝である。紋様はおおまかに斑紋型、帯紋型、波紋型および白色型に分類され、色彩も多様である。山口県水産研究センター内海研究部では、放流用の標識貝作成の目的で、自然界では極めて少ない帯紋型青色アサリ（以下アオアサリと呼ぶ）を数代に亘って集団選抜交配することにより、種苗における出現率を90%以上にまで上昇させることに成功した。しかし、継代選抜を行っているため相当の遺伝的多様性低下が懸念される。そこで、アオアサリの選抜育種を始めてから2～6代めの種苗について、アロザイムを支配する遺伝子座の対立遺伝子を用いてその多様性低下過程を検討した。

本研究に使用した母集団は、山口県小野田市沖の天

然貝で、潜水漁によって捕獲されたものである。種苗5集団は、アオアサリの選抜交配を始めてからそれぞれ2～6代目である。種苗は、1年飼育の後、殻長約10mmに成長した段階でアロザイム分析実験に供した。実験貝は、-70℃で凍結保存し、適宜解凍してアロザイム分析を行った。調査した酵素および遺伝子座は、すべての標本に亘って比較的安定して検出できたAAT-1^{*}、IDHP^{*}、MDH-1^{*}、MDH-2^{*}およびPGDH^{*}の5遺伝子座である。

検出された遺伝子型から平均ヘテロ接合体率観察値(Ho)と遺伝子頻度を求め、さらに平均ヘテロ接合体率期待値(He)を計算した。また、野生集団(母集団、集団1)におけるヘテロ接合体率観察値(How)と交配種苗集団のそれ(Hob)との比較から、近交係数($F=1-Hob/How$)を算出した。アオアサリ6代目における世代平均繁殖有効個体数(Ne)を、種苗における野生集団からのアロザイム対立遺伝子頻度の分散から計算した。

その結果、野生集団では合計22対立遺伝子が検出されたが、アオアサリ種苗集団では9～10対立遺伝子に

*1 水産大学校 *2 現在、外海研究部

減少した。アオアサリ2～6代目の平均使用親貝数は545.6個体で、FAOが示した継代飼育において遺伝的多様性の低下をおよぼさないための必要数500を満たした親貝数でありながら、世代を重ねるごとにヘテロ接合体率は大きく低下し、近交係数はかなり上昇していた。アサリの場合、産卵誘発に対して個体による時間的な反応差があり、たとえ多くの親貝を用いても、実際に仔貝を残せる個体数が限られてしまう可能性がある。アオアサリ6代目における推定世代平均繁殖有

効個体数 ($N_e \pm SD$) は、 38.3 ± 13.4 で、使用した親貝数よりもはるかに少ない数であった。

このまま同様にアオアサリ系統を選抜交配させて世代を重ねると、近い将来にはアロザイム遺伝子についてほとんど均質な集団になってしまうことが予想される。今後もアオアサリを継代選抜して行く上では、毎代天然のアオアサリを交配に加えることや、なるべく多くの個体を使用し、さらに産卵誘発に対する反応の同調性を高める努力が必要かもしれない。

アサリ種苗生産における繁殖有効親貝数を アロザイム対立遺伝子の多様性減少から推定する試み

酒井治己^{*1}・樋口順一^{*1}・渡辺智久^{*1}・鬼頭 鈞^{*1}・
松野 進・岸岡正伸・中野義久^{*2}・高見東洋^{*3}

Effective Population Size Estimation from Reduced Allozyme Allelic Diversity
in Seedlings of the Japanese Littleneck Clam,
Ruditapes philippinarum

Harumi SAKAI^{*1}, Jun-ichi HIGUCHI^{*1}, Tomohisa WATANABE^{*1}, Hitoshi KITO^{*1},
Susumu MATSUNO, Masanobu KISHIOKA, Yoshihisa NAKANO^{*2},
and Toyo TAKAMI^{*3}

Effective population size was calculated in several lots of seedlings of the Japanese littleneck clam, *Ruditapes philippinarum*, whose actual number of parents was fixed beforehand into four classes. The variance in allozyme allelic frequency in the seedlings compared with the frequency of the wild clams was utilized to calculate the effective size. The calculated sizes were similar to the actual parental sizes. The result suggests the usefulness of the allelic frequency variance to estimate the effective population size also in the practical seedlings for various sea-farming programs.

本報告は、平成7年度から11年度までの5ヶ年計画で行った水産庁委託「生態系保全型種苗生産技術開発事業」で行った水産大学校との共同研究であり、その結果の一部を水産大学校研究報告、49(1)、23-27、2000に報告した。

結果の要約 近年、各地でアサリ *Ruditapes philippinarum* 人工種苗生産と放流が試みられている。アサリの産卵誘発は、主に温度刺激と生殖腺内容物懸濁液の刺激によって行うが、個体によって時間的な反応差がある。したがって、交配時に実際に放卵受精する個体数が限られてしまい、種苗における遺伝的単純化に結びつくことが考えられる。産卵誘発し集団交配させるアサリでは、繁殖有効親貝数の実測は難しい。そのような場合、種苗における遺伝子頻度の母集団からの分散を測定し、有効であったはずの親数を推算する方法が考案されている。そこで、産卵誘発で反

応したアサリのみを用いて種苗生産を行い、実際親貝数からの種苗におけるアロザイム対立遺伝子頻度の分散から推定繁殖有効親貝数を計算することによって、その方法の有効性を検討したので報告する。母集団は、山口県小野田市沖の天然貝である。実験交配集団では、産卵誘発に反応した個体を洗浄し、雌雄ごとに数を合わせて交配させた。交配親貝数は、240個体が1組、160個体が2組、20個体および10個体がそれぞれ3組である。種苗は、1年飼育の後、殻長約10mmに成長した段階でアロザイム分析実験に供した。実験貝は、-70℃で凍結保存し、適宜解凍してアロザイム分析を行った。調査した酵素および遺伝子座は、AAT-1^{*}、IDHP^{*}、MDH-1^{*}、MDH-2^{*}およびPGDH^{*}の5遺伝子座である。検出された遺伝子型から平均ヘテロ接合体率観察値 (Ho) と遺伝子頻度を求め、さらに平均ヘテロ接合体率期待値 (He) を計算した。また、野生集団 (母集団) におけるヘテロ接合体率観察値

^{*1} 水産大学校 ^{*2} 現在、外海研究部 ^{*3} 退職

(How) と交配種苗集団のそれ (Hob) との比較から、近交係数 ($F=1-Hob/How$) を算出した。繁殖有効個体数 (N_e) は、種苗における母集団からの遺伝子頻度の分散から計算した。

その結果、野生集団では合計22対立遺伝子が検出されたが、種苗集団では8～18対立遺伝子に減少していた。平均ヘテロ接合体率 (H_o, H_e) においても、種苗においてかなりの低下が認められた。近交係数 (F) では、交配親貝数の少ない種苗においてかなりの上昇が認められた。それぞれの種苗集団について繁殖有効個体数 (N_e) を推定した結果、親貝数240区で356.4、

160区で110.5～120.6、20区で14.7～81.0、10区で8.5～18.4で、親貝数が少ないほどやはり有効数も少なく推定され、有効個体数は親貝数とかなり近い値が算出された。したがって、アサリのように繁殖に参加した個体数の把握し難い水産生物の場合、種苗における母集団からの遺伝子頻度の分散から繁殖有効個体数を推定することは、非常に有効な方法であると考えられる。ただし、計算式の性質上、調査対立遺伝子数が数値に大きく影響する。今回調査したアロザイム遺伝子の多型性は、必ずしも充分高いとは言えず、より多型的な遺伝的マーカーを検索して行く必要があろう。

筋萎縮症原因体に対するクロアワビの年齢別感受性

中津川俊雄^{*1}・桃山和夫

魚病研究 (1999), 34 (4), 215-216

結果の要約 ① クロアワビ筋萎縮症罹病貝の磨砕ろ液 (0.45 μm) を用いた浸漬法と筋注法による人為感染試験により、クロアワビの年齢と本症原因体に対する感受性との関係を検討した。

② その結果、筋注法では、0, 1および2年貝のいずれにおいても感染が成立し、本症原因体に感受性のあることが明らかとなった。

③ しかし、浸漬法では0および1年貝が発病したものの、2年貝では発病せず、加齢とともに感受性が低下するものと判断された。

*1 京都府立海洋センター

アワビの筋萎縮症原因体の性状に関する検討

桃山和夫

魚病研究 (2000), **35** (4), 179-184

結果の要約 ① アワビ筋萎縮症原因体の性状を知るために、クロアワビ稚貝を用いて感染実験を行った。
② 病貝磨砕ろ液へ浸漬後12℃で飼育した場合、実験終了時の60日後においても異常細胞塊の形成は軽度であった。
③ 18℃では40日以後、重症個体の割合が実験終了時

まで増加した。

④ 24℃では病変は概して軽度で、40日以後快方に向かった。
⑤ 自然発症クロアワビ稚貝の筋注法による感染力価は約 10^3 ID₅₀/ml/g軟体部重量であり、筋注接種40日後の実験感染個体のそれは約 10^5 であった。
⑥ 原因体は孔径220nmのフィルターを通過し、100nmのフィルターは通過しなかった。

Pathogenicity of Penaeid Rod-shaped DNA Virus (PRDV) to Juveniles of Six Crustacean Species

(6種類のアザミエ類に対するPRDVの病原性)

桃山和夫・平岡三登里^{*1}・C. A. Venegas^{*2}

魚病研究 (1999), 34 (4), 183-188

結果の要約 ① PAVの原因ウイルスであるPRDVのアザミエ類6種の稚アザミエ・カニに対する病原性を感染実験により調べた。

② 実験感染クルマエビ組織の磨砕ろ液を筋注射したところ、供試した全ての種類で接種2～7日後に全個体

が死亡した。

③ 感染エビの筋肉組織を3日間自由摂餌させた経口法では、クルマエビ、コウライエビ、フトミゾエビ、ヨシエビでは接種6～10日後に90%以上の個体が死亡し、PRDVに対する感受性は極めて高かった。

④ クマエビおよびガサミでは接種30日後の死亡率は40%で、感受性は前記4種に比べて低かった。

*1 現山口県漁政課

*2 広島大学 生物生産学部

山口県水産研究センター研究報告 第1号

2002年4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
<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
