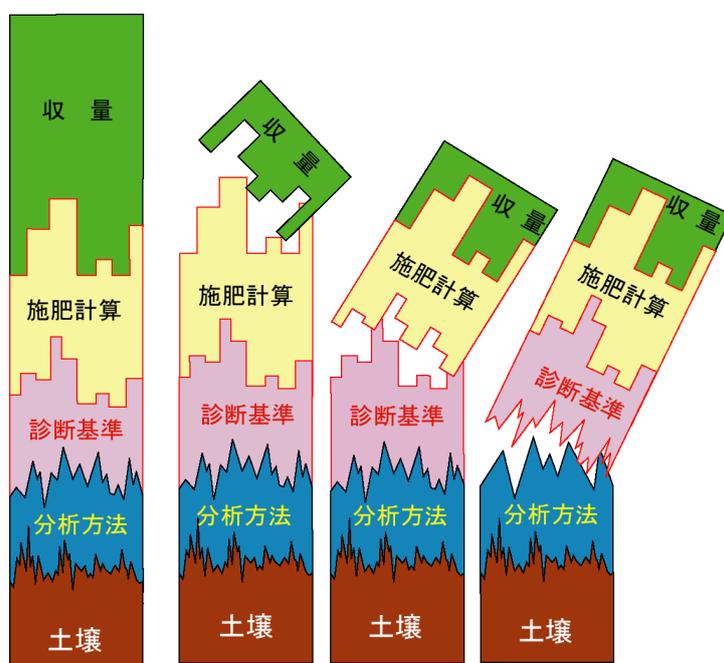


# 土壌診断入門 改定版

持続的生産のための知識



山口県農林総合技術センター

2021年 1月版

できすぎ君、けーさん君は、自己責任でお使いください。  
関連する全てのことに、いかなる補償もありません。

目 次

I 土壌診断入門編

1	<a href="#">どうして土壌分析が重要なのか？</a>	1
2	<a href="#">土壌分析だけではない土壌診断（物理性、生物性）</a>	6
3	<a href="#">土壌分析をお勧めしたい人</a>	8
4	<a href="#">土壌分析値だけでは役に立たない。施肥量が重要</a>	9
5	<a href="#">計算された施肥量は正しいとは限らない</a>	11
6	<a href="#">施肥量の計算結果の使い方と土壌分析の間隔</a>	13
7	<a href="#">物理性は、化学性(土壌分析)以上に、重要</a>	14
8	<a href="#">施肥量の計算と施肥設計は、似ているようで違う。</a>	16
9	<a href="#">土壌分析の基本的な考え方</a>	17
10	<a href="#">土壌分析値は目安です。</a>	20
11	<a href="#">土壌の分析方法は重要</a>	22
12	<a href="#">生土容積法を正確に行うのは大変です。</a>	26
13	<a href="#">分析結果を容積あたりで示すメリットは大きい。</a>	27
14	<a href="#">簡易分析（pH、EC他）だけでも意外に役立つ。</a>	28
15	<a href="#">精密分析といっても、窒素、・・・、CECで良い。</a>	30
16	<a href="#">分析値以外に必要な 診断基準と施肥設計</a>	30

II pHから始まる深い話

1	<a href="#">生育に思いっきり影響するpH</a>	31
2	<a href="#">低pHには、それなりの原因がある。</a>	31
3	<a href="#">pHは石灰で上がり、窒素（EC）で下がる。</a>	32
4	<a href="#">ECってなんだ</a>	34
5	<a href="#">ECはpHを下げる。</a>	36
6	<a href="#">大事なCEC（塩基置換容量）は推定しない！</a>	38

## 1 どうして土壌分析が重要なのか？

### (1) 植物と微生物が土を黒くする。

高温で土を焼くと、真っ黒な土も、灰色や茶色の土も素焼きの植木鉢のような赤茶色に変わります。土の黒色物質は、長年にわたって土と微生物と植物が協力してため込んできた炭素（腐植）です。この炭素が燃えて本来の土の色に戻ったのです。赤くなるのは、土の中の鉄分が高温でサビたためです。

土壌を黒くしている炭素(腐植)はどこから来たのかというと空気中です。植物が光合成によって空気中の炭素を取りこんだものです。植物に取り込まれた炭素は炭水化物やアミノ酸、蛋白質などにかわり植物の葉や茎、根などになります。植物が枯れるとこれらは土に住む微生物のエサになります。これらの微生物が死んで他の微生物の餌になったりを繰り返しながら長い時間をかけて形を変え、最後は腐植と呼ばれる暗色不定形の高分子化合物にかわります。この暗色不定形の高分子化合物（腐植）が多いほど土が黒く見えます。早く言えば、長〜い時間と植物が育った量で土が黒くなるのです。

さらに腐植が増えることは土が黒くなるだけでなく、土壌の養分を保持する力も大きくなります。また、pHの緩衝能力や団粒構造の構成物にもなります。こうして植物と微生物が作った腐植は植物の生育を助けます。

#### 腐植の知らないほうがすっきりする話

知ったことでモヤモヤする話があります。腐植もその一つです。

一般的には腐植は有機物と同等にイメージされますが、厳密に定義する科学の世界では、「腐植は暗色不定形の高分子化合物」です。（よくわからない定義ではありますが、そこはむにゃムニャ・・・。）ここまでならモヤモヤせずに知識をひけらかしたくなります。

ところが土壌分析でいう腐植は、土壌中に含まれるすべての炭素を測定し1.742を機械的に乗じたものです。なので純粋に腐植ではなく木くずや植物根、微生物の炭素を含みます。

また、「腐植のうちアルカリに可溶で酸に不溶な部分を腐植酸（フミン酸）」といいますが、地力増進法の土壌改良資材の「腐植酸質資材」は、「石炭又は亜炭を硝酸又は硝酸及び硫酸で分解し、カルシウム化合物又は・・・で中和した土壌改良資材」ですから、腐植の一部である腐植酸は、どうして石炭や亜炭と酸からできるのでしょうか？

腐植がつく言葉にもやもやしませんか？

## (2) 団粒ってなに？

団粒構造も植物の生育に大きな影響を与えます。肥沃な柔らかい土壌の上に立つと足が少し埋まります。柔らかいというのは圧縮可能な空間が多いことですが、肥沃な土では、信じられないことに70%が空間です。この空間を作っているのが団粒構造です。

空間の一部が水で満たされると土壌の保水力になります。降雨時の過剰な水はこの空間を利用して地下へ排水されます。また、大気と土壌のガス交換経路や微生物のすみかとしても利用され植物の生育を助けています。

さらに重要なことに足の置き場が30%しかないならたぶん高所恐怖症の人は圃場に立てないでしょう。団粒構造のおかげで70%の空間は見えませんが安心を提供しています。

団粒構造とは、土壌（粘土）粒子や有機物の塊が集まって引っ付いたもので、小さな団粒構造が引っ付いて大きな団粒構造を形成します。これらの団粒がさらに・・・の入れ子状の構造を持ちます。大きな団粒は容易に目で見え、指でつぶすこともできます。団粒構造はイメージしにくいですが、反対の単粒構造（砂糖や塩の結晶）を考えるとイメージしやすいと思います。

この団粒構造を作るには、粒を引っ付ける糊が必要です。この糊を微生物が作り出します。団粒構造が多い。＝糊を出す微生物が多い。＝微生物の餌となる有機物が多い。＝有機物を作り出す植物が多い。＝植物の生育が良い。

というわけで植物が育つことで、（土の腐植と同様に）団粒も形成されると言えます。

逆に植物が育たずに有機物の供給が途絶えると微生物が減るため団粒の数も減少すると言われていています。

もっと手っ取り早く団粒を壊したいなら土壌が乾いた状態でロータリーを高速でかけるといいです。土壌は砂のようになり何かの拍子に硬くなる扱いづらい土に変わり、植物の生育が悪くなります。

## (3) 土づくりと堆肥の関係

土づくりとは、植物が育ちやすい土を作ることです。植物が育ちやすい土とは、

- ①植物や微生物の生育に必要な養分が適量あること。
- ②水持ちがよく、水はけがよいこと。
- ③土壌にたくさんの種類や数の微生物がいることです。

これらは植物が活発に育つほど改善されていきますが、「植物が育つと土が良くなる。」とかいわれても、卵が先か、ニワトリが先か論争になります。

ここで植物の活発な生育に代わって堆肥の登場になるわけです。昔のヨーロッパでは家畜の飼養増で堆肥の施用が増え穀物の生産量が向上したそうです。

一般的な堆肥はワラなどの植物体と畜糞を合わせて発酵させたもので微生物も豊富です。堆肥を施用することで腐植や団粒構造の形成に必要なものはそろっています。なので土づくり＝堆肥の施用になるのです。

堆肥と聞くと多くの方が「ふ～ん聞き飽きた。」でしょうが、「堆肥を過剰に施用すると後が大変だ！」と、「堆肥の適正な散布量 2 t/10a (2 kg/m<sup>2</sup>) は予想以上に少なく見える。」というのだけは覚えておきましょう。

山口県の農業試験場で行っている堆肥の水田への長期連用試験では、堆肥の施用量が多くても少なくても連用期間が長くなれば水稻の収量は同じになりました。堆肥を多量に連用しても一定以上には収量は増加しません。後で述べるドベネツクの桶の法則に従って堆肥の効果には限界があるようです。

面白いことに堆肥無施用かつ無窒素栽培区でわらの持ち出しを長年行った圃場で、稲わらのすき込みを始めると土壌の窒素と水稻の収量が少しずつ増え始めました。これも稲わらを餌に増えた微生物のおかげです。とはいえ試験開始が 1977 年なのでまだまだ 40 年程度です。イギリスのロザムステッド農場では 1840 年代（黒船来航よりも前）から堆肥の連用試験を継続しているので大きなことは言えません。

団粒構造の速成には堆肥よりも簡単に腐る有機物（緑肥などの易分解性有機物）のほうが土壌微生物を急増させるので都合が良いといわれています。このような易分解性の有機物を使った土づくりも面白い方法だと思いますが、腐熟過程で生じる有機酸によって土壌中の養分が溶け出し化学性が悪くなる可能性があるため、土壌の化学性に注意する必要があります。堆肥では圃場と離れた堆肥場で易分解性有機物を腐熟させるので、このようなことはおきません。

#### (4) 植物に養分は必要不可欠

「化学肥料は利用しません。有機質肥料も利用しません。堆肥も利用しません。自然に任せます。」と言われると考えこみます。

痩せた魚や貧弱な農作物はおいしそうに見えないので、ほとんどの人が買わないと思いますが、不思議なことに「植物には肥料や堆肥などの養分が不要」と考える人が多い気がします。

当然ですが、圃場から作物を持ち出し食べてしまうと、そのぶんだけ圃場の養分貯金は減ります。全く施肥しなくともしばらくは圃場が貯めた養分貯金

をえるので大きな変化は見られませんが、継続すると土の養分を使い果たし、満足な生育ができなくなります。食料がないと餓死する人間と同様ですが、この当然なことがチョコチョコ忘れられます。養分の施用がない無肥料栽培は、継続すると最後にはできなくなる狩猟的な農業といえます。

#### (5) 窒素固定も良いことばかりではない。

手間暇かけずに圃場の養分を増やすことを考えると、窒素固定を思い付きませんが、窒素固定は土壤自体が行っているのではなく、土壤や植物などに住んでいる微生物が行います。困ったことに窒素固定する微生物の周りに窒素があると彼らはサボって働きません。微生物もめんどくさいことは嫌いなようです。

また、よくある誤解ですが窒素固定する大豆栽培に窒素肥料は不要だと思われがちです。もちろん収量がものすごく少なければその通りですが、通常は微生物が窒素固定した以上に大豆を収穫するので圃場の窒素は減少します。1～2年は稲作で貯め込んだ土の窒素（地力）を利用できるので収量は確保できますが、すぐに地力を食いつぶし大豆は低収になります。

窒素固定する緑肥作物のレンゲを水田で栽培すると圃場の窒素量は増えますが、レンゲが腐熟する際に発生する有機酸により土壤の養分が溶けて流亡するので、これらの養分の施肥が多めに必要になります。このため、レンゲ栽培で肥料のコスト削減が可能かは十分考える必要があります。

当然ですが窒素固定しない緑肥作物では肥料を施用しない限り養分が圃場内を循環するだけで養分は増えません。しかし、土壤中の過剰な養分を吸収したり、光合成による炭素が増えることで土壤の微生物が増えたり、根によって土壤の物理性が改善されたりしますので、土づくりに大切な手法です。

有機農業の場合は、化学肥料を用いないぶん経験や知恵による窒素のコントロールが必要ですが、有機質肥料や堆肥によって養分が投入されるので持続的な農業が可能です。

#### (6) 堆肥の過剰施用は怖い

堆肥の多量施用の効果に限界があることは少し述べましたが、さらに過剰に施用すると害のほうが多くなります。物事には限度があります。

堆肥を多量に入れてしまうと、温度条件によって土壤から窒素が湧き出てきます。適切な堆肥の量なら窒素肥料がいらなくて良いのですが、過剰施用の場合は、たいてい必要量の2から3倍多く出て、土壤のpHを下げ、ECを上げ、植物の生育が乱れ、病気にかかりやすくなるなど、ロクなことは起きませ

ん。このようにエサ（堆肥や有機物など）で微生物を増やすとき、適切な量を長年にわたり施用することが重要です。

また、堆肥だけでなく肥料の過剰施用にも注意が必要です。

面白いことに生産力の低い生産者は窒素などの肥料にこだわり、やたらと施肥したがる人が多いような・・・？、生産力の高い生産者は、肥料よりも光合成に気を使っていることが多いような気がします。

#### (7) 植物の生育不良は文明を滅ぼす？

土壌の化学性が悪い（養分が少ない）と、環境の変化を待たずとも植物の生育が悪化し、微生物が減り、団粒構造が少なくなり物理性が悪化し、さらに植物の生育が悪くなり裸地が増え、風や雨で表土が流失し、最後には痩せた硬い土地になります。流出した表土は海に堆積し、圧力を受け岩に戻ります。長い時間の後に隆起し風化して、微生物が住みつき、少しずつ植物が生育し土が形成され、・・・を繰り返します。地球時間でみると土壌は常に変化しています。このため、4億年前の陸上で植物が生育し始めたころの地球の土壌は存在しません。

「土の文明史」という本によれば、大昔に滅びた文明は、人口の増加とともに収量を追い求め（現代から見れば、非常にささやかな収量らしいです。）土の養分を過剰に消費したことが、滅亡の引き金になったとされています。当時は肥料が山野草や畜糞程度しかないので化学性の悪化を止めることができず、作物の生育は悪化しつづけ、裸地が増え、土の流出が増加したため、食糧生産が次第に困難になったとあります。（砂漠地帯に古代文明が栄えたとは不思議でしたが、昔は緑だったと考えれば納得です。）

土は無限にあるように思えますが、平均すると15cm～18cmの厚さしかなく、地球規模で見ると膜のような土で食糧は生産されています。もし、毎日0.01mm、年間3.65mmの厚さの土を失うとすると、たった41年で15cmの厚さの土を失い食糧の生産ができなくなります。このため、世界中の国が土壌保全を重視し本気になるのです。

実際に施肥をしなかったことで、何もできなくなった畑を見たことがあります。分析すると石灰、苦土、加里等の養分がほとんどなくpHも非常に低い火山灰土壌でした。この畑に十分な施肥をしたところ生育は大幅に改善し、周辺の生産者や関係者が驚いていました。

最近では、収益の悪化と高齢化も加わり肥料や堆肥などを必要だと認識しつつも施肥しなくなっていますが、どうなることやら・・・

## 2 土壌分析（化学性）だけではない土壌診断（物理性、生物性）

### （1）化学性の診断（土壌分析）

土壌分析と土壌診断を混同しがちですが、土壌診断のうちの土壌の化学性を確かめる方法が土壌分析です。化学性の分析なので、土壌分析結果の数値だけでは意味がありません。診断基準値などと比較した評価と具体的な対策である施肥量が示される必要があります。

土壌分析の中身はpHやECだけの簡易的なものから必須養分（多量要素、中量要素）の精密分析や微量元素や有害物質の分析など様々です。

植物が必要な養分は、ありふれている炭素、酸素、水素をいれても16元素だけです。ありふれた元素と微量元素を除くと窒素、リン酸、カルシウム、マグネシウム、カリと数が少ないので、一般的に問題となりやすい元素では対応しやすい診断と言えますが、微量元素や有害物質は分析も対策も結構大変です。

### （2）物理性の診断

物理性の診断は、圃場に穴を掘る断面調査が基本です。生育に悪い影響を与える要因がないか調べます。たいてい場合は、排水不良と圧密層（硬盤）が根の腐敗や伸長に影響を与えています。

正確な断面調査はかなりの経験が必要ですが、生育不良の原因を探るだけなら、正常な場所と異常な場所で穴を50cmぐらい掘ります。（正式には1mほど掘りますが、簡単な調査では50cmあれば十分で、あまり苦勞せずに掘れます。）掘るときの手ごたえなどを参考に、深さごとの湿り具合や掘るときの硬さ、根の状況を調べます。よくわからないときは、化学性でも同様ですが正常な生育の土壌と比べることで、生育不良の原因を調べることができます。

主に水田などで穴を掘ったら湿った青色の土壌が出てくることがあります。この青色の土壌の層はグライ層と呼ばれ、水の影響で酸素がないために土壌中の鉄が変化し青色に変わったものです。酸素がないということは、植物が生育できないということです。例外として水稻は葉から根に空気を送る機能を持っているのですが、グライがないほうが生育は良くなります。なので、グライ層が出ると暗渠などの溜まっている水を逃がすための方法を考えます。

排水不良は、たった1回の大雨で根腐れを起こす可能性があります。また、植えて数年たった果樹が突然枯れる場合も地下水水位が原因だったりします。いくら土壌中の養分（化学性）が理想的な状態でも、根が腐れば最悪の場合は枯れてしまいます。化学性以上に重要な診断項目です。

ところで、実際に穴を掘ると予想しないことがたまに起こります。

絶対に信じてもらえないと思いますが、掘った穴の底で川のように結構な勢いで水が流れていることがありました。また、調査用に掘った穴が見る間いっぱい水がたまったので、5 m離れた場所を掘ると全く水が出ないこともありました。

また、掘った穴が大きな花崗岩で、園芸用の移植ゴテ（小型のスコップ）で簡単に薄くはぐこともできました。いくら岩が腐朽すると知っていてもまさか見た目が花崗岩なのに簡単にはげるとはびっくりでした。庭園のような美しい水田地帯では、地元の人との雑談で「昔は湿地帯だったこの場所に、あそこにあった山をくずして田んぼを作った言い伝えがある。」と聞いた後の調査で、下層土が山由来の土でその下から木の杭が多数見つかったこともあります。

何が出てくるかわからないのが断面調査の楽しみですが、世界的には農地に課税するための生産力を知るための断面調査だったと言われていました。

日本では食確保対策として昭和28年から53年にかけて施肥改善調査と地力保全基本調査が全国隅々で苦労して行われ、土壌図と生産性分級図が作られました。生産性分級図とは、その場所で農業生産力を阻害している要因を示した図です。

これらの地図は各都道府県の農業試験場でみることができます。本当に残念なことに当時は5万分の1の地形図が主流で詳細な調査結果を微妙に見づらいうことと、土壌分類が昭和34年から統一されたことで見えなくなった情報があります。現在ではインターネットの「日本土壌インベントリー」で見ることができますが、各都道府県が作成した土壌図からさらに情報が抜けています。古臭い5万分の1の土壌図や当時の調査資料は多くのことを教えてくれます。

### (3) 生物性の診断

人間に共生している微生物の数は、人間の細胞数より多いといわれます。同じく、土壌にも多くの微生物がいて、その数は1 gの中に10億とか100億とか言われます。ヤク〇ト400は80mlに400億個なので1g=1mlとすると5億です。土壌にはヤク〇ト400の2倍微生物が住んでいますが、土壌は食べるとおなかを壊します。土壌を舐めてわかるのは粒子の細かさとお下痢だけです。

先に述べたように土壌中の微生物は、有機物を餌にしたり、空中の窒素を取り込んだりして増えることで、養分を蓄積し、死ぬことで土壌中に養分を放出します。また、微生物が分解した有機物が接着剤となり土壌の微小な粒子をくっつけ団粒構造を形成します。時間はかかりますが微生物が土壌の物理性を改善します。このように土壌にとって生物性は非常に重要ですが、微生物は種類が多く、同一種類の微生物の数も環境の変化で変動しやすいため、診断しにくい項目です。

### 3 土壌分析をお勧めしたい人

#### (1) 土壌があやしい？思い当たらない生育不良に悩んでいる人

農業経営者なら、まずは各都道府県の農業指導機関に相談してみてください。電話番号は都道府県庁の農業関係の課に聞けば最寄りの農業技術の専門家（農業改良普及員）のいる事務所を教えてください。

指導機関に電話で状況を伝えても、土壌分析の話はまず出ません。最初に疑われるのは病気や害虫、薬害、水はけ、気象条件などです。わかりやすい原因から消去するためですが、案外、そっちが原因だったりします。

よくある典型的な症状なら電話だけで解決するのですが、多くの場合は現場での確認が必要になります。症状の広がりかたや圃場の状況、薬害の有無、病害、虫害などを確認し、根の張り具合や土壌の硬さ、乾湿を確認した後に、施肥や土づくりの話を総合し、土壌が怪しいとなって初めて分析になります。

または、急ぐ場合は土壌分析には時間がかかるので、「とりあえずこの肥料を施肥して様子を見てください。」みたいな話になるかもしれません。

土壌分析も、pHやECなどの簡易分析や、ホウ素などの的を絞った分析や総合的な精密分析など必要と思われるもののみが行われます。公的機関なので無料です。なお、原因がわからないこともあります。

#### (2) 自己流の施肥を問答無用で続けている人

めちゃくちゃになっている土壌は、施肥設計がないか、あっても無視されている産地や、人の話を聞かない3年から5年目の就農者に多く見られます。

土壌分析をすれば、当面の改善はできますが、土壌分析結果を反映した施肥設計に修正しないと同じことを繰り返します。

施肥設計は理論に加えて試行錯誤が必要なので1人だと10年かかるのが、10人だと3年でできたりします。グループを作って農業指導機関に相談すれば施肥設計と土壌分析の両方を協力してもらえるかもしれません。

人の話を聞かない就農者は、ほっときます。

#### (3) 土壌分析という言葉に明るい未来を感じている人

農協さんと取引があるなら、無料で分析してもらえることがあります。

有料でもよければ、土壌協会（土壌医の検定試験も行っている）の一般分析がお勧めです。金額は1万円程度で内容からすれば安いように思えます。

#### 4 土壌分析値だけでは、(話にならないほど)役に立たない。施肥量の提案が重要

##### (1) 土壌分析の価値は、~~ふお~~す施肥量と検証にある。

土壌診断の中で化学性の診断である土壌分析が役に立たないことを主張される方は多くおられます。

理由はいくつかありますが、最大の理由は分析値から求めた施肥量を生産者に提案していないため、生産者は何をして良いかわからないことです。

その理由は簡単で、施肥量を求める計算が複雑なため、計算したくてもできないのです。専門家でも電卓で1回計算したら疲れます。また、生産者には非常に重要なことでも、専門家?から見ると施肥量の計算は、複雑ではあるが単純な計算に見え、興味をひかない分野とも言えます。

コンピュータが一般的になったことで、土壌分析値だけの処方箋や2割増、3割減の目安を提案する処方箋の時代は終わり、具体的な肥料名と施肥量を示した処方箋が可能になりました。

しかしながら土壌診断(山口県の土壌診断ソフト「できすぎ君 2020」を含め)には様々な課題があります。

課題が多い中で意見は分かれると思いますが、生産者にとって使いようのない土壌分析値を提供するよりも、施肥量の方が少しは役に立つであろうという(楽観的な)考えから土壌診断ソフト「できすぎ君」は作られています。

これまで「できすぎ君」は使いやすさを第一に改良されてきた結果、ICT(いまコンピュータ使っちゃる)的なハイテク感は味わえますが、効果の検証については今後の課題です。

さらに将来は、光を使ったリアルタイム土壌分析とリモートセンシング(生育診断)を連携させた精密農業に発展し、本書や土壌診断ソフト「できすぎ君」は昔話になるはずです。

##### (2) 施肥量の計算方法 窒素だけでもややこしい。

専門家でも電卓で計算したら疲れる施肥量の計算の一部を、本当に一部だけを紹介します。この説明に耐えられなくなったら、説明の最後にある結論を見てください。

次ページの処方箋の施肥の提案を見ると、慣行では園芸化成 A801 を 100 kg 施肥していたのが、13 kg で良いという計算結果です。

どうしてここまで減らすことができるのか 不思議ですね。

分析項目	参考データ				分析値	基準値	評価
					2009		
pH (ペーハー)					6.2	6.0 ~ 7.0	適切
EC (電気伝導度)mS/cm					0.6	0.3 以下 上限0.5	少し高い(元肥の前)
硝酸態窒素 (mg/100g)					9.5	5.0 以下	やや多い(元肥の前)
					-		

基本 資材	堆肥 施用量	1,000	Kg/10	最後は気合 (注1)	
	鶏糞 施用量	204		コケココローV (注2)	
施肥の 提案	肥料の種類	慣行	新しい施肥量(案)	(マイナスは過剰量)と肥料名	コメント 作土深15 cm 仮比重1 で計算
	りん酸質肥料		-1,560	BM重焼燐(1.0倍率)	
	加里質肥料		331	珪酸加里	
	石灰質肥料		-532	マリンカル5号	
	苦土肥料		-70	Kg/10 マグゴールド	
	速効的な元肥	100	13	a 園芸化成 A801	鶏糞の窒素で元肥窒素を削減 土壌の硝酸態窒素で元肥窒素を削減 (土壌の窒素で元肥を削減する設定です。)

①上の図は、できすぎ君の処方箋の一部です。この分析結果を見ると硝酸態窒素が 9.5 mg/100g あり、基準値は 5 mg 以下です。

基準値の意味は 5 mg 以下なら元肥は施肥設計 (慣行) どおり施肥するという意味です。なので、ここでは施肥の提案の慣行欄にあるように 100 kg の施肥をすることになります。

②土壌中の硝酸態窒素は 9.5 mg/100g あるので、基準値を除いた 4.5mg が余分です。

$$9.5 \text{ mg} - 5 \text{ mg} = 4.5 \text{ mg}/100 \text{ g} = 4.5 \text{ kg}/10 \text{ cm} \quad (5 \text{ mg は基準値です。})$$

③ところが、分析して作付けまでに時間が経過すると窒素は流亡などで減少します。20%が無くなると勘で仮定すると (1~2 か月経過するとほとんどないかも。)

$$4.5 \text{ mg}/100 \text{ g} \times 0.8 = 3.6 \text{ mg}/100 \text{ g}$$

(定植時には 10a あたりの土壌に余分な窒素成分が 3.6 kg ある。)

3.6 mg/100 g は、比重 1 で換算すると面積 10a で作土 10 cm のとき 3.6 kg です。

④作土深が 15 cm のときには、10 cm よりも土壌が多い=窒素も多いので、

$$3.6 \text{ kg} \times 15 \text{ cm}/10 \text{ cm} = 5.4 \text{ kg}/10 \text{ a} \quad (\text{土壌 15 cm 中にある余分な窒素です。})$$

⑤元肥に利用する園芸化成 A801 には窒素が 8% 含まれるので、

元肥として 100 kg/10a 施肥すれば、窒素の成分量として 8 kg/10a 施肥できます。

$$100 \text{ kg}/10\text{a} \times 8 \% / 100 = 8 \text{ kg}/10\text{a} \quad (\text{元肥に含まれる窒素成分量})$$

- ⑥元肥の窒素成分 8 kg/10a から、先に求めた土壌中に余分にある窒素 5.4 kg/10a 分を減らすことが可能です。

$$8 \text{ kg}/10\text{a} - 5.4 \text{ kg}/10\text{a} = 2.6 \text{ kg}/10\text{a}$$

(本当に施肥が必要な窒素量は 2.6 kg です。)

- ⑦窒素成分 2.6 kg/10a は、 $2.6 \text{ kg} / 0.08 = 32.5 \text{ kg}$ なので、園芸化成 A801 (窒素が 8%) に換算すると 32.5 kg/10a 分です。

- ⑧さらに、この処方箋では、元肥窒素の 2 割を鶏糞の窒素で賄うことになっています。園芸化成の元肥量 100 kg/10a のうち 2 割にあたる 20 kg を鶏糞で削減できるのです。なので、先に求めた

$$32.5 \text{ kg}/10\text{a} - 20 \text{ kg}/10\text{a} = 12.5 \text{ kg}/10\text{a} \doteq \mathbf{13 \text{ kg}/10\text{a}}$$

**結論** 土壌中の窒素と鶏糞を使うことで園芸化成 A801 は 13 kg の施肥で良い。ご理解いただけただけでしょうか？ コンピュータ使わないと無理だって！

## 5 計算された施肥量は正しいとは限らない。

### (1) 土壌と肥料の分析方法が異なるという欠陥 (諸説あり)

一般的な施肥量の計算は、診断基準値と土壌分析値を比較し、不足分の肥料成分を施肥します。

ところが、土壌の分析方法と肥料の分析方法が異なるのです。肥料の水溶成分は植物がすぐに利用できますが、塩酸で溶出させる可溶性分となると水に溶けにくいため、長い期間がたてば利用されるでしょうが、生産者が期待する 2 ~ 3 週間以内に植物が利用できる量は余り期待できないかもしれません。

この矛盾をなくすために、一部の養分については、長年の経験とカンで診断基準値を高めを設定したり、係数を掛けたりして対応しています。この対応は仕方がないとしても、経験とカンの検証と反省が行われていないのです。

農業の場合、結果がすぐに出ないし、他の要因の影響も大きく検証はかなり難しいのですが、今流行のビッグデータとして検証と反省を行えば、もっと理論的な施肥や診断ができるかもしれません。

現状の土壌診断は、たとえコンピュータを使っても個人的な経験とカンに頼っている部分が大いいため、農業を生業としている方は、施肥量の計算結果を普及員や営農指導員に相談しながら使うことが重要です。さらに、自信がない場合は、一部圃場で試験的に行うことも重要です。

### 土壌と肥料の分析方法

土壌の分析		肥料の分析		
項目	抽出液	主な肥料の種類	項目	抽出液など
無機態窒素	0.25%硫酸銅液(水)	アンモニア、硝酸態窒素	無機態窒素	水抽出
可給態窒素	4w 35°C保温静置	化成 配合 有機質肥料	窒素全量	酸分解
有効態リン酸	0.002N硫酸	化成 配合 有機質肥料	リン全量	酸分解
		過リン酸石灰	水溶性リン	水抽出
		過リン酸石灰	可溶性リン	クエン酸アンモニウム液
		熔燐、重焼リン	ク溶性リン	クエン酸液
交換性加里	pH7 1N酢安抽出	化成 配合 有機質肥料	カリウム全量	酸分解
		硫酸加里 塩化加里	水溶性カリウム	水抽出
		珪酸加里	ク溶性カリウム	クエン酸液
交換性石灰	pH7 1N酢安抽出		全量	酸分解
		石灰質肥料	アルカリ分	0.5N 塩酸
交換性苦土	pH7 1N酢安抽出		全量	酸分解
		硫酸苦土 化成、配合肥料	水溶性マグネシウム	水抽出
		化成肥料、配合肥料	可溶性マグネシウム	0.5N 塩酸
		水酸化苦土	ク溶性マグネシウム	クエン酸液
珪酸	1w 40°C温水静置法 (酢酸緩衝液) (中性リン酸緩衝液)		全量	酸分解
		珪さいけい酸質肥料	可溶性ケイ素	0.5N 塩酸
			水溶性ケイ素	水抽出
ほう素	熱水抽出	ホウ酸塩肥料	水溶性ホウ素	水抽出
			ク溶性ホウ素	クエン酸液
遊離酸化鉄	還元抽出		全量	酸分解
			水溶性鉄	酸分解
			全量	塩酸分解
交換性マンガン	pH7 1N 酢安抽出	硫酸マンガン	水溶性マグネシウム	水抽出
		炭酸マンガン	可溶性マグネシウム	0.5N 塩酸
			ク溶性マグネシウム	クエン酸液

参考 分析方法が異なる理由は、目的が異なるからです。

①土壌の分析法 植物の吸収量と相関の高い方法

②肥料の分析法 (肥料の効果を示すために法律で決まっている。)

- ・ 水溶性成分 水にとける成分 速効性 P K Si Mg Mn B
- ・ ク溶性成分 クエン酸に溶ける成分 やや緩行的 P K Mg Mn B
- ・ 可溶性成分 うすい酸に溶ける成分 緩行的 P Ca Si Mg Mn
- ・ 全量 含まれる成分のすべての量 重金属

(リン酸 (P) は、水溶性リン酸、ク溶性リン酸、可溶性リン酸の3種類ある。)

(2) 肥料の計算は、肥効の遅速が考慮されない。

上に示したように肥料の分析方法は、植物がすぐに利用可能か、ゆっくりしか利用できないのかの肥効の速さが考慮されていますが、施肥量の計算には肥効の遅速はほとんど考慮されません。

窒素の被覆肥料を除き、肥効の遅い速いは無視され、全て速効的な肥料として計算されています。このため施肥直後は期待する効果が得られにくいかもしれません。反対に計算結果以上に施肥しても、あまり過剰にならない可能性があります。

窒素肥料に限定して肥効の遅速を分類すると、速効性の窒素、有機質由来窒素、CDUやIB化成の窒素、被覆肥料の窒素の4種類です。被覆肥料以外の肥効は1か月程度なので、肥効が人為的に調整できる被覆肥料のみを緩効性肥料として扱っています。

ただし、被覆肥料の中にも30日で80%の窒素が溶出するタイプや一部の有機質肥料は低温下では溶出開始が遅くなるなどの例外には注意が必要です。(パサパサの油粕は、油分が全くないため分解が早い。)

6 施肥量の計算結果の使い方と土壌分析の間隔

先に述べたように土壌診断ソフトの計算どおり施肥しても、土壌と肥料の分析方法が異なるので計算通りにはいかないと思いますが、確実に改善はされます。次に必要なのは「更なる改善が必要なのか？」と「施肥設計が適切か？」です。計算通りの施肥で植物に必要な養分は不足しない。しないはず。しないだろう。たぶんしない。と念仏を唱えながら1年目は処方箋通りに施肥します。(追肥は施肥設計どおり施肥します。)

2年目、3年目は元肥も追肥も施肥設計通りに施肥します。そして3年目が終わったときに再度土壌分析を行います。

2度目の土壌分析の結果、生育も良く微調整で済む程度であれば施肥設計は正しく変える必要はありません。施肥を大幅に行う必要があれば、専門家(農業改良普及員や営農指導員)に相談して原因を検討してもらいます。原因追及に大切なことは施肥設計通りに施肥することです。適当に自己流の施肥を毎年行くと何が原因で何が悪いのか全く分からなくなりドツボにはまります。

もし施肥基準を変更するのであれば、ごく小面積で3年ぐらい同じ施肥基準で栽培して確認します。農業は複雑な条件で成り立っているのです。どんなに良い施肥設計でも天候や病害虫などなどの影響を受けて2~3割に悪い結果が出ます。良い結果も5割程度といわれます。

## 7 物理性は、化学性(土壌分析)以上に、重要

土壌分析（化学性）以上に重要なのが物理性です。

生育が悪いときに最初にすべきはpHやECではなく、スコップで穴を掘り、水分状況や硬さ、土壌の色や根の状況の確認です。

特に水分が多い湿害は要注意です。このような圃場では化学性の診断は役に立ちません。

排水対策は、穴を掘って地下の状況を調査し、湿害の原因となる水の流入を止めるか、過剰な水を逃がすことを考えます。

常時水が溜まる湿害も重要ですが、一度でも栽培期間中に大雨が降って長時間灌水すると、根のダメージが大きくなり、収量を上げることができません。大雨を予想した予防的な排水対策も重要です。

- ① 物理性はスコップで30 cm～40cm掘れば、作土厚、硬さや湿り、礫の多さがわかります。おかしいと思ったら掘ってみることが大事です。
- ② 病気が多発したアスパラガスのハウス  
原因は、作土からグライだった。  
湧水処理の溝を掘り地下水位を下げて、生育は改善しました。



- ③ 梅雨時期に野菜の新設ハウスの内部から水がわき出た。



夏に調査すると作土下は、乾いた砂礫層だが、梅雨時期は地下水の通り道でした。

排水対策で調査すべき事項は、水田でできてしまう「すき床（硬板）」の有無とサブソイラーなどの作業を邪魔する礫（小さくない石）、湧水です。

FOEASのようにサブソイラーを前提とする排水対策は、礫が多いと施工や管理ができないため注意が必要です。

考えるべき事項は、水をどこに逃がすかです。お城の堀か釣り堀みたいな額縁明渠は、水の逃げ場がないことが原因です。

また、排水対策の工事が終了しても1年間は畑にし、土壤にヒビを入れます。

工事終了後すぐに水田にすると、工事中に生じたヒビが代掻き時の微細な泥で埋まり、排水できなくなる場合があります。特にシートパイプは注意が必要です。

参考までに排水対策の種類を表にしました。

排水対策の種類	深さ (cm)	疎水材 の有無	排水口 の有無	礫対応 の可否	対策の目的	営農 or 工事
<b>作土の排水</b>						
畦たて		×	×	○	作土内の排水	営農
明渠（排水溝）	～20	×	△	○	作土内の排水	営農
額縁明渠（承水溝）	～30	×	○※	○	明渠水の集水と排水	営農・工事
※機能していない例が多い。						
<b>不透水層の破壊</b>						
浅いサブソイラー	～20	×	×	○	すき床破壊	営農
サブソイラー	～40	×	×	×	硬盤（心土）破壊	営農
緑肥栽培（セスバニアなど）	～80	×	×	○	すき床、硬盤破壊	営農
<b>簡易暗渠（排水管なし）</b>						
弾丸暗きよ	～40	×(○)	×	×	水の横方向への誘導	営農
スポット暗渠	～40	○	×	○	水の縦方向への誘導	工事・営農
<b>管暗渠（排水管あり）</b>						
シートパイプ（浅層暗渠）	～40	×	○	×	集水と排水	工事
FOEAS	～60	○	○	×	集水、排水と地下灌漑	工事
本暗きよ	～80	○	○	○	集水と排水	工事
<b>強制排水</b>						
小規模ブロック排水	～150	×	○	○	ポンプ排水	工事・営農
<b>湧水処理</b>						
承水路（捕水暗渠）	～100	○	○	○	湧水・排水処理	工事・営農

## 8 施肥量の計算と施肥設計は、似ているようで違う。

「土壌分析よりも、土壌分析値から施肥量を計算することが重要」と言っても、土壌分析さえすれば、すべてうまく行くと考える人が多いので、支持されません。

このこと以上に理解してもらおうのが難しいのは、「施肥量の計算と施肥設計の違い」です。

「それでは計算しませう」という詩があります。作者は盛岡高等農林学校で土壌学を学び、農家の相談にもものっていた宮沢賢治です。土壌診断を生き生きと活写して、読むたびに とってもいいです。

この詩には、化学的な土壌分析などは出てきませんが、それを補うための様々な情報をリズムカルに聞き取っていくのです。

そして最後にこう聞きます。

これで苗代もすみ まづ ご一服して下さい  
そのうち勘定しますから

さてと今年はどういふ稲を植えますか  
この種子は何年前の原種ですか  
肥料はそこで反当いくらかけますか

安全に八分目の収穫を望みますかそれともまたは  
三十年に一度のやうな悪天候の来たときは  
藁だけとるといふ覚悟で大やましをかけて見ますか

生きることの迫力を感じるのは私だけでしょうか？ 施肥設計には人間の欲望が入っていることを見事に射抜いています。

土壌分析からの施肥計算は、土壌診断基準値になるように各種肥料の施肥量を計算するだけです。全く欲望とは無関係なので機械的に計算できます。電卓ではなく計算にコンピュータを利用しているのが土壌診断ソフトの「できすぎ君」です。

「できすぎ君」は施肥設計ができません。ただし、施肥分量が決まっていれば、任意の肥料の施肥量を計算できます。

以前ナスの産地の施肥設計をしました。平均収量が4 tなので、5 tを基準とした施肥設計を作って説明したところ、生産者からなぜ6 tの設計をしないのかと言われ、結局6 tの設計に変更しました。目標を高く掲げるのも大事ですが、この時に初めて施肥設計のあやしい感じに触れたような気がします。

## 9 土壌分析の基本的な考え方

### (1) 畑などは、長い目(10年単位)で見れば、肥料は絶対に必要

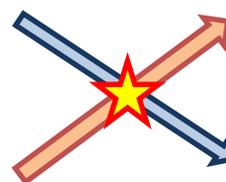
自然状態では、土壌中の養分の供給に見合った消費(=植物の生育)が行われるため、肥料がなくとも生育可能です。当然得られる収量は少なく、播種量とほぼ同じか、わずかに多い程度です。肥料を使っていたローマ時代の収量でも播種量の2倍程度らしいです。現在の水稻では、200~300倍です。

ローマ時代的な収量で満足しても、土壌養分の消費が供給を上回るために、徐々に土壌は養分欠乏になります。施肥をしなくても生育するのは、土壌中の貯金を利用しているためです。貯金を使い切れれば、**確実に破産します**。

なお、水田だけは隣の田の肥料が用水に溶けて流れ込めば、念願の無肥料栽培も可能です。

### (2) 1回の分析では養分が増加?減少?一定?の傾向がわからない。

分析の評価には施肥の記録が不可欠

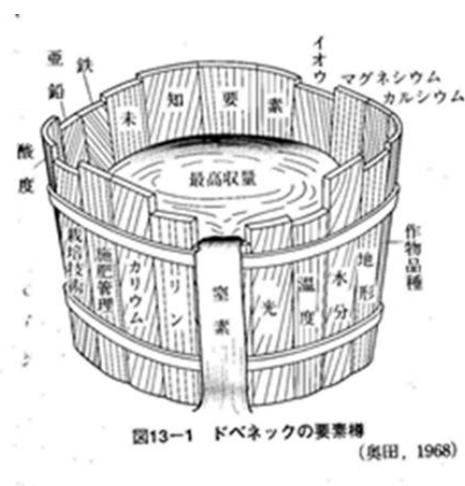


### (3) ドベネックの樽

収量は、もっとも不足する要素で決まることを樽の中の水で表しています。

右図では、窒素の板が低いため水が溜まらず、多くあるカリウムやリンは役に立たない無駄です。

実際には、養分が過剰にあると生育が悪くなったり、病虫害の発生が増えたりろくなことはありません。



また、土壌分析結果をもとに理論的に正しい施肥を行っても、収量が向上する圃場は50%、変わらない圃場が30%、減る圃場が20%とかいわれます。

これは、化学性の改善よりも収量に影響を与えるほかの要因(病気の多発など)があったためです。このように農業では土壌の診断基準値(化学性)だけでなく、排水、保水性(物理性)や栽培方法、栽培環境や品種など総合的

に考える必要があります。特に水田転換畑や地下水が集まる地形では、排水対策が超重要です。

#### (4) 土壌炭素と窒素 (CN) の分析結果から様々なことがわかります。

CN比といえば、堆肥の腐熟度を思い浮かべる人は多いと思います。50もあれば堆肥は未熟で土壌中の窒素がとられるとか、20ぐらいなので完熟堆肥だとか・・・堆肥の品質の簡易な目安になると教科書には書かれています。現実的にはこのようなわかりやすい堆肥は少なく20ぐらいであってもアンモニア臭がたっぷりする未熟な堆肥だったりします。堆肥の腐熟の判定はかなり難しいものです。

土壌にもCN比があって、検討すべき部分はあるものの結構参考になります。

炭素の量は土の色とも関係があります。土の色が何色かの答えは地域性があります。関東などの火山灰土壌では黒系、瀬戸内などの花崗岩地帯では茶系でしょう。このような差は腐植と鉄が原因で腐植の量が多いと黒っぽくなり、鉄の量が多いと赤くなります。

腐植は微生物が作ったものなので燃やすことができます。燃やすと本来の土壌を覆っていた黒い腐植がなくなるので、素焼きの植木鉢の色ようになります。(赤みの強さは、鉄の量によります。)

腐植は暗色無定形の高分子化合物というものなので、量を直接測定できません。そこで腐植は、炭素の1.742倍という約束を作りました。

また、炭素と窒素はともに微生物が関与するので一定の割合があります。

ということは炭素と窒素を測定することで、その量と割合で微生物が作り出した地力という土壌の性格がわかります。

- ① 一般的な土壌のC/N(CN比)は、10～12
- ② CN比が15以上は、火山灰土壌の可能性が高い。
  - ・火山灰はアルミが多く、微生物が炭素を利用しにくいので、炭素は(腐植)は集積する。また、窒素は揮散や流亡するためCN比が高くなる。
  - ・火山灰は腐植が高く炭素を多く持ちますが微生物は利用できません。このため火山灰土は、腐植が高い場合でも、たい肥が必要になります。
- ③ C/Nが10を下回ると、有機質肥料のように窒素を放出します。
- ④ 火山灰以外の土壌は、腐植が高いと窒素を放出する。
  - ・一般の土壌で腐植8% (炭素4.6%)以上になると、夏には窒素を多量に放出する。窒素は硝酸に変わりpHを下げ、生産者は石灰を施用するので、塩基のバランスが崩れます。

⑤ 腐植が高くなるたいていの原因は、たい肥の過剰施用

- ・たい肥のやり過ぎは、粗孔隙が増えて指が軽く突っ込めるほど柔らかい土壌になるが、毛管がなくなるために地下から水分が供給されずに土壌が乾燥しやすくなる。また、たい肥は保水性が強いため加湿になりやすい。＝乾燥した部分と加湿部分が極端にわかれます。
- ・堆肥を過剰に施用しやすい施設栽培などでは、N（窒素）も過剰になりやすく、制御不能になり窒素だらけになることがあります。

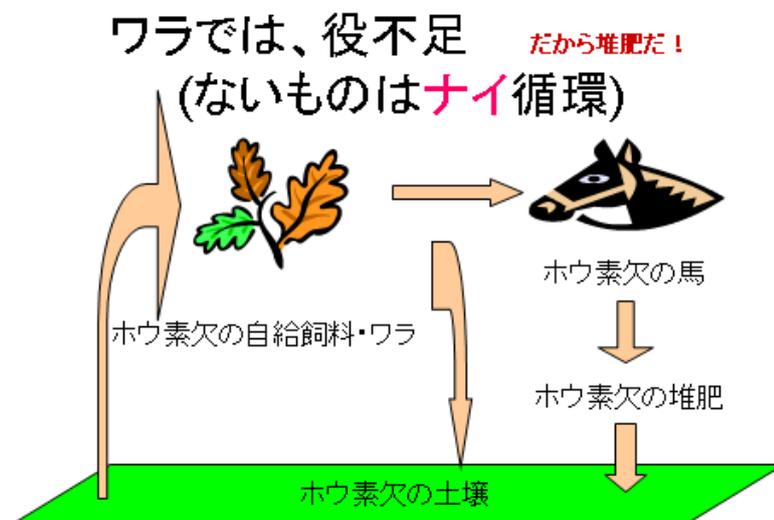
(5) 有機物の施用がいつも役立つとは限らない。

① 有機物は湿害を増大させる。

- ・有機物は土壌に施用されると微生物により分解されます。簡単に言うと腐るわけです。この時に酸素を利用します。普通は土壌の個体部分は多くても半分なので残りの半分は空間です。この空間に空気と水が存在しますが、湿害だと水が多く空気が少ない状態になります。この状態で有機物を施用すると少ない酸素を利用して有機物が腐るために、根腐れが起きます。このため、湿害の恐れがあるところでは有機物の施用はできません。

② 無いものはナイ循環

- ・湿害とは無縁の畑に有機物を施用すると土づくりになるかと言えば、ならない場合があります。下図のようにホウ素欠乏の土壌から生産される有機物はホウ素が欠乏しているので、この有機物を利用した堆肥もホウ素が欠乏するので、永久にホウ素欠乏は改善しません。実際は輸入飼料での堆肥生産が多いので堆肥ではこのような問題は発生しませんが、緑肥の場合は注意が必要です。



## 1.0 土壌分析値は、目安です。

分析値が診断基準値より少しぐらい違っていても大丈夫です。

### 理由1 植物は生きているので、自分で調整する。

植物は、土壌養分が少ない場合でも根張りが良ければ、養分を十分に吸収します。逆に、土壌養分が多くても排水が悪く根が傷めば、欠乏症が発生します。

特殊な例では、牧草の硝酸過剰の原因をしらべたところ、作土層が 50 cm ! 以外は（よく耕したものです。）すべて正常値だったことがあります。

欠乏症が発生した場合は、pHや土壌の養分量だけではなく、作土厚や硬さ、根の張り方、湿害、病気、害虫、気象など広〜く考えましょう。

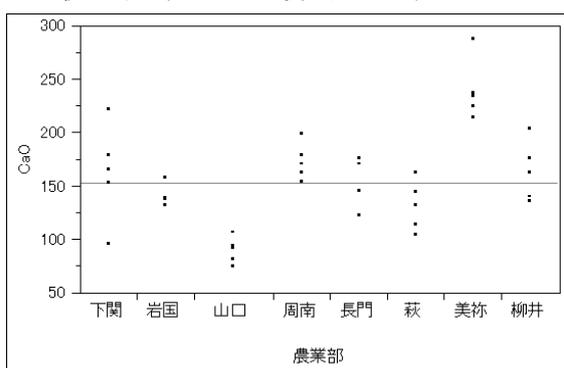
### 理由2 土壌は、けっこう不均一

土壌には養分の偏りがあります。下図の1枚の圃場内での石灰の分布をみると50 mg程度のばらつきはあるようです。土壌分析は一般に1か所100 g程度の土壌を5か所から採り混合して分析します。分析値は5か所の平均値です。

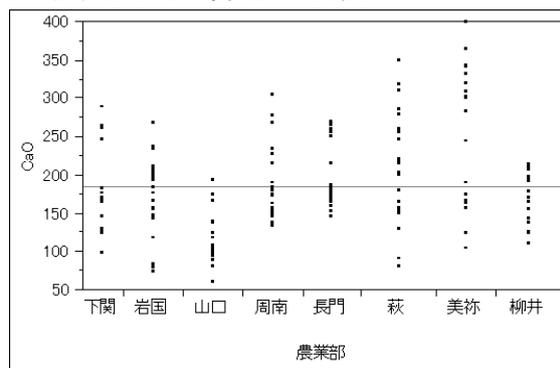
分析値が出ると工業製品のように均一な値を持った印象になりますが、不均一な平均値です。植物の調整能力と合わせて考えるとあまり厳密に考える必要はないと思います。できすぎ君の値はあくまでも目安です。

できすぎ君の施肥量が2.2 kg/10aであっても、一袋(20 kg)で良いということです。

1枚の圃場内での分布 石灰



法人内での分布 石灰

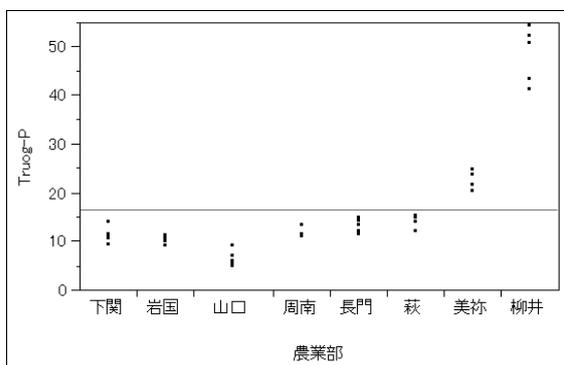


### リン酸が不足している圃場もある。

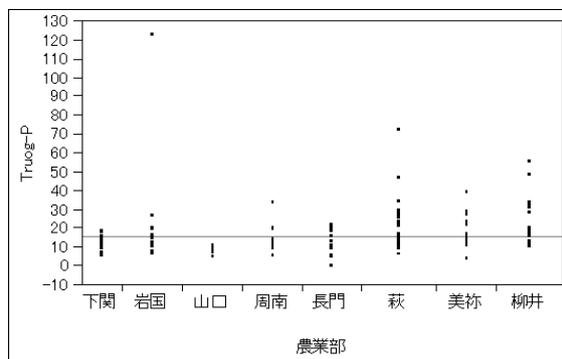
リン酸は、過剰施肥の代表として施肥削減のターゲットにあげられます。

下図に示したようにリン酸は一枚の圃場内では、値はあまりばらつきませんが、法人内のばらつきは結構大きいことがわかります。圃場によってはリン酸も施肥が必要です。

1枚の圃場内での分布 リン酸



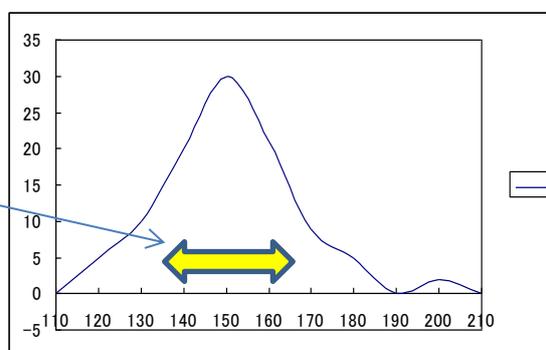
法人内での分布 リン酸



理由3 分析値には誤差がある。(分析の正解値は一つではない。)

①正しい分析値にも幅(誤差)がある。

正しい分析値の範囲  
(X軸が分析値、Y軸がその分析値を出した人の数)



同一サンプルを数多く分析すると右図のような分布を示します。この中で、分析値が140、150、160は、データの68%が所属する多数派なのでどの値も正しい分析値として扱います。統計的に68%に所属しない少数派の分析値120や200は、誤った分析値と考えます。

②同一試料でも分析の環境、分析者によって分析値はバラツク

共通試料分析結果

番号	pH(H <sub>2</sub> O)	EC	石灰(CaO) mg/100g	苦土(MgO) mg/100g	カリ(K <sub>2</sub> O) mg/100g	CEC m.e./100g	りん酸 mg/100g
1	5.7	0.14	219	36	26	13	29
2	5.7	0.14	193	33	28	14	
3	5.6	0.13	185	32	28	14	
4	5.7	0.11	194	34	28	14	
5	5.8	0.12	215	37	30	13	28
6	5.7	0.18	202	35	29	15	
7	5.9	0.11	242	40	30		38
8	5.6	0.13	219	35	30	15	
9	5.8	0.13	249	38	27	13	
10	5.5	0.14	213	36	30	15	
11	5.7	0.11	218	35	32	15	
12	5.6	0.13	215	36	31	14	
平均	5.7	0.13	214	36	29	14	32
偏差	0.1	0.02	19	2	2	1	6

山口県の農業部における共通資料の分析結果例

## 1.1 土壌の分析方法は重要

土壌の分析方法は、一つではありません。たくさんあります。これは、植物が吸収できる養分量をより正確に、または、より簡単に測定したいという結果、様々なものが生み出されました。例えば、可給態(有効態)リン酸の分析は抽出液だけで10種類以上あります。抽出液が異なれば分析値が異なるので診断基準値も異なります。

これでは比較できないので、国が定めた標準的な分析方法である「モニタリング調査のための土壌、作物体、水質分析法」を常法として、国や県の試験場は従っています。

標準的なこの分析法と全く異なる方法や推定値では、「できすぎ君」では利用できません。

### (1) 主な土壌分析機関の分析方法

山口県の分析方法は国や都道府県の常法（土壌機能モニタリング調査のための土壌、水質及び植物体分析法）に近いので、データや診断基準値を参考にすることができる。

分析機関	常法	山口県	全農分析センター	A	B
pH	1対2.5水	1対2.5水		1対5水	推定値
EC	1対5水	1対5水			推定値
腐植	燃焼法	燃焼法 チューリン	熊田SPAD法	燃焼法	
塩基(石灰など)	ショーレンベルガー	ショーレンベルガー	振とう法	振とう法	振とう法
	PH7 1N酢安抽出 8g/100cc	PH7 1N酢安抽出 8g/100cc	PH7 1N酢安抽出 2.5g/25cc × 2回	0.05M酢安抽出+SrCL 1g/200cc	1M-NaCL 1g/20cc
CEC	10%NaCL	10%NaCL	10%NaCL	10%NaCL	推定値
燐酸	トルオーグ法	トルオーグ法	トルオーグ法	トルオーグ法	1M-NaCL 1g/20cc
リン酸吸収係数	リン酸アンモン 24時間	リン酸アンモン 24時間	リン酸アンモン 30分	リン酸アンモン	
硝酸態窒素	1M-KCL	水抽出	塩化ナトリウム+酢酸ナトリウム抽出	1M-KCL	1M-NaCL 1g/20cc
アンモニア態窒素		10%-KCL			
珪酸	湛水静置法	湛水静置法	中性リン酸緩衝液法(PB法)		
遊離酸化鉄鉄	浅見熊田法 長時間振とう	浅見熊田法 加熱	浅見熊田法 短時間振とう		
可給態鉄					
銅	0.1N-HCL			酢安抽出	
亜鉛	0.1N-HCL				
可給態マンガン	酢安抽出				
ほう素	熱水抽出	熱水抽出		熱水抽出	
アルミ					1M-NaCL 1g/20cc
硫酸		水抽出			
塩素					

## (2) 迷走する珪酸の分析方法

### ① 土壌中の珪酸の主な分析方法は4種類

- A：酢酸緩衝液法（以前の分析法）
- B：湛水静置法（現在の分析法）
- C：リン酸緩衝液抽出法
- D：中性リン酸緩衝液抽出法（PB法 全農）

### ② 珪酸の評価基準は3種類

- A：葉身の珪酸濃度（10%以上）
- B：稲の吸収量(茎葉+穂)（100 kg/10a）
- C：土壌中の珪酸含量（15 mg/100 g（酢酸緩衝液法））

葉身ケイ酸含有率 (%)	花の退化率 (%)	収量 (kg/10a)	精米中の蛋白含有率 (%)
9.7	22.3	606.0	6.3
10.8	19.0	617.0	6.1
11.4	16.8	656.0	6.0
山形農試			

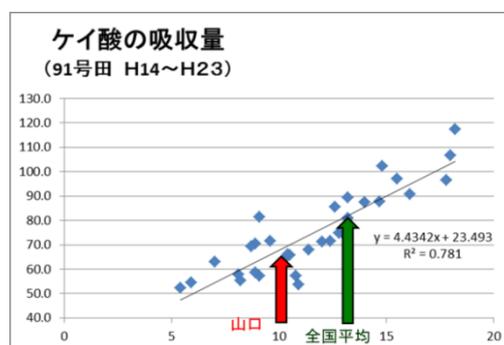
### ③ 葉身の珪酸濃度と 稲の珪酸の吸収量の関係

- ア) A葉身の珪酸濃度から吸収量を求める。  
（籾の珪酸含量は山口農試のデータ）
- イ) ワラ 600 kg/10a もみ 600 kg/10a のときに、葉身の珪酸含量が10%、
- ウ) 籾の珪酸含量が5%としたときの珪酸の吸収量は 90 kg/10a になる。  
 $600 \text{ kg} \times 10\% = 60 \text{ kg}$   
 $600 \text{ kg} \times 5\% = 30 \text{ kg}$  合計で 90 kgの吸収量
- エ) 回収できなかったワラや吸収量の変動を考えると、A葉身の珪酸・濃度 10%以上とB稲の吸収量 100 kg/10a は、ほぼ同じである。

### ④ 湛水静置法と稲の珪酸の吸収量（山口農試）

山口農試の珪酸と水稻の珪酸の吸収量のグラフから 100 kg吸収させるには、湛水静置法で土壌中に 18 mg 以上必要になる。

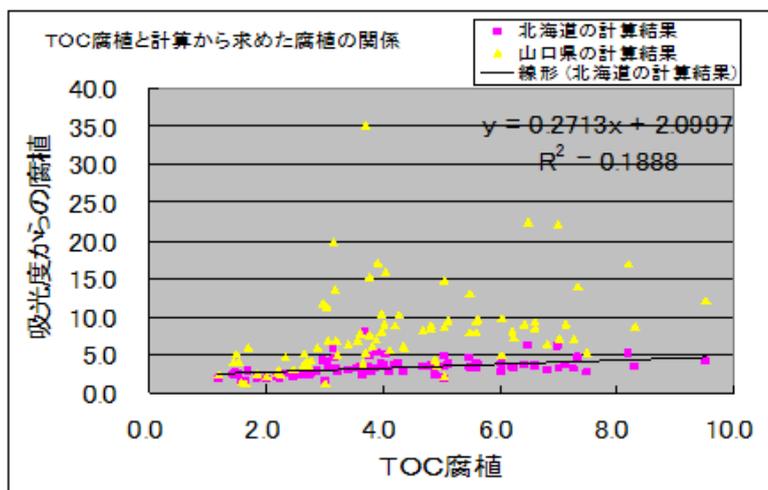
できすぎ君では、診断基準値は 18 mgとし、珪酸肥料は湛水状態で溶けにくいので不足量を3倍して施肥量としています。



### (3) 簡易分析のワナ

簡易分析の方法は簡単ですが、多くの場合はそのぶん精度は落ちる。

腐植の燃焼法（常法）と簡易法による分析結果の違い



簡易法(熊田 SPAD 法)は、計算式によって結果が異なる。

特に過去に利用していた山口県の計算式の結果(黄色)では誤差が大きいため、あまり参考にならない。

### (4) 分析方法は重要だという少し恐ろしい例！ 汚泥肥料の重金属の分析値

一部の生産者が好んで使っている汚泥肥料は、下水処理場などで水処理に用いた微生物を集めたもので、即効性の(硫安と同程度の)窒素の肥効を持つ有機質が主体の肥料です。

肥料は、硫安などの成分が決まった普通肥料と成分が曖昧な堆肥などの特殊肥料に分けられます。しかし、この中で汚泥肥料だけが特殊肥料から普通肥料に格上げされました。これは優秀な肥料だからではなく、下水処理場には様々なものが流れてくるため、重金属が含まれることを考慮した結果です。

肥料の分析方法は土壌の分析と異なり、肥料取締法で決められているため非常に厳格です。交通違反と同様に知らなかったでは許されません。

肥料取締法による汚泥の重金属の分析方法は、いずれ汚泥が土壌中で分解すると、汚泥中のすべての重金属が土壌中に出てくる可能性があるため、全量(含有量)分析です。当然、基準値を超えれば肥料として販売できません。

汚泥肥料の生産業者は、基準を守るように製品管理が義務です。

ところが別に、産業廃棄物である汚泥の埋め立ての可否を検討するための重金属の分析方法があります。(金属などを含む産業廃棄物に係る判定基準(昭和四十八年二月十七日総理府令))

この分析方法は溶出試験(水抽出)なので、重金属をたらふく含む特殊な条件下でない限り未検出です。(未検出であって「ない」とは言っていません。)

ややこしいので、例としての架空の数字でまとめると、肥料取締法の全量分析で 10 mg/kg なら、どうあがいても 10 mg/kg です。しかし総理府令の水抽出分析で、0 mg/kg の汚泥肥料は、肥料取締法の全量分析では結果が変わる可能性があります。総理府令（水抽出）の分析でカドミウムは 0 mg/kg と説明され、安心してはカモネギ状態です。

汚泥肥料を使う場合は、必ず肥料取締法の分析結果と植害試験の結果をメーカーからいただきましょう。

なお、肥料取締法の重金属の基準は濃度です。牛糞堆肥などを用いて重金属の濃度を薄めると、重金属の基準を満たし販売できます。

重金属が含まれる汚泥肥料は、多量に施用すれば、その分重金属が蓄積し、いつしか土壌汚染になります。

もし、農地が重金属で汚染されてしまった場合、汚泥肥料に最初から重金属が多かった場合（業者の責任）と、汚泥肥料の施用量が多かった場合（生産者の責任）が考えられ、責任の所在がはっきりしない可能性があります。

汚泥肥料を利用する生産者は、おでい肥料に含まれる重金属の全量から施用量を決める必要があります。水での溶出量は論外です。
---

## 1.2 生土容積法を正確に行うと大変です。

土壌の分析方法は、一般的には重さで行います。結果も重さあたりで表示されます。仮比重を使えば容積当たりで結果を表示することも可能です。

ところが一部の方は生土容積法が正しく、一般的に行われる重さと仮比重をはかる方法を否定される方がいます。

生土容積法は容積（体積）として土壌を採取することですが、分析ごとに体積のわかった土壌を用意しなければならないので、分析項目が増えるとサンプリング数は増えます。

一般的には、土壌養分のばらつきから同一圃場から5か所サンプリングします。1か所100gから200gとして合計500gから1kgの土壌が得られます。この土壌をよくまぜ、100g～200gを分析に利用します。

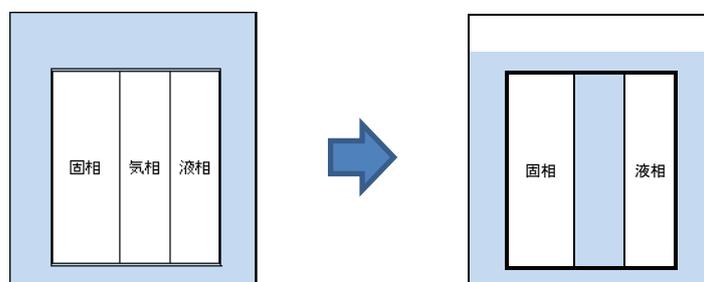
生土容積法の場合は、注射器を改良した筒で体積をはかるため、非常に少ない量の土壌しか得られません。このため、土壌養分のばらつきへの対応が課題になります。これらのことから生土容積法は簡易分析法の一つです。

なお、圃場からのサンプリングは体積で、分析には土を重さではかって行う方法を容積法と称していたりしますが、これは名称を変えているだけで、仮比重をはかる従来法とやっていることは同じです。

また、下図の容器と水を用いた生土容積法は、土塊の気相の部分に水が入らなければ、正確に体積を図ることができますが、実際には土壌の気相部分にも水が入り込むため、この方法では土壌の体積を正確には求められません。

一般的に土壌の固体（固相）部分は30～50%です。これ以外が気体（気相）と液体（液相）です。気相と液相は乾燥により変化するので、一定の湿り（ $pF 1.5$ ）で測定します。気相は土壌の体積の30～40%を占めます。

下図の生土容積法では、土壌の乾燥状況で気相部分は大きく変化するので、測定者の生土容積の願望がこもった簡易法です。



1.3 分析結果を容積あたりで示すメリットは大きい。

(1) 仮比重の測定が生土容積法より優れる。

仮比重とは土壌の密度のことです。実際には、容積（体積）のわかった空き缶の蓋を両方除き、缶の枠だけを土壌に差し込みます。スコップで回りの土壌ごと掘り出し、元の缶の形に整形した後で、缶の中の土を新聞紙に広げ乾燥させ重さを測定します。この土の重さを缶の容積で割ったものが仮比重です。

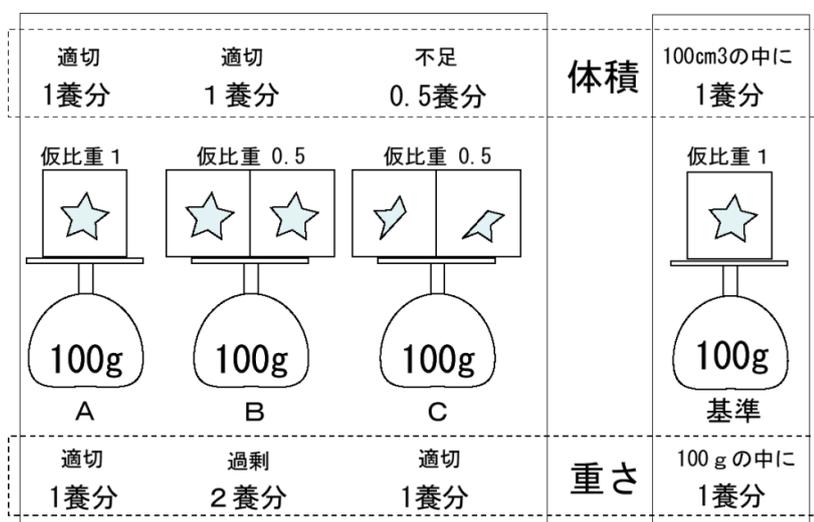
仮比重さえわかれば、土の容積＝土の重量÷仮比重という関係があるので、簡単に重量当たりの分析結果を容積当たりの分析結果に変換できます。

(2) 分析結果の重量あたりと容積あたりでは、過不足の判定が異なる。

下の図は、仮比重が1と0.5を例に土壌分析値を重量あたりと容積あたりで表した時の過不足の判定です。

わかりやすいように、A、B、Cと基準の土壌の重さは全て100g、Aと基準の仮比重は1、BとCの仮比重は0.5で示しています。仮比重が0.5は仮比重1と比べ重さが半分なので、同じ重さならば、2倍の容積になります。

容積あたりで示すか、重さあたりで示すかによって、過剰、適切、不足の判断が異なることがわかります。ということは、土壌分析から導き出す施肥分量（肥料の施肥量）も異なってしまいます。



(3) 仮比重が異なれば、診断基準値の一部（石灰、苦土、加里）も変わる。

仮比重が1から離れるほど、土壌の保肥力（塩基置換容量（CEC））が変わります。石灰、苦土、加里の診断基準値の算出には分析した土壌の保肥力を用いるために、石灰、苦土、加里の診断基準値は仮比重の影響を受けます。

## 1.4 簡易分析（pH、EC）だけでも、意外に役に立つ

土壌ギョーカイでは、pHとかECなどの分析を簡易分析、石灰やCECなどなど・・・までの分析を精密分析とかフル分析とか、言ったりします。

施肥量を計算しようと思えば、ある程度のフル分析が必要です。しかし、簡易分析でも意外なほど様々なことがわかります。

かなり前に、施肥削減を目的に産地で調査したことがあります。関係者や多くの人が多肥を信仰する産地に苦戦していました。ある日偶然にもその産地で篤農家と言われている方と話げできました。

「就農したてのときに、生育状況を記録して、1週間に1度農協に行ってpHとECを測定した。3年続けてわかったことがある。知りたいかッ！」

またまた 多肥信仰のすすめか〜 と思いながらうなずくと

「大事なことはECを上げないことだ。(多肥しないこと)」

いやあ〜びっくりしました。多肥撲滅運動が正しいと思えた瞬間でした。

ここからは想像ですが、この生産者が篤農家と評されるのは、3年間の生育の記録とpH、ECの測定があつたに違いないと思っています。

だから、簡易分析は非常に重要で馬鹿にできません。

近くの農協や県の農業指導組織にpHメーターやECメーターがあれば、さらに分析技術の発展で硝酸態窒素と硫酸イオンや塩素イオンも簡単に測定できるのでチャレンジしてみてください。これらはECより重要です。

ECは土壌の状態を示す脈拍のようなものです。昔は硝酸態窒素を簡単に測定できなかったので、代替としてECを利用していました。昔の話です。

分析方法は、ネットで山口県の「土壌診断マニュアル改訂版2」を検索！

注意！ pHやECメーターは信頼性から20万円以上の機器が望ましく、メンテナンスも必要なので個人で買わない方が良いでしょう。比較的価格の安いカード型の硝酸（窒素の形態の一つ）イオンメータは、結構信頼できるらしく施設や野菜畑などであれば、利用価値が高く買いです。

測定結果を利用するときの考え方が理解できる！・・・かもしれない表が次のページです。

農業改良普及員1年生の研修で基準値以外は空欄にしたこの表使って、対策を考えさせるのですが、様々な意見が出てきます。

表は、私の考えですでに空欄を埋めていますが、別の考え方があっても良いと思います。あなたはどうか考えますか？

### 演習 簡易分析の処方箋の作り方

◇基肥の窒素成分量は25kg/10a ◇堆肥は牛糞バーク堆肥とします。 ◇土壌は普通土で火山灰土ではありません。 ◇硫酸イオンや塩素イオンは、比濁法です。

作物名	キュウリ(基準値)	キュウリ	キュウリ	キュウリ	キュウリ	水田
栽培地	施設	施設	施設	施設	施設	露地
pH	5.5~6.5	5.0	7.5	5.2	7.5	7.2
EC	0.3~0.7	0.1 mS/cm	0.2	1.5	1.2	0.1
硝酸態窒素	5mg以下 基肥基準どおり	2 mg/100g	2	2	40	—
腐植	3~4%	2%	2	4	9	1
硫酸イオン *	+ 良く読める	+ 良く読める	+ 良く読める	+++++見えない	+ 良く読める	+ 良く読める
塩素イオン *	+ 良く読める	+ 良く読める	+ 良く読める	+ 良く読める	+ 良く読める	+ 良く読める
パターン	適正	低pH 低EC	高pH 低EC	低pH 高EC	高pH 高EC	高pH 低EC
石灰について	100kg/10a 炭酸苦土石灰を施肥する。	100kgから200kg石灰を散布する	石灰、苦土は散布しない。	硫酸イオンがpHを下けている。石灰、苦土は散布しない。硫酸根を少なくしながらpHの推移を見て判断する。	石灰、苦土は散布しない。	石灰、苦土は散布しない。
窒素肥料について	硝酸態窒素が少ないので、基肥は基準どおり施肥する。	硝酸態窒素が少ないので、基肥は基準どおり施肥する。	硝酸態窒素が少ないので、基肥は基準どおり施肥する。	硝酸態窒素が少ないので、基肥は基準どおり施肥する。	基肥の窒素肥料は施用しない。追肥は生育を見て行う。場合によっては追肥もいない。	水田なので(ECも低く)、基肥は基準どおり施肥する。
堆肥について	2t施用する。	2t施用する。	2t施用する。	1~2t施用する。	腐植の量から堆肥の過剰施用により窒素が多量に発生している可能性があるため、堆肥は施用しない。	水田なので、0.5~1t施肥する。ただし、排水不良田への施用は土壌が酸素不足になりやすいので状況に合わせて削減または無施用
その他	なし	pHを基準まで修正し、基準の施肥を行う。	石灰や苦土などが入ったアルカリ資材に注意	肥料の副成分である硫酸根が多量に残留 硫酸を含まないノンストレス肥料などに使用肥料を見直す。	アンモニアによるガス障害の可能性あり。換気に注意	ミネラルやケイカルもアルカリ資材なので注意する。(参考 ECや塩素イオンが多い場合は塩害の可能性あり)

#### 1 5 精密分析といっても、窒素、加里、石灰、苦土、リン酸、CECが重要

植物が必要な養分は17元素(人間は20元素)です。この内、酸素、水素、炭素は空気から得られるので14元素が不足する可能性があります。

この中で、窒素、カリ、カルシウム、マグネシウム、リン、硫黄は多量とか中量要素と言われある程度必要です。その他に微量元素と言われるホウ素、鉄、銅、亜鉛、マンガン、塩素、モリブデン、ニッケルです。

水稻の珪酸、窒素固定する植物のコバルトなど一部の植物だけに必要な養分も少しあります。

通常 of 施肥に關係する養分は、多量、中量要素である窒素、カリ、カルシウム、マグネシウム、リンです。硫黄は欠乏が最近話題になりますが、火山国なので硫黄は多量にあり通常は発生しないと言われていゝます。(硫酸や肥料名にSのつゝいた肥料には硫黄が入っています。)

微量元素は、知らない間に堆肥や水、風で供給されるため、たまに欠乏するホウ素などを除き施肥はあまり重視されません。これら微量元素は過剰になるとテキメンに生育を阻害することもあり施肥には注意が必要です。また、微量元素欠乏が発生しても、絶対量の不足よりも土壌pHの異常や根痛みなどの他の理由が主因だったりします。

養分とは異なりますが、土壌の養分をため込む能力CEC(塩基置換容量)も重要な分析項目です。小さな財布にお金を押し込むと壊れてしまうため、土壌の財布の大きさに施肥を合わせる必要があります。

一発逆転的なきらびやかなイメージの微量元素よりも地味なCEC(塩基置換容量)が土壌分析のかなめです。かなめであるからこそ推定のCEC(塩基置換容量)よりも実測のCEC(塩基置換容量)にこだわりたいものですと、土壌が言っていました。

#### 1 7 分析値以外に必要な 診断基準と施肥設計

施肥量を計算するには、土壌分析値とともに診断基準値が必要になります。診断基準値は分析方法で異なるので注意が必要です。

国や県は分析方法がほぼ同じなので、診断基準値もお互いに利用可能ですが、地域(天候)や品種、栽培方法によって必要な量が変わる可能性があるため、使ってみながらの修正は必要です。

また、施肥設計がないと拠り所がないので場当たりの改善しかできません。施肥設計がない場合は本やネット等の施肥設計を参考にします。残念なことにほとんどが分量の施肥設計で使いたい肥料の施肥量ではないはずで、分量からお好きな肥料を使った施肥設計への換算は、土壌診断ソフト「できすぎ君」の「施肥設計」を使うと簡単にできます。

## II pHから生まれる深〜い話

### 1 生育に思いっきり影響するpH

① pHが5前後になると裸麦だけでなく、小麦も生育不良になる。



② ジャガイモができない。(萩農業部提供)

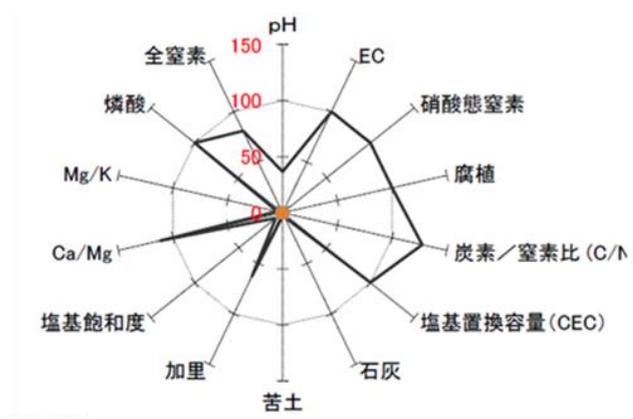


pH 6.1



pH 4.0

### 2 低pHには、それなりの原因がある。

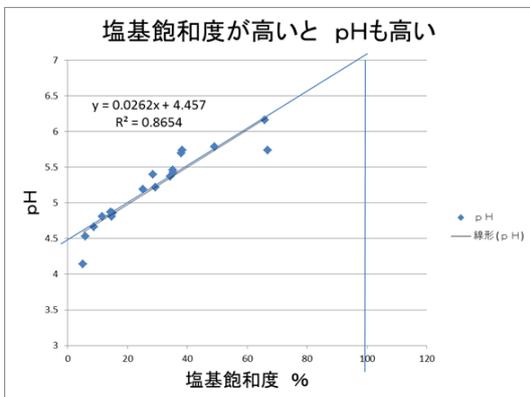


塩基が欠乏し、なにもできなくなった畑の土壤

低pHの原因は、塩基の欠乏以外に窒素の多量施用の影響も大きい。

### 3 pHは石灰で上がり、窒素（EC）で下がる。

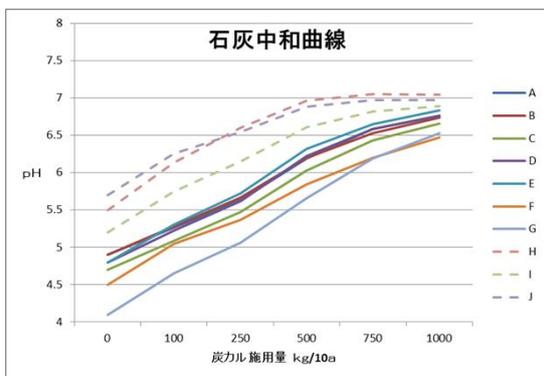
(1) 塩基飽和度が高いと pH も高い。



塩基飽和度が 100% で pH 7?

土壌によって異なります。

(2) 中和石灰曲線（モデル試験）から pH を推定する。



中和石灰曲線は、実験室内で実際にタンカルを土壌に施用して、pH の変化を調べ曲線で表示したものです。

この土壌では、石灰(タンカル)を過剰に施用しても、pH は 7 以上にならないこともわかります。(炭カルの場合は、最高でも pH 8 程度です。)

石灰と同様に苦土も pH を上げます。苦土石灰の場合は若干 pH への注意が必要です。

(3) 塩基飽和度と中和石灰曲線から求めた石灰量の差は、  
大きくても 2 割程度です。

塩基飽和度 CEC100% から求めた炭カル（石灰量）の量と  
中和石灰量（中和石灰曲線で pH7）から求めた炭カル の量

氏名	pH	EC	CEC 塩基置換容量	塩基飽和度(4成分)	CECから求めた炭カル の量	中和石灰量から求めた炭カル 量	差	差の割合%
A	4.86	0.08	24.2	15.6	1023	1038	-15	-1
B	4.87	0.08	25.4	14.9	1082	1118	-36	-3
C	4.66	0.08	26.7	8.8	1216	1154	62	5
D	4.81	0.09	24.4	14.9	1041	1038	3	0
E	4.81	0.09	27.3	11.9	1205	992	213	18
F	4.53	0.08	40.1	6.1	1884	1541	343	18
G	4.14	0.11	26.0	5.2	1234	1324	-90	-7
H	5.46	0.04	19.7	35.2	637	519	118	19
I	5.22	0.06	28.3	29.5	998	779	219	22
J	5.74	0.01	33.9	67.3	554	611	-57	-10

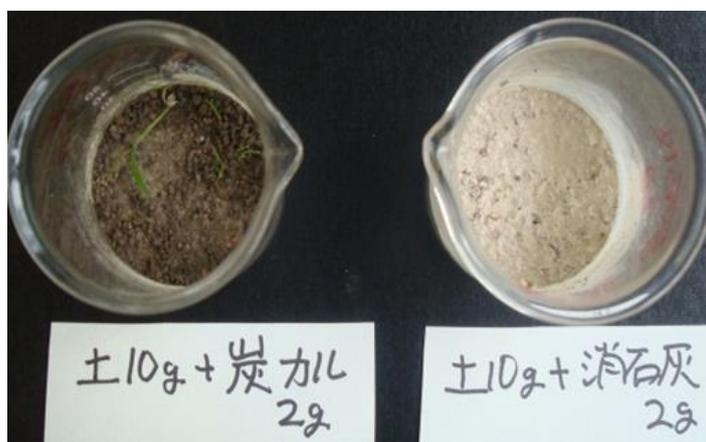
石灰の施用量は、ここに示した中和石灰曲線で求める方法以外にも、アレニウス表から炭酸カルシウムの施用量の目安を知ることができますが、アレニウスの表には土性と腐植量の前提条件があることと、一般論なので、あなたの圃場に有効かはわかりません。

(4) 石灰肥料の種類で、ものすごく異なる。

石灰肥料にも種類があり、生石灰、消石灰、炭酸石灰の3つです。

炭カルを圃場に2トン散布！ どうなる？ **草が はえました！**

炭酸カルシウム（炭酸石灰）と消石灰（水酸化カルシウム）を土10gに2g施用しました。10aの圃場（作土厚10cm）に換算すると20t入っています。



写真からはわかりにくいのですが、炭酸カルシウムの方は指で穴を掘ることができますが、消石灰はラスクのように固くなり不可能です。（生石灰（酸化石灰）はコンクリートの原料なので試験は遠慮しました。）

おまけに炭カルには、草まで生えました。というのも肥料の炭酸カルシウムは（秋吉台などのカルスト地形で見られる）石（石灰岩）を砕いただけなので、いくら施肥しても固くならないのです。

というわけで、最新版のできすぎ君では、石灰資材の施用量の警告は、生石灰と消石灰で表示されますが、炭カル等では表示されません。

**注意 1** 山口県の有数の観光地角島は、海が青白く輝く絶景地ですが、灯台周りの畑には塩酸をかけると泡が出るほど貝殻（炭酸カルシ

ウム) が含まれていて pH は 8 を示します。ここまで高いと微量元素の不足になるので、炭酸カルシウムといえども無計画な多量施用はおすすめしません。

**注意 2** 炭酸カルシウムを施肥して草が生えるのだから、石灰肥料 (炭酸カルシウム) を散布してすぐに種まきや定植して良いのか？

植物に悪い影響は与えないのですが、土壌の中和には時間がかかります。例えば、根こぶ病を防ぐために土壌 pH を上げたいのであれば、散布して間を開けたほうが良いです。では、どの程度かと言われれば?? です。一部の含鉄資材は半年かかるようです。

くせもの土壌代表 酸性硫酸塩土壌ってなに？

大昔に海や湖沼に有機物が流れこみ、酸素がない状態で鉄と硫黄が化合し黄鉄鉱  $FeS_2$  などに变化したものを含む土壌。

空気に触れない干拓地の下層土やその後の隆起で山や台地の下層にあたりする。山口県では丘陵地帯にある旧宇部有料道路の法面に現われている。

この土壌は曲者で、酸性硫酸塩土壌は掘り出しても最初はまともな pH を示すが、空気にさらされると鉄と化合していた硫黄 S が数か月で硫酸に変化する。これにより pH が 3.5 以下に低下し、植物が生育できなくなる。

土壌の色はグライのように青っぽいのが、少し変わった印象を受けることが多い。新鮮な土塊を割って破断面の硫黄臭や腐卵臭 (硫化水素臭) でわかるときもあるが、無臭の場合もある。数か月たって生育が悪くなり pH が低い場合は酸性硫酸塩土壌を疑ってみたほうが良いかもしれない。

#### 4 ECってなんだ？

EC は、硝酸態窒素の量とされている方が多いですが、硝酸イオン以外にも塩素イオンや硫酸イオンなどのイオンの影響を受けます。

最近経験した事例は、高設栽培の土壌で EC が 3 前後ありました。土壌中に硫酸や塩素イオンはなく硝酸態窒素が高いのですが、硝酸態窒素だけでここまで EC が高いとは不思議でした。さらに調べてみると堆肥由来の水溶性加里が出てきました。水溶性加里もイオンになり電気を流すので EC を高めます。一般的な堆肥ではこのような経験がないので、たぶんこの堆肥は戻し堆肥といわれる乾燥と敷料を繰り返した堆肥だと思います。

戻し堆肥は、養分量が多いので普通の堆肥よりありがたいものの、育苗や鉢物、高設の培土など堆肥を多めに使うときには注意が必要です。戻し堆肥の表示の義務はないため、袋の成分表示が普通の堆肥より高い場合には施用量を 2t/10a（土の量の 2%）以下が良いかもしれません。

この例が示すように物質がなんであれ水溶液中にイオンが増えて電気が流れさえすれば EC は高くなります。EC は電気の流れやすさを示しているだけです。

私と EC の付き合いは長く、30 年以上前に農業改良普及員になりたてのころ、カーネーション団地を担当しました。その団地は EC が 2 から 3 と高いので、定植後のカーネーションがごっそり枯れていました。また、窒素減らすとかえって生育不良になりお手上げ状態でした。塩素も疑われたのですが、分析しても塩素は検出されず不思議でした。唯一、石灰の量がめちゃくちゃ多いにもかかわらず pH は普通なのが引っかかりました。

そこで、土壌を 3 層にわけ灌水後の EC の変化を追ったところ水の動きと EC の動きが同じであることと（今から考えればあまりに当然すぎますが藁にもすがる思いでやっていました。）、培土を入れ替えてもすぐに EC が高くなることから栽培中に液肥として利用する硫酸カリに含まれる硫酸が怪しいと予想しました。硫酸イオンが原因なら石灰が多くても pH が高くないことの説明もできます。そこで EC 測定後の水をろ過して塩化バリウム溶液を少し加えたところ、見事に硫酸バリウムの白濁が見られました。

カーネーションは加里の吸収量が多く硫酸イオンのみが土壌に残されたと考え、対策として硫酸加里の利用はやめてもらい、代わりに当時は食品用しかなかった高価な炭酸カリウムを肥料として無理に利用してもらったところ EC は驚くほど急激に下がりました。

その後、私は青年海外協力隊でアフリカに行きその帰りにオランダのカーネーションの種苗メーカーを見に行きました。

そこで硫酸カリの液肥のタンクを発見！大規模に利用されていたことに驚きました。担当者から「EC に影響する使い方はしない。」ようなことを言われ技術の差を感じました。また、食堂が明るくきれいなものにも驚かされました。

あれから 30 年以上たち、オランダのトマトの収量は日本の 6 から 7 倍にのび、日本のコメの収量はアメリカの半分近くまでさがりました。灼熱のアフリカの貧しい国のマリーゴールドがところどころに植えてある人参畑の横のガス屋のおじさんに農業技術者が一番難しい職業だと言われたのを思い出します。

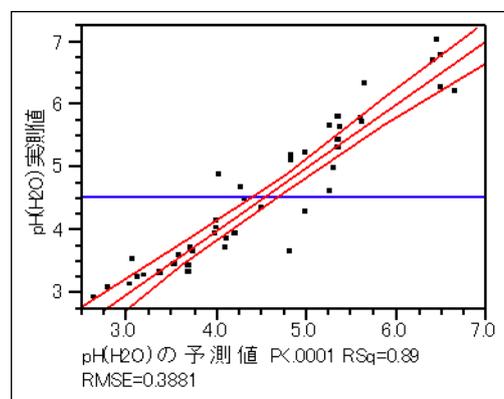
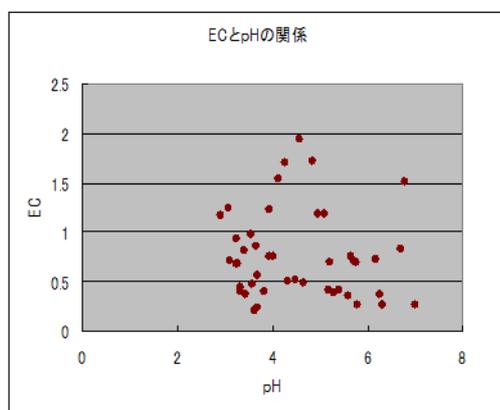
## 5 ECは、pHを下げる。

(1) 土壌分析結果をこねくり回すと、pHは式で示せる。

$$pH = 0.02 \times \text{塩基飽和度} - 1.18 \times EC + 2.64 \quad (\text{重相関係数は } 0.89)$$

(下関農林のアスパラ土壌の分析結果から)

下左図では EC と pH の直接の関係は見られないが、塩基飽和度を式に組み込むと右図のように、式からの予測値と実測値は一部を除きよくあっていることがわかります。



同じようなことをハウレンソウなどのデータから pH を求める式を求め、EC が 0.6 のときに塩基飽和度はいくらにすれば良いかを計算したのが以下の表です。EC が 0.6 は決して高くないよく見る値ですが、少なくとも塩基飽和度を 100 以上にしないと・・・アスパラでは 180 でも足りないことになります。

これは推定であって確かめたわけではないので真実はわかりませんが、少なくとも EC は pH に影響を与えることは確かです。(EC が硝酸態窒素 (硝酸)、塩素イオン (塩酸)、硫酸イオン (硫酸) であることを考えれば当然のことです。)

EC が 0.6 のとき、塩基飽和度ごとの推定 pH

塩基飽和度	ハウレンソウ		花卉		水田		樹園地		アスパラガス	
	pH	EC	pH	EC	pH	EC	pH	EC	pH	EC
50	5.1	0.6	4.7	0.6	4.0	0.6	3.6	0.6	2.9	0.6
80	5.7	0.6	5.3	0.6	4.6	0.6	4.2	0.6	3.5	0.6
90	5.9	0.6	5.5	0.6	4.8	0.6	4.4	0.6	3.7	0.6
100	6.1	0.6	5.7	0.6	5.0	0.6	4.6	0.6	3.9	0.6
120	6.5	0.6	6.1	0.6	5.4	0.6	5.0	0.6	4.3	0.6
150	7.1	0.6	6.7	0.6	6.0	0.6	5.6	0.6	4.9	0.6
180	7.7	0.6	7.3	0.6	6.6	0.6	6.2	0.6	5.5	0.6

アブラナ科野菜に感染する根こぶ病は酸性の土壌で活動が活発になります。実際にアブラナ科の露地野菜において、施肥基準通りの石灰散布が行われたにもかかわらず、硝酸態窒素の施肥が原因でECが上昇し一時的にpHが下がり根こぶ病に感染して全量廃棄された例がありました。

最近ではpHの低い例が多いため、できすぎ君のVer12の診断基準値から、CECが低い場合の塩基飽和度をアブラナ科野菜だけでなくぐ〜っと上げています。

## (2) さらに踏み込むと・・・CECが推定できる。

塩基飽和度は、石灰、苦土、加里の量とCECから計算される。

・・・ということは、

まず最初に下記の式により塩基飽和度をpHとECから推定します。

$$pH = A \times \text{塩基飽和度} - B \times EC + C \quad (A、B、Cは定数)$$

式を変形して

$$\text{推定塩基飽和度} = (pH + B \times EC - C) \div A$$

(この式は、塩基飽和度は、pHとECから推定できるということを示していますが、係数であるA、B、Cが変われば、結果も変わるので推定できるのは似たような土壌に限定されることも意味しています。)

塩基飽和度は下記の式で求めることができるので、石灰、苦土、加里の測定値と推定された塩基飽和度があれば、塩基置換容量CECを計算で求めることが可能です。

$$\text{塩基飽和度} = [(石灰/28.04 + 苦土/20.15 + 加里/47.1) \div CEC] \times 100$$

上の式を応用すると

$$\text{推定CEC} = [(石灰/28.04 + 苦土/20.15 + 加里/47.1) \div \text{推定塩基飽和度}] \times 100$$

上の式を変形したものが下の式のように見えますが、上の式は塩基飽和度を定義する式で、下の式は推定値から推定している式なので、式の意味がまったく違います。逆は真ではない例です。

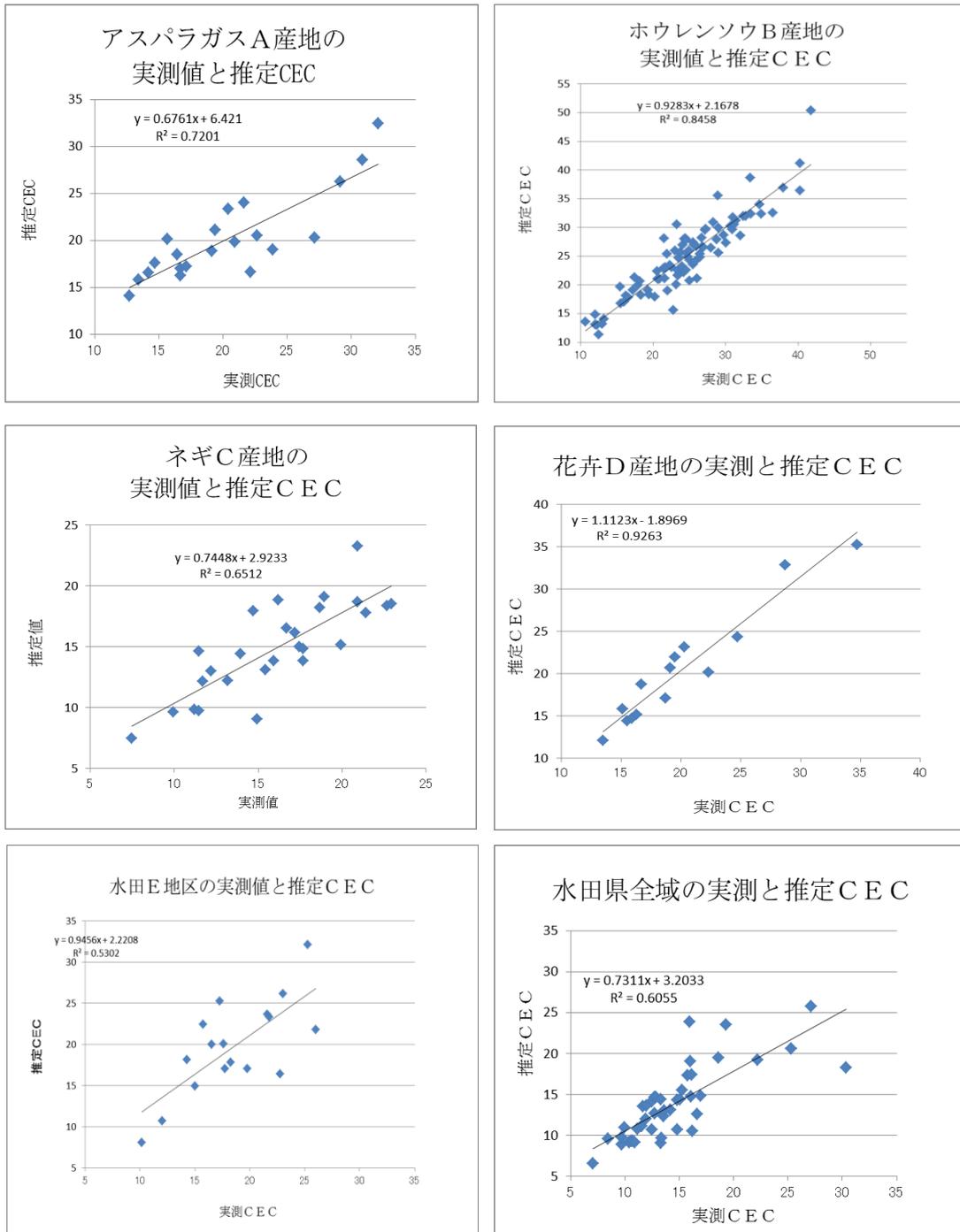
## 6 大事なCEC（塩基置換容量）は推定しない！

### (1) 世の中甘くない。

計算による推定で塩基置換容量CECが求められると大変楽ですが、甘くはありません。

推定された値は、実測値と異なり誤差があるのです。

どの程度実測と推定が異なるかを示したのが下図です。



(2) どの程度の誤差かわからないから、CECは測定がおすすめ。

実測値と推定値の差を数字で見ると下表のようになります。

確かめ用と予測用データがあるのは、合計 43 データあるアスパラガスの分析データを半分に分け、22 データから予測用の式を作り、残りの 21 データを使って本当に推定できるかの確認を行ったということです。

確かめ用の表を見ると、アスパラガスの標準偏差が 3 なので、正解プラスマイナス 3 以内の可能性が 64%、これよりも外れる可能性が 36%あるということです。

実測値と推定値の最大の差は、標準偏差の 2 倍以上と結構外れています。

このような外れ値を許容できる推定（例えば観客動員数など）なら良いのですが、土壌診断の場合は、塩基置換容量は施肥の要なので外れた値の生産者にとっては許容できないでしょう。

施肥設計を行う場合、計算の基礎となる塩基置換容量（CEC）は特に重要です。推定ではなく実測されることをおすすめします。

実測値と推定値の差					
相関		標準偏差	最大の差	データ	
係数				数	
R <sup>2</sup>					
アスパラガス	A 産地	0.8	3.0	6.9	21
ホウレンソウ	B 産地	0.8	2.7	8.5	94
ネギ	C 産地	0.7	2.7	5.9	27
花卉	D 産地	0.9	2.0	4.1	14
果樹園	県全域	0.5	5.7	11.2	11
水田	県全域	0.6	3.1	12.1	43
水田	E 地区	0.5	4.2	11.2	17

(確かめ用データを利用)

塩基飽和度の推定式の係数						
重相関		pHの	ECの係	定数	デー	
係数R		係数	数		タ数	
		2				
アスパラガス	A 産地	0.9	40.1	59.1	-104.1	22
ホウレンソウ	B 産地	0.8	35.9	40.9	-133.9	95
ネギ	C 産地	0.8	51.5	48.5	-141.5	28
花卉	D 産地	0.9	37.6	33.6	-148.0	16
果樹園	県全域	0.8	32.2	137.8	-119.4	11
水田	県全域	0.8	28.5	90.3	-99.0	43
水田	E 地区	0.6	33.9	32.9	-94.3	18

(予測用データを利用)