



全面マルチ栽培は雨水の浸透が少なく、肥料養分の溶脱は裸地に比べて少ない。にもかかわらず、裸地と同様の施肥が行われている……

自分の畑は自分で診断する

これなら分かる「土と肥料」の実践講座

第6回

土のはたらき

塩基の交換とバランス

過剰な肥料成分は畑に“成人病”をもたらしている

“飽食の時代”といわれる現代は、食べものばかりではなく、すべての消費財がまたにあふれ、いまや“物余り現象”の病状を起こしている。もちろん、ものを工夫して使うというような知恵は、ほとんどなくなつてしまった。

事情は、農業も全く同じ。電話一本で肥料が届くのである。よい時代になったものである。しかし、こうした便利さを享受できるようになって、逆に失つてしまったものもたいへん多いのである。

戦中戦後の物資不足の時代、私たちの先輩たちは、肥料の使い方一つとつてみて、ものを上手に使いこなす技術を持っていた。当時の肥料の使い方は、いまの私たちにいいヒントを与えてくれる。同時に、先輩たちの田畑に対する愛着や姿勢は、大いに見習うべきものがあるようだ。

私の土壌学の恩師、故横井利直先生が



農業技術コンサルタント
「プリティーローズ」

主幹 関 祐二

1953年静岡県生まれ。東京農業大学において実際に即した土壌学にふれる。75年より農業を営む。営農を続ける中で、実際の現場に、いかに土壌・肥料の知識が普及していないかを知る。現場の実際に即した農業技術を民間からも普及する必要性を痛感し、84年から土壌・肥料を中心とした農業コンサルタントを始める。
〒421-03静岡県榛原郡吉田町川尻3046-16
☎0548 (32) 2758 FAX 0548 (32) 9229

戦後間もないころ、和歌山県のミカン園を視察に行ったときのことである。一人の農民が海のヒトデを砕いて、ミカンの樹に与えていた。それを見た先生は、「そんなものを与えても、ちつとも肥料効果なんかないんだよ」と説明したそうである。すると、その農民から、「そんなこと分かっているんだ。しかし、長年我われ一家を養ってくれたミカンの樹に対して、いま肥料がないからといって手をこまねいているわけにはいかないんだ」という言葉が返ってきたという。

横井先生は、二の句が告げられなかったという。農業をする人の作物や土に対する愛情のスゴさを目の当たりに教えられたのである。その農民の姿は、どんな凶作に見舞われても、翌年には再び始まる米づくりのために、種モミを背に飢え死んでいったという、かつての老農の姿を、かいま見る思いがした、と横井先生

は語ってくれたものだ。

「物資過飽和」の弊害は、ものを工夫して使うという知恵や、作物や土に対する愛情を後退させてしまったという、情緒的な問題だけではすまない。過飽和それ自体が、重大な“成人病”をひき起こしているのである。

ただ手に入るから、欲しがるから買つて与えるという、現代の子育てにも似た風潮は、こと畑への肥料のやり方にも及んでいる。

肥料が簡単に手に入り、しかも机上の技術指導から一歩も進歩しない施肥基準をそのままのみにした肥料くれが行われる結果、現在の畑は、過剰な肥料成分であふれている。過剰な肥料成分は、作物の生長を助けるのではなく、逆に作物の栄養生理障害をひき起こすという、皮肉な結果を全国各地につくっているのだ。

いま一度、私たちは物資欠乏時代の先輩たちの知恵と価値観を学びなおす必要があるのではないだろうか。

あらためて土の保肥とは

前回は、土が肥料を保つ保肥のメカニズムについて述べた。

肥料の無機成分Ⅱ塩基、具体的にはアンモニウムイオン (NH_4^+)、カルシウムイオン (Ca^{2+})、マグネシウムイオン (Mg^{2+})、ナトリウムイオン (Na^+)、鉄イオン (Fe^{2+})、マンガンイオン (Mn^{2+}) などのイオンの形のもので、土の非常に小さい粒子Ⅱ土のコロイドに静電氣的に吸着される現象を、保肥と呼んだ。

それは、土のコロイドがマイナスの電気を帯びているために起こること。そして、この土の保肥力は、元肥等で与えら

図1 トンプソンとスペンスの実験

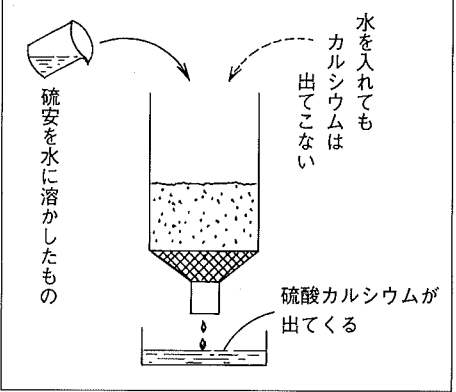


図2 硫酸を水に溶かしたときのイオンの解離

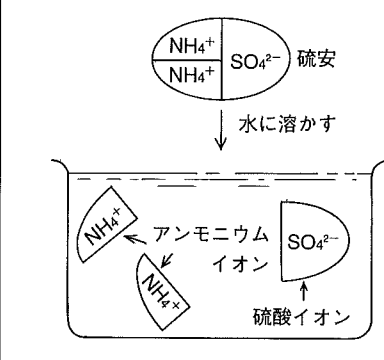
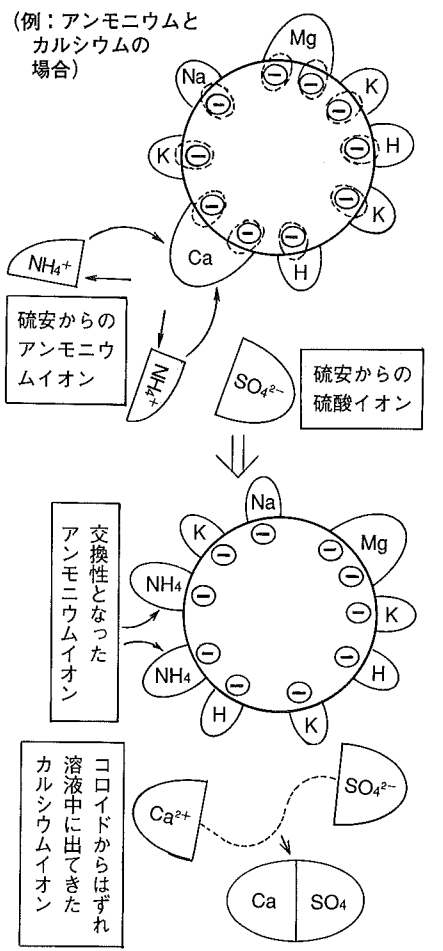


図3 土の陽イオン交換の仕組み



れた肥料成分が一度に溶け出して塩類濃度が必要以上に上がる危険を防ぎ、徐々に作物の根に吸収させていくという、すばらしい「自動制御」をやつてのけていること。さらに、土が保肥する力、正確には塩基を保持する力の大きさを塩基交換容量（CEC）と呼ぶこと、などを学んできた。

塩基交換現象は 農業者によって発見された トンプソンの実験

土のコロイドは塩基を保持するだけでなく、いったん保持した塩基を違った種類の塩基と交換するというのはたつきも持っている。このはたらきを塩基の交換と呼んでいる。

この塩基交換反応の発見は古く、一八五〇年にさかのぼる。日本では嘉永年間、黒船来航に端を発する幕末動乱の時代が真近に迫っていたころのことだ。イギリスはヨークシャー州のトンプソンという富農が、友人のスペンスという薬剤師と二人で、ある実験をしていた。

図1のような器具を用いて、土を詰め、上から硫酸を溶かした水を注ぐという実験である。すると、下の容器には硫酸は出てこず、硫酸カルシウムが出てきた。彼らは、この実験の結果を当時イギリスの最高の研究機関であった王立農学会に伝え、さらに詳細な実験を行ってもらったが、結果は、同じであった。

ところが、この時代に世界最高の科学者と目されていたドイツのリービヒは、この事実を認めなかったという。現代の私たちは、詳しい仕組みこそ知らなくとも、「イオン交換樹脂」の言葉を耳にするように、この土の塩基交換現象を素直に受け入れることができるが、近代化学が産声を上げたばかりのこの時代では、第一線の学者といえども、この土のはたらきを容認することはできなかったのである。

人間の思考は、経験の延長線上以外には立ちえないということか。注意しなくてはいけない、と思う。

ともかく、学者ではなく農業者によって発見された土の塩基交換現象も、その

後数十年という時間をへて、ようやく世の中に認められていく。つまり、土の陰荷電物質（粘土鉱物と腐植）とそれはたつきが、学者のあいだでも研究されるようになったのである。

イオンの交換現象

アンモニウムイオンが

カルシウムイオンを追い出す

塩基交換の仕組みを、トンプソンの行った実験にそって説明していこう。

硫酸Ⅱ硫酸アンモニウム (NH₄)₂SO₄ を水に溶かすと、アンモニウムイオン (NH₄⁺) と硫酸イオン (SO₄²⁻) に解離する (図2)。

この液を土に注ぐと、土の溶液中で高濃度になったアンモニウムイオンは、コロイドに吸着されていたカルシウムイオンを追い出し、そこに代わって入り込むのだ。

この結果、アンモニウムイオンは土のコロイドに吸着された、つまり交換性となり、カルシウムイオンはコロイドからはずれて溶液中に出てしまい、水溶性と

なった。この水溶性のカルシウムイオンは、同じ溶液中にただよっている硫酸イオンと容易に結びつき、硫酸カルシウムというものになる。下の容器に流れ落ちた液の中に硫酸カルシウムが含まれるわけは、土の中でこれらの反応が起こったからである (図3)。

土にこの塩基交換のはたらきがあるからこそ、作物は根から土壤溶液中に酸を出し、コロイドに吸着されている塩基と交換放出させ、それを吸収しているのである。土は、保肥するだけでなく、交換によって塩基を放出するので、作物に無機養分を円滑に供給することができるのである。

この交換現象は、土の酸性化、アルカリ化にも直接関係している。そして、この塩基交換は、濃度条件が同じなら、各塩基間の交換侵入力は次のようになっている。



水素イオンは塩基ではないが、強い侵入力を持っている。これが、土の酸性化のメカニズムなのである。

塩基飽和度

無機成分の溶脱（酸性化）や集積（アルカリ化）を知る手がかり

塩基の交換現象を理解したところで、話を次に進めよう。

土のコロイドには、水素イオンとさまざまな交換性塩基が吸着されているが、その状態は何でもくつついていればよいというものではなく、あるバランスを必要としている。

具体的に説明していこう。まず、このバランスを理解するために、分かりやすく塩基飽和度ということから考えてみよう。

塩基飽和度とは、言葉が示すとおり、土のコロイドがどのくらいの塩基で飽和されているかを示すものである。つまり、土のコロイドは塩基以外にも水素イオンも吸着しているの、水素イオンも含めた全交換容量に占める塩基の割合を百分率で表したものが、塩基飽和度というのである。

図4で見てみよう。

図4の場合、全交換容量は10である。これに占める塩基は5で、水素イオンも5であるから、10分の5、つまり50%の塩基飽和度ということになる（計算式①参照）。

【計算式①】

$$5 / 10 \times 100 = 50\%$$

$$\text{塩基飽和度 (\%)} = \frac{\text{交換性塩基 (カルシウム、マグネシウム、カリ)}}{\text{塩基交換容量 (CEC)}} \times 100$$

図4 塩基飽和度50%の土のコロイド

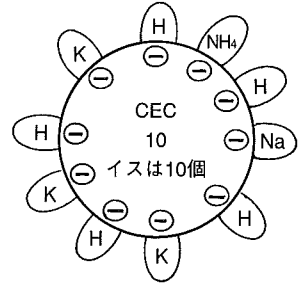
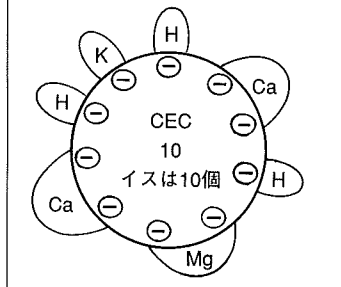


図5 塩基飽和度70%の土のコロイド



この塩基飽和度は、土のpHと深い関係にあり、土の酸性化やアルカリ化、つまり無機成分の溶脱や集積の状態を知り、うえで重要である。

塩基バランスを知る

次に、全交換容量に占める交換性のカルシウムや、交換性マグネシウム、交換性カリのそれぞれの飽和度を知ることが大事だ。これらは、塩基飽和度と同じように、石灰飽和度、苦土飽和度、加里飽和度として百分率で表す。

図5のコロイドのような塩基吸着の状態は、石灰飽和度は4/10×100=40%、加里飽和度は2/10×100=20%、加里飽和度は1/10×100=10%ということになる。先に述べた塩基飽和度はこの三つの合計です。40%+20%+10%=70%ということになる（計算式②参照）。

【計算式②】

$$\text{石灰飽和度 (\%)} = \frac{\text{交換性石灰}}{\text{全交換容量 (CEC)}} \times 100$$

$$\text{苦土飽和度 (\%)} = \frac{\text{交換性苦土}}{\text{全交換容量 (CEC)}} \times 100$$

$$\text{加里飽和度 (\%)} = \frac{\text{交換性加里}}{\text{全交換容量 (CEC)}} \times 100$$

おり、交換性塩基はmg/100gで表されている。つまり、全く単位が違うのである。したがって、これでは計算できないので、mgをmeに換算する方法を述べよう。

この換算法については全く理屈抜きに理解してほしい。あえて説明するならば、mgという重量をmeという（吸着保持できる）イオンの数に換える方法と、理解するといだらう（換算式参照）。

【換算式】

交換性石灰は.....mgを28で割る
 交換性苦土は.....mgを20で割る
 交換性加里は.....mgを47で割る
 交換性ナトリウムは.....mgを31で割る
 (交換性ナトリウムは、分析表にた場合)

以上の換算式から、土のコロイドに吸着している塩基の状態を知ることができるのである。

実際に、前回第5号の表1(30ページ)で紹介した茨城県の高松求さんの畑の土壌分析結果から、交換性塩基の飽和度を計算してみたのが、表1である。

この石灰飽和度○○%、苦土飽和度○○%、加里飽和度○○%の三つで表される塩基の状態を、塩基バランスという。この塩基バランスは、ある程度、作物ごとにどのくらいの数値が適正か研究され

○○飽和度などという言葉だけを聞くとなじりそうに感じるものだが、この計算式を見ても分かるように、決して難しいものではないと思う。ただし、分析表を見ると、CECは単位がme/100gとなっており、交換性塩基はmg/100gで表されている。つまり、全く単位が違うのである。したがって、これでは計算できないので、mgをmeに換算する方法を述べよう。

表1 塩基飽和度の算出の仕方 (土壌分析例=茨城県 高松 求さんの火山灰土圃場)

CEC	交換性塩基		
	石灰	苦土	加里
24.8 me/100g	28.4 mg/100g	29.5 mg/100g	61.1 mg/100g
	÷28 =10.2 me/100g	÷20 =1.5 me/100g	÷47 =1.3 me/100g
	↓	↓	↓
塩基飽和度 =41.1+6.0+5.2 ←	石灰飽和度は $\frac{10.2}{24.8} \times 100$ =41.1%	苦土飽和度は $\frac{1.5}{24.8} \times 100$ =6.0%	カリ飽和度は $\frac{1.3}{24.8} \times 100$ =5.2%

表2 野菜畑の適正值

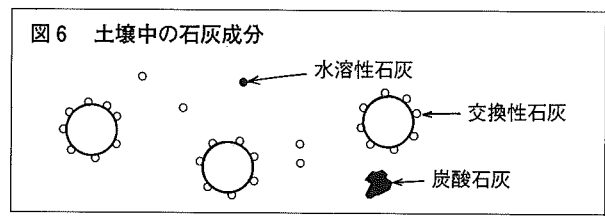
CEC (me/100g)	塩基飽和度 (%)	飽和度 (%)		
		石灰	苦土	加里
10以下	170~100	150~80	◇ 16	◇ 6
10~20	100~80	80~60	◇ 16	◇ 6
20以上	80~75	60~50	◇ 16	◇ 6

注) 塩基飽和度、石灰飽和度については、~前が容量小、~後が容量大の場合の該当値

この表で、塩基飽和度や石灰飽和度が一〇〇%を超えるものがあり、読者からは疑問が生じると思うので、これについて説明しておこう。

これは、石灰の土中における形態に、その理由がある。

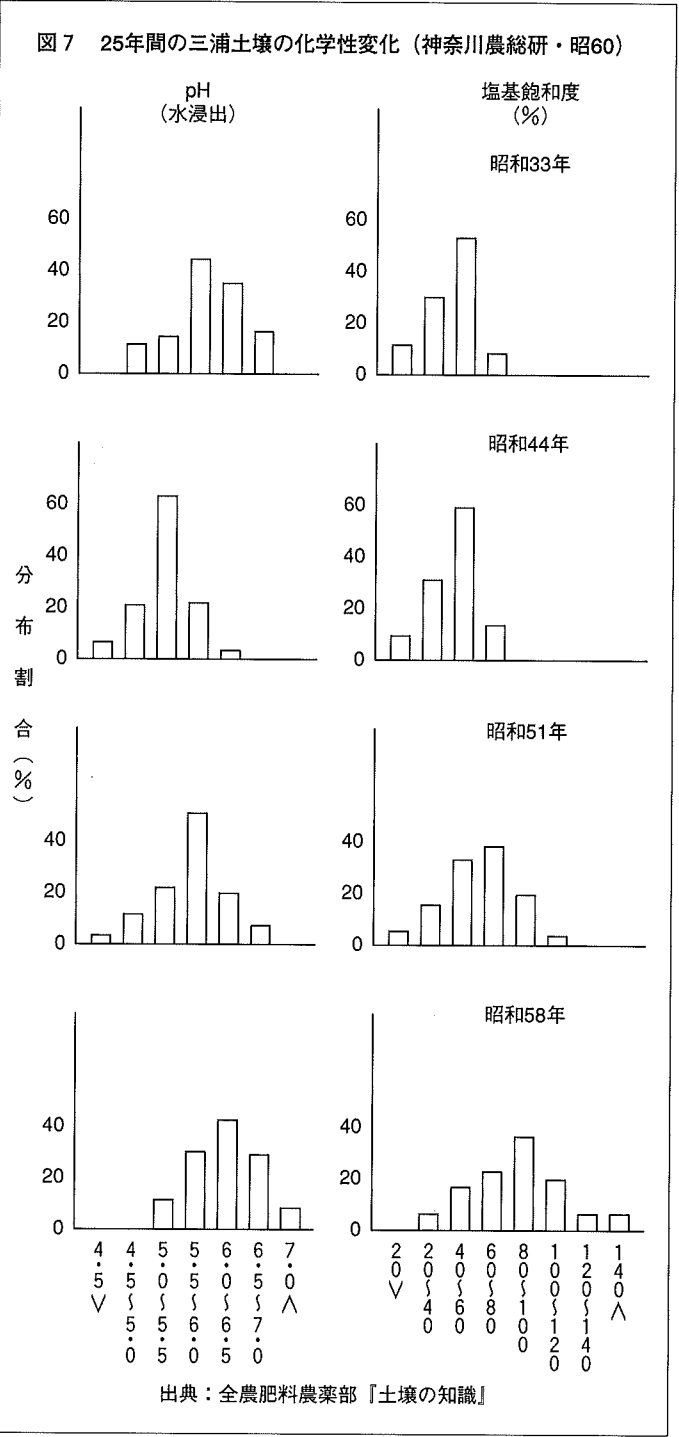
苦土とカリは、交換性となつて吸着されているが、石灰は、コロイドに吸着される交換性石灰のほか、過飽和状態では炭酸石灰の二つの形態で存在するが、これらは分析手法上いづれも交換性石灰として測定されてしまう。その結果、飽和度が一〇〇%を超えることとなるのだ(図6)。



土壌診断には、石灰苦土比(Ca/Mg当量比)と苦土加里比(Mg/K当量比)という数値がよく出てくるが、私の経験からすると、この表し方の現場での実用性は少なく、しかも理解が難しいと判断するので、この説明は省くことにする。あくまでも、これまでに述べてきた飽和度%で考えればよいと思う。

高濃度の肥料成分にあふれる現在の畑

さて、米麦に比べて野菜類は、一般に成分の吸収量が多いため、肥料施用量も多く、また周年で何作もくり返すために、畑の中の残存成分も多くなっている。



ここで三浦ダイコンで名高い神奈川県三浦地区の土壌について、二五年間の塩基飽和度と土壌pHの変化をグラフで表した資料を図7に紹介しておこう。

昭和三三年ころの三浦地区の土壌は、塩基飽和度四〇〜六〇%のところ全体が五割を占めて、もともとも多い分布を示していた。ところが、五〇年代に入ると、六〇〜八〇%の塩基飽和度を示す圃場がもともとも多くなり、その比率も四割近くを占めるようになる。塩基飽和度の上昇は、その後も進行し、五八年には塩基飽和度八〇〜一〇〇%を示す土壌がもともとも多くなり、しかも、三〇年代、四〇年代の初めには全く検出されなかった一〇〇%を越す土壌が出現してきている。

文字どおり、現在の畑は「過飽和」の状態になっているのである。

このような傾向は、決して三浦半島ばかりではない。優良産地といわれる全国各地の大規模産地の土ほど、その傾向は顕著になっているような気がする。

露地畑も、最近ではさまざまな理由から、全面マルチをする場合も多くなっている。雨水の浸透はかなり少なくなってきたのである。にもかかわらず、裸地と同様の石灰資材の施用が、いままおを招き、過飽和の状態をもたらすとともに、土の高pH化にも拍車をかけている。

塩基飽和度の上昇は、施設園芸においてももつとはなほだしい。塩基飽和度が二五〇%を超える土も珍しくないという異常なありさまなのである。土の化学性がこのような状態だから、生物性や物理性は言うに及ばないという現状である。