



土と肥料のはなし

化学肥料は安全・安心な作物を育てます



Japan Fertilizer &
Ammonia
Producers Association

日本肥料アンモニア協会

はじめに

当協会は農業の重要性と農業を支える主要な生産資材である化学肥料の役割等について、人口問題、食糧問題、環境問題等との関連も併せ、農業関係者はもとより広く一般の消費者の方々に対してご理解いただくためにリーフレットや「化学肥料Q&A」シリーズをはじめとする冊子類を多数発行してまいりました。

昨年は、昨今世間の関心が高まってきておりました「食の安全・安心」をテーマに「食の安全・安心のために（副題：化学肥料は安全・安心な作物をそだてます）」と「(翻訳本)：食べものには何が入っているの」を発行し各方面からご好評を得ました。

食品の「安全・安心」が最近の農業のキーワードと云われていますが、食品の質とともに量も重要なテーマだと思います。

わが国は食料自給率を向上させるため、農地や担い手などの農業基盤の確保を必須事項と掲げていますが、食糧生産には「肥料の安定確保・供給」は欠かせません。

このような状況のなか世界の「肥料」を取り巻く環境は、肥料原材料産出国における資源ナショナリズムの台頭と寡占化など急激かつ大きく変化してきています。わが国がどの様に資源を確保していくのかはこれからの大きな課題であろうと思います。

当協会は広報活動を始め10年を迎えることになりました。本年は原点に立ち返り、生命の源でもある「土」の成り立ち、生成、変遷をたどるとともに土の持つ機能（不思議なちから）、それがいかに環境・農業・肥料に関わっているか等、土を中心とした幅広いテーマに取り組み、『土と肥料のはなし』を発行いたしました。

この本は土と深いかわりを持つ農業に携わっている方はもちろん、普段はあまり土を意識したこともない都会育ちの人まで、皆様方に興味をもって読んでいただけるものと確信しております。

従来同様、ご活用いただければ幸いです。

平成17年6月

日本肥料アンモニア協会

目 次

第1部 土のなりたち

- Q1 土はどのようにしてできたのですか? 2
- Q2 土は何からできているのですか? 4
- Q3 土にはどんな種類がありますか? 6
- Q4 土によって色が違うのはなぜですか? 8
- Q5 土のなりたちに人は関与できますか? 10

第2部 土のひみつ

- Q1 土の中はどんな構造になっているのですか? 14
- Q2 土に施用したわらや堆肥などの粗大有機物はどうなりますか? 16
- Q3 土の中はどのようにして乾かないのですか? 18
- Q4 土は肥料成分をどうして蓄えることができるのですか? 20
- Q5 土のなかを水が通過すると、水の性質は変わりますか? 22

第3部 土と農業

- Q1 水稲、麦、豆類などの作物栽培はなぜ土地利用型農業といえますか? 26
- Q2 水田や畑でなくても作物は育つことができますか? 28
- Q3 健康な土とはどんな土ですか? 30
- Q4 水はけの悪い畑や水田はどのようにしてできるのですか? 32
- Q5 土づくりはどのようにして必要ですか? 34

第4部 土と環境

- Q1 土が水を貯蔵できるというのは本当ですか? 38
- Q2 水田には環境浄化機能があるといいますが、どうしてですか? 40
- Q3 土と地球温暖化とは関係があるのですか? 42
- Q4 施設栽培の塩類集積とはなんですか? 砂漠化とはどう違うのですか? 44
- Q5 土には有機物をリサイクルする力があるのですか? 46

第5部 土と肥料

- Q1 肥料はなぜ必要なのですか? 50
- Q2 肥料の種類にはどのようなものがありますか。どのように役にたっていますか? .. 52
- Q3 窒素肥料は土壌の中でどのように変化しますか? 54
- Q4 化学肥料は環境に悪い影響をしますか? 56
- Q5 化学肥料は作物の品質に悪い影響をしますか? 58

第1部

土のなりたち

Q1

土はどのようにしてできたのですか？

地球ができた約45億年前、土はまだ存在しませんでした。では、土はどのようにしてできたのでしょうか。土は、岩石が風化作用を受け、さらに土壤生成作用により長い年月をかけてつくられたものです。

道路わきにある切りとおしなどの断面を見ると、下に岩石のかたまりがあり、上にゆくと礫があり、さらに上には粒の細かい土があるのがわかります。このことから、土は岩石が細かく砕けて変化したものと考えられます。

岩石が地表近くに現れ、太陽や風雨にさらされると、砕けてしだいに粒が細かくなります。これを風化作用といいます。岩石は、熱による膨張・収縮や風雨の物理的な作用を受けて破壊され細かい粒となります。また、溶解や加水分解などの作用によって化学組成も変化してもろい物質に変わります。

しかし、これを土といえるのでしょうか。岩石と異なる土の大きな特徴は、多くの微生物や小動物が棲み、植物が生え、生命にあふれているということです。物理的あるいは化学的な風化作用を受けただけのものは母材と呼び、土をつくる材料となるもので、これに生物的な作用が加わって土が作られていきます。

母材には、まず養分をあまり必要としない地衣類が生えてきます。地衣類は菌類と藻類の共生体で、菌類がつくる酸によって母材を溶かして無機養分を利用できるようにする一方、藻類は光合成を行って有機物（炭水化物）をつくります。この無機養分と有機物を利用してコケ類などが生えてきます。これらの植物は根から酸を分泌し、さらに多くの無機養分を溶かしだすとともに光合成をして自分のからだを大きくして増えていきます。そして、植物が枯れた後は腐植として土の中に残り、より大きな植物を生育させるための下地をつくります。

このようにして、母材の上のほうには次第に腐植がたまり、色が黒っぽくなってやわらかくなり、下のほうとは明らかに違った状態になります。横からながめたものを「断面」といい、基本的には上中下と三つの層に分かれてきます。下のほうにある母材のままの層をC層、地表近くの腐植の多い層をA層、A層とC層の間で腐植の影響を受けた層をB層と呼びます。風化作用によって岩石が細かく砕けただけでは土とはいえませんが、このように腐植が集積して断面にA層、B層、C層ができて、はじめて土といえるのです。これを土壤生成作用といいます。

ただし、わが国のように火山が多く起伏にとんだところでは、必ずしも上からから

下まで母材が同じで移動しないとは限りません。火山が噴火すると、火山灰や火山礫が降ってきて堆積します。そこに腐植が集積してA層ができた後、何度も噴火が繰り返されると、黒っぽい層をいくつも含んだ断面ができます。また、雨によって土や岩石が流されて堆積することもあり、条件によって土の断面は複雑に変化します。

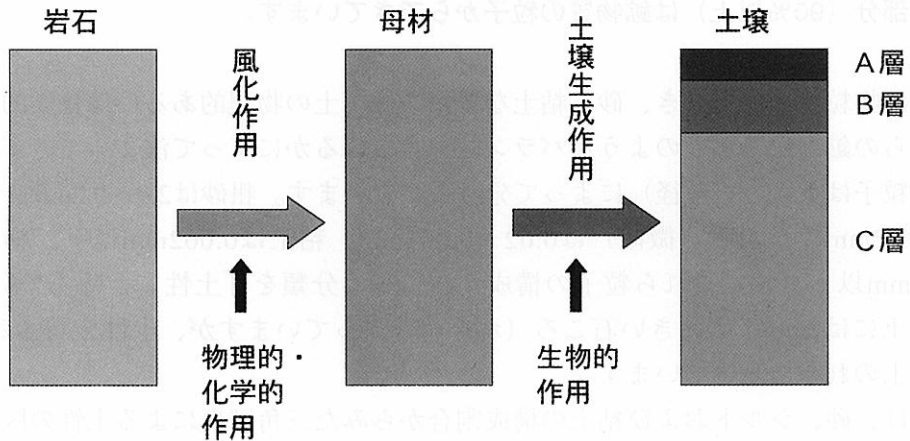


図 岩石から土がつくられる過程

Q2

土は何からできているのですか？

土は岩石の風化物が中心となり、植物の遺体や腐植などの有機物が加わってできたものです。黒ボク土や泥炭土などは有機物をとくに多く含んでいますが、一般的には土の大部分（90%以上）は鉱物質の粒子からできています。

土の鉱物粒子には、れき、砂、粘土などがあり、土の物理的あるいは化学的な性質はこれらの鉱物粒子がどのようなバランスで含まれるかによって決まってきます。これらの粒子は大きさ（粒径）によって分けられています。粗砂は2.0～0.2mm、細砂は0.2～0.02mm、シルト（微砂）は0.02～0.002mm、粘土は0.002mm以下、細粘土は0.0002mm以下です。これら粒子の構成割合による分類を「土性」と呼んでいます。また、土には2mmより大きい石ころ（れき）も入っていますが、土性を調べるには、2mm以上のれきは除いています。

図には、砂、シルトおよび粘土の構成割合からみた三角図表による土性の区分を示しています。砂>シルト>粘土と粒径が小さくなるにつれて養分や水分を保持する力や可塑性、粘着性などが高くなります。つまり、粒の粗い砂土や砂壤土では、耕しやすく透水性や通気性は良いのですが、保水性や養分保持能は低くなります。逆に、粘土含量が高い重埴土では、養分や水分を保持する力は高いのですが、透水性や通気性は悪く、耕しにくくなります。ですから、農業には埴壤土や壤土などの粒径バランスの良い土が向いているといえるでしょう。このように、土性はその土が農業に向いているかどうかを知るための重要な指標です。

これらの鉱物粒子は、一次鉱物と二次鉱物からできています。一次鉱物は、長石、石英、角閃石、雲母など母材となる岩石（母岩）の結晶構造や化学組成をそのまま持っている鉱物で、二次鉱物は化学的風化を受けて母岩とは全く異なる構造になった粘土鉱物です。細砂以上の粒子は大部分一次鉱物、細粘土（0.0002mm以下）はすべて二次鉱物（粘土鉱物）であり、シルトと粗粘土（0.02～0.0002mm）には一次鉱物と二次鉱物が混ざっています。

二次鉱物には、層状ケイ酸塩鉱物、酸化物・和水酸化物鉱物、リン酸塩・硫酸塩・炭酸塩鉱物などがあります（表1）。特徴的な形をしているのは、層状ケイ酸塩鉱物でしょう。層状ケイ酸塩鉱物は、ケイ素を中心とした四面体層とアルミニウムを中心とした八面体層が組み合わさった層状をしています。四面体層と八面体層が1枚ずつ組み合わさったものを1:1型鉱物といい、カオリナイトやハロイサイトがあります。

2枚の四面体層が1枚の八面体層をはさむように組み合わせさせたものを2:1型鉱物といい、モンモリロナイト、パーミキュライト、イライトなどがあります。雲母（うんも）の結晶を見たことがありますか？ 雲母は平たい層が何枚も重なったような形をしており、基本的には2:1型鉱物と同じ構造をしています。つまり、層状ケイ酸塩鉱物は雲母がずっと細くなったような形をしていると考えればよいでしょう。

土には鉱物質だけでなく、有機物も含まれており、腐植とも呼ばれています。はじめに、一般的には土の大部分（90%以上）は鉱物質といましたが、黒ボク土では8~40%、泥炭土では20~100%近くまで有機物のものまであります。土壌有機物には、微生物によって分解されて養分を放出するものと、それ以上は分解されない残渣のようなものがあります。前者は、植物に養分を供給する地力の源といえるでしょう。また、後者はそれ自体養分を出しません、養分が水で流されないよう吸着・保持する力があります。

表 土壌中の主な二次鉱物

1. 層状ケイ酸塩鉱物 a. 1:1 型鉱物…………… カオリナイト、ハロイサイト b. 2:1 型鉱物…………… モンモリロナイト、パーミキュライト、イライト c. 2:1:1 型鉱物…………… クロライト d. 非晶質・準晶質鉱物… アロフェン、イモゴライト	
2. 酸化物・和水酸化物鉱物 オパールシリカ、ギブサイト、ヘマタイト（赤鉄鉱）、ゲータイト（針鉄鉱）など	
3. リン酸塩・硫酸塩・炭酸塩鉱物 アパタイト（リン灰石）、ジブサム（石膏）、カルサイト（方解石）、ドロマイト（苦灰石）など	



Q3

土にはどんな種類がありますか？

FAO/UNESCOの土壤分類では、全世界の土を28の土壤単位に分けています。そのうち、チェルノーゼムやカスタノーゼムなど肥沃な土の面積割合は30%程度にすぎず、約70%はフェラルソル、レプトソル、カルシソル、ポドソルなど農業に適さない痩せた土が分布しています。一方、日本では、平地面積は少ないのですが、沖積土や黒ボク土など農業に適した土の占める割合が高いのです。

世界には様々な種類の土がありますが、各国それぞれ独自の方式で土の分類がなされてきており、国によって区分の仕方や土の種類の名前はまちまちです。そこで、これら世界の土を統一的に分類しようという試みが、国連のFAO/UNESCOでなされました。これに基づいて作成された土の分布図をご覧ください。FAO/UNESCO分類では28の土壤単位がありますが、図示できないほど小面積の土もありますので、この図では24種類の土に色分けされています。

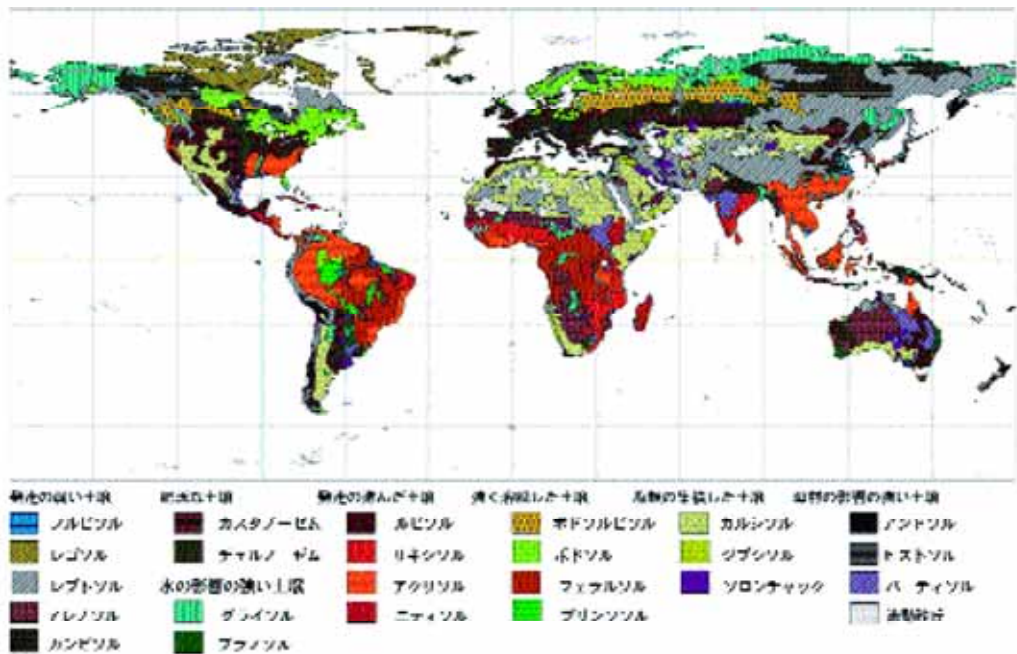
全世界の陸地面積は合計で130億haありますが、農地として利用可能な面積は、既耕地と放牧地、また林地ですが耕作可能な土地も含めて31億4400万ha、世界全土の24%にすぎません。一方、放牧地にしか使えないところは28%、耕作も放牧も出来ない土地は62億4800万haで、世界全土の48%にも及びます。

中国西部から中近東、アフリカ北部にかけては、地表近くに岩盤があるレプトソルや石灰などの塩類が集積したカルシソル、流動砂丘などが広がっています。アフリカ中部やブラジルには、風化と溶脱が進んで養分が乏しいフェラルソルや未熟土のアレノソルなどが分布しています。また、ロシア、北欧、カナダには溶脱が進んで酸性が強いポドソルやポドソルピソルが分布しています。これらを合計すると、世界の土のうち約70%は農業に適さない痩せた土です。ロシア中部やアルゼンチン、北米には肥沃なチェルノーゼムやカスタノーゼムが分布していますが、その他の土と合わせても農業に適する土は30%程度にすぎません。

日本では、土の分類は農耕地土壌と森林土壌では別のシステムによって行われています。農耕地土壌分類では、黒ボク土、灰色低地土、赤色土、褐色森林土など24の土壌群に分けられています。日本にも様々な土が分布していますが、沖積土が全体の56%、黒ボク土が19%の面積を占めています。沖積土は、沖積平野や三角州に分布し、養分に富んだ肥沃な土で、主に水田として使われています。黒ボク土は、酸性でリン酸を固定するなど化学的な性質や良くないのですが、耕しやすく保水性や透水性が良

いなど物理的な性質は優れていることから、石灰やリン酸資材を施用するなど化学性を改善することによって、主に畑として使われています。また、褐色森林土や黄色土なども農地として使われており、世界の土と比較すれば、日本の土は大部分が農業に適する土と考えることができます。

図 世界の土壌資源 (中井 信)



Q4

土によって色が違うのはなぜですか？

土の色には様々なものがあります。黒色（黒ボク土）、赤色（赤色土）、黄色（黄色土）、灰色（低地水田土）、青灰色（グライ低地土）などの土の断面写真をご覧ください。これらの色の違いは、主として腐植や鉄など、土に含まれる成分の違いによるものです。

黒色～暗褐色：黒っぽい色は腐植による色で、腐植が多いほど黒色が強くなります。腐植は、植物遺体などの有機物が土壌中の微生物によって分解され、重縮合して作られる暗色不定形の有機化合物です。植物遺体などが腐植に変化することを腐植化といい、腐植化が進んだ腐植ほど色は黒くなります。また、腐植の含量が高いほど土の色は黒くなります。黒色の土は、炭素含量10%（腐植として17%）以上で、腐植化が進んだ腐植を多く含んでおり、黒ボク土の表層（A層）に見られます。黒褐色の土は、炭素含量が5～10%程度で、黒ボク土のA層や褐色森林土のA層にも見られます。また、暗褐色の土は、炭素含量が2～5%程度で、腐植の色と水和酸化鉄の色が混ざったものです。

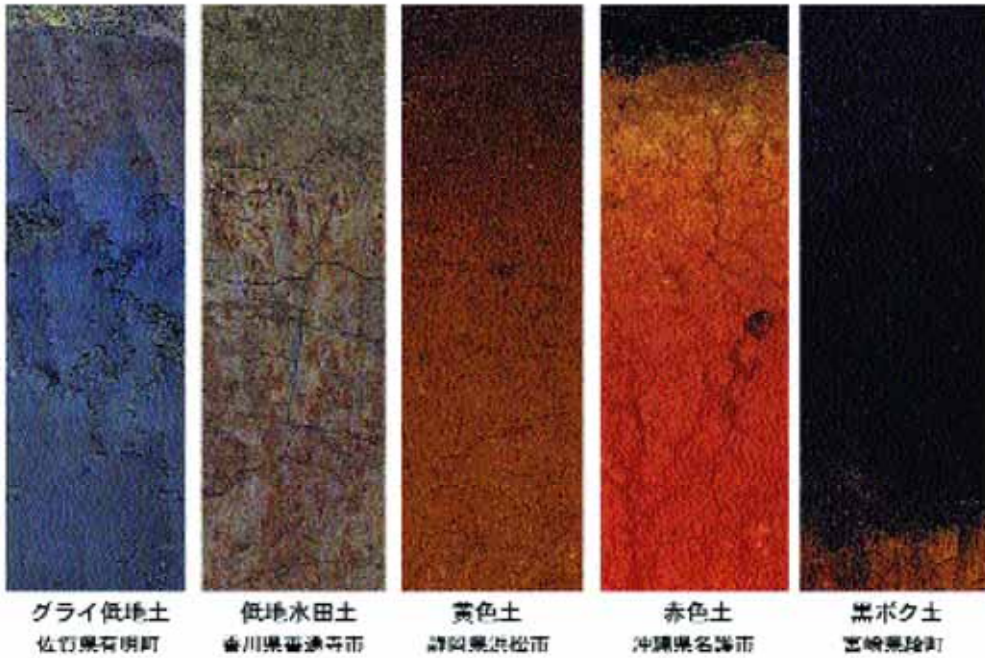
赤色～黄色：遊離酸化鉄による色で、土が酸化状態の鉄を多く含んでいます。褐色は、褐鉄鉱の色で、黒ボク土のB層や褐色森林土のB層などに見られます。赤色は、ヘマタイト（赤鉄鉱）による色で、赤色土のB層に見られます。黄褐色および黄色は、主にゲータイト（針鉄鉱）による色で、黄色土に見られます。

灰色～青灰色：灰色は、腐植も酸化鉄も少ない土の色で、水田土壌の下層土に見られます。青みを帯びた色は、第一鉄化合物による色です。鉄は酸化状態では第二鉄となって赤～黄色ですが、還元状態では第一鉄となって青色を帯びます。この色は、グライ化した水田土壌で見られます。

このように、土の色を決める主な要因は腐植と鉄ですが、それ以外にも色の要因はあります。たとえば、炭酸カルシウムや硫酸カルシウムが析出した塩類土壌では、白色～黄白色になります。また、水田土壌などで見られるこげ茶色の斑紋は水酸化マンガンの沈殿物の色です。

土の色は、その土がつけられた環境を反映しており、土の理化学性や肥沃度を知るための重要な指標になっています。

写真 土壌断面の色の違い



(独) 農業環境技術研究所 農業環境インベントリーセンター提供

Q5

土のなりたちに人は関与できますか？

人類が農業を始めたことによって、土のなりたちは大きく変化しました。作物を収穫するということは、土から養分を奪うということですから、養分を補給しないと、土は痩せていきます。また、養分だけの話でなく、不適切な管理によって土の荒廃が進むことがありますし、適切な管理によって荒廃した土を回復させることも可能です。将来を見すえて適切な管理を続けることが重要です。

世界中で土の荒廃が大きな問題となっています。熱帯での森林の伐採や焼き畑、乾燥地での家畜の過放牧などによって地表を覆う植物が失われ、風や水による土壌侵食が激しく起こっています。さらに、塩類集積も起こり、砂漠化の進行が大きな問題となっています（図）。

日本では、土壌侵食の被害はそれほど大きくありませんが、危険性が全くないわけではありません。たとえば、畑で大型トラクターを走らせると、土中に水の浸透を妨げる層ができて、水が横方向に流れることによって表土がはぎ取られることがあります。また、日本に広く分布する火山灰土壌は非常に軽いので、乾燥する時期に植物が生えていないと風食を受けやすいのです。さらに、ハウス土壌での塩類集積や野菜畑での多量施肥による養分の過剰蓄積なども問題になっています。これらは、集約的な土地利用によって土を酷使した結果起こったものです。貴重な土を維持していくために、土の管理の仕方をあらためて考える必要があるでしょう。

我が国では、土地生産力を4段階（Ⅰ～Ⅳ等級）に分類して評価しており、これを生産力可能性分級と呼んでいます。世界の土に比べれば、日本の土は問題は少ないのですが、この分級でⅢおよびⅣ等級となった土は不良土とされ、これらの土に対しては改良対策を立てる必要があります。水田土壌では不良土は36%ですが、畑土壌では65%の土が不良土とされています。

畑地土壌の生産力阻害要因と主な改良対策を示した表をご覧ください。もっとも大きな阻害要因は、保肥力（土が養分を保持する能力）が小さく養分が乏しいことです。保肥力を増大させるには、陽イオン交換容量（アンモニウム、カリウム、カルシウムなどの養分を吸着・保持する力、CEC）が大きい粘土や有機物を施用するのが有効です。また、日本には酸性土壌が多いため、石灰質資材を投入して酸性を矯正することが必要です。さらに、日本に広く分布する火山灰土壌はリン酸固定力が強く有効態リン酸が乏しいことがあるので、リン酸質肥料の施用も必要です。とくに、堆肥など有

機物の施用は、これらに対する総合的な対策として有効です。

このように、人間の所業は土のなりたちに大きく影響を及ぼすので、将来にわたって土を良い状態に保つためには、適切な管理を続けることが不可欠です。

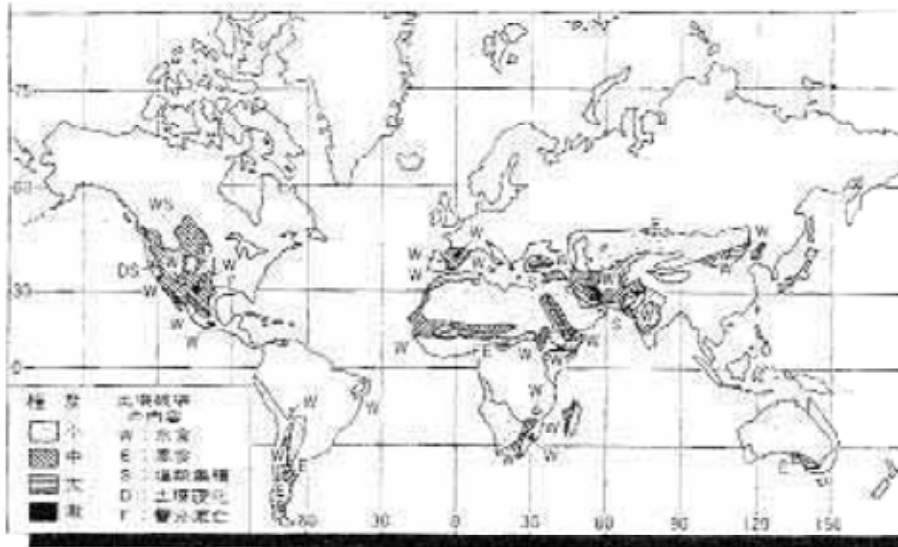


図 世界の乾燥地帯における土壤破壊 (和田秀徳)

表 日本の畑地土壌の現状

	生産力阻害要因	面積割合	主な改良対策
I、II等級		35%	
III、IV等級 (不良土)	せき薄土(保肥力、固定力、塩基状態)	42.6	カルシウム、リン酸、優良粘土、有機物
	養分の欠乏(交換性Ca、Mg、K、有効態リン酸、微量元素)	36.1	カルシウム、マグネシウム、カリウム、リン酸、微量元素
	過乾	27.7	畑地かんがい
	保食の危険性	21.4	等高線栽培、土止作成
	有効土層が浅い	14.3	客土、除れき、土層改良
	急傾斜	12.9	排水路、グリーンベルト
	過湿	12.4	排水、客土
	耕うん困難	11.3	砂客土、有機物施用
	表土が浅い	8.7	深耕、客土、土層改良
	障害性(酸層、ち密度、有害物質)	5.6	心土破砕、土層改良、有害物質除去
れきが多い	5.4	除れき	
	計	65%	

第2部

土のひみつ

Q1

土のなかはどんな構造になっているのですか？

土には固体、液体、気体が含まれ、各々土の固相・液相・気相と呼ばれています。固相は岩石や火山灰などの風化物に由来する無機成分と動物・植物・微生物の遺体に由来する有機成分から構成されており、これらが土の骨格となる様々な大きさの土粒子を形成しています。土の粒子の中や間の隙間（孔隙）を液相と気相が占めます。これらの構成要素とそこで活動している生物が複雑に関係し合うことによって、土の様々な特徴や機能が発揮されるのです。

土の固相を構成する粒子は、その元となる岩石や火山灰などの母材に生物・地形・気候が作用し、長い時間をかけた風化作用を受けて形成されます。母材の岩石に含まれる元素は、酸素、ケイ素、アルミニウム、鉄、カルシウム、ナトリウム、カリウム、マグネシウムの8元素で全体の99%以上を占めます。風化の過程では溶けやすい成分から土壤溶液に溶け出ていき、おおまかには、その組成によって異なる鉱物がつくられます。一般に風化が進むほど粒径は小さくなり、0.002mmより小さなものを粘土鉱物といいます。また、植物や動物・微生物の遺体が分解する過程で土壤特有の有機物である腐植が形成され蓄積していきます。さらに、粘土鉱物と腐植などの有機物が集まって0.03mm程度の小粒子（これを団粒といいます）がつくられ、小団粒が集まって数mm程度の団粒となります。団粒の内部や外部、根の表面や周り（根圏）にはたくさんの土壤微生物や土壤動物が生息し（表1）、様々な物質代謝を担っています。

団粒の中や間には、強い毛管力で水分を引きつけているために保水性に優れた0.005mm以下の微細孔隙から、水分や空気が移動し易く排水性・通気性に優れた0.1～1mm前後の大孔隙が網の目のように分布します。そこに水（土壤溶液）と空気（土壤空気）が存在し、多様な環境条件の空間ができます。土壤溶液には各種の物質が溶けており、植物の養分は主に無機態のイオンとして存在します（表2）。土の中では根や土壤動物の呼吸作用、土壤微生物による有機物の分解作用によって二酸化炭素が生成し、同時に酸素が消費されます。そのため、土壤空気は大気に比べて二酸化炭素濃度が高く、湿度も高い特徴を示します。そのほか、土の中の反応で生成する窒素酸化物やアンモニア、硫化水素や二硫化炭素、温室効果ガスとして注目されるメタンや亜酸化窒素などが含まれます。そして、大気と土壤空気とはガス交換によって絶えず入れ替わっています。

このように、土は、大小粒子と孔隙の、無機質と有機質の、嫌気部（微細孔隙）と

好気部（大孔隙）の、疎水性部（腐植）と親水性部（粘土）の混合体なのです。

表1 土中の微生物

土1g当たりの数	
細菌	16,900,000
放線菌	1,340,000
糸状菌	205,000
藻類	500
原生動物	40

(Burgess)

表3 大気と土壤空気組成

ガス成分	大気	土壤空気
窒素 N ₂	78.09 %	75 ~ 90 %
酸素 O ₂	20.04 %	2 ~ 21 %
アルゴン Ar	0.93 %	0.93 ~ 1.1 %
二酸化炭素 CO ₂	0.03 %	0.1 ~ 10 %
メタン CH ₄	0.00017 %	trace ~ 5 %
一酸化二窒素 N ₂ O	0.00003 %	trace ~ 0.1 %

表2 表土の土壤溶液に溶けているイオンとその濃度 (μmole/l)

	ハウス	茶園	普通畑	草地	林地
陰イオン					
NO ₃ ⁻	15~250	0.5~20	trace~50	0.2~3	trace~0.4
Cl ⁻	5~35	0.5~7	2~5	1.0~4.5	0.1~1.5
SO ₄ ²⁻	10~30	trace~15	1~30	0.4~3.5	0.005~0.5
陽イオン					
Ca ²⁺	15~180	0.6~14	2~50	0.3~10	0.002~0.5
Mg ²⁺	8~85	0.2~9	1~25	0.6~2	0.005~0.5
K ⁺	3~15	0.3~5.5	0.05~3	0.4~1	0.001~0.6
Na ⁺	2~25	0.3~1.4	0.1~5	0.1~0.5	0.1~1.3
NH ₄ ⁺	0.3~5	0.1~17	trace~1	0.1~0.7	trace~0.2

1mole 6×10^{23} 個のイオン数

(波多野のとりまとめ)

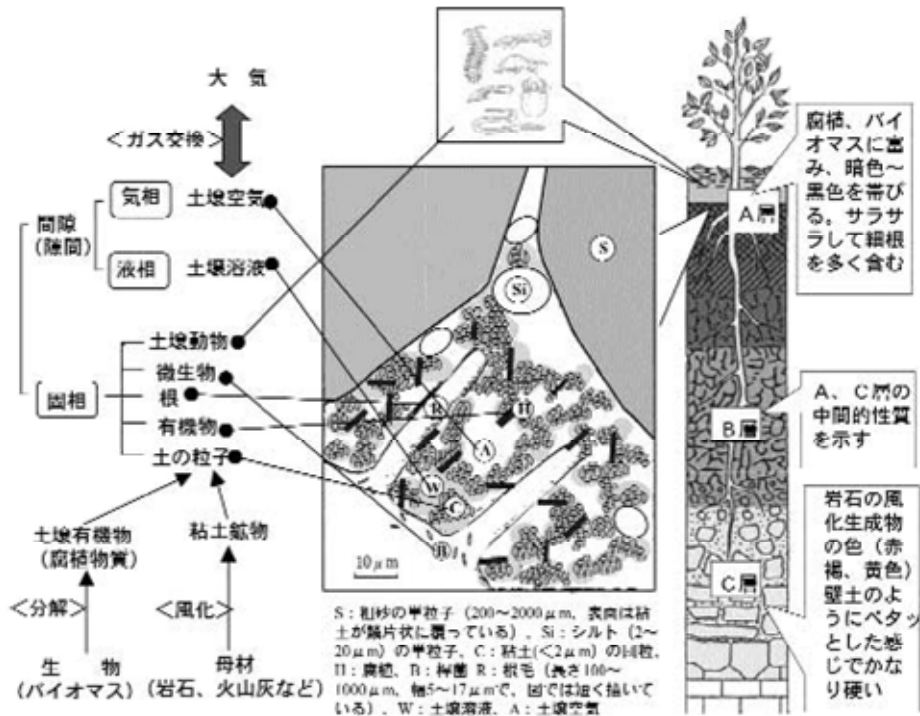


図 土壌の構成要素

Q2

土に施用したわらや堆肥などの粗大有機物は
どうなりますか？

わらや堆肥などの粗大有機物は、土の中の動物の作用で細かくされて土の中に分散するとともに、微生物によって低分子化・無機化などの作用を受けて分解します。その過程で生物の栄養源となり、無機化した成分は植物養分となります。また、難分解成分のリグニンなどからは腐植物質ができて蓄積し、土の保肥力を高め、団粒の形成にも貢献します（図1）。これらを通じて土の物理・化学・生物的機能の向上に貢献します（図2）。

土に施用したわらや堆肥などの分解は主に微生物が担っています。土の中の微生物の多くは有機物を分解しながらエネルギーを獲得し、そのエネルギーと有機物の分解産物を使って自身の細胞各成分を合成して増殖します。わらや堆肥などの有機物を構成する物質のうち、水溶性の低分子物質はそのまま各種生物に取り込まれます。一方、主要な構成成分であるセルロースやリグニンなどの高分子化合物は微生物の生産する加水分解酵素の働きで低分子物質まで分解されてから生物に取り込まれ、利用されます。

土の中の微生物には、細菌、糸状菌（カビ）、酵母などがありますが、畑の状態では、セルロースなどの高分子化合物の分解能力に優れている糸状菌が分解の主役を演じています。それに対して、水田の湛水状態では酸素が必要な糸状菌は増殖できず、嫌気性の細菌が働いていますが、好気的な条件の畑に比べて有機物の分解は抑えられています。

糸状菌の場合、100gの有機態炭素を餌としたとき、50～70gをエネルギー獲得に使い、30～50gを細胞成分の合成に使います。通常、菌体の炭素1gに対して平均0.15gの窒素を含むので、有機態炭素100gに対してタンパク質合成に4.5～7.5gの窒素が必要です。このとき有機物に含まれる窒素が不足すれば、周囲の土壌から無機態窒素を補う「有機化」が起こり、多ければ、「無機化」が進行して無機態窒素が土中に放出されます。

有機物中のリグニンはその構造のため最も分解しにくく、非常にゆっくりとした分解過程でタンパク質など他の高分子化合物とも結合し、土に特有の有機物である腐植物質がつくられます。腐植物質は難分解性で、イオンを引きつける部分を多くもつため、土の中にイオンとして存在する肥料成分を保持することができます。保持したイオンを介して粘土鉱物や微生物菌体と結合し合って団粒を形成し、土の機能を向上し

ます。

また、ミミズなどの土壤動物は微生物に比べて数は少ないのですが、粗大有機物を細かく碎いて表面積を増やして土の中に広く分散させ、微生物による分解を受け易くします。また、土の粒子や微生物菌体を一緒に摂食し、体内で有機物の分解産物との混合が促進されるので、耐水性に優れた団粒の形成に貢献しています。

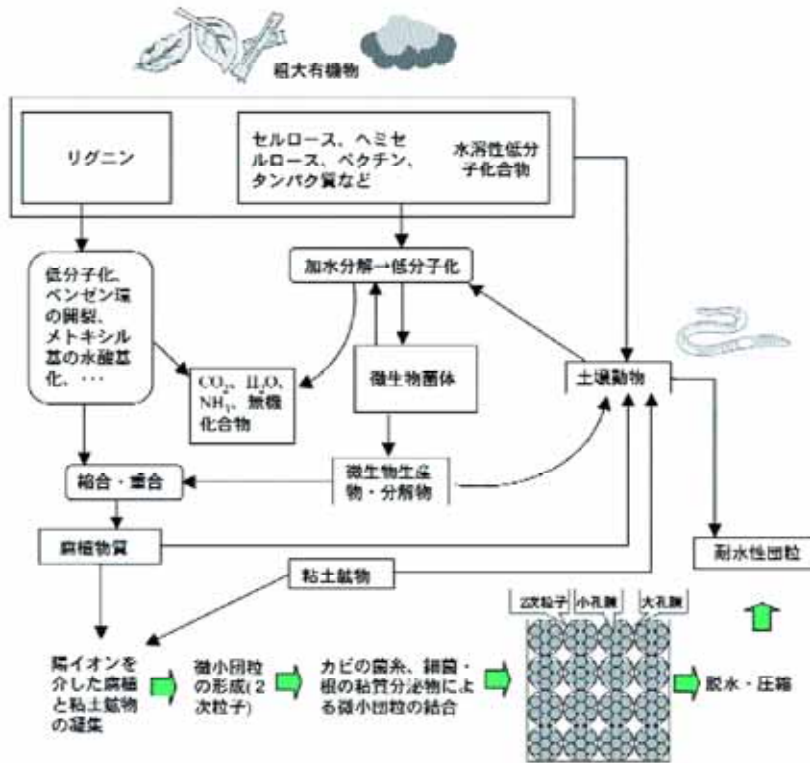


図1 粗大有機物の分解過程と団粒構造の形成 (Martin and Focht, 1977 を変更して作成)

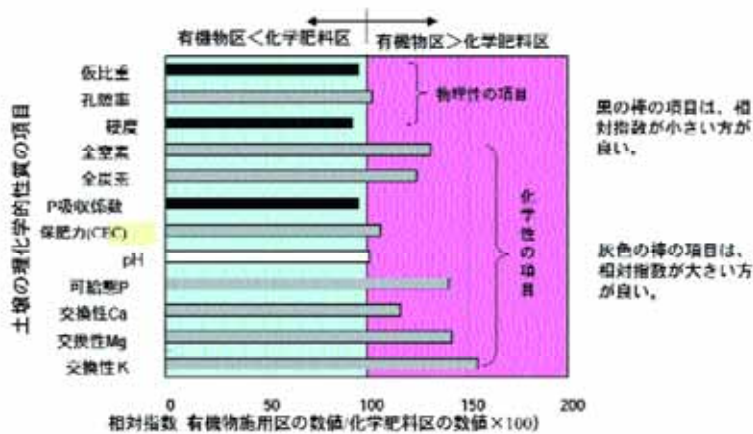


図2 有機物を施用した土壌と施用していない化学肥料区土壌の性質の比較

Q3

土の中はどうして乾かないのですか？

太陽に照らされた土の表層がカラカラに乾いているときでも、さらにその下の深さまで掘ってみると湿った土が出てきます。それは、水分が少なくなるほど蒸発しにくくなる性質が土にあるためです。その性質は、土の粒子中や粒子間に大小様々な大きさの隙間(孔隙といいます)が存在することによって成り立っています。

土の粒子の内部や粒子の間には0.005mm以下の微細な孔隙から0.1～数mm前後の大きなものまで、様々な大きさの孔隙があり、水はその孔隙に存在します。孔隙のサイズが小さいほど土の粒子は強い毛管力で水を引きつけています。

逆に大きな孔隙の水は毛管力が弱いため移動し易く、たくさんの雨が降った後の、土の中が水で十分に満たされた状態では、図1に示したように、主に重力によって大きな孔隙の水が下方に移動していきます。一方、地表面では蒸発散が活発に起こり、表層の土の水分は少なくなっていきます。土の中の孔隙は網の目のようにつながっているので、表面近くの土の水分が減少してくると、下層の水の多いところから表層の少ないところへ、つまり毛管力で土の粒子に引きつけられている力の弱い部分から強い部分へと、水が上昇移動します。これは、図2に示したように、毛管でつながった注射器の片側のピストンを引いてやると、もう一方の注射器内の水が移動する現象に似ています。そして、時間が経つにつれて、土の層全体のうち、水が重力で下方に移動する領域が少なくなり、毛管力で上向きに移動する領域が多くなっていきます。このように、過剰な水分は大きな孔隙を通じて下方に移動し、蒸発散で失われていく表層の水分低下は毛管上昇によって補っているので、図3のように、土の湿った状態が維持されるのです。

さらに雨が降らずに地表面近くの水分が蒸散によって失われていくと、土の孔隙同士がつながった毛管の中で水のつながりが切れ、毛管上昇の遮水壁ができます。こうなると、水分の移動は水蒸気による移動になり、移動速度は著しく遅くなりますので、土の層全体としては湿っていても、地表面からの蒸発が少なくなるのです。そのため、遮水壁より深い部分の水分低下が抑えられ、土は湿った状態を維持できるのです。遮水壁は土の表面がかき混ぜられたり、植物の落葉などが堆積したりして、その直下の土の孔隙との毛管が不連続になることで形成され易くなります。こうしたメカニズムは、わらなどで土の表面を覆うマルチングや乾燥地帯での浅い耕耘などによって蒸散を抑えて作物に必要な水分を維持する技術として農業でも応用されています。

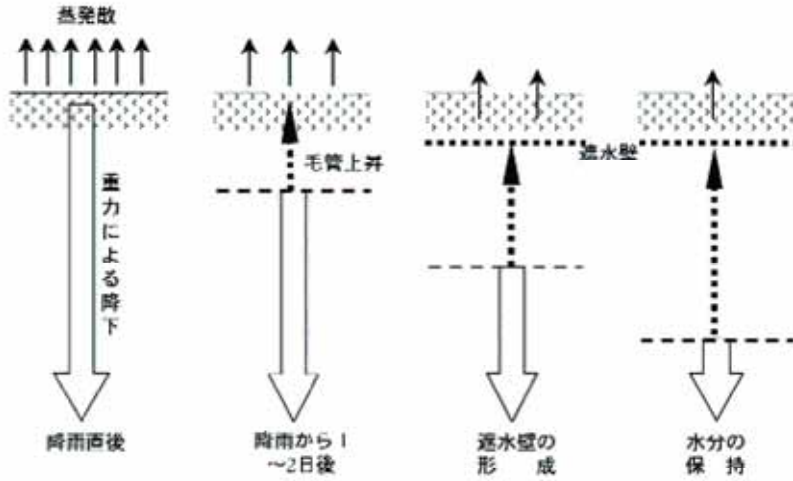


図1 降雨後の土層内の水移動の経時変化。

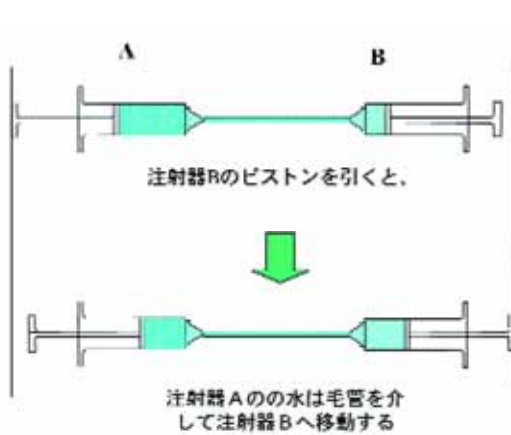


図2 毛細管でつながった注射器間の水の移動

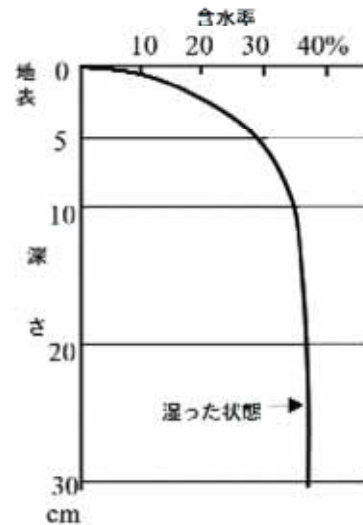


図3 土の中の水分量の水長分布

(柏淵, 1982)

Q4

土は肥料成分をどうして蓄えることができるのですか？

植物が吸収する肥料成分は主に電気を帯びたイオンとして土の中の水に溶けて存在しています。一方、土の粒子を形成している粘土鉱物と腐植には電荷があるので、イオンを粒子表面近くに引きつけて蓄え、徐々に植物に供給することができるのです。

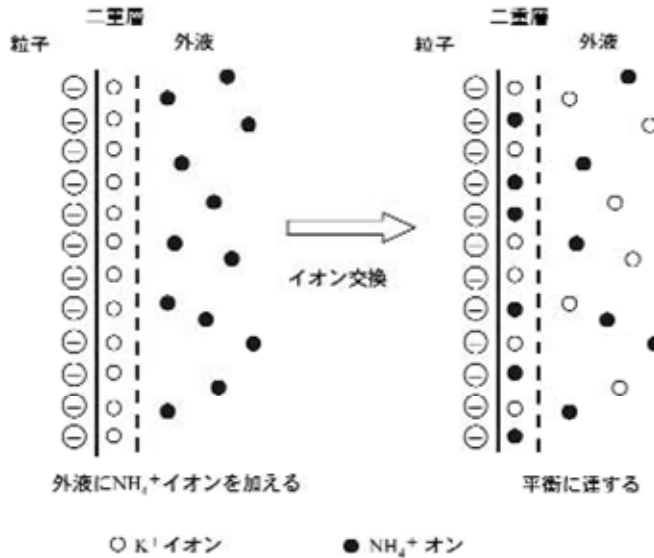
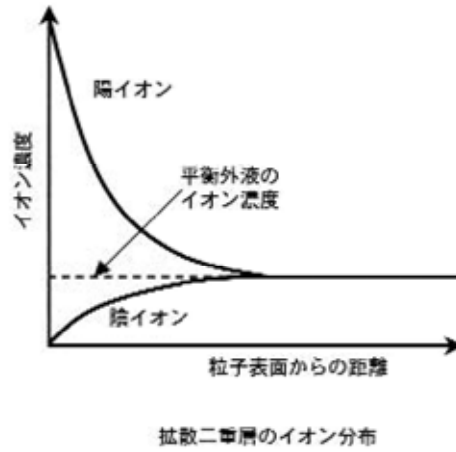
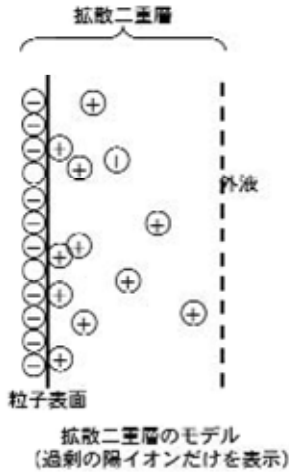
植物の根が吸収する土の中の肥料成分は電気を帯びたイオンの形で土壤溶液（土の中の水溶液）中に溶けています。例えば、窒素肥料はアンモニウムイオン NH_4^+ または硝酸イオン NO_3^- 、リン肥料はリン酸イオン PO_4^{3-} 、カリウム肥料はカリウムイオン K^+ などで、植物に必要な肥料成分元素の大部分は正の電気を帯びた陽イオンとして存在します。

土の粒子を形づくっている粘土鉱物や腐植には電荷（物質が帯びている電気やその量のこと）をもった部分があります。粘土鉱物によっては正の電荷をもつ部分もありますが、粒子全体としては負の電荷の方が多くなります。そのため、土壤溶液中の陽イオンは電氣的に引きつけられ、土壤溶液の中でも土粒子表面にごく近い領域の陽イオンの密度が高くなります。その状態は、理論上、土粒子の負電荷と陽イオンの正電荷からなる二重層として表わされ、これを拡散電気二重層（以下「拡散二重層」とする）と呼んでいます。また、拡散二重層より外側を「外液」といいます（図1、図2）。拡散二重層には粒子表面の負電荷に相当する分だけ陽イオンが多く存在して全体として電氣的中性が保たれており、外液との肥料成分の移動はイオン交換によって行われます（図3）。

拡散二重層は、計算上、厚さにして粒子表面から1mmの百万分の一～一万分の一程度で、陽イオン濃度が外液に比べて数百倍高いと考えられています。そのため、拡散二重層には外液中に存在する量の数十倍の陽イオンが保持され、雨で土が洗われても土粒子表面に蓄えられたイオンは失われ難くなります。また、肥料が施用されたときに外液のイオン濃度が極端に高くなるのを防ぎます。つまり、植物の肥料成分はイオンとして大部分が土粒子表面に蓄えられ、外液中に供給されたものを植物の根が吸収するのです。

土の持っている電荷は電氣的に引きつけることのできるイオンの量として表され、負電荷の量はCEC（陽イオン交換容量）、正電荷の量はAEC（陰イオン交換容量）といえます。また、CECやAECの大きさは粘土鉱物の種類や腐植の含有量などによって異なります。例えば乾燥重100g当たりのCECが20ミリグラム当量（1ミリグラム当量

の電荷量は 6×10^{24} 個の K^+ イオンに相当)の土は、1ha当たり2~3tものカリウムを20cmまでの深さに蓄えられる電荷量をもっていることになります。もし土にイオンを保持する働きがなければ、肥料成分の著しい過剰や不足が生じてしまいます。



Q5

土のなかを水が通過すると、
水の性質は変わりますか？

地表の水が汚れていても、井戸水や湧き水のように、土の中を通過することによって水がきれいになります。土の持っている水浄化の機能は、水中の汚濁物質が濾過・吸着・生物分解されて除去されるため、土の物理的・化学的・生物的作用が互いに影響し合っているのです（図1）。

土の中を通過する水に含まれている有機物などの除去は、主に土の表層部分で行われます。その場合、土が大小様々な大きさの粒子から成り、砂のように大きな粒子から、粘土のように1粒1粒は目で見えないほど小さな粒子までを含んでいること、また、粘土粒子や腐植が集まって団粒構造を形成していることが重要な意味を持っています。こうした構造を持つ土の粒子の内外には大きさが0.005mm以下の微細な隙間（孔隙）から0.1～数mm前後の大きな孔隙まで、大きさの異なる孔隙が互いにつながって網の目のように分布しています。また、粘土粒子は1g当たり10～50㎡もの大きな表面積をもっています。そのため、水は非常に長い時間をかけて土の中を通過していくことになります。その過程で濾過作用が働き、水中の比較的大きな有機物や粘土粒子は、より小さな孔隙に引っかかって除去されます。また、濾過作用で除去されない微小な有機物などは、物理化学的吸着によって土の粒子表面に留まり、水から除去されます。このようにして土の粒子上に留まった有機物は土壌微生物の餌となり、その作用を受けて分解され、植物や微生物に利用されながら最終的には無機イオンや二酸化炭素などのガスに変換されます。

上記の濾過や物理化学的吸着によって除去されないものに、土の中を通過する水に溶けている各種の無機イオンがあります。このうち、重金属イオンやリン酸イオンは、土の種類によって程度は異なりますが、特異的に強く吸着されます。わが国に広く分布する黒ボク土はリン酸イオンや重金属イオンを強く吸着する代表的な土の種類です。特異的な吸着を受けないカリウムイオン、カルシウムイオンなどの陽イオンや、硝酸イオンなどの陰イオンは、土粒子の表面に電氣的に引きつけられて保持されている同種の電荷をもったイオンとイオン交換をしながら土の中を通過していきます。

このように、土の持っている水浄化機能は巧妙で大きいのですが、無限ではありません。その能力以上に過度の負担をかけ続けると、ついにはその機能も失われてしまい、取り戻すことは極めて困難になるのです。

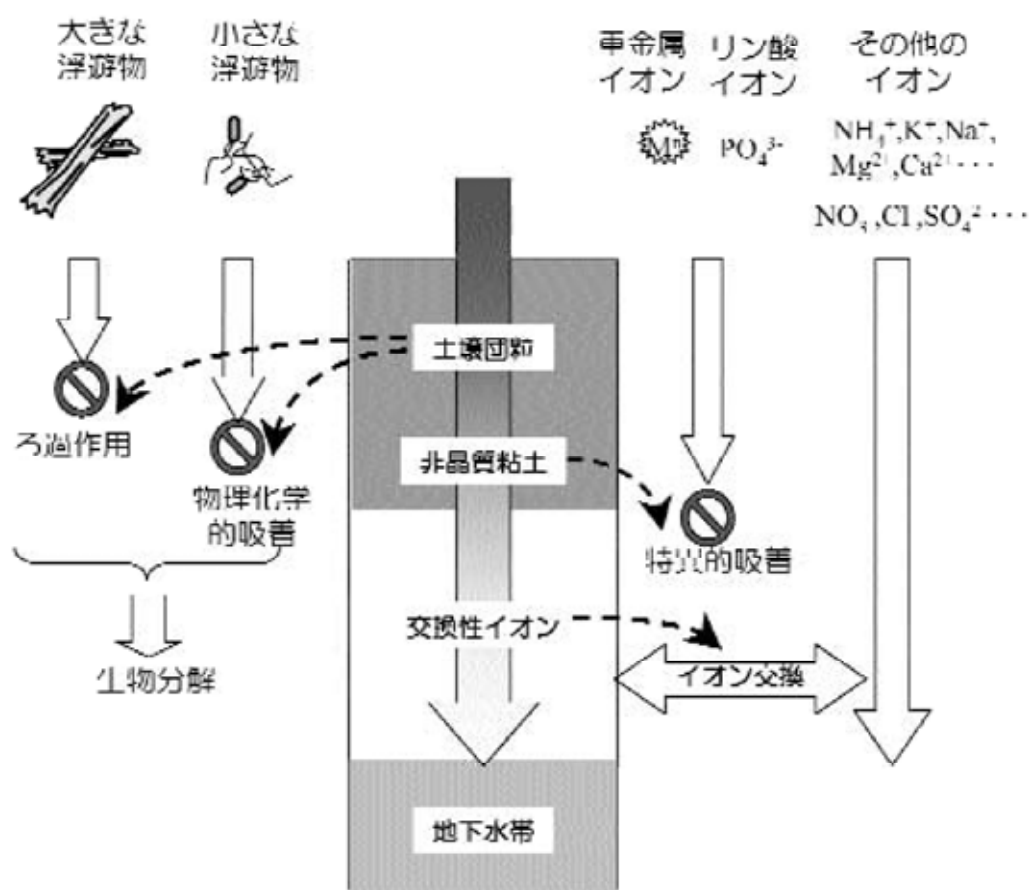


図1 土層を通過する水の浄化機構

第3部

土と農業

Q1

水稻、麦、豆類などの作物栽培はなぜ土地利用型農業といえますか？

食料自給率の向上が叫ばれるわが国では、消費量の多い米、麦、大豆のうち、とくに麦、大豆の生産量を飛躍的に向上しなくてはなりません。粗放栽培で単位面積あたりの生産量の少ないコムギ、豆類では、土地の有効利用（土地利用型農業）を図ることが生産量を拡大するうえに最も有利となります。

わが国の食料自給率（カロリーベース）は40%までに低下しており、主要先進国のなかでは最低です。コメの自給率はほぼ100%近くを保っていますが、コムギ、大豆、トウモロコシなどの穀類は、そのほとんどが外国から輸入品です。いま、国を挙げてさまざまな食料政策を講じていますが、高齢化、担い手不足などの農業基盤の脆弱さが影響して、低い自給率はほとんど変わってないのが実情です。

いま、わが国の食料・農業・農村基本計画が見直され、新基本計画が策定されました。改革の方向は三本柱から構成され、その一つが、食料自給率向上の前提となる農業経営と農地・農業用水等の資源の確保であります。この改革のポイントは、①品目横断的政策への転換であり、品目別の価格・経営安定政策から担い手に支援を集中した仕組みに変えることにより、構造改革を加速し、国際規律の強化を図ること、②農業環境・資源保全政策の確立であり、農地・農業用水等の資源を地域全体で保全管理する仕組みを構築、推進すること、③担い手・農地制度の改革であり、対象となる担い手を明確化して、施策の集中化と重点化を、さらに農地を有効利用する多様な担い手の育成、優良農地の確保を図ることになります。

一方、研究分野においては、麦・大豆・飼料作物等を組み合わせた合理的な作付け体系の確立、需要拡大のための品種育成と品質向上技術及び新規用途の開発、省力・低コスト、低投入安定生産技術体系の確立など、国が主導的に取り組むべき重点課題と具体的な目標水準を明確にして、研究開発を推進しています。これまでの主な成果を挙げますと、①小麦品種「イワノダイチ」を用いた農林61号より1週間早く収穫できる栽培方法、②ディスク駆動式汎用型不耕起栽培機による大豆不耕起狭畦栽培技術、③サトウキビの側枝苗移植機の開発、④肥効調節型肥料を利用した育苗箱全量施肥法などがあります。育苗箱全量施肥法は、肥効調節型肥料（被覆尿素）を用いて水稻一生分の肥料窒素に相当する量を育苗箱に施肥することにより、基肥と追肥の撒布作業を省略する省力的な施肥法であります。本技術は施肥作業の省力ばかりでなく、窒素の利用率が向上し、環境保全にも貢献する事実が確かめられています。

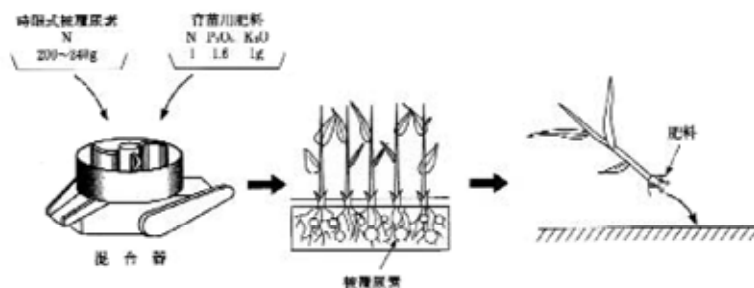


図1 育苗箱全量施肥の特徴

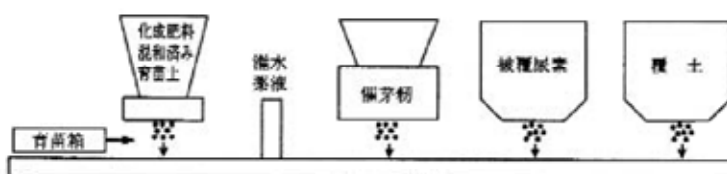


図2 層状施肥を組み入れた育苗箱への播種作業の順序



写真1 層状施肥（白い点が被覆尿素）

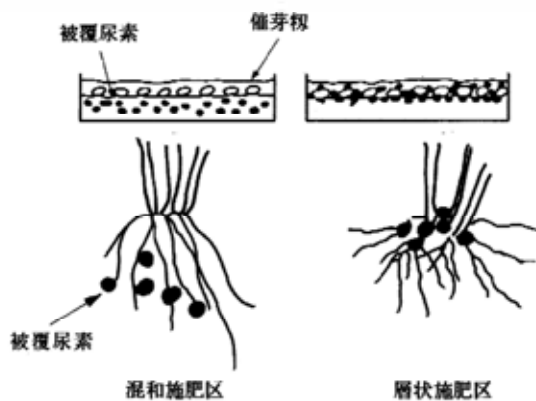


図3 被覆尿素の持ち込み状況

Q2

水田や畑でなくても作物は育つことができますか？

コマツナ、ホウレンソウ、イチゴ、トマトなどの野菜は、土をまったく用いなくても栽培が可能です。それは水耕栽培といい、適正な温度管理のもとに養水分を過不足なく供給できる構造になっているからです。近年バラ、シクラメンなどの花き類においても水耕栽培ができるようになりました。一方、水稻の水耕栽培は、実験室規模での試験が試みられますが、実用化がかなり難しいようです。また、ダイコン、ニンジン、ネギなどの根菜類は、作物の生理生態からみて水耕栽培には適しません。

1850年頃の無機肥料工業の出現は、わが国の土壤肥料技術に多大な影響を及ぼしました。とくにわが国の土壤肥料の目覚ましい進歩の中で、土壤の生産機能の位置は次第に後退し、それに代わって、人間の技術が強く前面に出てきたように思われます。それは、作物の生育因子である水・空気・養分を、土壤を媒介することなく、人間が直接作物に供給することによって、作物生産を達成しようとする技術であります。従来人間が土壤に委託してきたことを、人間自らやろうとする動きともいえます。このような方向と動きの背景をなすものは、リービッヒによって確立された植物の無機栄養説であり、熊田恭一先生はそれを水耕の思想と呼びます。水・空気・養分・光・温度などの生育因子が適当に供給されたとき、作物が順調に生育しますので、土壤の存在は必須ではないことが証明されたわけです。

ところで、水田や畑でバランスのとれた施肥ときめの細かい生育調節を可能ならしめたのは、肥料と農業を中心とする生産資材と栽培技術の進歩であります。また、その背後には作物栄養学をはじめとする栽培学の進歩があったといえます。このことはまた、作物の生育を直接人間の制御のもとにおくものであり、無機栄養説の当然の帰結であります。水耕の思想は、化学肥料と農薬の施用のみならず、土壤水分の調節や灌漑・排水による水管理、機械力の導入、施設栽培など、農業の化学化とともに、機械化と装置化の基盤ともなっています。

近代の顕著な生産増をもたらしたのが水耕の思想であるとするならば、その功績は甚だ大きいとしなければならないし、おそらくこの思想は今後とも生きつづけることであろう。しかし、水耕の思想は土壤の否定ともいえます。土壤否定が果たして妥当であるかどうかは、農業、環境、食糧生産に大きな問題を投げかけております。

水耕栽培とは養液栽培とも呼ばれ、土を使わず植物を栽培する方法です。本栽培法

は、温度、湿度が調節された施設内で、水中または土の代わりとなるロックウールや礫などが充填された容器内で作物を栽培し、根から養分と水分を直接吸収させます。本栽培では驚くほど生長が早く、生育がよく揃うことの特徴があります。なお、養液肥料は原液をおよそ100倍に希釈して供給します。

表1 養液栽培用の装置の価格

栽培様式	10a当たりの概算価格	坪 (3.3m ²) 当たり単価
DFT (水耕栽培 湛液方式)	1,000万円	3.3万円
NFT (水耕栽培 流下方式)	700万円	2.3万円
ロックウール耕	600万円	2.0万円
スーパードレンベット (土耕栽培)	440万円	1.3万円

表2 市販される養液肥料の成分

肥料の種類	窒素 (%)	リン酸 (%)	カリ (%)	その他 (%)
A	10	8	28	苦土4.5、マンガン0.04 ホウ素0.1
B	9	8	32	苦土4.0、マンガン0.04 ホウ素0.1
C (微量元素肥料)	—	—	—	苦土19、マンガン0.6 ホウ素1.5、鉄0.35、銅0.02 亜鉛0.08、モリブデン0.015
D	10	8	27	苦土4、マンガン0.1 ホウ素0.1、鉄0.18、銅0.002 亜鉛0.006、モリブデン0.002
E	11 (硝酸性窒素)	—	—	石灰23
F	1.5 (アンモニウム性窒素)	—	9	マンガン2、ホウ素2、鉄5.7 銅0.04、亜鉛0.08 モリブデン0.043

Q3

健康な土とはどんな土ですか？

土の健康とは、とくに空気・水分・養分、代謝産物等が、土のさまざまな隙間を円滑に流れることにあります。円滑な流れというのは、流れが一定方向だけでなく縦横無尽であること、濃度勾配、地温勾配、負圧などにしたがって、土壤溶液中の物質やイオンができるだけ素早く移動できることです。その流れあるいはめぐりと表現できる現象を「回流」と呼び、回流は良質な有機質肥料施用により土壤構造の発達した農地で促進されます。

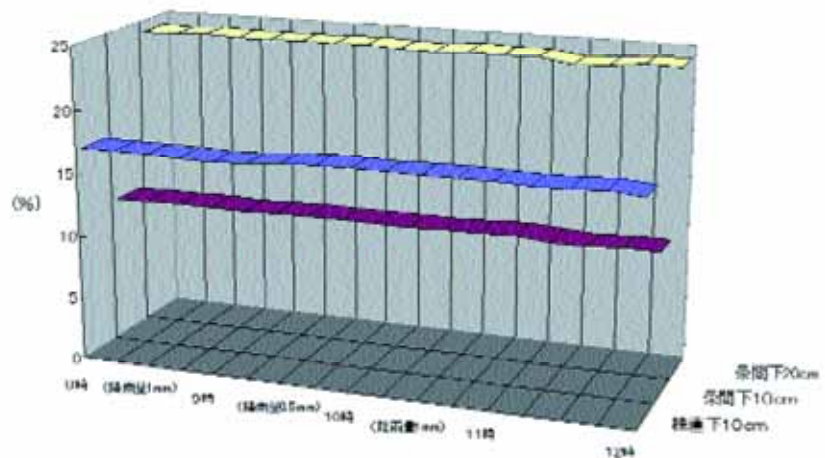
農業をするうえに、水田や畑の土はどのような条件を満たせばよい土というのであろうか。一般には、ほどよい水分、養分、空気を含み、有害成分や有害生物の存在しない土がよい土と考えられます。農家の人から見れば、土に癖がなく、つくりやすい土をよい土というかもしれません。いずれにしても、作物根を支え、養分を蓄え、必要に応じて養分を作物に供給し、健全な作物を生産することが土の役割でもあり、よい土の条件とみなされます。

ところで、上述で定義したよい土が必ずしも健康な土とはいえません。それは、生きものを意識した育て方の基本が健全な土にあると考えるからです。健全な土壌は土を無生物とみないで、ひとつの生命体とみることから始まります。すなわち、食べものを育む土の複雑さを複雑なまま受けとめ、それを総合的に管理する態度にほかなりません。土壌管理とはもともとそういうものと考えます。このような土に対する姿勢は、生きものである作物の完全な生長を保証するものであり、忘れかけていた作物に対する愛着とか美意識を蘇らせることにもなります。

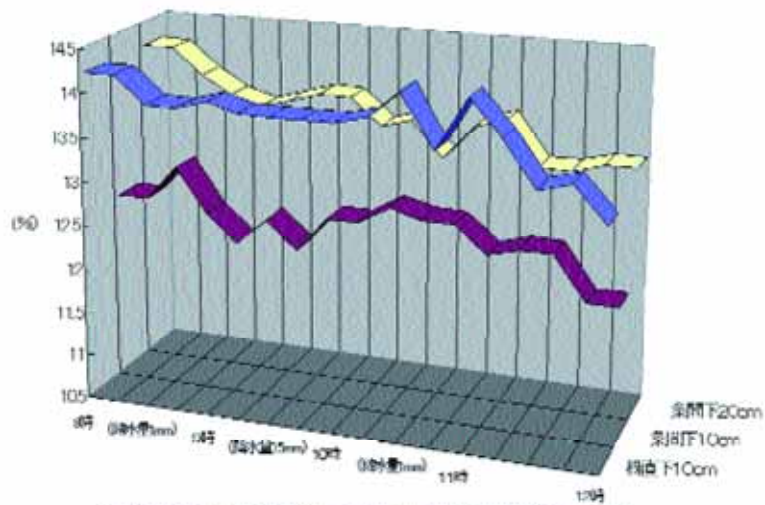
ところで、土壌生命体を厳密に言えば、土壌は生命を支えている構造物と表現したほうが適切かもしれません。土は一見密集した固体のかたまりにみえますが、全容積のおよそ半分だけが固体であり、残りは空気と水が入っている孔隙です。これら孔隙の小さな部分は水で、大きな部分は空気で満たされています。土壌空気は拡散によって、一般に大気とほぼ同程度の酸素を含んでいます。土壌水は溶解した無機物や有機物をふくんでおり、これらの多くは植物の養分として利用されます。

有機物施用により団粒構造の発達した土では、空気、養水分、代謝産物等が、その隙間を縦横無尽にダイナミックに動き回ります。これが団粒形成に基づく回流促進効果であり、作物生育の健全性と均一性を支えます。団粒形成のための有機物の適正施用量は、土壌の種類、気象条件等によって異なります。なお団粒構造は、耕起、降雨

などによって容易に破壊されますので、土表面をポリエチレンフィルムなどで覆い、構造を損なわないように努めます。



無機質肥料区における降雨直後の土壌水分の推移(8月12日)



有機質肥料区における降雨直後の土壌水分の推移(8月12日)

Q4

水はけの悪い畑や水田はどうして
できるのですか？

わが国の水田や畑は基盤整備事業によって、農道や用排水施設が整備され、大区画の農地に転換され、水田の乾田化や畑の灌水化と相まって大型機械の導入が容易となり、労働生産性は大幅に向上しました。しかし不適切な管理もとでは、トラクター、コンバインなどによる大型機械による重圧が、農地の耕盤形成を促進し、水はけの悪い畑や水田が助長されます。耕盤層が形成された農地では、土壤養水分の移動や作物根の伸長を阻害し、作物生育を妨げ、土壤の水食や風食の被害を拡大します。

農耕地の水はけの悪さは一義的には土性と密接に関連し、粘土含量の高い土壤（埴土）ほど大きいとみてよいでしょう。降雨や灌水量が多くなると土壤粒子が分散状態となり、目詰まりをおこし、透排水が困難となります。地形的にみると、傾斜地よりも窪地では集水量が多くなり、土壤水の除去に時間がかかります。また、作付け状態にある農地よりも無作付け状態の農地で、排水の悪い例がみられます。これは、水はけに作物根が加担していることが伺えます。

ところが近年、比重の軽い壤土（黒ボク土など）で平地に位置する農耕地でも、落水してもなかなか水が引けない水田や、降雨直後に洪水となるような野菜畑の存在が目立つようになりました。これは、農耕地への大型機械の導入により、作土層のある位置に硬い層が形成され、土壤水（浸透水、毛管水）の移動が妨げられるものです。耕盤層の形成は、トラクターによる代掻き、コンバインによる収穫、ブームスプレヤーによる消毒作業等が一つの要因となります。タイヤの踏圧は、とくに農耕地での重機の転換部位や通行部位で激しくなり、硬度の上昇を招きます。もうひとつの要因は、ロータリー耕による爪圧が考えられます。ロータリー爪の回転により、爪の外側では相当な勢いで土が叩かれ、緻密化します。踏と違ってロータリー耕による耕盤は作業に伴って、農地全体にできるのが特徴です。

水はけが不良となった農耕地を改善するためには、まず物理的に耕盤を破碎する必要があります。耕盤破碎には、ロータリー耕に代わって深耕ロータリーやブラウ耕の導入が効果的です。また、サブソイラーやチゼルなどの作業機による簡易破碎も実施されます。破碎後の農地では、有機物施用や土壤改良資材の投入により、土壤改良に努めます。いずれにしても、大型機械導入による耕盤層の形成は機械化農業のひずみともいえますが、ひずみは単に、水はけにとどまらず、農業の持続性や農地の保全を脅かす怖い存在であることを銘記しなければなりません。

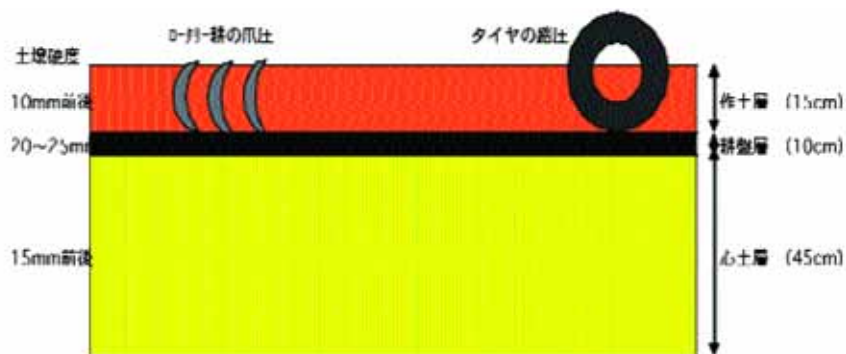


図1 農耕地土壌の耕盤層の形成



図2 深耕ロータリーによる耕盤層の破碎

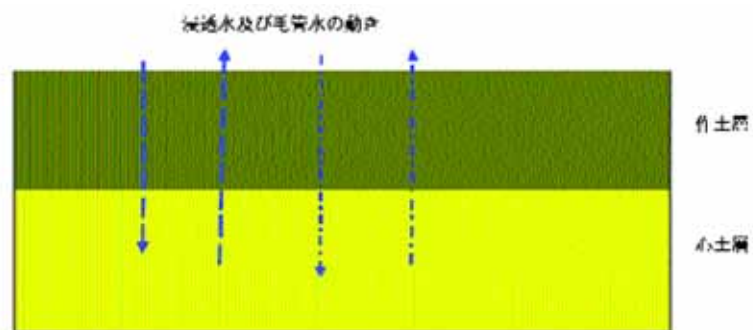


図3 耕盤破碎後の土壌水分の動き

Q5

土づくりはどうして必要ですか？

農地のうち土性、土層、粘土鉱物は、通常の農作業によってそう簡単に変わるものではありません。しかし、土の多くの性質（要因）は作物の連作、降雨等により劣悪となります。土づくりは耕起や有機物施用等によって劣化した土の物理性（とくに液相、気相分布）を改善します。また、有機物や土壤改良資材の施用は、土壤養分の保持力（陽イオン交換容量）を向上させるとともに、生物相も改善します。さらに、肥料・土壤改良資材等の適正施用は、ほどよい肥料成分の土壤蓄積とそのバランスを保ち、ふさわしい土壤pHを確保します。

肥料は組成成分により、酸性度（またはアルカリ度）を異にしますが、その水溶液はほとんどが中性を示します。ところが、化学肥料を土壤施用しますと、一般に土はしだいに酸性化することが知られています。そのため、農家では土壤の酸性化を防ぐために、土壤診断に基づいて炭カル、苦土石灰、生石灰などのアルカリ資材を適量散布し、作物生育のための好適条件を培います。これを土の酸度矯正といいます。

もともと多雨条件下のわが国の農耕地では、土壤粒子に吸着されているカルシウム、マグネシウム、カリウムなどの塩基類が、水中に溶けだした微量の水素イオンと交換し、水とともに土壤から流失するために、土壤は作物を栽培しなくても徐々に酸性になることが知られています。しかし、化学肥料の土壤施用によって、なぜ酸性化が加速されるのでしょうか。

硫酸アンモニウム（硫安）や塩化アンモニウム（塩安）のように多量の硫酸、塩化物を含む肥料を施用すると、土壤の酸性化は著しく促進されます。そのメカニズムはまず、アンモニウムが多量に植物に吸収されるのに対して、対イオン（陰イオン）の硫酸や塩素イオンは吸収量が少ないことから、その多くが土壤溶液中に移行します。そのとき、土壤溶液の電荷が酸性に傾きますから、それを中和するためにカルシウムなどの陽イオンは、土壤粒子から土壤溶液中に溶出します（随伴イオンとして導き出される）。ついで、溶出したカルシウムなどの塩基類（陽イオン）が、降雨などによって流失するために、土壤の酸性は促進するわけです。このように、陽イオンと陰イオンの吸収量の差によって酸性化することを、生理的酸性化といいます。

一方、肥料には土壤施用によってアルカリ度（塩基性度）を示すものがあります。アルカリ度はマグネシア粉末で最も高く、ついで、ドロマイト粉末、石灰石粉末または貝殻粉末、塩基性スラグ、石灰窒素、ホウ酸ナトリウム、硝酸ナトリウム、硝酸カ

リウム、骨粉または硝酸カルシウムの順となります。

したがって土づくりでは、肥料の生理的酸性度の違いをよくみて、調和のとれた肥料の選択をおこなうとともに、酸性が極度に進行した場合にはアルカリ資材を用いて酸度矯正を実施して、適正域（弱酸性）に収めることが重要となります。

表1 化学肥料の生理的酸性度

肥 料	CaCO ₃ 当量
液体アンモニア	148
塩化アンモニウム	138
硫酸アンモニウム	110
尿 素	84
リン酸一アンモニウム	65
リン酸二アンモニウム	64

表2 肥料・資材の生理的塩基性度

肥 料	CaCO ₃ 当量
マグネシウム粉末	220
ドロマイト	100
石灰石粉末	90
貝殻粉末	90
塩基性スラグ	70
石灰窒素	63
ホウ酸ナトリウム	55
硝酸ナトリウム	29
硝酸カリウム	26
硝酸カルシウム	20
骨 粉	20~25
家畜糞尿	5

注) 表1~2の数値は、肥料100kgに相当するCaCO₃(kg)で示す。

第4部

土と環境

Q1

土が水を貯蔵できるとういのは本当ですか？

山林や水田は水のかん養機能として非常に大きな役割を果たしています。その主役は土壌であり、土壌は地下の巨大ダムの役割をしています。

我が国は雨が多い国で、ヨーロッパ諸国の約2倍にあたる1800mm前後が1年間に降っています。とくに、初夏（梅雨期）と秋（台風期）に集中的に降り、これらの集中豪雨は、ときには洪水や山崩れなどの災害を引き起こします。

山地あるいは森林に降った雨は土壌中に一時的にためられて、徐々に流れ出ることによってこれらの被害を緩和する働きがあり、それを「水源かん養機能」と呼んでいます。この機能は、土壌中にある大きささまざまな「すき間（土壌孔隙）」の働きによるものです。土壌中に蓄えられた水は、乾燥が続けば地上に移行し、植物に利用されます。

山地全体の土壌に貯めることができる量は、地形や地質の違いにより異なりますが、数百mmあるようです。面積と併せて考えると、大きなダムの貯水能にも匹敵する値であり、まさに自然のダムといえます。

さらに、土壌には水の貯水機能だけでなく浄化機能もあります。土壌はその表面や土壌中に入った有機物や養分などを吸着することができ、さらに土壌中に棲む微生物たちによって有機物を分解し無機物にします。無機化した養分は植物に吸収されたり土壌に吸着されるため、土壌を通った水はきれいに浄化されるのです。

同様な働きが水田についてもあります。水田では、小さいダムが連続した構造により、水を一時的にためる効果を持っています。水田がためる水の量はどのくらいになるか計算した例があります(関矢,1992)。ダム機能の期待できる傾斜地にある全国の水田面積220万haを対象に考え、整備された水田は水深30cmまで、未整備の水田は10cmまで水を貯められるとすると、水田に水の入っている稲作期間でも35億6,800万トン貯水できます。この量は黒部ダムの20個分に相当します。さらに、土砂の流亡を防ぐ働きもあり、このような効果を経済的に試算すると、年間5兆円～12兆円にも及ぶとされています（三菱経済研究所）。

今、都会では土壌がコンクリートやアスファルトで覆われています。このような土壌では雨水を吸収したり汚水を浄化する機能がありません。このために多量に急激な降雨によって冠水被害が容易に発生するのです。山や水田の自然の水の源かん養機能を大切にしたいものです。



土の中の小さな隙間が自然の貯水槽の役目をする 1)



5~12兆円の貯水・砂防機能

山林や水田は貯水効果が極めて大きい2)

参考資料

- 1) 日本林業技術協会編「土の100不思議」、東京書籍(1990)
- 2) 化学肥料Q&A 総集編、日本肥料アンモニア協会(2003)

Q2

水田には環境浄化機能があるといいますが、 どうしてですか？

水田に入った水は、田面からの蒸発、地下への浸透、排水口からの流去により水田から出ていきますが、いずれも入ったときよりもきれいになって出て行きます。これは、水田に浄化機能があるからです。

近年、河川や湖沼の水質汚染がいわれており、とりわけ窒素についての規制が厳しく硝酸性窒素が10mg/Lという水質基準が設定されています。窒素による水質汚染の原因については産業活動や生活活動に由来するものなどさまざまですが、農業もひとつの原因と考えられています。

畑では、施肥された窒素肥料のうち作物が吸収しきれなかったものは地下に流亡し、地下水の硝酸性窒素の濃度を高める原因となることがあります。しかし、水田は栽培中は水を張っているためこのような現象は起こりません。水田では懸濁物は田面を流れているうちに沈殿したり、土層を通過するとき濾過されます。溶けている塩類やイオンは、土壤に吸着されますが、硝酸の形になっている窒素（硝酸性窒素）は、この作用では除くことができません。

しかし、水田特有のものに脱窒作用があり、これによって硝酸性窒素の溶出が防げます。これは、水に溶けている無機態の窒素が、水田の土層を通過するとき土壤中の微生物によって窒素ガスに変化して、空気中に揮散する現象です。このように水田には河川の水の浄化作用があります。

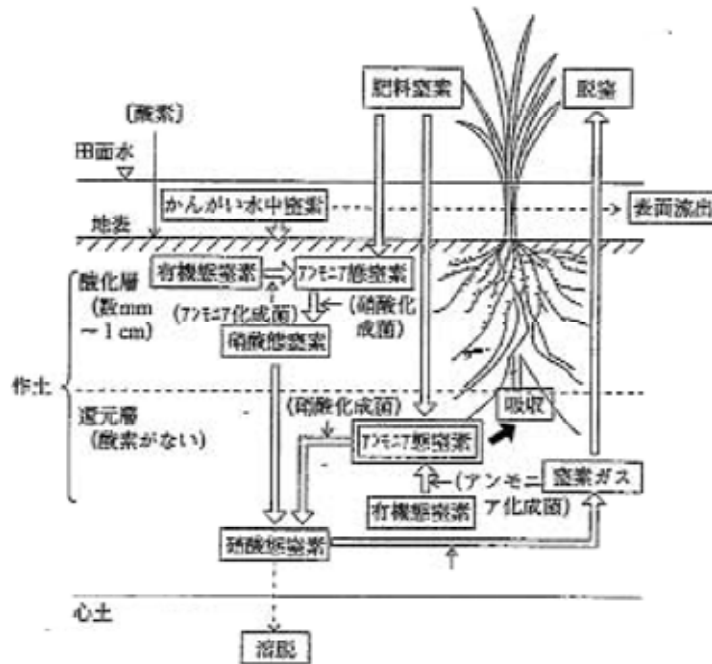
農水省では広範な農地周辺の地下水調査を行っています。これによると、全国調査した182地点のうち、15%で基準値の10ppmを超える硝酸性窒素が検出されました。しかし、水田地帯ではほとんど基準値以下でしたが、これは水田の脱窒作用のためです。

水田を使った水質浄化の例を紹介します。良いお茶を作るためには窒素肥料をたくさん与えることが必要です。そのため茶の栽培は環境汚染の原因として注目されています。

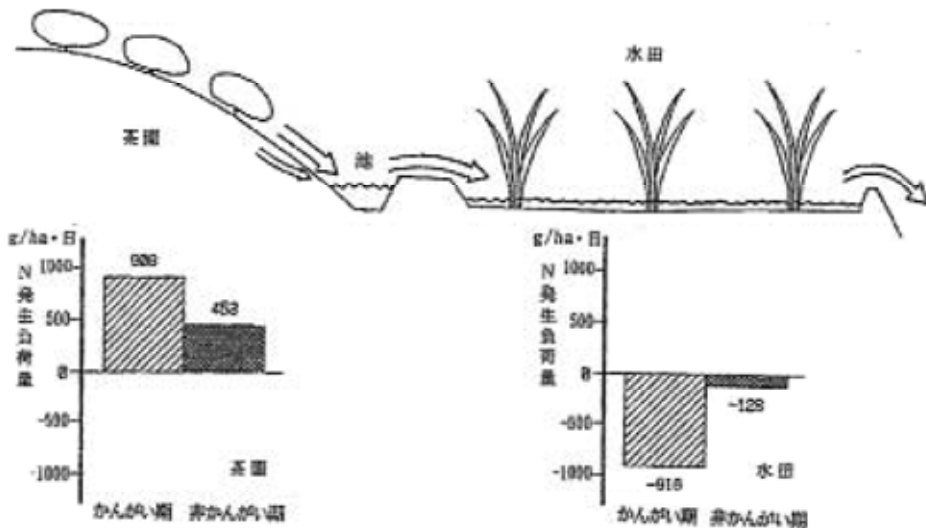
茶に施肥した窒素の全部は吸収しないので、それが硝酸態窒素になって河川や地下水に出てきます。その水を水田で受けて、それを水田のはたらきの一つである脱窒作用によってきれいにして川に流すことができます。

このように畑作物で出てきた硝酸を、地下水を通して畑地帯の下にある水田に引き入れ、それで脱窒作用を利用してきれいにする方法を、畑－水田－河川の地形連鎖を

使った浄化法といいます。このような水田では、必ずしも食用の米を栽培しなくても、家畜の飼料稲や、水生植物を栽培しても効果は同じです。



水田における窒素の動き1)



茶園・水田地形連続による窒素の浄化2)

参考資料

- 1) 日本林業技術協会編「土の100不思議」, 東京書籍(1990)
- 2) 日本土壌肥科学会編: 土と食糧, 朝倉書店(1998)

Q3

土と地球温暖化とは関係があるのですか？

土の中の空気は大気とつながっており、土は大気の循環に関わっています。土の上で作物を栽培する農業も地球の温暖化やオゾン層の破壊の原因になるガスを発生させるといわれていますが、どの程度関与をしているかはまだ不確定です。

土は固まりにみえますが、小さな隙間がたくさんあります。隙間は土の体積の半分程度あり、軟らかい土では多く、硬い土では少なくなります。このすき間を水や空気が移動して、植物と土壌生物にとって大切な水や酸素を運んでいるのです。つまり、土の中の空気は、このすき間を通して大気とつながっています。

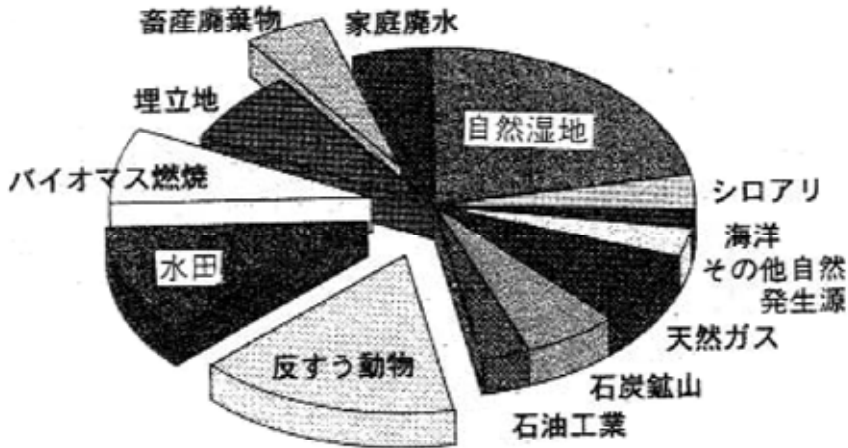
土の中の空気の組成は、大気に比べて二酸化炭素が多く酸素が少ない傾向がみられます。地上に生えた植物は枯れると土に還ります。土の中の微生物はこれら有機物を分解し、水と二酸化炭素に変えます。つまり土は、植物が固定した二酸化炭素を再び大気へと戻し、地球上の炭素循環が常にバランスを保つように働いています。一年間に全世界の土壌から放出される二酸化炭素の量は数百億トンにもものぼるといわれています。

そのほか、土の中ではいろいろな生物が活発に活動を行っているので、各種のガスが生成したり分解されたりしています。そして、それらのガスは土から大気へ放出されたり、逆に土に吸収したりしており、土は地球の大気中の物質の循環において重要な役割を果たしています。

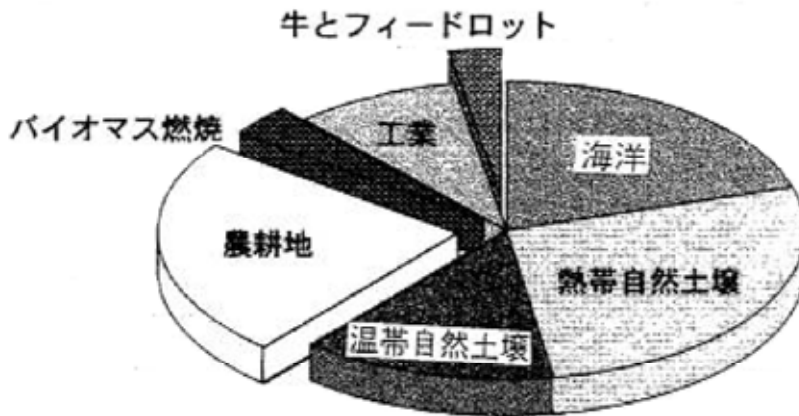
しかし、近年の急激な産業活動の増大により大気中のガスの濃度が変化し、それが地球温暖化や異常気象などに影響しています。温暖化ガスとして注目されている二酸化炭素は、石炭や石油などの化石燃料の消費が主因ですが、森林破壊や砂漠化による土の変化も無視できない要因です。同様に温室効果をもたらすメタンは、動物や虫からの排出の他に、沼や湿地、水田などから発生しています。さらに、温室効果だけでなくオゾン層破壊にも関係するとされる亜酸化窒素 (N_2O) は、食糧生産のために大量に用いられている窒素肥料によって土からの放出量が増大することが知られています。

しかし、問題なのは、温暖化とオゾン層破壊の両方に関係している亜酸化窒素です。亜酸化窒素の発生メカニズムはまだまだわからないことが多いのですが、土壌中での硝酸化の過程で生成することが知られています。亜酸化窒素の量は、畑土壌では施肥量の0.1~0.3%、水田では0.3~0.6%と見積もられています(陽,1987)。

作物生産のために化学肥料の施用は不可欠ですが、施肥の方法によって亜酸化窒素の発生を抑制することができます。その方法として硝酸化成抑制剤を使用や被覆肥料を施用することで減少できることが分かっています。さらに、分施によって無駄のない施肥を行えば亜酸化窒素の発生を抑制することができます。



地球全体におけるメタンの発生源の割合 1)



地球全体における亜酸化窒素の発生源の割合 1)

参考文献

1) 日本土壌肥科学会編：土と食糧，朝倉書店(1998)

Q4

施設栽培の塩類集積とはなんですか？
砂漠化とはどう違うのですか？

施設栽培は、雨水が入らない上にかん水量が少ないため、養分の流出が少なく塩類集積が起こります。砂漠化は地下水中の塩化ナトリウムが主体ですが、施設の塩類集積は施肥の影響である硝酸カルシウムが主体です。

外国では土壌の塩類集積による砂漠化が大きな問題になっています。中近東などの乾燥地域では地表面からの水分の蒸発に伴い、塩化ナトリウム等の塩類を含んだ地下水が上昇し、土壌表面で水は蒸発して濃縮され集積してゆきます。土壌中の塩類濃度が高くなると作物生育は抑制され、ついには不毛な砂漠状態になります。UNEPの現況調査（1991）によれば、世界の陸地の約1/4にあたる約36億haが砂漠化し、世界人口の約1/6が直接影響を受けていると推定されています。幸い、我が国では雨が多く、雨により塩類が地下に流されてしまうため塩類集積による砂漠化はみられません。

しかし、ガラスハウスやプラスチックハウスで栽培する施設栽培は例外です。施設栽培は、雨水が入らない上にかん水量が少ないため、下層土への養分の流出が少ないために砂漠化と同じように塩類集積が起こります。塩類集積の程度はかん水量や作付け回数に比例しますが、一般的な施設栽培では5作以上栽培したところから障害をおこす濃度になるといわれています。塩類集積はEC（電気伝導率）を測定することによってわかります。

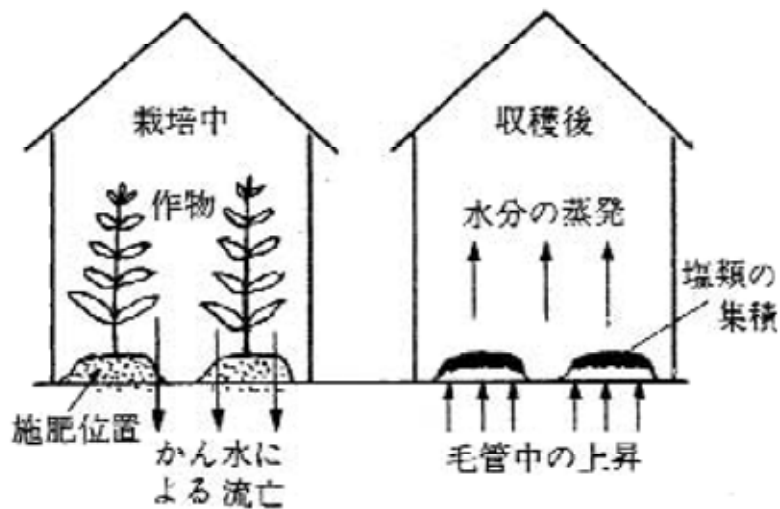
砂漠化では地下から供給される塩化ナトリウムが主体ですが、施設栽培では肥料や土壌改良資材から供給されるカルシウムやマグネシウム、カリなどのカチオンと硝酸、硫酸などのアニオンが結合した塩類が主体になり、とくに硝酸カルシウムが多くみられます。

塩類集積がすすみ土壌中の塩類濃度が高くなると作物生育は抑制されます。塩類障害の発現は、土壌溶液の浸透圧増加による根からの吸収障害、特定のイオンの害作用、養分のバランスの乱れによる障害などが考えられ、これらが複合して相互に影響しながら作物に障害を現すといえます。作物の症状は、葉色が濃くなり生長点が萎縮し、ついには葉縁から枯れはじめます

塩類集積にともなって起こるキャベツやハクサイのカルシウム欠乏やトマトの尻腐れなど、塩類集積とカルシウム吸収には密な関連がみられます。このように、養分の過不足だけでなく成分相互の拮抗作用が、塩類濃度の高い条件では生育障害の要因になります。

このような塩類濃度障害を回避するためには、適切な施肥を行うことです。また塩類集積が生じた施設の応急的な回復のためには、次の方法があります。

- ①施設内の作土を入れ替えるか、あるいは山土などを客土して塩類濃度を薄める。
- ②施設内に水を張る、あるいは天井のビニールを剥いで、雨水に当て脱塩する。
- ③ハウス内にソルゴーなどの緑肥を栽培し、収穫物をハウスから持ち出す。



ハウスの塩類集積発生の模式図 2)



塩類集積土壌の例 (ハウスキュウリ)

参考資料

- 1) 後藤逸男：農家のための土壌学，東京農大(2003)
- 2) 土壌・植物栄養・環境事典，博友社(1994)

Q5

土には有機物をリサイクルする力があるのですか？

仏教に「輪廻」という考えがありますが、同様に、自然界では物質は循環しています。地球の上に生存するものは、やがて分解され他の物質に変化し、自然界のバランスをとっています。その中心が土なのです。

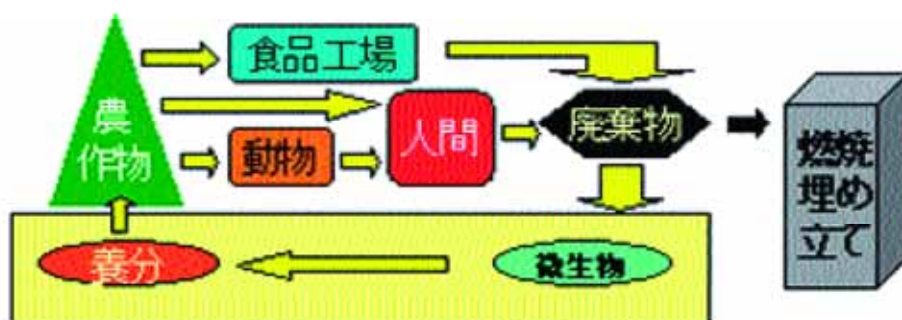
自然界では、動植物の死体や排泄物は、土の中で消えてしまいます。これは、土の中で、いろいろな微生物が働いて、有機物の分解が行われているからなのです。微生物は、体の周りに酵素と呼ばれる有機物を分解する物質を出します。この酵素は、特定の有機物しか分解できないため、ひとつの物質を分解するのにも、数多くの種類の微生物の活動が必要になります。

土の中には、自然界にある有機物のすべて分解することのできるように、多種類の微生物が存在しています。土1gの中には、我が国の人口に匹敵する1億以上の土壌生物が存在しているといわれています。これらの微生物は、養分がないと休止状態ですが、ひとたび餌（有機物）が入ると、急激に増殖します。この微生物の働きがあるので、土は有機物を二酸化炭素と水と無機物（ミネラル）に分解してしまう、巨大かつ精密なバイオリクター（生物反応装置）といえることができます。つまり、土は自然の掃除屋さんです。

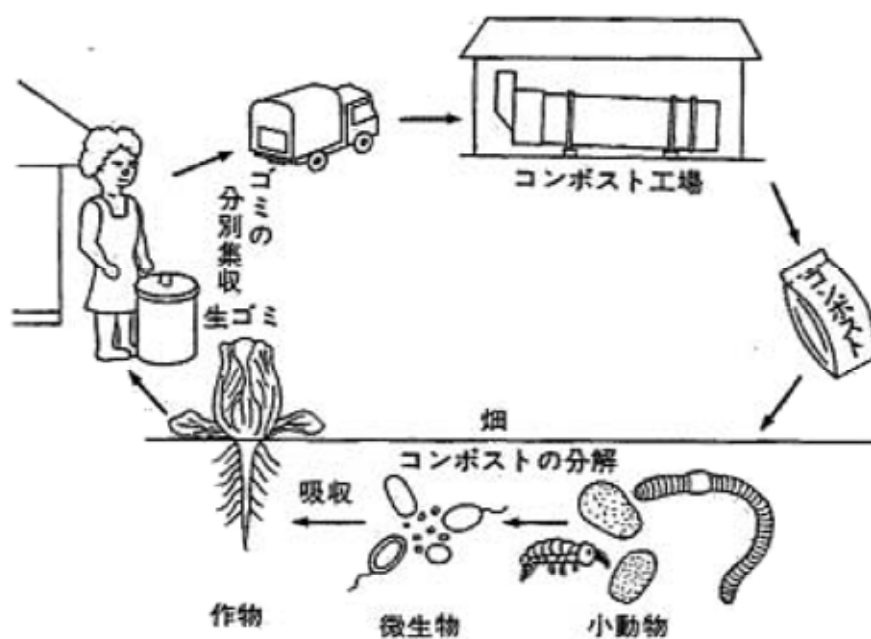
土の中で有機物が分解するとき、植物に必要な肥料成分が出されます。この成分を吸収して植物は生育することができるのです。土の上で出来た食べ物の屑や粕は、それを育てた土に戻してやるのが自然の摂理といえます。

土に戻すといっても、埋め立て処理は好ましくなく、コンポスト（堆肥）化して戻すことが大切です。埋め立て処理は一か所に多量の廃棄物を集中させるため、好気分解が充分に行われず、嫌気発酵により悪臭を発生させ環境を悪化させるばかりでなく、メタンガスを発生することがあります。

現在では、人口が集中し、人類は強力な輸送手段を持つようになったため、物質の集積による自然界のバランスが崩れるようになってきました。これを解決するために、資源を有効に活用し、自然の循環に組み入れるのが、リサイクルです。現在の日本では、多くの食品が輸入されています。この食品廃棄物を全て一度に土に戻すと、日本の土は養分過剰になる危険があるのですが、集中せず分散して身に回りの物を少量ずつ土に戻すことが環境を守ることになるのです。生ごみリサイクルのように、身近なところからリサイクルの輪を広げることが大切です。



農業をめぐる物質の循環



生ごみリサイクルの考え方1)

参考資料

- 1) 日本林業技術協会編「土の100不思議」、東京書籍(1990)
- 2) 日本土壌肥科学会編：土と食糧、朝倉書店(1998)

第5部

土と肥料

Q1

肥料はなぜ必要なのですか？

植物は生長に必要な養分を大量に根から吸収しています。そのため土壌中の養分を補わなければ植物生産を続けることはできません（養分補償の原則）。とくに日本のように多雨のところでは土壌から失われる養分の量が多く、土壌は本来さほど養分に恵まれてはいません。肥料を施用しないで作物を育てても満足な収量をあげることはできないのです。

小さな種子からあのように大きな植物体ができるのですから、生長の間に必要な成分の量は膨大なものがあります。そのうち炭素は大気中の二酸化炭素から、水素と酸素は水から供給されます。窒素、リンとカリウムは土壌中で不足となりやすい成分であり、また肥料として施用した時の増収効果が大きいので肥料三要素と呼ばれています。農産物の1000 kgを生産するときに必要な三要素の量は右ページの表に示してあります。収穫物の形態（植物の全体を利用するのか子実か葉だけを利用するのか）で違いがありますが、ほぼ1-100 kgが必要なことがわかります。この量を耕地面積当たりでみると10 a当たりで5-10 kg程度になります。

窒素はタンパク質、核酸などの構成成分であり生命現象に大きく関わっています。植物の葉にある緑の色素である葉緑素（クロロフィル）の構成成分でもあります。窒素が不足すると葉緑素の形成が妨げられ植物の色が薄くなります。葉緑素は光合成を行っており、ここで二酸化炭素からの炭素と水からできる酸素と水素を使って糖（炭水化物）が合成され、この糖を使ってタンパク質などの植物が必要とする物質が合成されます。したがって窒素が不足して葉緑素が少なくなると植物は大きくなることができず収量は上がりません。植物が必要とする養分が少なくなれば農産物の品質も低下します。

リン（肥料では習慣的にこの成分の量を酸化物で表示しリン酸といいますが同じことです）はエネルギーの伝達に関係しています。光合成の際に太陽エネルギーをいったん高エネルギーのリン酸化合物に変え、これを糖、タンパク質などの合成の際に使っています。またリンは遺伝子、染色体を作る核酸の構成成分にもなっていますから生物が子孫を残す場合に重要な役割を果たしています。

リン酸は土壌中で移動しにくく、また鉄・アルミニウムなどとすぐ結合するために不溶化しやすい性質があります。そのため植物がまだ小さく根が伸びていない場合には根の表面にまで移動する量が限られるため植物はリンを吸収できません。そのため

植物の初期成育の段階で欠乏となりやすいのです。とくに温度が低い場合には不足しやすいのです。

火山灰土壌では鉄・アルミニウムが多く、これがリン酸を不溶化（リン酸の固定）するためにリン酸肥料の施用量が少ないと効果が現れにくくなります。そのため一時的に大量のリン酸肥料を施用して土壌を改良する必要があります。

カリウムは植物の耐病性、水分ストレス耐性、耐寒性などを向上させ収量、品質の改善に役立っています。人間や動物では血液以外の体液中に多く存在し、ナトリウムと共同して心筋の収縮運動、脳の神経細胞における信号伝達などの大きな作用を行っています。またナトリウムの排泄を助けナトリウムによる高血圧の予防にも働いています。今年「日本人の食事摂取基準」が改定されカリウムの必要量が大幅に引き上げられたことは、4月に放映されたNHK「ためしてガッテン」で紹介されました。

表 収穫物 1000kgを生産するのに必要な成分の量(kg)の目安

作物	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
水稲	20	9	19
コムギ	30	12	24
ダイズ	69	14	18
バレイショ	3	2	4
青刈りトウモロコシ	2	0.7	5
イネ科牧草	5	1	5
マメ科牧草	5	10	8
温州ミカン (25年生)	6	1	4
ブドウ (5年生)	6	3	7
リンゴ (成木)	3	0.8	3
チャ	13	2	6
タバコ	66	14	97
キュウリ	3	1	4
トマト	3	1	5
ナス	4	1	7
キャベツ (夏)	5	2	7
ハウサイ	4	1	5
レタス	4	1	8
ホウレンソウ	5	2	4
ネギ	2	0.5	3
ニンジン	8	4	17

Q2

**肥料の種類にはどのようなものがありますか。
どのように役にたっていますか？**

肥料は動物の排せつ物や植物の灰やかすの利用から始まりました。これらの利用はリサイクリングの見地から貴重なものですが、その量には制約があります。今では化学肥料が主体になっていますが、これにも肥料三要素以外に二次要素、微量元素を加えたものが多くあります。今では取り扱いの容易な粒状の化成肥料が中心になっており、肥効調節型肥料も開発されています。安全で使いやすい肥料を使うことによって栄養価の高い安全な食料の生産が可能になっています。

肥料の歴史は古くいつから始まったのかはわかりません。ギリシャでは紀元前から堆肥などの効果についての記録があり、日本でも平安朝時代にすでに厩肥（きゅうひ。ウシ、ウマのふん尿と敷きわらの混合物）、野草、草木灰の使用について書かれています。江戸時代には魚かす（魚油をしぼった残り）が貴重な肥料になっていましたし、その前には人ふん尿が都市から近郊農家に肥料として運ばれていました。農家は野菜などと交換していたのです。このような有機肥料は成分量が低く重いため、使うのが大変でした。

1843年にはイギリスで骨を硫酸で処理したリン酸肥料が発明されこれが今の過リン酸石灰に発展しました。骨を使うためイギリス人はヨーロッパ中の古戦場や古代墓所から人骨を集めていると非難されたこともあります。やがて骨の代わりにリン鉱石が使われるようになりました。1860年代にはドイツでカリ鉱石が採掘されはじめ、20世紀に入ると大気中の窒素を固定して肥料にする技術が発明されました。石灰窒素、アーク放電を利用した硝酸カルシウム、そしてハーバー・ボッシュによるアンモニア合成が始まったのです。これらの肥料はこれまでの堆肥や油かすなどと違って無機化合物なので無機肥料と呼ばれています。化学工業で作られるので化学肥料ともいわれます。金肥（きんぴ）という言葉もありました。お金を出して買う肥料の意味ですが、これは江戸時代には「干鰯（ほしか）」などを意味しており、必ずしも化学肥料を意味してはいません。

肥料三要素を単独に供給する肥料は単肥（たんぴ）といわれますが、いまではこれらの成分を組み合わせた複合肥料が多くなり、とくに粒状化した化成肥料が多くなりました。油かすなどの有機質肥料は効果が長続きするなどの利点があるために複合肥料に加えられることも多く、粉末にした有機質肥料を無機質肥料に混合しこれを粒状化した有機化成、あるいは有機質の形がみえるように粉碎せずに配合した配合肥料も

あります。肥料三要素のほかに二次要素のマグネシウム、微量元素のマンガン、ホウ素などを加えた肥料も多く作られています。

これまでは速効性の肥料が多かった肥料にも、成分の形態を水に溶けにくい形態に変えたり、肥料の粒を樹脂や硫黄（溶融して噴霧する）などであるんだ被覆肥料も開発されました。さらに窒素の硝酸化成を抑制する薬剤を添加した肥料もあります。このように従来の肥料の効果の現れ方を変えた肥料は肥効調節型肥料と総称されます。また農作業の簡易化を狙って農薬を配合した肥料も作られています。

肥料三要素を中心に作られている肥料のほかに、マグネシウム、マンガン、ホウ素などのみからなる肥料もあります。水田用にはケイ酸質肥料も重要な役割を果たしています。

このように多様化した化学肥料は成分濃度が高く取り扱いが容易であり大量に安価に生産されるようになりました。有機肥料は生産される量に制約があり、また重いか腐りやすい、悪臭がするなどの欠点も多かったのです。このような化学肥料の開発があったために食料の増産が可能になり、世界の人口を養ってきたのです。

植物が無機栄養で生育できること、また収穫で失われた土壤中の養分を補償しなければ農業生産を維持できないことは、1840年にドイツのリービヒが始めて主張しました。そのため彼は近代肥料の基礎を築いたと賞賛されています。またハーバーらによるアンモニアの合成は窒素肥料の生産を大きく発展させました。このような人達により発達した肥料がなければ20世紀の始めに16億人であった人口が現在の60億人以上にまで増加することはできなかつたでしょうし、これからも増え続ける人口を養うのもやはり肥料を合理的に使った農業に期待するほかはないのです。



ハーバーのノーベル賞（1918年）受賞式講演の結語

この解決法は最終的なものではない。自然は生物の化学を洗練された形で、私達が真似をすることもできない方法を理解し利用していることを窒素固定菌が私達に教えてくれている。今のところは土壤の窒素施肥を改善することによって栄養的な豊かさをもたらし、化学工業が農家を手助けしてよい土壤において岩石をパンに変えることができたことで満足しようではないか。

アンモニアの合成法を開発したハーバー

Q3

窒素肥料は土壌の中でどのように変化しますか？

植物が吸収・利用するのは主として硝酸態とアンモニウム態の窒素です。土壌中の窒素の大部分は有機態ですので、この窒素が植物に利用されるためには無機化してアンモニウムとなるか、さらにこれが硝酸にまで変わる必要があります。このような変化は微生物の活動によっています。家畜のふん尿や有機質肥料の油かす、魚かすなどもまず無機化されそのあとは無機態の窒素と同じ挙動をします。植物は有機化合物を吸収することも知られていますが量的には無機態窒素の吸収速度に追いつけません。

大気の80%近くが窒素です。その窒素の重量を感じることはありませんが、1 ha (100 m×100 m)の地表上に75,000,000 kgもあります。しかし植物はこの大気中の窒素を直接利用することはできません。もし利用できたとすると地球上は大変な富栄養状態になってしまいます。

土壌中の窒素の形態はほとんどが有機物の形態であり、植物がすぐ利用できる形態の窒素（アンモニウム態および硝酸態窒素）は1%前後に過ぎません。土壌の有機態窒素は土壌中で鉄・アルミニウムなどと結合して微生物による分解は受けにくくなっています。しかしゆっくりと無機化され効果が長続きすること、生育の盛んな夏季の高温時に分解速度が速くなるので作物の栄養としては大事です。とくに水稻は「地力で採れ」といわれるほど土壌窒素の役割は大きいのです。

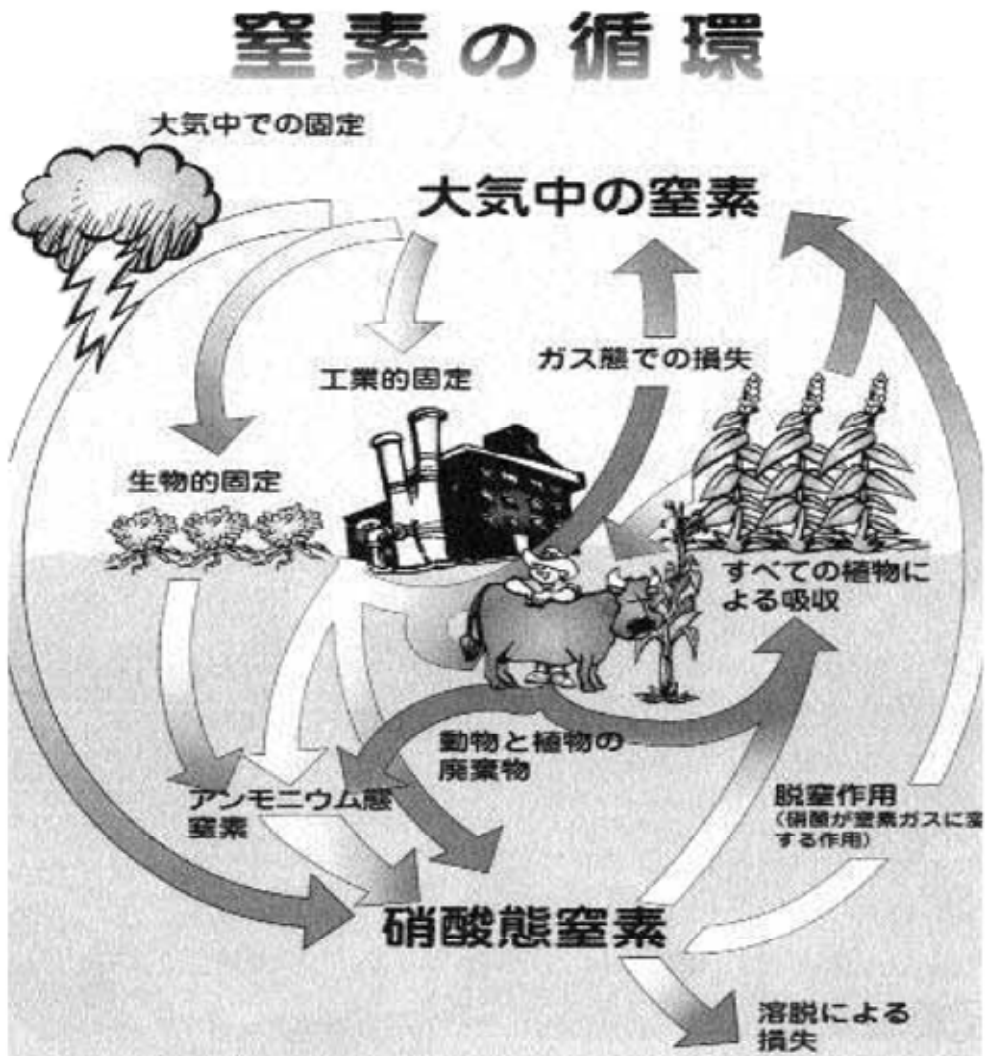
土壌中に生息する微生物は貧栄養状態にあり、有機物を施用するとこれを食べ（分解）エネルギーを得て増殖しようとします。その際に無機態窒素を取り込んで菌体にしますので（有機化）、一時的に無機態窒素が減少し作物は窒素不足になってしまいます（窒素飢餓）。窒素含量が少ない有機物では窒素肥料の効果を一時的に遅らせてしまうことになります。窒素の多い有機物の場合、あるいは肥料窒素と一緒に十分施用されている場合には有機物は微生物により分解されてアンモニウムを放出します（無機化）。



水田土壌中では還元的な条件なためにアンモニウムは安定であり稲はそれを吸収します。しかし畑土壌ではアンモニウムは不安定であり、微生物の作用で亜硝酸態に、さらに硝酸態にまで酸化され、その微生物はエネルギーを得ています。植物のほとんどは硝酸態の形態で窒素を吸収しています。肥料として施用されることの多い尿素の場合も同様に無機化と硝酸化成を受けて植物に吸収されます。(下図)

このように施用した形態がなんであって結局は水田ではアンモニウム、畑では硝酸態の形態で植物は利用していることになります。植物は根の表面で窒素の由来を判別することはできないのです。

リン酸の場合にも有機態リンは無機化され土壌溶液に入ってはじめて吸収されるのです。(左図)



Q4

化学肥料は環境に悪い影響をしますか？

施肥された成分がすべて作物によって吸収され利用されれば、それが環境（水系や大気）に失われて影響することはありません。しかし窒素は硝酸塩となって地下水の硝酸塩濃度が上がったり、またごくわずかですが亜酸化窒素を発生することがあり地球温暖化などの影響が論議されています。ヨーロッパではそのため農耕地に対する家畜ふん尿由来の窒素施用量を制限しています。過剰施肥を避け、施肥効率を高める技術が大切です。

肥料を施用するのは作業の関係で発芽前か苗を移植する時期に行うのが普通です。そのため施肥後しばらくの間は作物が肥料を吸収する速度は遅いのです。この時期に大雨があると肥料成分は地表を流去したり地下水に溶脱されたりします。とくに窒素は硝酸化成により硝酸塩に変化すると土壤に吸着されないので作土からの損失が大きくなります。リン酸は土壤中での移動性が小さいので損失は少ないのですが、土壤中の鉄・アルミニウムなどと反応して不溶化され、植物に吸収されにくくなり土壤中で蓄積が多くなります。

肥料成分と環境の関連は塩類の集積、硝酸塩の地下水への損失、窒素のガス化による地球環境への影響、土壤の物理性への影響などがありますが、これについては「土と環境」の節で解説されています。肥料成分の吸収効率を高めると吸収されずに残留する養分が少なくなるので、このような環境に対する影響は小さくなります。逆に施用量が過剰だったり、施用法（施肥位置、施肥時期）が悪い場合には吸収されず残留する成分が環境に放出され影響が大きくなります。

ヨーロッパでは地下水や河川水中の硝酸塩の濃度が高くなり飲料水を作るための浄化費用が高くなっており、農耕地からの硝酸塩の損失を少なくする方策がとられています。影響がもっとも大きいのは養分の供給量であり、家畜ふん尿由来の窒素の施用量が制限されています。その上限量は170 kg N/ha（草地では250 kg N/ha）であり、ふん尿を施用する面積を確保することが畜産業に求められています。化学肥料には今のところ制限はありませんが、圃場あるいは農場当たりでの窒素の収支を記録しそれを一定値以下にすることの必要性が議論されています。家畜ふん尿由来の窒素はそれが無機化するまでに時間がかかり、また施用量も多くなりやすいので吸収が遅くそのため環境に対する損失が多いのです（図参照）。

その他の対策としては適正農業慣行（GAP）を守ることが強調されています。具体

的には、ふん尿および無機肥料の施用時期（作物が生育していない冬や凍結したところには施用しない）や施用場所（傾斜地や溶脱の多い砂地など）の制限、水路から一定の距離で緩衝帯をおきここには放牧したり施肥しない、施肥量は作物の吸収に見合う量とするなどです。

今日本においてもこの適正農業慣行をどう設定するか農林水産省で論議されています。日本では降雨量がヨーロッパと違って多く、また国土に占める農耕地面積も違いますのでヨーロッパの基準値をそのまま適用することはできません。しかし適正な施肥をして過剰施肥を避ける、そのため土壌診断、栄養診断を活用する、また分施、肥効調節型肥料をうまく使って施肥効率を高めることがこれまで以上に重要となっています。

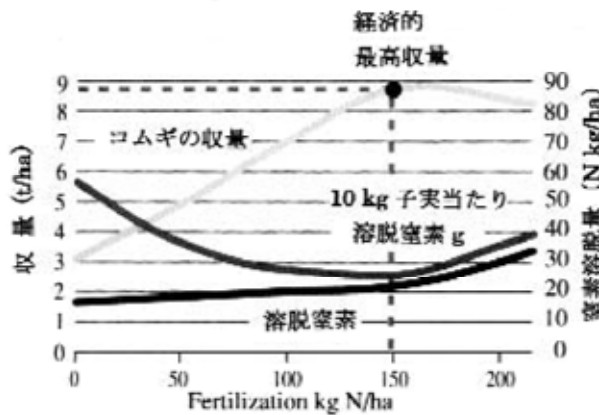


図 施肥がコムギの収量および硝酸態窒素の溶脱に及ぼす影響 (デンマークでの試験から)

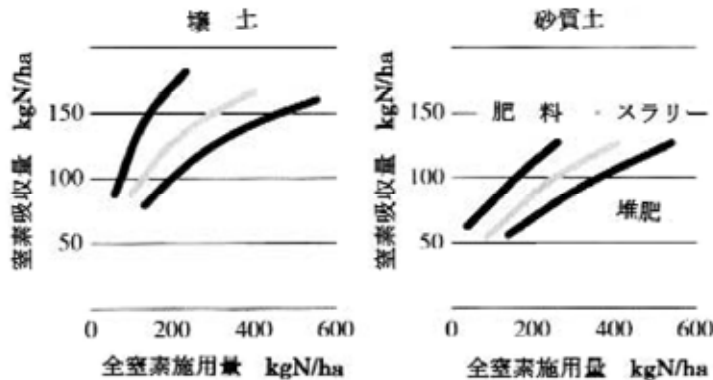


図 肥料、家畜ふん尿スラリーおよび堆肥の窒素利用率 (Kofeod, 1985)

Q5

化学肥料は作物の品質に悪い影響をしますか？

栄養がよい状態で生育すると農産物は収量が上がるだけでなく品質も高くなるのが通常です。多様な穀物、野菜、果物をバランスよく食べることは人間の健康上でも多くの利点があります。食物の安全性は大切でありこれまでも多くの研究がありますが、肥料が直接の原因となって健康がおびやかされることはありません。

植物の生育に不可欠な窒素、リン、カリウムは動物の成育にも不可欠な成分です。したがって施肥をして作物中の濃度を高くすることは人間や家畜の健康にも役立っています。二次要素、微量元素も動物でやはり重要な働きをしているのが普通です。

窒素肥料の主原料であるアンモニアはその製造の際にガスを精製する必要があります（合成触媒を長持ちさせるため）。そのため肥料としては必要以上に純度が高くなっています。尿素や硝酸も同様です。硫酸は昔の製造法では不純物が多いことがあったのですが、現在の技術では純度は高いものになっています。ただこの硫酸を他工業で使ったのちこれを回収して肥料に使う場合がありますそのためいろいろな不純物が入ることがあります。そのため肥料検査機関で製造工程に厳重な監視が行われ、また不純物の規制値が決められています。

リン酸はリン鉱石を原料とするのでこの鉱石中にある微量成分も肥料中に移行することがあります。カドミウムがもっとも論議される成分ですが、これについてはすでに害にならないように規制値が設定されています。現在は土壤中で長期間に蓄積しないか議論されていますが、今の通常の化学肥料では問題は起きないでしょう。放射性物質も微量ながら入っていますが、これについては現在普通にみられる自然放射性物質のレベル以下ですから問題はありません。カリウム鉱石は比較的不純物が少ないので重金属の問題はありませんが、カリウムの一部は放射性であることは昔から知られています。しかしこれも温泉に入って受ける放射能に比較すると問題になりません。

いま安全性に関係してもっとも議論されているのは野菜（とくに葉野菜）に硝酸塩が蓄積する問題です。植物は硝酸の形態で窒素を含み、これが植物体内で光合成とリンクして同化シタンパク質などに合成される場合に、この同化と吸収の速度にアンバランスがあると体内に硝酸塩が集積します。ある程度硝酸塩の濃度が高くないと生育はむしろ不良になります（植物の栄養診断では葉や葉柄の硝酸を測定して判断しています。）ただ施肥が過剰になって供給される窒素が多くなりすぎると植物体内に過剰な集積がみられます（図1）。

有機栽培をしても窒素の施用量が多くなればやはり硝酸塩は集積します（図2）。硝酸塩そのものの毒性はそれほど高いものではないのですが、これが還元されて亜硝酸になると毒性は高くなります。硝酸、亜硝酸ともに発ガン性は否定されています。発ガン性に関係するのはニトロソアミン類ですがこれが食品中で検出されるのは限られています。

ヨーロッパでは野菜で硝酸塩の規制が始まっていますが、これはとくに有用な成分でなければ合理的に達成可能な低いほうにするという原則（ALARA, as low as reasonably achievable）を適用しています。

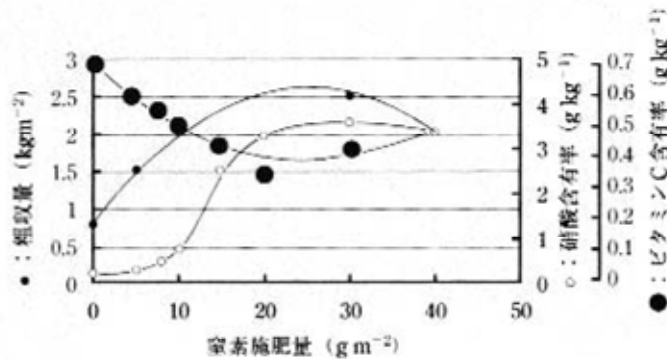


図1 窒素施肥量とホウレンソウの収量および硝酸、ビタミンC含有量
（目黒ら、1991；煙部、2001）

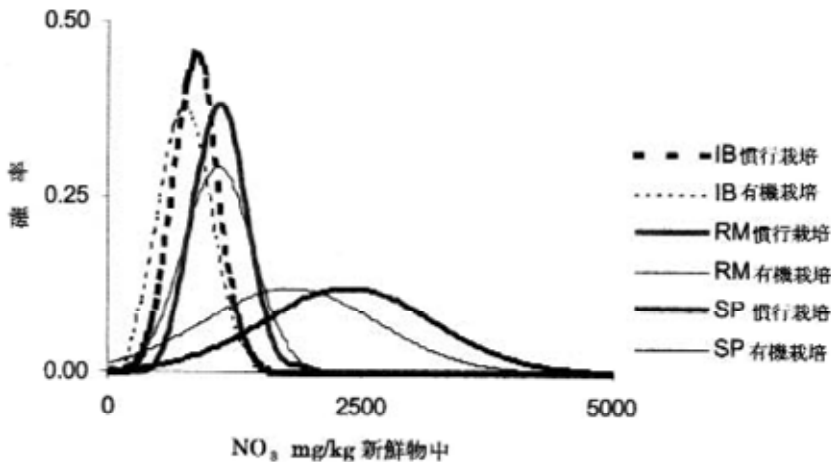


図2 慣行栽培および有機栽培をしたレタスおよびホウレンソウ中の硝酸の分布
（Muramoto, 1999）

IB アイスパークレタス；RM ロメインレタス；SP ホウレンソウ

あ と が き

2005年3月、農林水産省は新たな「食料・農業・農村基本計画」を策定しました。そのなかに、改革の視点の一つとして、「環境保全を重視した施策の展開」が取り上げられています。そして、この施策を推進するために、「環境と調和のとれた農業生産活動規範（農業環境規範）」を公表しました。

環境と調和のとれた農業については、以前より「環境保全型農業」という用語が用いられてきました。しかし、このような呼び方をすると、特殊な形態の農業として環境保全型農業があり、一般の農業は環境に負荷を与えているように受け取られます。そのような事実があることも否定できないところですが、今回の施策は、それも含めて農業全体を環境保全的なものに転換していこうというものです。

環境保全的な農業というと、世間一般では、化学農業と化学肥料が悪者のように扱われており、これらを用いない有機農業を思い浮かべるのではないのでしょうか。しかし、化学肥料については、使い方を誤らなければ環境に負荷を与えることもありませんし、人の健康にとって有害なものでもありません。化学肥料を適切に使えば、むしろ有機栽培よりも環境保全的な作物生産ができるといっても過言ではありません。

この冊子では、土が何からどのようにしてできたかに始まり、土の中で有機物はどうなるのか、土は肥料成分をどうして蓄えることが出来るか、健康な土とはどんな土か、土づくりはなぜ必要か、水田の環境浄化機能とは何か、肥料はなぜ必要なのか、化学肥料は環境や作物の品質に悪い影響をするのか、などの疑問に答える形で解説をしてきました。これにより、土との関わりの中で肥料がなぜ必要か、化学肥料を適切に使えば環境に負荷を与えないことなどがお解りいただけたかと思います。

農業環境規範には、作物の生産に取り組むすべての農家が必要性を認識すべき7つの原則（実行すべき取組）が提示されており、そのなかに土と肥料に関しては、「土づくりの励行」と「適切で効果的・効率的な施肥」が挙げられています。土の状態と肥料の特性をよく理解し、適切な施肥を行うことによって、日本農業全体が環境と調和のとれたものになっていくことを期待します。

本冊子が、土と化学肥料を正しく理解するための一助になれば幸いです。当協会では、この他にも化学肥料に関する資料をいくつか発行していますので、それらもご参照下さい。

土と肥料のはなし

執筆委員

藤沼 善亮 農学博士
元・農林水産省 中国農業試験場 場長

越野 正義
元・農林水産省 農業環境技術研究所 資材動態部長

樋口 太重 農学博士
元・独立行政法人 農業環境技術研究所
化学環境部 重金属研究グループ長

藤原 俊六郎 農学博士
神奈川県農業総合技術センター 副所長兼企画調整部長

木村 武
独立行政法人 農業・生物系特定産業技術研究機構
中央農業総合研究センター 土壌肥料部 資材利用研究室長

原田 靖生 農学博士
元・独立行政法人 農業・生物系特定産業技術研究機構
中央農業総合研究センター 土壌肥料部長

平成17年6月
編集・発行

日本肥料アンモニア協会
東京都中央区日本橋室町3-1-6
磷酸倶楽部ビル
TEL. 03-3241-0101
FAX. 03-3241-0919



発行 日本肥料アンモニア協会
〒103-0022 東京都中央区日本橋室町3-1-6
 磷酸倶楽部ビル
TEL.03-3241-0101 FAX.03-3241-0919
ホームページ <http://www.jaf.gr.jp/>
E-mail : web_master@jaf.gr.jp