

# I 土づくりと適正な施肥

1	施肥の原理と施肥技術 .....	3
2	持続的生産を可能にする土づくり .....	15
3	土壌診断と土壌管理 .....	18
4	低コスト施肥技術 .....	28
5	施肥と環境問題（環境負荷） .....	32

## I 土づくりと適正な施肥

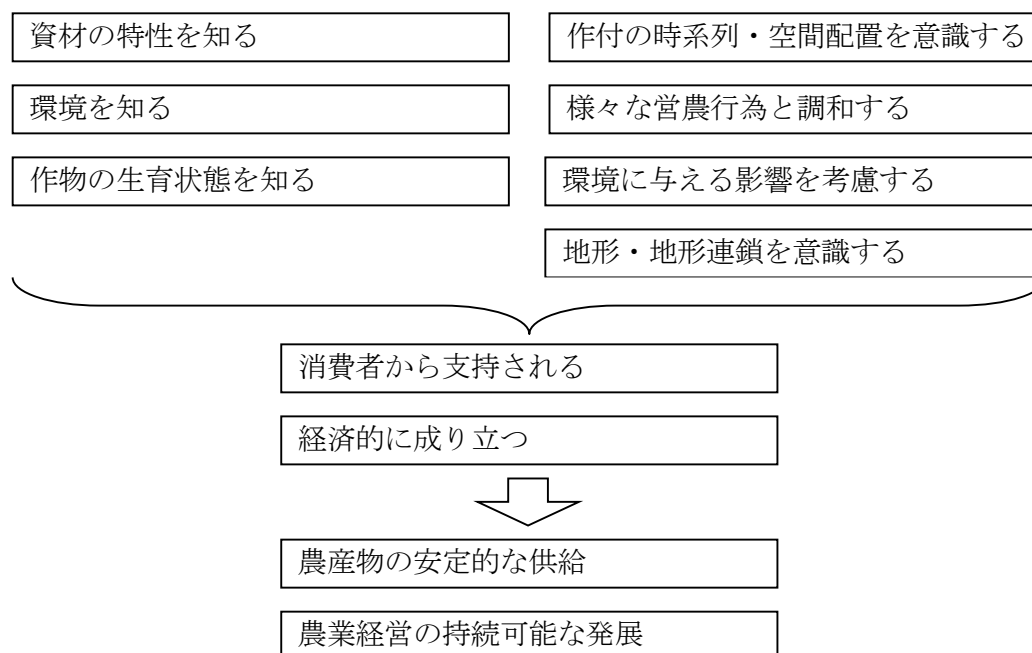
### 1 施肥の原理と施肥技術

#### (1) 施肥の意義

施肥の目的は、作物が必要とする養分を効率よく吸収させ、目標とする収量と品質を確保することである。生産性の良い土壌条件を整えるためには、施用する肥料や土壌改良資材等の特性をよく知った上で利用しなければならない。加えて、耕うん、病虫害や雑草の防除、間引きや整枝等の様々な営農行為と相乗して、施肥の目的は達成される。対象とする1作期1作物だけではなく、前作、間作、及び輪作等の栽培に関する時系列的又は空間的な要素も、施肥の方法や意義に大きく影響する。また、合理的な施肥をする上で、作物の生育診断や土壌診断は欠かせない。

農業は環境に依存するところの大きい産業であり、農業自身も環境に影響を与える。特に施肥は、土壌に様々な物質を持ち込む行為であり、養分の過剰蓄積は環境負荷となり農業以外へも影響を及ぼす。地下水の硝酸性窒素濃度や、農地から発生するメタンや一酸化二窒素等の温室効果ガス発生には、施肥に起因するものがあり得る。また、施肥場所だけではなく周辺を含めた地形への配慮（地形連鎖への配慮）も必要になる。一方で、土壌は炭素を貯留することで温室効果ガス発生を抑制する機能を有しており、施肥が土壌を通じた物質循環の機能を果たしている面もある。環境の課題として、地下水汚染対策や地球温暖化対策等に配慮した施肥は、農業が消費者から支持されるためにも、農業の持続的発展のためにも不可欠であり、こうした様々な要素を踏まえて農業は経済的に成り立っている。

農産物の安定的な供給、そして農業経営の持続的な発展を果たす上で、施肥の意義はきわめて大きい。



第 I-1-1 図 施肥の意義

## (2) 施肥を必要とする養分

作物の生育に不可欠な元素を必須元素と呼び、作物が必要とする量から多量要素と微量元素に大別されている。多量要素は水素、炭素、酸素、窒素、カリウム、カルシウム、マグネシウム、リン、硫黄の9元素である。微量元素は、ホウ素、鉄、マンガン、亜鉛、銅、モリブデン、塩素、ニッケルの8元素である。このうち、作物によって吸収される量の多い窒素、リン、カリウム、カルシウム及びマグネシウムは不足することが多く、これらの養分は施肥により補給する必要がある。ただし、土壌診断を行わずに施肥を続けていると、養分の過剰集積を招くことがあるので注意が必要である。

微量元素は吸収量が少ないため土壌中の含量で足りる場合が多いが、輪作体系の組み方や、堆肥などの施用量によっては不足する場合もある。また、過剰施用による塩類集積やpHの影響で、必要な微量元素を吸収できなくなることもある。欠乏症がしやすい作物や土壌では、診断に基づいて微量元素を施用する必要がある。

また、必須元素ではないが、特定の作物に有益な働きをするものがある。例えば、水稻はケイ素の含有量が特に多く、ケイ素の水稻における効果が認められていることから、必要に応じて施用に努める（114 ページ参照、Ⅲ 1 (2) エ）

## (3) 作物の栄養特性に応じた施肥

養分の吸収過程と吸収量は作物によって異なり、各作物は特有の栄養特性を持っている。このため、各作物の生育特性と栄養特性を十分把握した上で、各生育ステージの養分要求性に合った施肥管理を行うことが大切である。また、品種改良が進んだ結果、同じ作物でも品種により生育特性や栄養特性が異なる場合がしばしば見られる。このような場合は、品種別の施肥管理が必要である。

## (4) 肥効に影響する要因

施肥の基本は、作物に必要な養分を必要な時期に必要な量だけ供給することにある。これはまた、作物の栄養特性に合わせて適正に施肥することでもあるが、具体的にはどのような肥料（肥料の種類）をいつ（施用時期）、どのくらい（施肥量）、どこに（施肥位置）施用するかということである。

### ア 肥効発現特性に着目した肥料の分類

成分が同じであっても、肥料の種類によって肥効は異なる。したがって、肥料の選定に当たっては、肥料の特性を十分把握し、土壌条件を考慮した上で、作物の栄養特性に適した肥効の発現が期待できる肥料を選ぶ。

#### (ア) 速効性肥料

硫安、塩安、硝安、尿素、りん安、過りん酸石灰、重過石、重焼りん、硫酸加里、塩化加里及びこれらの有効成分を含む化成肥料や液肥等がある。これらの肥料の成分は水溶性のものが多く、速く効かせたい時に用いると良い。基肥に用いる場合、緩効性の肥料や、遅効性の肥料より追肥の回数は多くなる。追肥では、液肥を用いると最も速く効く。速効性窒素は、一度に多量に施用すると濃度障害を起こしやすいので、多量施用の場合は分施の回数を多くする。

(イ) 緩効性肥料（緩効性窒素入り化成肥料）

分解が徐々に進み肥効がゆっくり現れる緩効性窒素と速効性窒素が含まれているので、初期から効いて肥効が持続する（398 ページ参照、Ⅳ 1（2）ア）。多量に施用しても濃度障害を起こしにくい。基肥に適する。

(ウ) 被覆肥料（コーティング肥料）

コーティング肥料とも呼ばれ、水溶性粒状肥料をポリオレフィン系樹脂、硫黄等で被覆し、被覆の厚さや性質を変えることで肥料成分の溶出量や溶出時間を調節した肥料である（398 ページ参照、Ⅳ 1（2）イ）。調節された肥効発現のパターンからリニア型、シグモイド型、そして溶出日数により類別されており、作物の生育生理にあわせて選択する必要がある。水稻では全量基肥施肥や、育苗箱全量施肥として省力や減肥栽培として利用する。野菜においては、期間の長い栽培で追肥の省略や、全量基肥局所施肥法としてセル内施肥等として利用する。肥料の溶出が予測できるので肥料利用率が向上し、収量の低下を伴わない施肥量の削減が可能となる（85 ページ参照、Ⅱ 5）。

(エ) 硝酸化成抑制材入り化成肥料

アンモニアの亜硝酸への変化を阻害する硝酸化成抑制材を混入した肥料で、硝酸性窒素として流亡したり、地球温暖化の原因となる一酸化二窒素の発生量も抑制されるため、環境にやさしい肥料として特徴付けられる（399 ページ参照、Ⅳ 1（2）ウ）。水稻の乾田直まき栽培の基肥として、また肥効が持続するので、生育期間の長い果菜類や根菜類、マルチ栽培の基肥としての利用が適する。

(オ) 固形肥料

成形複合肥料の一種で、肥料原料に泥炭（木質泥炭）を混合し造粒したもので、肥料成分の溶解速度が遅く肥効が長続きする。大型固形肥料と粒状固形肥料があり、粒子が大きい方がより緩効性になり肥効が持続する。

(カ) 有機質肥料・有機配合肥料・有機化成肥料

生産現場で有機肥料や有機入り肥料などと呼称される肥料は、その原料及び製法等によって有機質肥料、有機配合肥料、及び有機化成肥料の3種類に分類できる。

有機質肥料は、肥料取締法上は魚かす類、骨粉類、植物油かす類、食品残さ加工肥料等の動植物質のみを原料とする肥料である（396 ページ参照、Ⅳ 1（1）エ）。含有する有機質が土壌中である程度分解した後に肥効が現れる遅効性の肥料である。

有機配合肥料は、有機質肥料と化学肥料とを配合した複合肥料である。有機化成肥料は有機質肥料と化学肥料とを混合し、化学的に造粒・成形した複合肥料である。どちらも速効性肥料と遅効性肥料とを組み合わせたものなので、肥効が初期から現れて持続する。基肥に使用することが多い。

(キ) その他の緩効性肥料

緩効性の肥料としてはこの他に熔りん、けい酸加里等がある。

イ 土壌 pH への影響に着目した肥料の分類

(ア) 硫酸根肥料・塩素根肥料

硫酸安、硫酸加里、過りん酸石灰など副成分として硫酸根を含む肥料が硫酸根肥料で、塩安など塩素根を含む肥料が塩素根肥料である。硫酸根肥料は、還元状態の水田では

硫化水素を発生させて秋落ちの原因になるので使用しない。塩素根肥料は、硫酸根肥料より土壌のECを高めて濃度障害の原因を起こしやすいので、施設栽培では避ける。

(イ) 塩類集積回避型肥料（ノンストレス肥料）

硫酸根や塩素根等の副成分を含まない原料を用いて製造された肥料であるため、施設ハウスほ場への長期施用による塩類集積や酸性化を回避することが出来る。またウレアホルムやけい酸加里等を原料としているため緩効性の肥効特性を示し、追肥の省略や、環境負荷軽減に配慮した利用が可能である。

(ウ) 生理的酸性肥料・生理的アルカリ性肥料

肥料は、土壌酸度に影響を及ぼす。施肥や収穫後に、肥料の影響で土壌のpHが変化することがある。pHを酸性に変化させる肥料を生理的酸性肥料、アルカリ性に変化させる肥料を生理的アルカリ性肥料といい、第I-1-1表のように分類される。ただし、過りん酸石灰は、アルカリ性土壌では生理的酸性肥料として働く。

酸性土壌では生理的アルカリ性肥料を、アルカリ性土壌では生理的酸性肥料を用いるのが基本である。この他に、化学的反応からみた分類があるが、施肥管理上は生理的分類の方が重要である。

**第I-1-1表 土壌pHへの影響による肥料の分類**

生理的酸性肥料	硫安、塩安、硫酸加里、塩化加里等
生理的中性肥料	尿素、硝安、過りん酸石灰等
生理的アルカリ性肥料	熔りん、重焼りん、石灰窒素、硝酸石灰等

ウ 施肥適期の考え方

施肥時期は、肥料の種類、施肥量、施肥位置、土壌条件等を考慮した上で作物の栄養特性に合わせて決める。追肥については、天候、栽培条件、土壌条件等により作物の生育に遅速があるので、生育に合わせて適期に施用する。

(ア) 分施や肥効調節型肥料の意義

労力面からみると全量基肥施用が望ましいが、施肥管理面からみると分施や肥効調節型肥料等の利用が必要である。主な理由は次のとおり。

- a 高品質のものを多収するためには各生育ステージに合った栄養管理が必要
- b 贅沢吸収を抑える
- c 肥料の流亡を抑える
- d 一度に多量の肥料を施用すると濃度障害を起こす
- e 肥料の利用率の向上を図る

(イ) 肥料成分ごとの留意事項

a 窒素

作物の生育や各器官の形成・発育に対する影響が最も大きく、各生育ステージの窒素要求性に合わせて適切に管理することが品質と収量を向上させる上で重要である。作物の生育を旺盛にしたい時期やある器官の発育を促したい時期には、窒素が十分効くようにし、逆に、ある器官の形成や登熟期の品質にマイナスに働く時期には抑え

るようにする。過剰に施用すると過繁茂や濃度障害を起こしやすいこと、更には、病害を助長する場合があること、脱窒・流亡による損失が大きいこと、利用率の向上を図ること等の理由により、肥効調節型肥料の利用や分施が必要である。分施の回数は、肥料の種類によって異なる。

b りん酸

初期の施用効果が高いこと、土壌中での移動が難しく追肥しても根群域まで達しにくいこと等の理由により、基肥中心に十分施用する。表面に追肥した場合、中耕や培土を行って根を施肥位置まで伸長させることが必要である。しかし、過剰施用は環境負荷を増大させるほか、土壌病害の助長につながるので適正施肥とする。

c 加里

窒素と同様に吸収量が多く、一時に多量に施用すると贅沢吸収されやすいので、分施が必要である。窒素と同時に施用するとよい。結実させる作物では、結実期に十分効くように施用する。

d 石灰・苦土

基肥施用時に、土壌酸度の矯正も兼ねて、土壌中の含量が好適になるように施用すれば十分である。

e 微量要素

欠乏がみられる土壌では基肥施用時に施用する。欠乏症が発生した場合は、土壌施用か葉面散布を行う。

エ 適切な施肥量

(ア) 基本的な考え方

- a ほ場への養分供給量とほ場からの養分損失量とを均衡させる  
すなわち過不足無く、ほ場に養分が残留しないことを原則とする。

ほ場への養分供給量:S ほ場からの養分損失量:L
-----------------------------

$$S=L$$

- b ほ場への養分供給量は、養分施用量と自然由来の養分供給量との和

養分施用量（肥料だけでなく堆肥等を含む資材由来）:Sf 自然由来の養分供給量（作物残渣・土壌・灌漑水等由来）:Sn
--

$$S=Sf+Sn$$

- c ほ場からの養分損失量は、作物による養分吸収量とほ場における損失量との和

作物による養分吸収量:Lc（野菜については、172 ページ参照、第Ⅲ-3-1 表） ほ場における損失量（揮散、流亡、不可給態化等）:Ln
---

$$L=Lc+Ln$$

上記 a～c を総合すると養分施用量は次式のとおり。

$$Sf+Sn=Lc+Ln$$

$$Sf=Lc+Ln-Sn$$

すなわち、養分吸収量の大きい作物や品種、及び養分不可給態化（固定）しやすい土壌は養分施用量を増やす要因であり、自然由来の養分供給量が大きい場合は養分施用量を減らす要因になる。

d 養分供給量、吸収量、損失量の時期変化を読み取る

1 作期の 1 作物においても、生育ステージ、温度条件、又は施肥方法等で養分の供給量、吸収量、損失量が変化する。施肥設計においてもこの変化を踏まえる。例えば、被覆肥料はこの考えを取り入れつつ施肥作業の省力化を目指して開発された肥料である。また、水稻側条施肥はほ場における養分損失量を減らすので、養分施用量も減らすことが必要になる。

e 作付体系と調整する

現実の耕作においては、前作、後作等との関係を踏まえて調整する。この場合、前作から又は後作への持ち越し養分の適否を検討する。作付体系上適切又はやむを得ない場合以外は、原則どおり「残肥なし」を目指すことが望ましい。

(イ) 現地の実態を確かめながら調整する

上記は単純化した考え方である。施肥は、作物の草姿、品質、及び病害等に及ぼす影響が大きく、生産者にとって期待とともに不安も大きい技術であるので、実用に当たっては、肥料試験及び栽培試験での事例や経営方針等を踏まえて調整することが必要である。

(ウ) 過剰施肥防止の意義

過剰施肥は、土壌条件を悪化させて作物の生育を不健全にするばかりでなく、病害を助長し、環境汚染にもつながるので、土壌診断を実施し、適正施肥に努めなければならない。過剰レベルでなくても、肥料成分が農耕地外へ流出して環境を悪化させることのないよう注意する。

オ 施肥位置

養分を吸収させたい時期に根群域に適切な濃度で存在するように施肥することが大切であり、そのためには、施肥する位置が重要となる。表面施肥（表層施肥）、全層施肥、作条施肥（側条施肥）、下層施肥（深層施肥、溝施肥）等が代表的な施肥位置である。

(ア) 表面施肥（表層施肥）

作土の表面に肥料を散布する方法であり、灌水や降雨によって肥効が現れる。速く効かせたいときは、速効性肥料を用いて灌水するとよい。追肥の施用に用いる。全面に施用する場合と局所に施用する場合とがあるが、局所に施用する場合は根が十分に働く所に施用することが大切である。なお、畑地では、局所に多量に施用すると施肥位置直下の根が濃度障害を起こすことがある。水田や傾斜地にある果樹園、牧草地等では、多量の降雨により肥料が流亡しやすいので施肥前後の気象に留意する。

(イ) 全層施肥

作土層全体に肥料を混和する方法である。基肥の施用に用いる。肥料が均一に分布するので濃度障害を起こしにくい。一方で全面施用（全面全層施肥）は、多量の肥料を施用できるので施用過多になりやすい。目的に応じて全面施用と局所施用とがある。アンモニア性窒素は硝酸化成が容易に行われて硝酸性窒素になり流亡しやすく、りん酸は土壌に固定されやすい。このため、遅効性の肥料や緩効性の肥料、又は被覆



肥料を用いて肥料の利用率を高めるようにする。ただし、水田では表層以下が還元状態になっているので、アンモニア性窒素は土壤に吸着保持され肥効が持続する。

#### (ウ) 作条施肥（側条施肥）

畝に沿って株や根の近くに施肥する方法であり、根からの距離によって肥効の遅速が決まる。基肥及び追肥の施用に用いる。基肥の施用に用いる場合、初期から肥効が表れるため初期生育が良くなる。畑地では、局所的に肥料濃度が高くなるため、初期に生成した硝酸性窒素の影響でpHが低下してアンモニア性窒素の硝酸化成が抑えられ、全層施肥より流亡しにくくなる。りん酸も、土壤との接触面積が少ないので、固定が軽減されて肥効が高まる。

なお、施肥位置は肥料濃度が高くなるので、多肥し過ぎると根に障害を起こすことがある。根菜類では、施肥位置の直上に播種すると岐根の発生が多くなるので注意する。

#### (エ) 下層施肥

作土の下方に施肥する方法である。畑地では、深い位置に溝を掘って施肥するので、深耕の効果もある。作条施肥と同様にアンモニア性窒素の硝酸化成が抑えられる。根が下層に達してから効きだすため、肥効は後期に現れ長く持続する。果菜類のような栽培期間の長い作物では、全層施肥と併用するとよい。また、有機物とともに施用すると肥効の安定が図られる。果樹では、下層の物理性の改善も兼ねて樹間に溝やたこつぼを掘り、堆肥とともに施肥する。

### カ 土壤の種類・気象条件

土壤の種類や降雨も施肥法に大きな影響を及ぼす。肥料成分の土壤中での動態が、これら条件によって異なるからである。

火山灰土では、りん酸はアルミニウムや鉄と反応して固定され吸収されにくくなるので、堆肥とともに施用するか、あるいは水溶性りん酸と固定されにくい溶性りん酸を併用するようにする。

砂質土では、窒素の肥効の発現は早い、他の土壤に比べ低い濃度で濃度障害が起こりやすく、雨水や灌漑水により流亡しやすいので、分施の回数を多くするほか、流亡しにくい肥料を使用する必要がある。

降水量が多いと肥料の流亡が多くなる。施設、トンネル、マルチでは、降雨を遮る程度が異なるが、雨水が入りやすいほど流亡は多くなるので配慮する。

### キ 土壤pHと肥効

土壤は緩衝能を有していて、酸、アルカリ資材の施用量から予測されるよりもpH変化の小さいことが多いが、様々な条件によって作物の好適pHから外れていることがあるので注意する。この場合、酸性土壤では施肥前に炭酸カルシウムや苦土石灰などの石灰質資材でpHを調整し、アルカリ性土壤ではpHを下げにくいので生理的酸性肥料を用いるようにする。

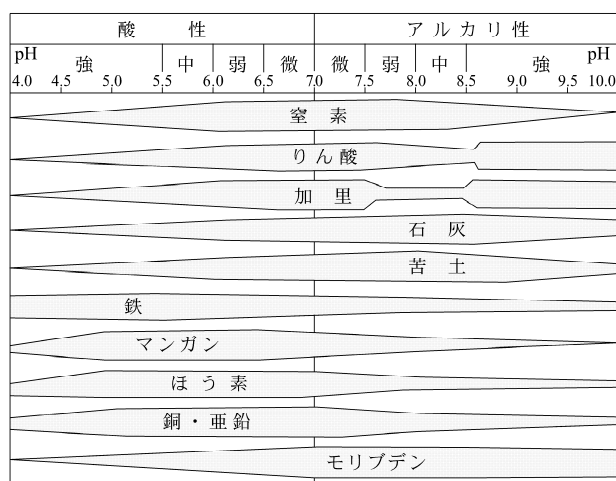
#### (ア) 酸性土壤の影響

長期の施肥や降雨などの影響によって酸性化した土壤は、カルシウムやマグネシウム含量が低くなって作物に欠乏症状が生じ、酸性では多くの微量要素が作物に吸収されやすい形態に変化するため、鉄やマンガンの過剰症状が現れることがある（10 ページ参照、第Ⅰ-1-2図）。硝酸化成菌、窒素固定菌の活動が低下することも知られている。

また、アルミニウムイオン濃度が高くなって、作物や微生物の生育を阻害したり、りん酸と難溶性の塩を作って吸収を妨げることがある。

#### (イ) アルカリ性土壌の影響

pHが7以上になると、りん酸がカルシウム塩として沈殿して作物に利用されにくくなったり、微量元素が沈殿したり土壌有機物に吸着されるため、鉄欠乏などの症状が発生することがある。



第 I-1-2 図 土壌の反応 (pH) と作物養分の溶解・利用度

#### (5) 施肥法に関する留意点

##### ア 輪作や緑肥を取り入れた施肥法

##### (ア) 単品目栽培が農業生産の持続を阻害する要因

単品目栽培は収益性や効率化において優れた面を有するが、一方では有機物の土壌還元の減少、あるいは家畜ふん堆肥の過剰投与や化学肥料の多施用を招き、土壌病害、線虫害の多発、土壌の悪化などをもたらしている事例が見られる。環境的側面では、窒素の過剰投与による地下水の硝酸性窒素汚染や、土壌侵食に伴う飛土や土砂流等の影響がある。このため、作物の品質・収量を安定させ、かつ持続的な農業の展開を図っていく上で、輪作や緑肥を取り入れた施肥法の重要性は高い。

##### (イ) 輪作や緑肥を取り入れた施肥の具体的な手法

腐熟堆肥の施用や深耕を取り入れた基本的な土壌管理を行い、土壌養分の適正管理や土壌緩衝能を高めた上で、イネ科・マメ科等の緑肥を組み込んだ合理的輪作体系を導入し、連作障害や病害を抑制するものとして、次のような方法がある。

- 土壌の理化学性を向上させるイネ科等の緑肥の導入
- マメ科作物の緑肥利用による速効的肥料効果の活用
- りん酸吸収を改善するアブラナ科やアカザ科、難溶性りん酸を可溶化させる落花生や陸稲の導入
- VA菌根菌との共生率を高める作物の導入
- ウリ科とねぎの混植によるフザリウム菌の増殖抑制効果
- マリーゴールド、ギニアグラス等による線虫類抑制効果等を活用した輪作体系の導入

## イ マルチ栽培の施肥法

### (ア) マルチ栽培の効果

マルチ栽培による生育の促進や収量の増加などの効果は、地温の調節、土壌の固結・乾燥の防止、土壌の跳ね返り防止、雑草発生防止、肥効調節型肥料の安定した肥効発現、降雨による養分溶脱抑制効果などによってもたらされる。省力技術としては、光分解性や微生物分解性の被覆資材の利用がある。

### (イ) マルチ栽培による施肥への影響

土壌表面からの蒸発を抑制するので、施肥量を 20～30%減らしたり、灌水量を減らすことが出来るなど環境保全的な技術として有益である。

## ウ 施設栽培における施肥法（塩類集積防止対策）

### (ア) 塩類集積の原因

施設栽培では、降雨が遮断されるため、水の動きは下から上へと移動し、この流れに伴って、養分は下から表層へと移動集積してゆく（塩類化作用）。施設園芸では、高生産性を求めて、周年栽培や多肥栽培を長年繰り返してきたため、吸収されずに残った養分が土壌に集積し、多くの施設園芸ほ場で、加里や石灰、りん酸更には硝酸イオン、硫酸イオンなどの蓄積が顕著となり、塩基のアンバランス、養分過多による生理障害や生産性の低下を招いている事例が認められる。

### (イ) 塩類集積への対策

従来から「クリーニングクロープ」の栽培、客土、かけ流し除塩等が行われてきたが、かけ流し除塩については結果として養分を系外へ溶脱させ、環境負荷要因の 1 つとなるので避けなければならない。今後とも高い生産性を維持して行くためには、次に示すような技術の総合的活用が重要である。

- a 土壌診断・作物診断に基づいた適正な施肥の実施
- b 副成分を含まない肥料（塩類集積回避型肥料など）の施用
- c 作物の養分吸収特性に基づく施肥管理方法の実施
- d 生育ステージに合わせた養水分管理手法

## エ 有機物や有機質肥料の施用時期

有機物や有機質肥料は、施肥直後の分解の激しい期間は作物の発芽、活着、生育に悪い影響を及ぼすので、この期間が過ぎてから播種、定植を行うようにする。したがって、有機物の施用時期は、この分解期間を考慮して決定する必要がある。堆肥は、熟度を考慮して施用時期を決める。一般に十分な堆肥化処理が行われていない堆肥、稲わら、青刈り作物などは、播種又は定植の 1 ヶ月前にすき込んでおけば安全である。有機質肥料は、10 日前頃までには施用する。

## オ 作物の品質と施肥法

農産物の食味・品質に施肥法が影響を与えることが知られている。水稻栽培では、収量を確保し、良食味に導くためには、土壌中の窒素発現量を考慮した適期適量の追肥が重要となる。（119 ページ参照、Ⅲ 1（3）イ（ア））

## カ 環境容量と施肥法

### (ア) 環境容量

汚染物質が環境中に放出されても、自然の自浄能力によってその汚染物質による環境への悪影響が生じない場合がある。このような環境の収容力を環境容量<sup>1)</sup>と称し、汚染防止のための指標となっている。

### (イ) 窒素の環境負荷

環境基準が設定され、地下水汚染への影響が懸念されている肥料成分の1つとして窒素がある。農作物の栽培において施用された窒素は、作物に吸収されるもの、土壌中に有機態窒素として蓄積されるもの、脱窒され放出されるもの、無機態窒素として土壌中に残存するものなどになる。環境容量を超える必要以上の窒素を施用すると過剰の窒素が雨水によって下層へ溶脱し、地下水汚染につながる。また地上部に作物がないとき、硝酸性窒素の地下水への溶脱量を増加させるので、裸地期間を作らないよう留意することも必要である。

作物による窒素回収率が50%以上、浸透水中の窒素濃度が10mg/Lを超えないことを判断基準として、ライシメーター実験による地下水への影響データから、火山灰土壌の野菜畑の環境容量は年間約30kgN/10a<sup>2)</sup>と推定された。稲、麦、さつまいも、マメ類などの施肥量は環境容量以内に収まり、年2～3作の作付けを行う野菜栽培やトマト、きゅうり、なすなどの果菜類の栽培では環境容量を超えた施肥となっている可能性が高い。少肥型や多肥型の作物の組み合わせや、緑肥作物を組み込んだ合理的な輪作体系を組むことにより、経営的にも十分成り立ち、環境への負荷をも生じさせない施肥を行うことが大切である。

### (ウ) その他養分の環境負荷

黒ボク土はりん酸固定力が大きいので、農耕地へのりん酸施用が環境負荷に結びつく可能性は低い。

一方、九十九里低地や利根川沿岸低地の畑地の砂質土などはりん酸固定力が小さく、しかも地下水位が高いので、りん酸の過剰施用が環境負荷につながる可能性がある。このため、低地の砂質土における可給態りん酸含量は50mg/100gを目標とすることが望ましい。

## キ 過剰窒素の作物に与える影響

過剰な窒素の施用は、作物の病害を増大させ、虫害や虫に媒介されるウイルス病の発生を助長することが知られている。窒素肥料の多用により、光合成が阻害されて、多糖類の生産性が低下し、結果として、細胞壁の構造が軟弱となって病原菌の侵入を許し、窒素代謝の異常が病害に対する抵抗性を弱めるためと言われている。

水稻では、いもち病等の発生を助長すること、野菜では軟腐病や青枯病、疫病、トマト根腐萎ちょう病、つる割病、萎黄病などの病害を助長させることが知られている。

## ク 温室効果ガス発生と抑制技術

### (ア) 温室効果ガスの排出削減

国連気候変動枠組条約第21回締約国会議(COP21)(2015年12月)において合意された「パリ協定」などを踏まえ、農林水産省では気候変動の緩和に関する取組の推進方向を具体化した「農林水産省地球温暖化対策計画」(2017年3月)を策定した。

農地土壌に関連する温室効果ガス（メタン、一酸化二窒素、二酸化炭素など）排出削減対策として次のことが示されている。

- a 水田から排出されるメタンの削減として、稲わらすき込みから堆肥施用への転換、中干期間の延長
- b 施肥に伴う一酸化二窒素削減として、土壌診断、分施、緩効性肥料の利用による施肥量の適正化
- c 堆肥や緑肥の施用による土づくりを通じて、微生物分解を受けにくい土壌有機炭素を貯留することによる二酸化炭素の排出量削減

(イ) 温室効果ガス発生抑制技術

次に示す発生抑制技術は、併せて地下水の硝酸性窒素汚染を軽減する技術としても評価される技術である。

- a 収穫量に影響を及ぼさない範囲で施肥窒素量を減らす
- b 被覆窒素肥料の局所施用
- c 硝酸化抑制材入り肥料の利用

(6) 施肥設計のあり方

施肥設計は、土壌環境を知り、作物の生育状態を知り、資材を知り、経済面に環境面での配慮を加えた総合的な判断が必要である。同じ地域であっても場所やほ場により肥効が異なることがある。これまでの生育経過、施肥法、土壌診断結果などからそれぞれの場所やほ場の施肥に関する特徴を把握している場合は、それらを考慮して施肥設計を立てる。留意事項は次のとおり。

ア 深耕への配慮

深耕する場合は、下層に養分が集積していたり逆に少なかったりすることがあるので深耕する層まで土壌診断を実施してから施肥設計を立てる。

イ 家畜ふん堆肥の施用

家畜ふん堆肥の施用に当たっては、施肥基準基肥窒素量のおよそ 30%代替に相当する量の堆肥を施用することとし、家畜ふん堆肥中の窒素、りん酸、加里、カルシウム、マグネシウムの何れかの可給態成分が基肥として施用する施肥基準量を満たしたときは、その時の堆肥の施用量を上限値とし、不足する他の成分は複合肥料又は単肥によって補足する施肥設計処方を行う。

ウ 有機物・自然供給養分への配慮

青刈り植物を施用する場合や、灌漑水から供給される養分の影響が考えられる場合は、それらに由来する過剰相当量を施用量から差し引く。また、稲わら、もみ殻など C/N 比の高い有機物を施用する場合は、土壌中の窒素が取り込まれるので、有機物の施用量に応じて窒素を施用する。

エ パソコンシステムの活用

本県では土壌・環境分野のコンピュータシステム開発の成果が蓄積されており、ほ場の観察結果や生産者との話し合い結果等を、これらのパソコンシステムと組み合わせることは有意義である。

施肥量の算出に当たっては、処方箋が提供される「土壌診断システム」(55 ページ参照)、「家畜ふん堆肥利用促進ナビゲーションシステム」(69 ページ参照)、施肥設計支援システム「エコ FIT」(70 ページ参照)を利用することが出来る。

また、「養分吸収シミュレーションシステム」(173 ページ参照)は露地野菜の養分吸収経過を推定し、土壌養分量の適正管理に役立つ。地域未利用資源の有効利用や化学肥料の価格高騰対策等として活用する家畜ふん堆肥は、「堆肥のクオリティチャート」システムによって品質判別が容易になる(71 ページ参照)。さらに、県内の畜産農家が生産した堆肥の成分や流通情報を掲載した「堆肥利用促進ネットワーク」で適切な資材を検索することもできる(73 ページ参照)。

**第 I-1-2 表 活用できるパソコンシステムの一覧**

システム名	システムの入手・利用法
土壌診断システム	担い手支援課技術振興室に利用申請書提出
施肥設計支援システム「エコ FIT」	
養分吸収シミュレーションシステム	
家畜ふん堆肥利用促進ナビゲーションシステム	畜産課環境飼料班に問い合わせ
堆肥のクオリティチャート作成システム	
堆肥利用促進ネットワーク	インターネット上で公開 <a href="http://www.pref.chiba.lg.jp/taihi/">http://www.pref.chiba.lg.jp/taihi/</a>

#### 引用文献

- 1) 久馬一剛編：最新土壌学，152-153 (1997)
- 2) 上沢正志：日本土壌肥料学会講演要旨集，第 39 集，120 (1993)

## 2 持続的生産を可能にする土づくり

### (1) 土づくりの目的と効果

土づくりとは、土壌の物理性、化学性、生物性を改良することによって、作物の生育に合った土壌環境を整えることである。そうした土壌環境においては、根は良く伸張り、その機能が高まって、養水分が十分に作物体内に送り込まれ、作物が健全に生育して生産量が向上する。

実際には土づくりによって、①土壌の通気性・保水性・透水性が改善され、作物の根域が広がり、耕起作業が容易となる、②土壌pHが適正となり、緩衝能や養分保持・供給機能が高まる、③土壌生物の生育密度・多様性が増加して、病原菌や害虫の活動が抑制される、有機物などの分解機能が向上することによって土壌団粒構造が発達する、などの効果が期待できる。

上述のように、土づくりによって土壌環境が改善されて作物生産の向上と安定化がもたらされるばかりでなく、土壌は水分や窒素栄養などの制御による作物の高品質化、投入養分の利用率向上による施肥量の節減などが期待できる。また、土壌の生物性の改善や湿害の回避などを通じて病害の軽減も可能であることから、土づくりは環境にやさしい農業を推進していく上での基本的技術として位置づけられる。

### (2) 土づくりと施肥

作物を栽培するうえで、土づくりは基本となるものである。土づくりにあたっては当該ほ場の土壌診断を行い、良質で適正量の有機物や土壌改良資材を施用するようにする。こうして地力が高まれば、過度に化学肥料に依存しない土壌ができる。「耕地土壌の特徴と土壌管理」(25 ページ参照)にも記述されているように、最近では肥料養分の過剰蓄積が多くのは場でみられることから、診断に基づく土づくりと施肥を心がけることが最も重要である。

作物にとって必要以上の施肥はもちろんのこと、例えば家畜ふん堆肥のように比較的養分含量の多い有機物の連用は過度の養分蓄積をもたらし、作物生産を不安定にするだけでなく、環境汚染につながるので、施肥基準や施用基準を遵守しつつ、土づくりを行い、土壌診断によって土壌の状態をチェックするのが持続的な作物生産を可能にする方策といえる。

### (3) 土づくりの基本的方法<sup>1)</sup>

土づくりの基になる地力に関わる化学性、物理性、生物性の要因と維持手段を第Ⅰ-2-1図に示した。この図に基づいて各性質の改善方法について述べる。





れ、作物に吸収利用される。

団粒は土壤微生物の住みかともなる。好気性菌は団粒の表面に、嫌気性菌は内部に住み分けるので、微生物の多様性や活性を増進する。

団粒の形成には植物質の堆肥や優良粘土の客土などが効果的である。また、深耕や心土破碎、暗きょや排水溝の施工なども作物生産性の高い土壤三相を作るのに有効である。

#### ウ 土壤の生物性改善方法

土壤中にはミミズ、トビムシ、ケラ、ダニ、ムカデなどの小動物や藻類、糸状菌（カビ）、放線菌、細菌などの微生物が生息している。土壤に投入された有機物はこれらの生物に利用され分解される。その過程でアミノ酸や核酸分解物、植物ホルモンなどの作物生育にとって有用な物質が生産される。

有機物の分解によって生成した腐植やミミズなどから生成される粘着性物質は土壤粒子を結合させて団粒構造を発達させる。これらは土壤微生物のエサや住みかとして利用され、微生物群として一定の均衡を保つことで、特定の病原菌の増殖を防いでいると考えられている。

微生物の中にはらん藻や窒素固定菌のように大気中の窒素ガスを固定してアンモニアとして利用するもの、VA菌根菌のように作物の根に共生して作物の根圏を広げてりん酸を作物に供給するもの、根粒菌や放線菌の一種であるフランキアのように固定した窒素を作物に供給するもの、などもある。

生物性の改善には有機物や微生物資材の施用が主な方法となるが、物理性・化学性を含めた土壤環境の改善がともなってその効果が発揮されるといえる。

なお、土壤病原菌による連作障害を改善する場合は対抗作物を組み込むなどの輪作を行うことが基本である。

#### 引用文献

- 1) 犬伏和之・安西徹郎編：土壤学概論，123～125 （2001）

### 3 土壌診断と土壌管理

#### (1) 土壌の基本的な機能

土壌は、間隙に富む表面積の大きい構造物で、巨大な陽イオン交換容量を有するイオン交換体としての機能と有機物を分解・合成する機能とを併せ持つ。これらは、作物生産の場において、①水分の貯蔵・供給、②養分の貯蔵・供給、③pHの急変防止、④有害物質の固定・分解、⑤有機物の分解・蓄積、⑥成長物質の合成等の機能となる。このように土壌は、種々の機能を有する一種の生命体である。そして、これらの諸機能は、土壌の種類によって異なること、微生物の栄養源となる有機物含量やpHなどの土壌の状態によって変化すること、一定の限度を越えると回復しないこと等が知られている。

安全で良質な食料を安定多収するためには、既述のとおり適切な施肥を行うとともに、生産基盤である土壌が、①作物の栽培に適する②農作業が行いやすい③再生産が可能な状態、すなわちその有用な諸機能を発揮できる状態にあるか否かを絶えず診断・監視し、それを高める方向に管理・改善する必要がある。したがって、ここでは、施肥によって作物の生育を管理することを前提に、土壌診断及び土壌管理について述べる。

#### (2) 土壌診断の考え方と診断基準値

##### ア 土壌診断の考え方

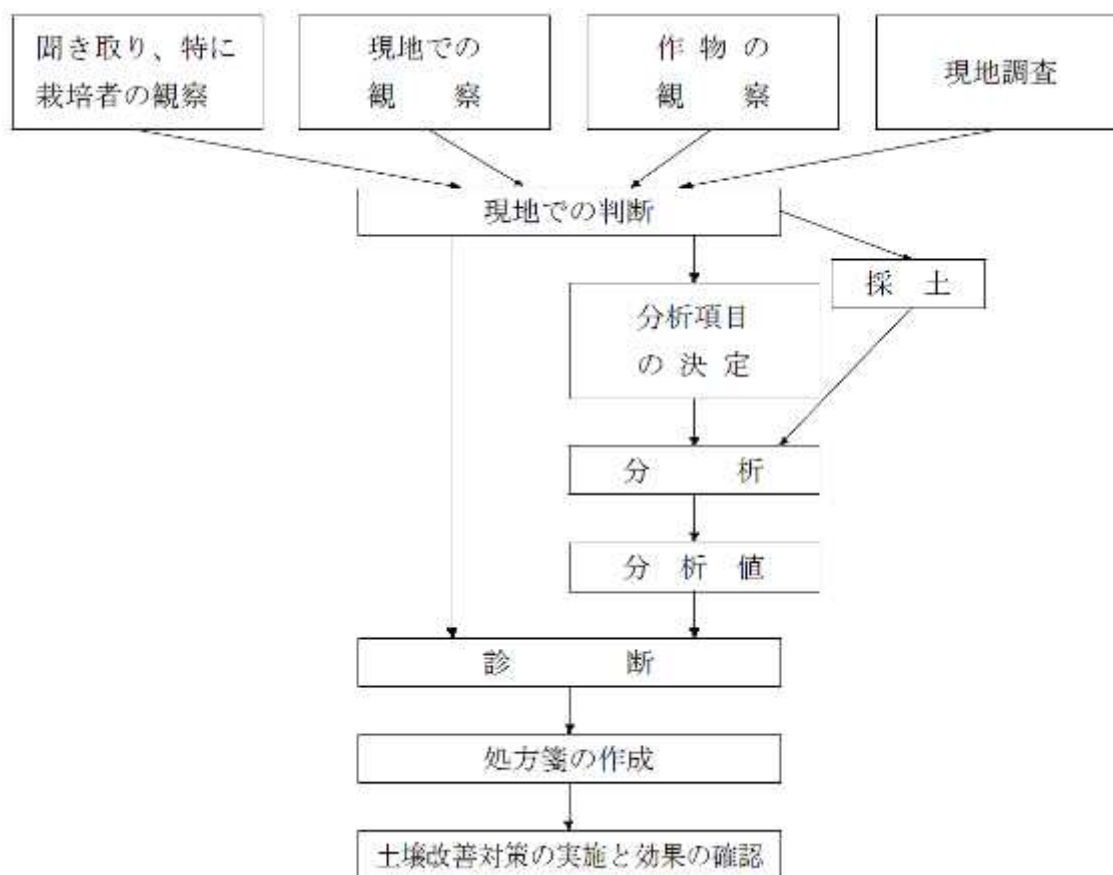
土壌診断は第I-3-1図のような手順で行われる。

- ①診断する地域の概況把握（過去の調査結果などを調べておく）
- ②聞き取り調査（調査するほ場の特徴、耕種概要、肥培管理など）
- ③現地での観察と調査
- ④採土（目的に合わせた採土）
- ⑤理化学性の測定（必要な項目の分析）
- ⑥診断結果の検討と処方箋の作成
- ⑦土壌改善対策の実施と効果の確認

土壌診断というと⑤の理化学性の測定と思いがちだが、②の聞き取り調査や③の現地での作物生育状況の観察や根群分布や土壌構造を調べる土壌断面調査から問題点や解決策の見当がつくことが多い。例えば、作土の厚さや土壌の硬さと作物の生育の良否、グライ層や酸化沈積物の生成状況と通気性・排水性の良否、土壌構造と土壌の乾湿の程度や耕うんの難易などは分析しなくてもある程度の判別ができる。また、土壌の養分含量などの化学性に関しては測定診断が有効であるが、この際も聞き取り調査によって農業者の営農状況を把握しておけば万全の対策が提示できる。

測定診断に必要な土壌を採取する場合は作土だけでよいとは限らない。根菜類のように根が深くまで入る作物やナシのように深さ20～40cmに最も活性のある根が分布する場合は下層の土も調べる必要がある。また、同一ほ場で生育差があるときは両方の土を調べるなど、診断目的に合った採土を行う。このような過程を経て、診断結果をまとめ、処方箋を作成して、施肥対策や土壌改良対策を示すことになる。そして農業者が示された対策を実施した後、再び土壌診断を行い、目的とした土壌の改善がなされたかどうかを確かめて、土壌診断は完結したといえるのである。

実際に行われる土壌診断の調査項目は第I-3-1表のとおりである。



第I-3-1図 土壌診断の手順

第I-3-1表 土壌診断の調査項目

診断の方法	項 目	内 容
1 ほ場での観察・調査	地 形 土 壤 土 性 ほ場のくせ 作物の生育	丘陵地、台地、低地の別。平坦地、傾斜地の区分等 火山灰土か非火山灰土か、有機質土か、礫があるかないか 粘質、壤質、砂質 陽当たり、風当たり、水はけ、水持ち、水温（水田） 生育ムラ、品質、病虫害、雑草の多少
2 土壌断面による観察・調査	植生の生育状況 土壌団粒の発達度 土層の積み重なり 酸化還元程度 透水性の良否	腐植層の有無、有効土層の深さ、作土層の深さと硬さ、すき床層の硬さ、圧密層の有無、植生の根張りの深さ、根量 土の粒子がサラサラしているか（単粒）、くっついてコロコロしているか（団粒） 各層の土性と層厚、土層の色、礫・母岩の有無 土層の色、グライ層の有無 孔隙の量、亀裂の程度、斑紋結核の生成位置と量
3 土壌分析による調査	pH（H <sub>2</sub> O） EC 腐植 可給態窒素 可給態りん酸 石灰、苦土、加里 陽イオン交換容量 微量元素 三相組成 透水性 地耐力	酸性かアルカリ性か 塩類集積のめやす、硝酸性窒素含量の推定 有機物含有量、有機物施用の必要性を診断 潜在的な窒素生成量の推定 りん酸供給力 土壌中の塩基含量と塩基バランスを知る 保肥力がどれくらいあるか 作物の症状からも判断する、ほう素、モリブデン、マンガン等 土壌中の土・水・空気の割合を知る 水はけの善し悪し 作業機械のほ場への導入可能性の指標

## イ 診断基準値

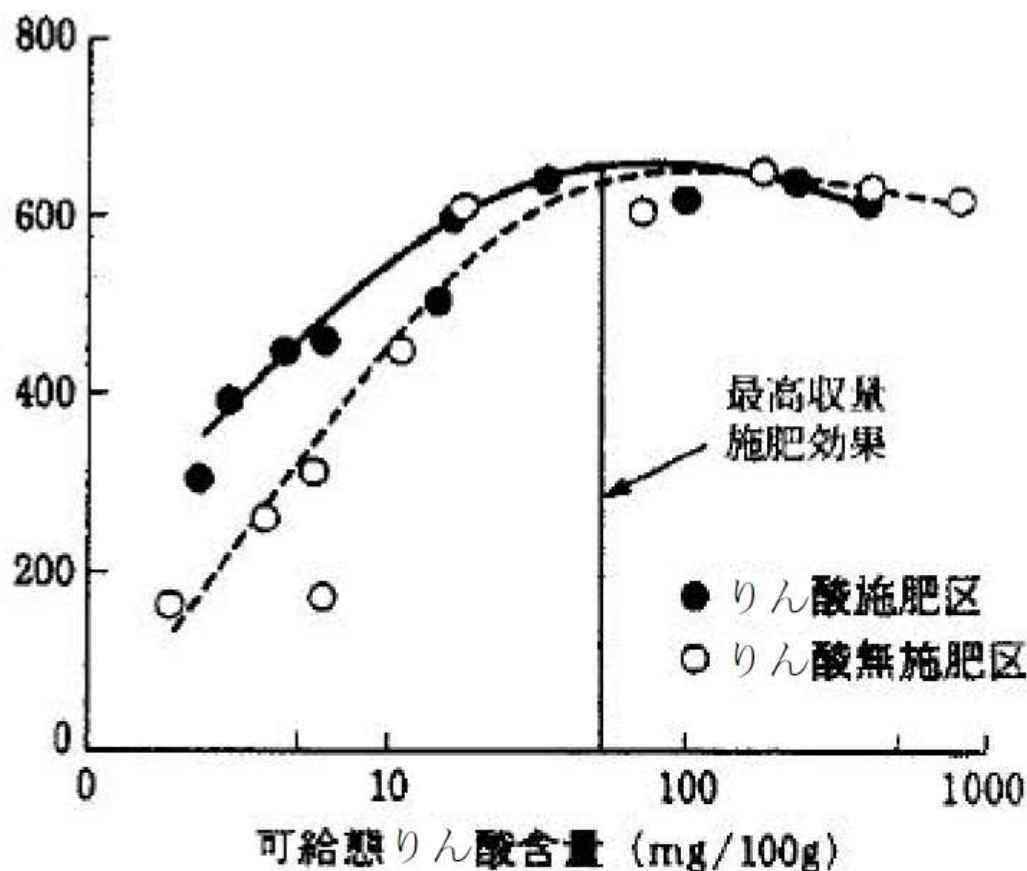
土壤診断基準値は作物を栽培する際に望ましい土壤の状態を示すもので、次の2つに大別される。

1つは適正範囲（下限値～上限値）であり、窒素、りん酸、加里、石灰、苦土など土壤の化学性に関する項目が該当する。一般に、作物の収量は土壤中の養分含量が増加するにつれて高まるが、第I-3-2図のようにある一定の値を境にして低下あるいは頭打ちとなり、施肥の効果なくなる。すなわち、最高収量あるいはその手前にあたる数値がその養分の上限値となる。近年は窒素、りん酸、加里が上限値を超えているほ場が多い。こうしたほ場は作物の生育や収量が低下するだけでなく、下層へ流亡して地下水汚染などを引き起こす可能性があるため、注意が必要である。

他の1つは望ましい限界値が示されるものであり、地下水位や空気率、透水性など土壤の物理性に関する項目が該当する。近年は農作業に機械を導入する場面が多くなり、土壤の圧密化や深耕による孔隙の破壊など物理性が悪化するケースが増えているので、これらの項目を外さずに診断する必要がある。

土壤診断基準値は土壤別、作物別に細かく設定されており、これに基づいて土壤管理の処方箋が作成される。土壤診断基準値は農業者が自分のほ場状態を知るためのものであり、ほ場状態に見合った栽培・施肥管理がなされてこそ、合理的な農業が成り立つといえる。

本県の土壤診断基準値は第I-3-2～5表のとおりである。土壤診断後の処方箋の作成における指標値として活用されたい。



第I-3-2図 土壤の可給態りん酸含量とハウレンソウの生育

第 I - 3 - 2 表 水稻、畑普通作物、飼料作物、果樹、桑栽培土壌化学性診断基準（pHは第 I - 3 - 4 表に示す）

作物・土壌			交換性塩基 (mg/100 g)			塩基飽和度 (%)	当量比		可給態 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> トルオーグ法 mg/100 g	※5 可給態 SiO <sub>2</sub> (mg/100 g)	備考
			CaO	MgO	K <sub>2</sub> O		CaO/MgO	MgO/K <sub>2</sub> O			
水	稲	水田土壌※2	225~365 (45~65)	40~80 (10~20)	10~50 (1~5)				5~20	10~25	※ 数値はいずれも作付前（施肥前）の状態を示す。
畑普通作物及び飼料作物	普通作物※1	火山灰土	200~400	55~160	35~165	30~65			10~50		
	イモ類	火山灰土	190~380	55~150	30~160	35~75			10~50※4		
	普通作物※1	非火山灰土※3	170~340	50~120	30~140	45~100			10		
	飼料作物	火山灰土	420~670	40~120	15~50	60~90	4~8	2~8	10~30		
		非火山灰土	170~340	20~60	15~30	70~90	4~8	2~8	10~30		
果樹及び桑	ナシ	火山灰土	250~350	25~50	25~60	40~60	7以下	2以下	20~50		
		非火山灰土	150~250	25~50	20~40	40~60	6以下	2以下	20~50		
	カンキツ	火山灰混合土	250~500	30~50	20~50				20~50		
		非火山灰粘質土	250~500	30~50	20~50				20~50		
	ビワ	非火山灰粘質土	250~500	30~50	20~50				20~50		
		砂質土	150~250	30~50	20~50				20~50		
	桑	火山灰土 CEC30me以上	250~400	30~45	30~45				20~30		
		火山灰土 CEC30me未満	250~350	25~40	25~35				20~30		

※1：麦、陸稲、ダイズ、落花生などの畑普通作物 ※2：陽イオン交換容量20me/100 gの場合（カッコは飽和度） ※3：転換畑を含む ※4：バレイショは20~100  
 ※5：たん水保温静置法による

第 I - 3 - 3 表 野菜、花き栽培土壌化学性診断基準（pHは第 I - 3 - 4 表に示す）

作物・土 壌			E C 1 : 5 ※3 m S/cm	交換性塩基 (mg／100 g)			塩 基 飽 和 度 (%)	当 量 比		可給態 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> トルオーグ法 mg／100 g	可給態 ほう素 (B p p m)	備 考
				C a O	M g O	K <sub>2</sub> O※4		C a O/Mg O	M g O／K <sub>2</sub> O			
				( ) 内は飽和度%								
野 菜	火 山 灰 土	C E C 20 m e	0.3以下	300～450 (55～80)	40～80 (10～20)	25～130 (3～15)	65～115	6以下※1	2以上※2	20～100	0.3～1.0	◇ 数値はいずれも作付前(施肥前)の状態を示す ◇ K <sub>2</sub> Oについては範囲を超えた場合減肥する。100mgを超えた場合(または飽和度で10%を超えた場合)は無施用とする。 ◇ P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> についても範囲を超えた場合減肥する。
		〃 30 〃	0.3以下	370～550 (45～65)	55～105 (10～18)	30～150 (2～11)	55～90	6以下	2以上	20～100	0.3～1.0	
		〃 40 〃	0.3以下	420～630 (35～55)	60～120 (7～15)	35～175 (2～9)	45～80	6以下	2以上	20～100	0.3～1.0	
	砂 質 土 (C E C 10 m e) 壤 粘 質 土 (C E C 15～20 m e) 重 粘 質 土 (C E C 30～35 m e)	0.2以下	195～290 (70～105)	30～55 (14～28)	15～80 (3～17)	85～150	6以下	2以上	50～100※3	0.3～1.0		
		0.3以下	300～450 (55～80)	40～80 (10～20)	25～130 (3～15)	65～115	6以下	2以上	50～100	0.3～1.0		
		0.3以下	370～550 (45～65)	55～105 (10～18)	30～150 (2～11)	55～90	6以下	2以上	50～100	0.3～1.0		
	花 き	施設栽培	火 山 灰 土	0.3以下	300～600	50～100	40～100				20～100	
砂 質 土			0.2以下	150～250	40～80	40～80				20～100		
非火山灰粘質土			0.3以下	350～600	50～100	40～100				20～100		
露地栽培		火 山 灰 土	0.3以下	250～500	30～50	30～50				20～50		
		砂 質 土	0.2以下	150～250	30～50	30～50				20～50		
		非火山灰粘質土	0.3以下	250～500	30～50	30～50				20～50		
シクラメン鉢用土		0.6～1.2	300～600	50～150	90～150	80以下	5	0.5	100～150			

※1 : 重量比 (CaO/MgO) 8.3以下 ※2 : 重量比 (MgO/K<sub>2</sub>O) 0.85以上 ※3 : タマネギは90~100 ※4 : 下限値に近づけることが望ましい



第 I - 3 - 4 表 作物別好適 pH 領域一覧

生育の良い pH 領域		普通作物	野菜			果樹	牧草	花き	その他
			果菜	葉菜	根菜				
A 群	中性に近い pH 領域 pH (H <sub>2</sub> O) 6.5～7.5		エンドウ	ハウレンソウ		イチジク	アルファルファ スイートクローバー	ストック 宿根カスミソウ	サトウキビ
B 群	微酸性の pH 領域 pH (H <sub>2</sub> O) 6.0～6.5	オオムギ コムギ ビールムギ ダイズ アズキ ササゲ ラッカセイ	インゲンマメ エダマメ オクラ カボチャ カンピョウ キュウリ スイカ スイートコーン ソラマメ トウガラシ トマト ナス ピーマン メロン サヤエンドウ シロウリ	アスパラガス ウド カリフラワー シュンギク セルリー ナバナ ニラ ネギ ハクサイ パセリ ハナヤサイ ブロッコリー ミツバ ミョウガ レタス チンゲンサイ キャベツ コマツナ	コンニャク サトイモ	オウトウ ミカン ナツミカン ブドウ モモ キウイフルーツ カキ ユズ ビワ	イタリアングラス オーチャードグラス ソルゴー チモシー トウモロコシ ホワイトクローバー レッドクローバー ローズグラス 青刈りトウモロコシ 混播牧草	カーネーション キク ゼラニウム バラ アイスランドポピー フリージア ポインセチア ガーベラ はなな スターチス トルコギキョウ グラジオラス デルフィニウム キンセンカ 芝	桑 ハトムギ 葉タバコ
C 群	微酸性～弱酸性 pH 領域 pH (H <sub>2</sub> O) 5.5～6.5	イネ ヒエ		サラダナ タマネギ フキ	コカブ ゴボウ ダイコン ニンジン レンコン		青刈りエンパク 青刈りライムギ スーダングラス 青刈りヒエ 飼料カブ	カラー きんぎょそう シクラメン ペゴニア・エラチオール パンジー ペチュニア	
D 群	弱酸性の pH 領域 pH (H <sub>2</sub> O) 5.5～6.0	陸稲 ソバ サツマイモ※2 ジャガイモ※2 ヤマトイモ		ニンニク ラッキョウ	ショウガ	ウメ ナシ リンゴ	トールフェスク	けいとう ユリ	
E 群	比較的酸性の pH 領域 pH (H <sub>2</sub> O) 5.0～5.5					クリ		アザレア	茶
F 群	酸性の pH 領域 pH (H <sub>2</sub> O) 4.0～5.0					ブルーベリー			

※ サツマイモ立枯病及びジャガイモそうか病・亀の甲症の発病のおそれのある場合は pH (H<sub>2</sub>O) 6.0 以上の場合、石灰質資材は施用しない。

第 I - 3 - 5 表 作物別土壌物理性診断基準

作物・土 壌			有効根群域必要深 (cm)	有 効 根 群 域 の 条 件					土壌水分張力※5 (p F)	根群域上部50cmの保水量(mm)			減水深・透水性 上部50cmの最小 透水係数	地下水位 (cm)	有効土層 (cm)	地表排水
				固相率 (仮比重) (%)	空気率 (%)	粗孔隙 ※1 (%)	ち密度 ※3 (mm)	コーン指数 参考値※4 (kgf/cm)		大	中	小				
水 稻													20～30mm／日	50以下		日雨量・日排水
畑 普 通 作 物							20以下	15以下								
飼 料 作 物			火 山 灰 土 非火山灰土	40以上 40以上	28 (0.75) 以下 〃	15～20以上 〃	20以上 10以上	20以下 〃	15以下 〃	1.8～3.0 〃	60以上 〃	30～60 〃	30以下 〃	10 <sup>-4</sup> cm／秒 〃	80以下 〃	
菜	野	火山灰土	果 菜	40～50	28 (0.75) 以下	15～20以上	10以上※2	20以下	15以下	2.0～2.5	60以上	30～60		10 <sup>-4</sup> cm／秒	50以下	4 時間雨量 4 時間排水 (許容湛水なし)
			葉 菜	40	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	
			短 根 菜	40～50	〃	〃	〃	18以下	10以下	〃	〃	〃	〃	〃	60以下	
		長 根 菜	80	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	80以下		
		砂 質 土	果 菜	40～50	50 (1.40) 以下	15～20以上	10以上※2	20以下	15以下	2.0～2.5		30～60	30以下	10 <sup>-4</sup> cm／秒	50以下	
			葉 菜	40	〃	〃	〃	〃	〃	〃		〃	〃	〃	〃	
	短 根 菜		40～50	〃	〃	〃	18以下	10以下	〃		〃	〃	〃	60以下		
	長 根 菜	80	〃	〃	〃	〃	〃	〃		〃	〃	〃	80以下			
	壤 質 土	果 菜	40～50	53 (1.35) 以下	15～20以上	10以上※2	20以下	15以下	2.0～2.5	60以上	30～60	30以下	10 <sup>-4</sup> cm／秒	50以下		
		葉 菜	40	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃		
		短 根 菜	40～50	〃	〃	〃	18以下	10以下	〃	〃	〃	〃	〃	60以下		
	長 根 菜	80	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	80以下			
粘 質 土	果 菜	40～50	53 (1.3 ) 以下	15～20以上	10以上※2	20以下	15以下	2.0～2.5	60以上	30～60	30以下	10 <sup>-4</sup> cm／秒	50以下			
	葉 菜	40	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃			
	短 根 菜	40～50	〃	〃	〃	18以下	10以下	〃	〃	〃	〃	〃	60以下			
長 根 菜	80	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	80以下			
果 樹	ナ		シ	60		15以上	10～15以上	10～20	15以下					10 <sup>-4</sup> cm／秒	100以下	100以上
	カンキツ	火山灰混合土	60	30 (0.78) 以下	15～20以上	10～15以上	20以下	15以下						10 <sup>-4</sup> cm／秒	100以下	100以上
		非火山灰粘質土	〃	〃	〃	〃	〃	〃						〃	〃	〃
	ビワ	粘 質 土	45	50 (1.13) 以下	15～25以上	10～15以上	20以下	15以下						10 <sup>-4</sup> cm／秒	70以下	100以上
砂 質 土		〃	50 (1.40) 以下	〃	〃	〃	〃						〃	〃	〃	
桑	火 山 灰 土	60	28 (0.75) 以下	20以上		20以下	15以下	1.8～2.5						100以下	100以上	
	砂 質 土	〃	50 (1.4 ) 以下	〃		〃	〃	〃						〃	〃	
	非火山灰粘質土	〃	53 (1.35) 以下	〃		〃	〃	〃						〃	〃	
花 き	施 設	火 山 灰 土		43 (1.16) 以下		18以上	17以下		1.8～2.3					50～60以下		
		砂 質 土		43 (1.2 ) 以下		〃	〃	〃					〃			
		非火山灰粘質土					〃	〃	〃				〃			
	露 地	火 山 灰 土		30 (0.78) 以下	15～20以上	10～15以上	20以下	15以下	2.0～2.5					50以下		
砂 質 土			50 (1.35) 以下	〃	〃	〃	〃	〃					〃			
			非火山灰粘質土	50 (1.4 ) 以下	〃	〃	〃	〃	〃				〃		4 時間雨量 4 時間排水 (許容 湛水なし)	

※1 : pF1.5 時の空気率    ※2 : 作土では 15 以上    ※3 : 山中式硬度計    ※4 : 自記式土壌硬度計 (1 kgf/cm<sup>2</sup> = 0.0983MPa)

※5 : 深さ 10 cm



### (3) 千葉県の耕地土壌の特徴と土壌管理

本県の耕地土壌は地質系統及び母材から、火山灰土、第三系粘質土、有機質土、海成砂質土壌及び河成壤質土の5種類に大別されるが、土壌管理上はこれに気象条件等を加味した地域区分とすることが実用的である。水田の場合は湛水還元に伴う特有の土壌生成作用及び地下水の影響を受けるので、さらに湿田、半湿田及び乾田に分けられる。これらの地域区分については「利用上の注意」(ii～vページ)の項に示したとおりである。

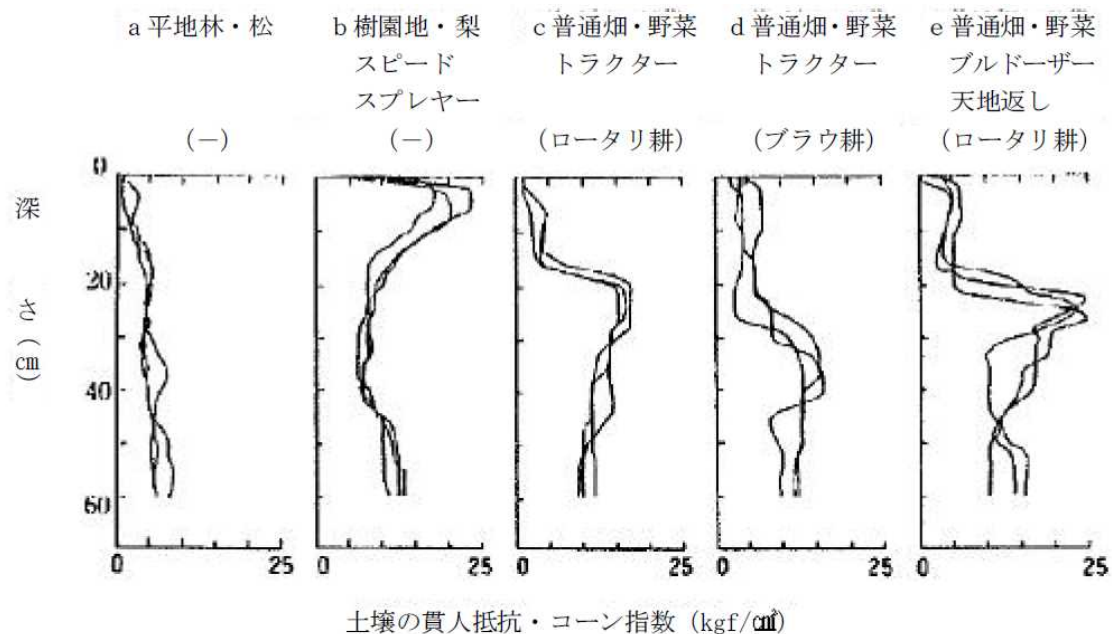
また、土壌の詳細な分類については「耕地土壌の実態」(406ページ参照、IV 2)の項に示したとおりである。

#### ア 最近の土壌の実態<sup>1,2)</sup>

土壌実態調査8巡目(平成25～28年)の結果からみた、最近の土壌の実態は次のとおりである<sup>1)</sup>。

- (ア) 作土層の深さは、野菜畑、野菜施設、花き施設及び樹園地で、1巡(昭和54～58年)～4巡目(平成6～10年)の結果と比べて浅かった。
- (イ) 水田では、1～8巡目の調査期間中に、可給態窒素が減少する傾向が認められた。化学性診断基準値との比較では、おおむね診断基準値内であった。
- (ウ) 普通畑では、1～8巡目の調査期間中に、イモ畑でCEC、交換性石灰及び苦土が増加し、イモ畑及びイモ以外で交換性加里がやや減少する傾向が認められた。黒ボク土における化学性診断基準値との比較では、pHが6.0より高い調査地点が6割あり、交換性苦土が不足する調査地点が6割あった。
- (エ) 野菜畑では、1～8巡目の調査期間中に、pH、CEC、交換性石灰及び全炭素含量が増加し、可給態窒素含量が減少した。化学性診断基準値との比較では、全土壌で高pH及び交換性陽イオンの不足、褐色低地土及び褐色森林土では可給態りん酸の過剰がみられた。
- (オ) 野菜施設では、1～8巡目の調査期間中に、交換性石灰が増加傾向にあり、全炭素が増加した。化学性診断基準値との比較では、高pH及びりん酸の過剰が問題であった。
- (カ) 花き施設では、1～8巡目の調査期間中に、全炭素が増加した。化学性診断基準値との比較では、交換性陽イオン及び可給態りん酸の過剰、一部では交換性苦土含量の不足がみられた。
- (キ) 樹園地について、ナシ園では、1～8巡目の調査期間中に、pH、交換性石灰、苦土及び加里が増加傾向にあった。ビワ・ミカン園では、交換性苦土が増加傾向にあった。化学性診断基準値との比較では、黒ボク土のナシ園で高pH、褐色森林土のビワ及びミカン園で低pH、全ての樹園地で交換性陽イオンの蓄積及びりん酸の過剰がみられた。
- (ク) 以上のことから、県内の農耕地土壌において、作土層の浅層化が起こっていることや、養分が蓄積傾向にあることが明らかとなった。

なお、ナシ園ではスピードスプレイヤー、畑では主にトラクターの走行によりち密層が形成されている(第I-3-3図)。



第 I-3-3 図 火山灰土における土地利用、農作業機械と土壌のち密層の形成<sup>2)</sup>

注) 土壌の貫入抵抗・コーン指数は  $1 \text{ kgf/cm}^2 = 0.0983 \text{ MPa}$  である。

(渡辺<sup>2)</sup>、1992)

#### イ 土地利用の形態と土壌管理

土地利用の形態によって自然的・人為的な影響の加わり方が異なるなかで、土壌の特性も方向づけられていく。特に、水の利用法の違いは水田と畑地との区分を決定づけ、また水の運動方向の違いは露地と施設の養分動態を支配する。したがって、合理的な土壌管理を行うためには第 I-3-6 表に示した土壌の基本的な特性を把握し、以下に示す対策を実施するようにしたい。

水田……地力窒素を基幹とする土壌有機物の管理。乾田化に伴う作土深の低下の防止。

塩基類、けい酸、鉄等の流亡の防止。

畑地……硝酸性窒素の流亡防止。土壌有機物、りん酸及び塩基類と pH の管理。

ち密層形成に対する土層改良。家畜ふん堆肥の適正利用。

施設……硝酸性窒素の流亡防止。養分、特にりん酸及び加里の蓄積防止。

家畜ふん堆肥の適正利用。

第 I-3-6 表 水田、畑地、施設土壌の特性

土壌の状態	水 田	畑 地	施 設
水	湛水	少ない	極めて少ない
降水量	1,300～1,500mm	1,300～1,500mm	0（遮断0～200mm）
かんがい水	800～1,500mm	0～200mm	50～1,000mm
蒸発散量	1,000～2,000mm	1,200mm前後	1,200mm+ $\alpha$
主な運動方向	（下降）	下降	上昇
空気（酸素）	少ない	多い	多い
温度	気温並み～低い	気温並み	高い
酸化還元	還元	酸化	酸化
有機物の分解	遅い	中	速い
交換性陽イオンの主体 （置換座の主成分） <sup>注）</sup>	鉄イオン （F e <sup>2+</sup> ）	カルシウム、水素イオン （C a <sup>2+</sup> 、H <sup>+</sup> ）	カルシウムイオン （C a <sup>2+</sup> ）
塩基類	かんがい水からの供給多い	雨水により溶脱	表層に集積
p H	中性	酸性	中性～アルカリ性
E C	低い	低い	高い
窒素	アンモニア性	硝酸性	硝酸性
りん酸	土壌りんが有効化	土壌に固定	土壌に固定
微量要素	かんがい水からの供給多い	雨水により溶脱	表層に集積
欠乏・過剰	少ない	多い	多い
土壌侵食	少ない	多い	多い
土壌の硬さ	柔らかい	硬い	硬い
連作障害	無	多い	多い
基本的性格			
養分・塩類	平衡（集積）型	溶脱型（酸性化）	集積型（塩類化）
有機物・地力窒素	平衡（集積）型	消耗型	消耗型

引用文献

- 1) 千葉県農林水産技術会議技術指導資料，千葉県：千葉県耕地土壌の現状と変化－土壌実態調査8巡目の結果より－，1～67（2018）
- 2) 渡辺春朗：千葉県農試特報，21，25（1992）

## 4 低コスト施肥技術

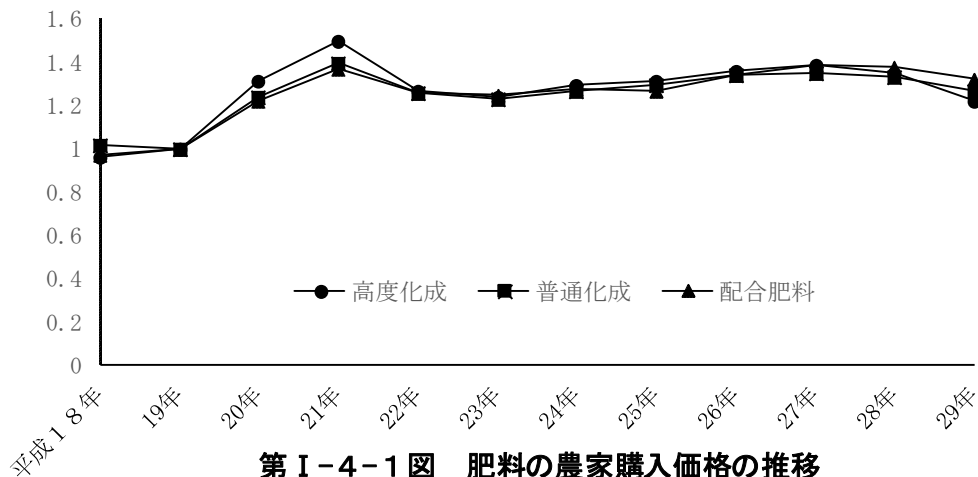
### (1) 低コスト施肥技術の必要性

日本では肥料原料のほとんどを輸入に依存している。また、肥料コストの約6割を原材料費が占めているため（第Ⅰ-4-1表）、国内肥料価格は原料の輸入価格の影響を大きく受ける。原料供給のひっ迫感等を背景に、平成20～21年に原料の輸入価格が高騰、それに伴い国内肥料価格も大幅に上昇し大きな問題となった。国際市況はすぐに落ち着き、原料の輸入価格及び肥料価格は、平成22年に一旦低下した。しかし、肥料価格は、その後高騰前の水準に戻ることはなく、増減はあるものの現在も高値で推移している（第Ⅰ-4-1図）。このような背景から、肥料費低減の取組として、製造段階においては、BB肥料やL型肥料等低価格肥料の供給、家畜排泄物等安価な国内未利用資源を活用した肥料の製造、流通・販売段階においては、肥料工場から農家に直送する等流通の合理化、大口購入や早期予約等による割引制度の活用が求められている。また、肥料を使う生産側においても、土壌診断に基づく減肥や効率的な施肥方法等による低コスト施肥技術の取組が必要である。

**第Ⅰ-4-1表 リン酸を含む高度化成肥料コストに占める各費目の割合**

原料コスト	原材料費 (肥料の原材料)	63.7%
製造コスト	加工費	16.1%
	包装費 (肥料製品の包装)	4.1%
輸送・保管コスト	運送費 (製品の顧客までの運送)	5.4%
	保管費 (製品在庫の倉庫等での保管)	0.7%
その他上記以外で販売・管理に係る費用		10.0%
合計		100%

経済産業省「平成24年度中小企業支援調査化学肥料製造における実態調査」5ページより抜粋



第 I-4-1 図 肥料の農家購入価格の推移

農林水産省「農業物価統計」のデータを引用

数値は、平成19年度を1とした場合の値

高度化成：N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O=15-15-15, 普通化成、配合肥料：N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O=8-8-5

## (2) 低コスト施肥技術に対する取り組み

本県における低コスト施肥技術については、最近の土壌の実態（25～26 ページ参照、I 3 (3)）で記述したように土壌中の養分が一部で富化していること、精力的に行った環境保全型農業の技術開発により多くの減肥技術が確立していること、地域の資源として入手し易い家畜ふん堆肥があることから、以下の三つが考えられる。

- ① 土壌診断に基づいた減肥
- ② 減肥技術の導入
- ③ 家畜ふん堆肥の活用

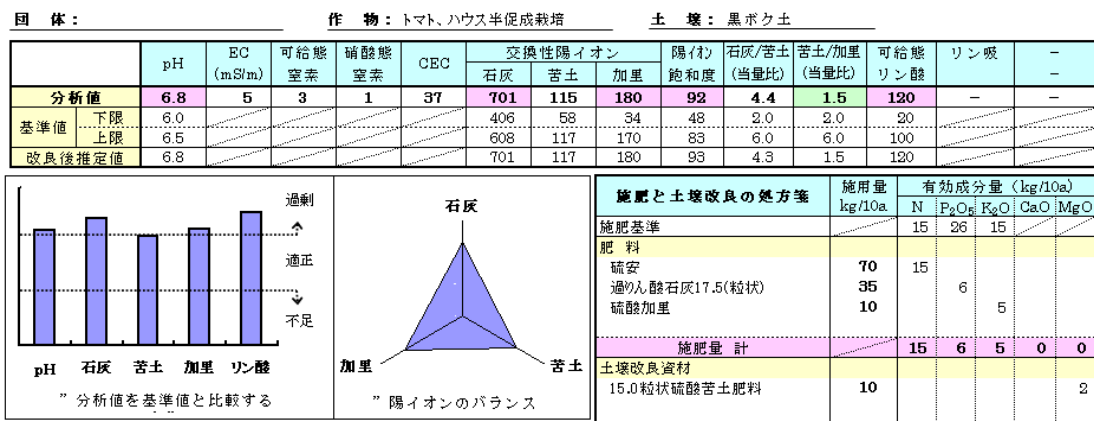
これらの対策技術を実施していくためには、県及び地域における指導体制の確立、指導的役割を担う人材の育成も重要性である。平成 20 年以降、普及指導員のほか、関係団体においても施肥診断技術者（農協）、施肥技術マイスター（全国肥料商連合会）、土壌医（日本土壌協会）等土壌診断・施肥に関する技術者の養成に力をいれており、指導体制が強化されている。各地域の農業事務所、市町村及び農協が一体となり、専門の知識をもった技術者が連繫をとりながら、上記に示した 3 つの低コスト施肥技術の普及に努める必要がある。

## (3) 土壌診断基準に基づいた減肥

一般に、農作物の収量は土壌中の養分含量が増加するにつれて高まるが、一定の値を境にして低下あるいは頭打ちとなり、施肥の効果がなくなる（20 ページ、第 I-3-2 図参照）。このような土壌中の養分含量と農作物の収量の関係に基づいて設定されたものが土壌診断基準値（20 ページ、土壌診断の項参照）である。県内の農耕地土壌では上述のように土壌診断基準値の上限を超えた過剰域のほ場がある。このようなほ場において過剰となっている養分を施肥することは、農作物の生育を抑制するだけでなく生産コストの面からもマイナスである。

土壌診断に基づいた減肥、すなわち適正な施肥量の算出は、「土壌診断システム」（55 ページ参照）を用いることで簡単にできる。土壌中の養分が過剰な場合の土壌診断システムの画面を第 I-4-2 図に示した。トマトのハウス半促成栽培の基肥の施肥基準量は窒素-りん酸-加里が 10 アール当たり 15-26-15kg であるが、土壌中のりん酸及び加里が過剰な場合にはこの 2 成分が減肥された施肥の処方箋が示される。土壌中のりん酸は

120mg/100g で基準値の上限の 100mg/100g を 20mg/100g 上回っているため、その分りん酸は 20kg/10a 減肥され、施肥量は 6 kg/10a と表示される。加里も同様に基準値の上限を上回った 10kg/10a 分が減肥され、施肥量は 5 kg/10a と表示される。



第 I-4-2 図 土壤中の養分が過剰な場合の土壌診断システムの画面

また、「環境負荷軽減のための土壌診断に基づく施肥法」(56 ページ) に示されているように、夏まき秋どりニンジン栽培では播種前土壌の無機態窒素含量に基づいて、基肥窒素施肥量を減肥することが可能である。

以上のような土壌診断に基づいた減肥を行うことで、土壤中の養分が適正になるとともに生産コストの低減化も図れる。

#### (4) 減肥技術の導入

環境保全型農業に関する技術開発によって、窒素の減肥技術が普及技術となった。本施肥基準でも、すいかの被覆肥料利用 (197 ページ)、トマトの栄養診断 (183 ページ)、キャベツのセル内施肥 (224, 225 ページ) 及び条施肥 (222 ページ)、ねぎのチェーンポット内施肥 (234 ページ) が掲載されている。これらの減肥技術は窒素を対象としたものであるが、後述する家畜ふん堆肥の活用と組み合わせることで、他の成分の減肥も併せて行うことができる。

#### (5) 家畜ふん堆肥の活用

家畜ふん堆肥には窒素、りん酸、加里といった肥料成分が含まれている。家畜ふん堆肥の活用については「有機質資材の活用」(63 ページ参照) に示されており、①基肥を代替する資材として位置付ける、②堆肥に含まれる肥料の有効成分(肥料として効く成分)に基づいて施用量を計算する、③窒素の代替率は 30%以下、その他の肥料成分の代替率は 100%以下とする。これらの条件に合うように堆肥の施用量を算出するのは煩雑であるが、「家畜ふん堆肥利用促進ナビゲーションシステム」(69 ページ)、「エコ FIT」(70 ページ) といった計算ソフトを用いることで簡単に堆肥施用量が計算できる。

なお、家畜ふん堆肥を活用する場合には、施用量だけでなく以下の点にも注意することが必要である。

- ①未熟な堆肥は利用しない
- ②堆肥散布までを含めた経費を考える
- ③堆肥の成分を確認する
- ④銅、亜鉛の含有量を確認して施用量を決める (436 ページ、肥料取締法に基づく表示)
- ⑤水田では連用効果があることに注意する。
- ⑥採卵鶏ふんを原材料とした堆肥には石灰が多く含まれているので、施用量に注意する。

家畜ふん堆肥の中で肥料成分の少ないものは、土づくりに有効であり、多いものは施用に当たって施肥設計等で堆肥中の肥料成分を考慮することが必要である。「堆肥のクオリティチャート」<sup>1)、2)</sup>は、堆肥の成分含有率等から土づくり的堆肥か有機質肥料的堆肥かを大別し、その成分特性及び利用の際の留意点を図表化するので、利用しようとする堆肥の品質判別に活用できる。

このクオリティチャート・システムの入手や利用の方法、及び本県産家畜ふん堆肥の成分や流通の情報については、千葉県農林水産部畜産課「堆肥利用促進ネットワーク」

(<http://www.pref.chiba.lg.jp/taihi/>) で確認することができる。

#### 引用文献

- 1) 千葉県農業化学検査所：試験研究成績普及カード，土肥-66 （1995）
- 2) 牛尾ら：土肥誌，72，291～294 （2001）

## 5 施肥と環境問題（環境負荷）

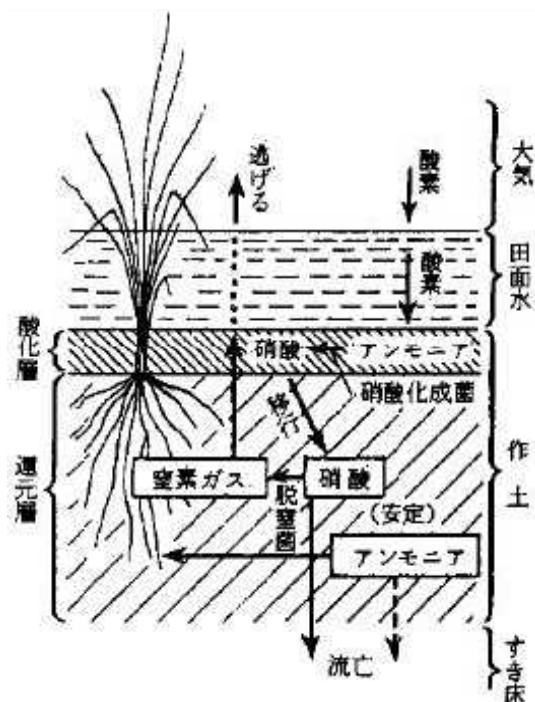
農業は「自然の資源を利用し、かつ、再生産しつつ食糧を生産する産業」と定義できる。したがって、農業には本来的に、自然保全する考え方及び機能を備えているといえる。この自然を保全する機能には、当然、閉鎖系水域内の農業用水や農耕地内を流れる地下水に対する水質浄化機能が含まれている。ここでは農耕地の窒素動態について述べ、水田及び畑地における窒素の水質浄化機能について述べる。

### (1) 水田における窒素の動態と水質浄化機能

水田における水質浄化機能は、SS（浮遊懸濁物質）など種々の水質汚濁物質について認められているが、ここでは特に水田土壌における窒素の浄化機能について水田の成り立ちと窒素の形態の変化、すなわち、水田の地表面下において成立している土壌の物理化学的条件と窒素の形態との関係について述べる。

水田土壌は、一般的に水稻栽培に必要な大量の河川水あるいは雨水を灌漑しやすい低地に分布している。水田土壌の水質浄化機能は、この低地の水田に水を溜めることによって、はじめて働き始める。一般に、水稻栽培を目的として土壌に灌漑水を溜めると地温の上昇に伴い、微生物の働きが活発化する結果、土壌及び水中の酸素を消費し尽くしてしまい、土壌は極めて酸素不足の状態、すなわち還元状態となる。還元状態になった土層を還元層という。そして、新たな灌漑水が供給されると、水中の溶存酸素によって土壌の表面には、厚さ数ミリメートルの酸素を含んだ酸化層が形成される。酸化層は水田土壌の表面に薄皮のような鉄サビ色をした土層として観察される。そして水田土壌における水質浄化機能は、この酸化層と還元層の組合せによって発揮される。しかも、灌漑水が水田土壌中にしみこむことによって、上部に酸化層、その下部に還元層が存在する組合せが形成されなければ水質浄化機能は働かない。水質浄化機能を働かせるためには、酸化層と還元層という相反する物理化学的条件が上下関係を維持して、接している組合せが重要である。水田土壌の水質浄化機能は酸化層が上部にあって還元層が下部にある組合せが重要で、仮に、還元層が上で酸化層が下となる逆の条件では、窒素は上層でアンモニア性窒素となり、このアンモニア性窒素は下層で硝酸性窒素に形態変化するだけで、これ以上の反応は発生しない。したがって、灌漑水中の窒素は脱窒作用に遭遇しないまま酸化的な窒素の形態である硝酸性窒素となり土壌に保持されることなく流亡し新たな窒素汚濁を引き起こしてしまう。

一方、水質浄化機能を備えた水田における窒素は、上部の酸化層で硝酸性窒素という酸化型の窒素となる。そして、灌漑水のしみ



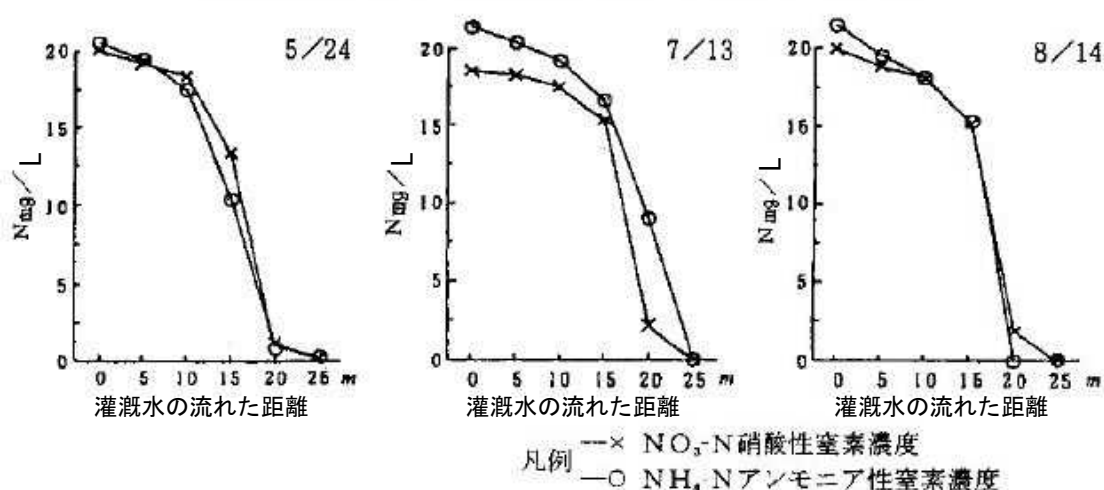
第 I-5-1 図 窒素を浄化する水田の働き<sup>1)</sup>



こみによって、下部の還元層に到達すると、土壤中に生息している脱窒菌の働きによって窒素ガスにまで還元されてしまう。発生した窒素ガスは土壌及び灌漑水から大気へと拡散していき、もはや水質汚濁の一成分ではなくなってしまう。この一連の過程が、第 I-5-1 図に示した脱窒作用による水質浄化のメカニズムである。

我々が生活している地球上の地表面付近では、大気中の酸素によって引き起こされる酸化反応が一般的であり、還元反応は極めて希にしか発生しないことを考えると、水田は土壌に水を溜めるだけで還元反応が容易に発生する自然系として、また、環境保全的機能を有する農地として重要であろう。

水田土壌における水質浄化機能は、実際にどの程度、汚濁水を浄化することができるのだろうか。灌漑水の水量を制御できる人工水田を用いて水田土壌の水質浄化機能を実測した事例を第 I-5-2 図に示した。ここで用いた水田土壌は、本県の利根川沖積地における黒泥土である。コシヒカリの栽培期間中にアンモニア性窒素及び硝酸性窒素の濃度が、それぞれ20mg/L、すなわち全窒素濃度で40mg/Lの灌漑水を、水尻排水量を5mm/日及び地下浸透量を5mm/日の条件で流入させた試験の結果を示した。第 I-5-2 図は、水稻栽培期間の5月24日、7月13日及び8月14日の3回の灌漑水について流入口からの距離と各形態の窒素濃度の関係を表したものである。



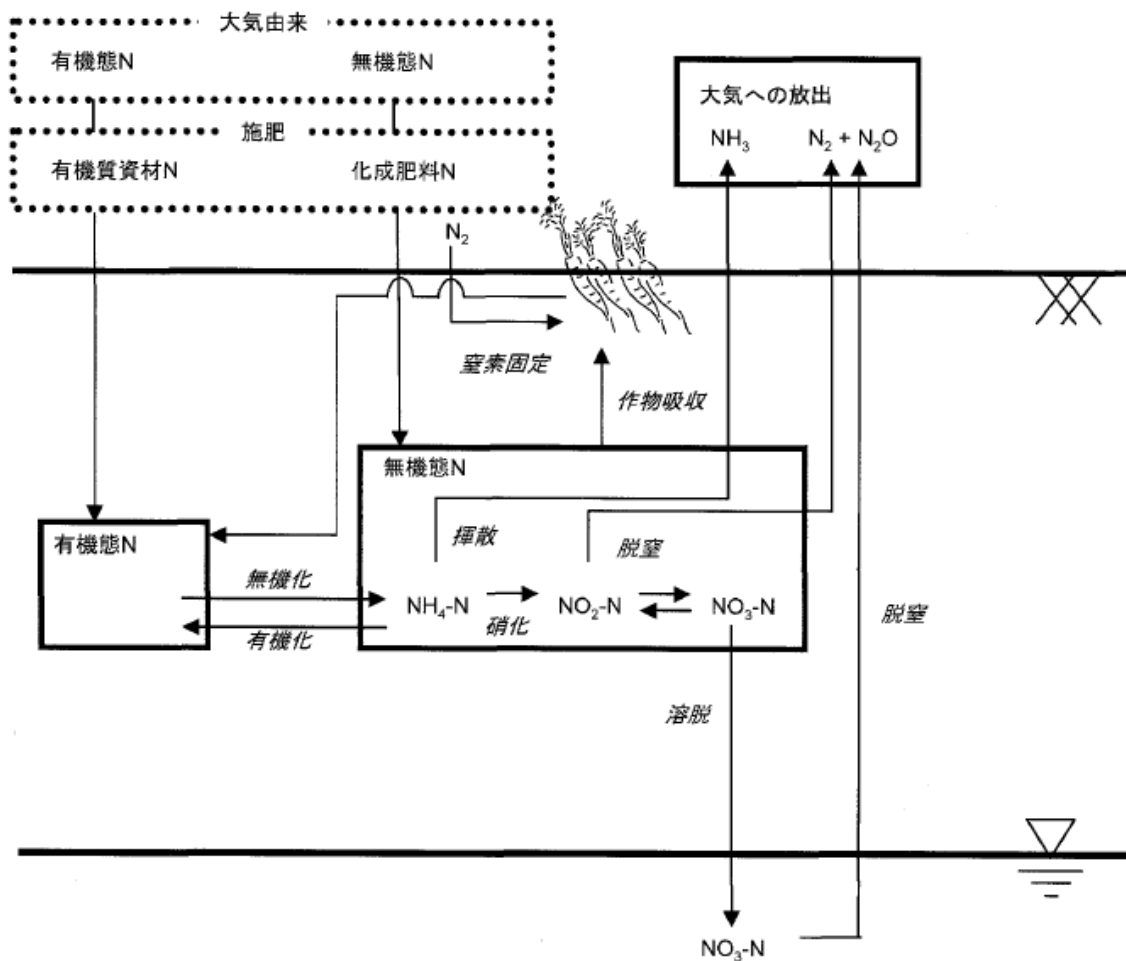
第 I-5-2 図 水田土壌の水質浄化機能<sup>2)</sup>

その結果、水稻生育期間中の異なる3つの時期における田面水の水質浄化機能は25m流下すると0mg/Lとなり、高い水質浄化機能が認められた。この水質浄化機能は、水田面を流下する灌漑水に対して水稻根からの吸収作用及び脱窒作用が働いた結果、生じたものと考えられる。水稻栽培に必要とされる灌漑水量は10アール1作当たり約1,000トンと言われている。したがって、この結果から計算すると10アール1作当たり40kgの窒素が浄化できたことになる。田淵ら<sup>3)</sup>によれば最大で42kg/10aの窒素が浄化できるという。

以上のことから、低地に分布する水田の水質浄化機能は高く、閉鎖性水域における水質浄化の自然系として重要な役割を果たしている。

## (2) 畑地における窒素の動態

畑地における窒素動態の経路を第 I-5-3 図に示した<sup>4)</sup>。畑地には、肥料、有機質資材、大気由来の窒素が投入される。窒素は土壤中では様々な形態をとるが、作物に利用されるのは無機態窒素である。多くの土壌では、土壌窒素の 90%以上が有機態窒素（土壌有機物中の窒素）として存在し<sup>5)</sup>、有機態窒素は土壌微生物の働きにより無機態窒素になる。有機物あるいは、化学肥料由来の無機態窒素（硝酸性窒素）が溶脱する仕組みについては、「農耕地からの肥料成分流出の仕組み」（47 ページ参照、II 1 (1)）、一酸化二窒素（ $N_2O$ ）の発生についてはこの章の(4)ーイ（36 ページ）を参照されたい。



第 I-5-3 図 畑地における窒素の動態<sup>4)</sup>

## (3) 下総台地黒ボク土畑における土壌水の硝酸性窒素濃度とその浄化作用

下総台地は、本県北部一帯に黒ボク土の畑が広がる標高20～50mのなだらかな台地で、上から立川、武蔵野、下末吉の順で3層の火山灰からなる関東ローム層で覆われている。これらの火山灰は約10万年～1万年前の富士や箱根の火山噴火によってもたらされたもので、噴火源から100km以上離れているため、粒子が比較的細かく均一で、レキを含まない。古いローム層ほど風化が進み、粘土化しており、特に下末吉ロームは深さ4～5m付近に粘土層として観察され、別名「常総粘土層」と呼ばれる。非常に粘土化が進んでおり、透水係数が $10^{-7}$  cm/secと著しく小さく、事実上の不透水層となっている。このため、その直

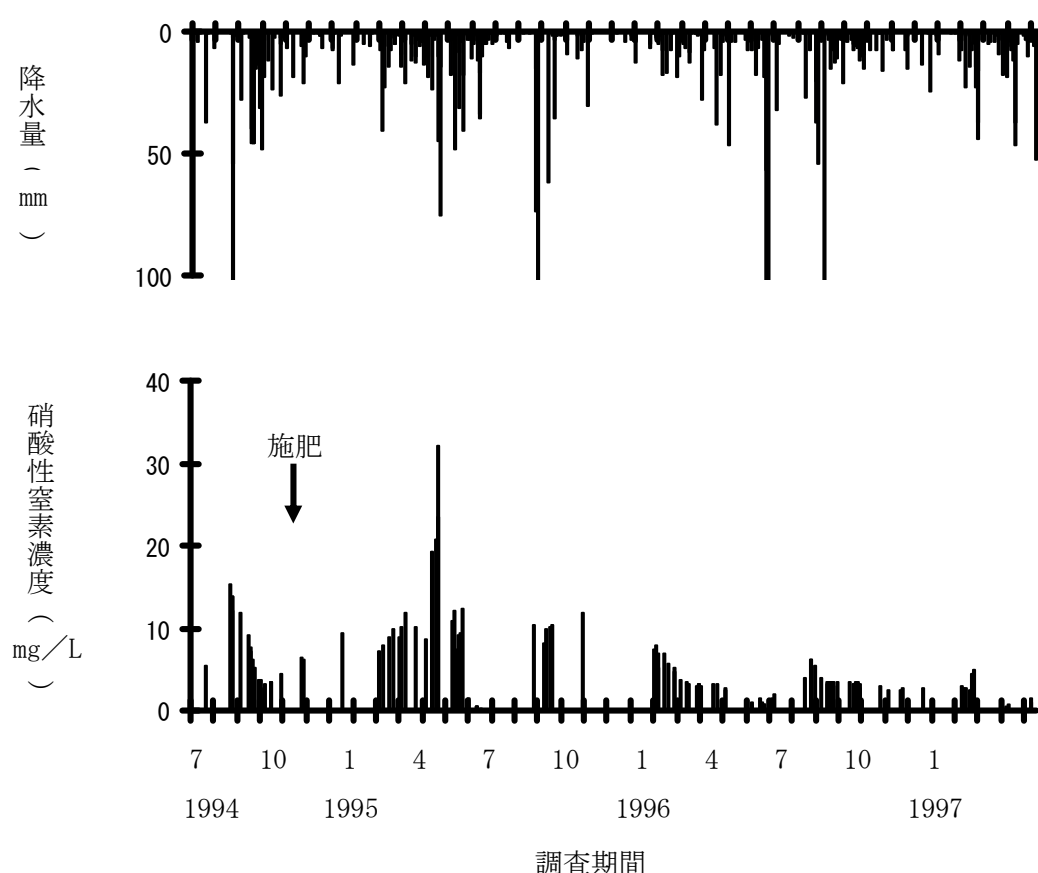
上部には土壤浸透水が一時的に貯留する「宙水」と呼ばれる地下水が発生する。

下総台地の黒ボク土畑において、土層中に土壤浸透水を採取するステンレス製のパンを深さ別に設置して、土壤水分及びその硝酸性窒素濃度の観測が行われた<sup>6)</sup>。その結果、深さ3.7mの常総粘土層直上部における土壤水分は、常時p F 1.0～1.2であり、年間を通じて毛管で保持されない重力水が発生している状況が明らかとなった。また、施肥の約8ヶ月後に、深さ1mの土壤水の硝酸性窒素濃度がピークを示した（第I-5-4図）ことから、硝酸性窒素の移動速度は3.5mm/dayと見積もられている。

さらに、深さ3.75～4mの土壤水の硝酸性窒素濃度の実態調査が行われ、畑作物を主に栽培しているほ場ではその濃度が1～25mg/L、平均すると10mg/Lであった（第I-5-1表）<sup>7)</sup>。しかし、野菜の栽培ほ場では6～57mg/Lとほ場間で差が大きく、平均が30mg/Lが高かった。このように、下総台地の黒ボク土野菜畑においては、流出する窒素によって地下水の硝酸性窒素濃度が10mg/Lを超える負荷が生じている事例が示されている。

一方、黒ボク土において、地下水面の直上部で硝酸性窒素濃度が大幅に減少することが確認にされ、これが脱窒によるものと推察されている<sup>8)</sup>。また、深さ1m以下の下層において、硝酸性窒素濃度が30～50%減少することが報告されている<sup>7), 9)</sup>。

以上のように、黒ボク土畑においては、流出する硝酸性窒素が地下水の環境基準値を超える負荷を及ぼしている事例があるとともに、下層における脱窒による浄化作用が働いていると判断される。



第I-5-4図 深さ1mにおける土壤水中の硝酸性窒素濃度の推移<sup>6)</sup>

第 I-5-1 表 黒ボク土畑における深さ 3.75～4 m の土壌水の硝酸性窒素濃度 (mg/L) <sup>7)</sup>

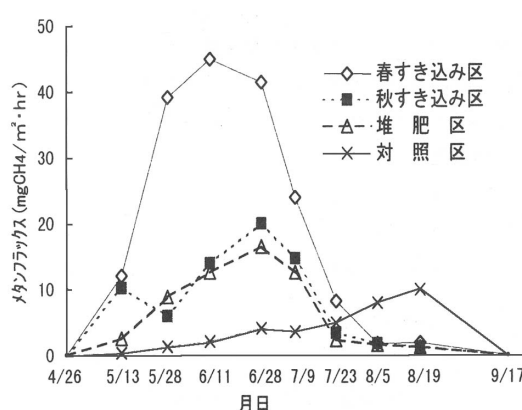
深さ (m)	畑作物畑					野 菜 畑							
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
3.75～4.0	1	6	3	16	25	57	46	6	8	10	52	34	23

#### (4) 農地から発生する温室効果ガス

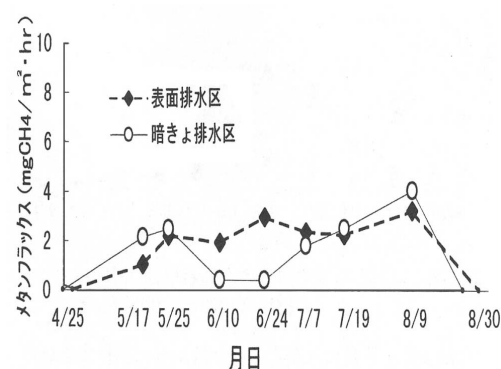
メタン 1 分子当たりの温室効果は二酸化炭素の約 28 倍、一酸化二窒素は約 265 倍と言われ<sup>10)</sup>、農地から放出されるさまざまなガスのうち、水田におけるメタンと畑地の一酸化二窒素が、地球温暖化の原因となる温室効果ガスとして問題視されている。地球全体からのメタン総発生量 (5 億 4 千万 t (メタン) / 年) に占める水田からの割合は 11%、一酸化二窒素総発生量 (1 千 6 百万 t (窒素) / 年) に占める農地からの割合は 20% と見積もられている<sup>11)</sup>。また、2016 年の日本の水田からのメタン発生量は 55 万 6 千 t (メタン) / 年であり、農耕地からの一酸化二窒素発生量は、1 万 8 千 t (窒素) / 年と推定される<sup>12)</sup>。

##### ア メタン

メタンは水田が湛水されて土壌が還元的な状態になると、有機物が分解される過程で発生する。発生量は土壌の種類、有機物施用、水管理、地温などの影響を受けて変化する。黒ボク土では発生が少なく、黒泥土で多いが、本県ではグライ低地土の面積が多いことから年間発生量は 20.3g (メタン) / m<sup>2</sup> で、全国平均の 18.1g (メタン) / m<sup>2</sup> に比べて多い<sup>13)</sup>。発生量は稲わらや堆肥の施用で増加し、特に稲わらを施用して春まで耕うんせずにおくと、秋にすき込んだ場合に比べて 2.5 倍と多くなる (第 I-5-6 図)。稲わらの代わりに稲わら堆肥や牛ふん堆肥を施用することで、発生は低減される。また、水田の水管理の影響を強く受け、中干しの強化によって発生量は 10% 程度少なくなる (第 I-5-7 図)。このように、メタン発生量を抑制する営農対策としては、稲わらの秋すき込みと中干しの強化が大きな柱となる。



第 I-5-6 図 メタン発生量に及ぼす  
稲ワラのすき込み時期の影響<sup>14)</sup>



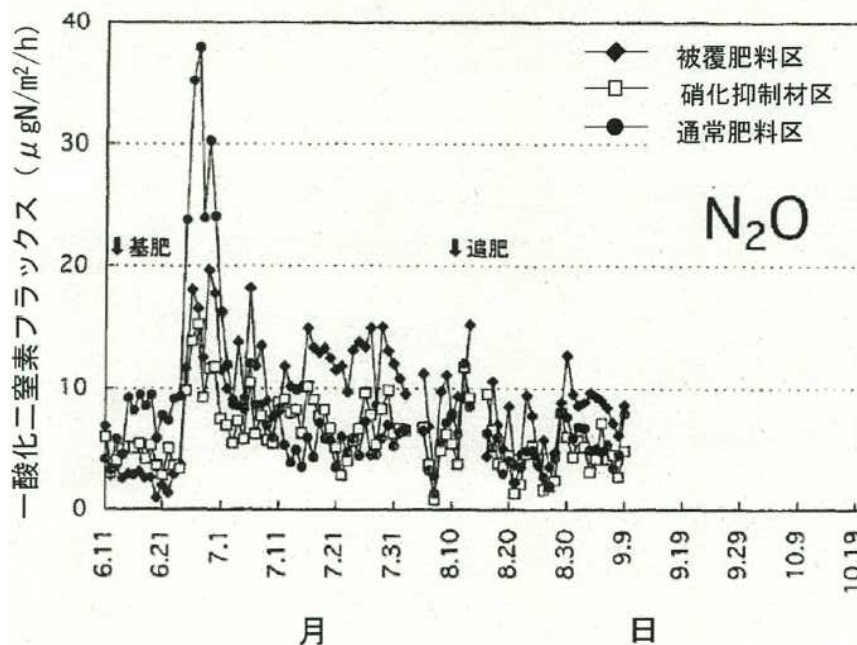
第 I-5-7 図 メタン発生量に及ぼす  
中干し強度の影響<sup>14)</sup>

##### イ 一酸化二窒素

一酸化二窒素は、畑に尿素や硫酸などが施用されてから 1～2 週間後に発生量が多くなる (第 I-5-8 図)<sup>15)</sup>。一酸化二窒素は、硝酸性窒素が窒素ガスとなる脱窒及び

アンモニア性窒素が硝酸性窒素となる硝化の2過程で発生する。畑地から発生する一酸化二窒素量は、土壌水分の影響を強く受け、やや過湿な水分条件（例えば、降雨後など）で最大値を示す<sup>15)</sup>。これは土壌に酸化的な部位と嫌氣的な部位が共存し、硝化と脱窒の両過程が活発に行われるためである<sup>16)</sup>。その他土性、地温、土壌pH、肥料の種類や形態、耕うん・有機物の投入の有無なども一酸化二窒素の発生に影響する。投入窒素量に対して発生した一酸化二窒素量の割合は作物によって異なり、0.1～4.6%と幅がある。しかし、投入窒素量が35kg/10a以下の場合には1%以下である<sup>17)</sup>。

一酸化二窒素の発生抑制対策は、基本的に作物の窒素利用率を増加させて、畑に対する窒素投入量を少なくすることである。局所施肥（79 ページ参照、Ⅱ 4 (1)）をすると、発生量が全面全層施肥の75%に減少した事例や<sup>18)</sup>、硝化抑制材入り肥料（5 ページ参照、Ⅰ 1 (4) ア(エ)及び399 ページ参照、Ⅳ 1 (2) ウ）を施用すると、慣行施肥から発生量が22%削減された事例<sup>19)</sup>がある。さらに、被覆肥料の施肥により、発生量が慣行施肥の約半分となる事例<sup>20)</sup>もあるが、相反する結果も報告されており、抑制効果を確定するためにはさらなる調査事例の積み上げが必要である。



第Ⅰ-5-8図 畑地から排出される一酸化二窒素量の季節変化<sup>15)</sup>  
(秋山ら、2001)

#### (5) 有機質資材の施用と重金属の土壌蓄積

土壌汚染の原因となる主な重金属は、ヒ素、カドミウム、水銀、ニッケル、クロム、鉛、銅、亜鉛である。過去の重金属による土壌汚染は、排水や排煙に起因して発生したケースが多かった。しかし、最近では営農活動において施用される資材類による汚染の危険性が増している。

近年、資源リサイクルの観点から各種有機質資材の農業利用が求められているが、これら資材のうち特に汚泥類には重金属を多く含むものがある(第Ⅰ-5-2表)。汚泥等を原料とする肥料は、植物に対する有害成分を含有するおそれが高いことから、肥料

取締法において乾物当りヒ素 50mg/kg、カドミウム 5 mg/kg、水銀 2 mg/kg、ニッケル 300 mg/kg、クロム 500mg/kg、鉛 100mg/kg と、それぞれが含まれる最大量の基準値が定められている。銅及び亜鉛は動植物の必須元素であり、基準値が設定されていないが、含量が一定以上の場合にはこれを表示する義務がある(440 ページ参照)。

一方、家畜ふん堆肥のヒ素、カドミウム及び水銀含量は、汚泥等を原料とする肥料の基準値に比べて少なく、問題とならない程度である(第 I-5-3 表)<sup>22)</sup>。しかし、銅及び亜鉛は養豚や養鶏において成長促進のための飼料添加物として使用されるため、豚ふん堆肥では銅及び亜鉛、鶏ふん堆肥では亜鉛の含量が高い。このため、一定以上銅や亜鉛が含まれる場合には表示義務が課せられている(437 ページ参照)。最近の調査においては、豚ふん堆肥では銅及び亜鉛含量が減少しているが、牛ふん及び鶏ふん堆肥では両者とも増加している(第 I-5-4 表)<sup>23)</sup>。

重金属類は土壤中で移動しにくいので、これらを多く含む資材を連年施用すると、次第に作土に蓄積する(第 I-5-9 図)<sup>24)</sup>。また、重金属は物理的または化学的に他の物質に変化することはないので、汚染防止対策は農地にこれらを多量に持ち込まないことが原則となる。したがって、汚泥類を原料とする肥料の施用量は、「下水・し尿汚泥の農用地施用に係る当面の留意事項(昭和 63 年 9 月 1 日付け農産第 234 号)」(452 ページ参照)に記載されているように、年間乾物あたり 500kg/10a 以下とする。また、豚ふん堆肥及び鶏ふん堆肥を長年にわたり多量に施用すると、銅や亜鉛の蓄積が危惧されるため、汚泥類を原料とする肥料に準じて年間乾物当たり 500kg/10a 以下にすることが望ましい。

**第 I-5-2 表 有機性汚泥の重金属含量(乾物当り mg/kg、1986)<sup>21)</sup>**

種 類	項 目	ヒ素	カドミウム	クロム	銅	水銀	ニッケル	鉛	亜鉛
下 水 汚泥等	試料数	69	72	22	51	72	33	36	50
	最小値	0.45	0.24	0.04	2.0	0.01	2.00	1.73	145.6
	最大値	52.00	19.10	470.00	810.0	2.50	110.00	121.35	300.0
	平均値	6.90	2.26	48.96	173.0	1.02	37.40	48.19	960.9
	標準偏差	8.65	2.26	96.18	129.1	0.54	29.29	30.05	565.2
し 尿 汚泥等	試料数	155	172	15	63	171	13	71	64
	最小値	0.00	0.00	0.00	0.0	0.00	1.90	0.01	0.6
	最大値	24.83	6.09	108.00	443.0	13.90	101.00	60.00	2092.0
	平均値	2.86	2.14	18.12	121.1	1.10	18.69	12.27	739.7
	標準偏差	3.04	1.28	29.60	95.1	1.21	27.18	14.14	516.0
その他 汚泥等	試料数	67	67	13	27	58	13	29	25
	最小値	0.01	0.00	0.01	0.0	0.00	1.90	0.01	0.0
	最大値	17.00	4.90	4526.00	590.0	1.34	340.00	243.00	4426.0
	平均値	2.77	0.98	421.89	125.5	0.32	78.78	30.63	524.5
	標準偏差	3.51	0.94	1240.84	154.2	0.35	104.39	47.79	892.4

第 I-5-3 表 家畜ふんたい肥の重金属含量（乾物当り mg/kg、1993）<sup>22)</sup>

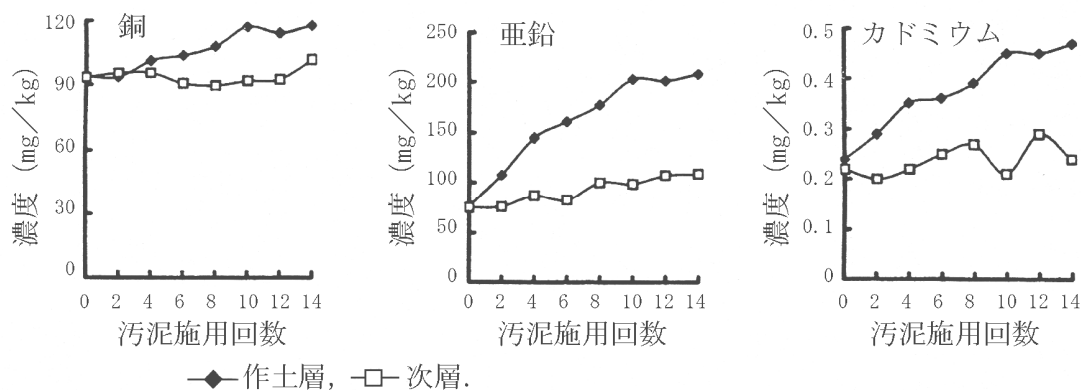
種 類	ヒ素	カドミウム	銅	水銀	亜鉛
牛ふんたい肥					
検出数／試料数	66/70	24/70	70/70	52/70	70/70
最小値	0.3	0.2	3	0.02	31
最大値	13.0	2.1	129	0.26	443
平均値	2.7	0.6	33	0.05	160
標準偏差	2.2	0.4	24	0.04	83
豚ふんたい肥					
検出数／試料数	35/35	29/32	32/32	34/35	32/32
最小値	0.1	0.3	28	0.02	237
最大値	4.5	2.2	1170	0.22	2480
平均値	1.7	0.8	353	0.07	871
標準偏差	1.1	0.5	266	0.04	475
鶏ふんたい肥					
検出数／試料数	20/21	19/21	21/21	21/21	21/21
最小値	0.5	0.3	19	0.01	142
最大値	10.1	1.9	118	0.93	750
平均値	2.1	0.9	55	0.11	435
標準偏差	2.0	0.5	21	0.19	131

注) 最小値、最大値、平均値、標準偏差は検出数から算出

第 I-5-4 表 最近の調査における家畜ふんたい肥の銅及び亜鉛含量  
（乾物当り mg/kg、2015）<sup>23)</sup>

種類	銅	亜鉛
牛ふん堆肥		
最小値	7 ( 233)	75 ( 242)
最大値	154 ( 119)	727 ( 164)
平均値	46 ( 139)	236 ( 148)
標準偏差	50 ( 210)	51 ( 61)
豚ふん堆肥		
最小値	56 ( 200)	85 ( 36)
最大値	772 ( 66)	5,535 ( 223)
平均値	254 ( 72)	740 ( 85)
標準偏差	58 ( 22)	91 ( 19)
鶏ふん堆肥		
最小値	12 ( 63)	76 ( 54)
最大値	417 ( 353)	796 ( 106)
平均値	75 ( 136)	492 ( 113)
標準偏差	90 ( 430)	30 ( 23)

注) カッコ内は第 I-5-3 表の 1993 年調査の値を 100 とした時の値



第 I-5-9 図 汚泥の多量施用にともなう土壌の重金属濃度の変化 (2000) <sup>24)</sup>

注) 各重金属濃度は、過塩素酸分解法による全濃度

#### (6) 環境保全型農業の推進

##### ア 環境保全型農業の基本的考え方

農業は自然環境に大きく依存するとともに、環境に影響を与える産業である。すなわち、自らの存立基盤である環境への負荷を軽減し、持続発展できる取り組みが本来必要な産業である。

現在までの環境保全型農業では、農作物や土壌中の残留農薬あるいは過剰な窒素等を、食品の安全性を脅かし又は環境に負荷を与える物質ととらえ、減化学農薬や減化学肥料を推進することが中心課題であった。しかし本来、農業という産業は、環境についてもっと幅広い視点で取り組むべきものである。例えば土壌侵食防止や地球温暖化防止の対策は全地球レベルで取り組むべき課題になっている。

このような課題の広がりや環境保全型農業に対する理解や期待の深化を受けて、農林水産省では「今後の環境保全型農業に関する検討会」を開催し、農地土壌が有する多様な公益的機能と土壌管理のあり方等について議論を展開し、今後の環境保全型農業の定義や目的等の提案を取りまとめた。

第 I-5-5 表 農林水産省による環境保全型農業の基本的考え方

「今後の環境保全型農業に関する検討会」報告書（平成 20 年 3 月）において提案されている定義・目的等	<p>「農業の持つ物質循環機能を生かし、生産性との調和などに留意しつつ、土づくり等を通じて化学肥料、農薬の使用等による環境負荷の軽減、さらには農業が有する環境保全機能の向上に配慮した持続的な農業」</p> <p>「併せて水質の保全、大気の保全（地球温暖化の防止）、土壌の保全、生物多様性の保全、有機性資源の循環促進等を環境保全型農業の目的として位置づける」</p>
--	--

##### イ 環境保全型農業に関する多様な施策の進展

農業と環境に関する施策は様々な局面で進展がみられる。

「食料・農業・農村基本法」（平成 11 年 7 月 16 日法律第 106 号）では、「農業の自然循環機能（農業生産活動が自然界における生物を介在する物質の循環に依存し、かつ、



これを促進する機能をいう。以下同じ。)が維持増進されることにより、その持続的な発展が図られなければならない」などと定め、我が国の食料、農業及び農村に関する施策の柱のひとつとして「農業の持続的な発展」を掲げている。

「持続性の高い農業生産方式の導入の促進に関する法律」(平成 11 年 7 月 28 日法律第 110 号)では「持続性の高い農業生産方式」の導入計画の認定(いわゆるエコファーマーの認定)によってこの生産方式導入を促進するとしている。「有機農業の推進に関する法律」(平成 18 年法律第 112 号)は「有機農業」を定義し、推進の基本理念を定めている。

「家畜排せつ物法」(平成 11 年 7 月 28 日法律第 112 号)では、地域の生活環境悪化を防止するとともに、家畜排せつ物を堆肥として農業の持続的な発展に資する土づくりに積極的に活用するなどの環境対策を進めることにしている。

土地改良事業についても、土地改良法の改正に伴い「土地改良事業の施行に当たっては、その事業は、環境との調和に配慮しなければならないと定められ、「農業農村整備事業等における環境配慮(グリーン化)」が進みつつある。平成 19 年度からの「農地・水・環境保全向上対策」においては、地域ぐるみで化学肥料・化学合成農薬を低減するなどの活動に対する支援が実施されている。

さらには、「環境と調和のとれた農業生産活動規範」(平成 17 年 3 月 31 日付け農林水産省生産局長通知)について「規範を実践する農業者に対して各種支援策を講じていくこととする(クロス・コンプライアンス)」などの普及・推進が図られるとともに、「バイオマス・ニッポン総合戦略」(平成 14 年 12 月、現行平成 18 年 3 月)、「農林水産省地球温暖化対策総合戦略」(平成 19 年 6 月 21 日、現行平成 20 年 7 月 29 日)、及び「農林水産省生物多様性戦略」(平成 19 年 7 月、平成 24 年 2 月改定)、「環境保全型農業直接支払対策」(平成 23 年 4 月、現行平成 30 年 3 月)、「多面的機能発揮促進法」(平成 27 年 4 月施行)等の農業における環境関連の施策目標・行動計画が次々と取りまとめられるなど、環境保全型農業に関する施策は農政の主要施策としてその重みを増し、農業の各分野に広がって多様になりつつある。

GAP (Good Agricultural Practice : 農業生産工程管理) とは、農業において、食品安全、環境保全、労働安全等の持続可能性を確保するための生産工程管理の取組である。

環境保全では、適正な施肥や土壌管理などに取り組むため、環境保全型農業の推進においても理解が必要な取組である。

現在、民間団体が認証するもの(GLOBAL G.A.P. 等)や、農林水産省の策定したガイドラインに準拠したもの(都道府県GAP等)など、いくつかのGAPがある。本県では平成30年2月より「ちばGAP」制度の運用を開始しており、農業者・産地で取組が進んできている。

また、平成30年度から、国の制度である環境保全型農業直接支払交付金で、GAPの取組が交付要件に追加された。

また家畜ふん堆肥等未利用地域資源の循環利用は、家畜排せつ物法やバイオマス・ニッポン総合戦略等の施策によって推進されているが、化学肥料の価格高騰も結果として推進要因になり、生産者の関心も高まっている。

一方で規制関係の施策に目を転じると、ポジティブリスト制や重金属に関するCOD EX基準の導入など「食品衛生法」関係の各種基準が強化されている。関連して、「農用地の土壌の汚染防止等に関する法律」や「農用地における土壌中の重金属等の蓄積防止に係る管理基準」（昭和59年11月8日環境庁水質保全局長通知）等の重金属関係規制に引き続き留意すべきである。また、「地下水の水質汚濁に係る環境基準項目に対するモニタリング」のうち特に土壌保全・施肥関係では硝酸性窒素及び亜硝酸性窒素について、全国で基準値超過の例がみられ、施肥、家畜排せつ物、及び生活排水からの窒素負荷がその原因とみられていることを忘れてはならない。

なお本県では、環境保全型農業を進めるための県独自の制度として「ちばエコ農業」を平成14年度から推進している。

これらの施策等を受けた取り組みによって生産される農産物は、その流通に当たってJAS規格等の農産物適正表示への適切な対応が必要になる。加えて、廃プラスチック処理、野焼きの煙、風食に伴う土ぼこり、農作業の騒音及び耕作放棄地の荒廃等いわゆる生活環境の問題も、農業の環境に与える影響に関する大きな課題であり、環境保全型農業の推進とともに、地域的な取組の重要性が増している。

農業の環境負荷や環境維持機能に対する消費者や地域住民の関心は高まっている。各種の施策や運動等の取組も、行政だけではなく生産者団体、流通業者及び市民団体等の様々な組織によっても推進されている。農業の生産側としても、この関心の高まりや多様な施策・取組等を十分に理解し、関連する様々な組織・団体等との連携を図ること、及び地域の状況に応じて総合的に対策を組み立てることが必要な状況にある。

#### ウ 生産現場における環境保全型農業の推進

上述のように、環境保全型農業推進のための施策が増え、消費者等の関心の高まりに伴い取り組みの必要性も増しているが、現地においては円滑な取り組みのための基盤形成が大切である。

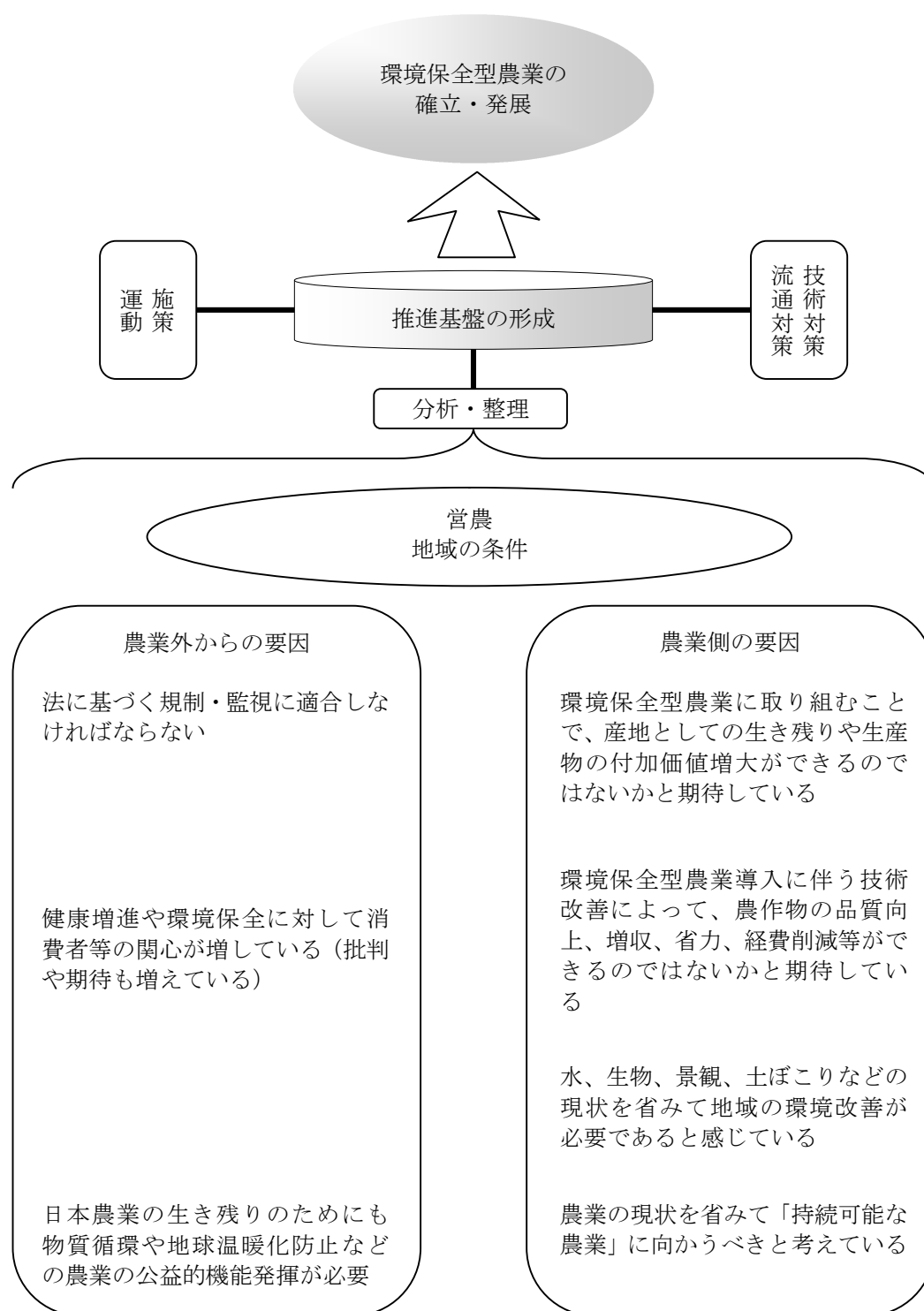
まず、環境保全型農業の確立には土壌環境の維持改善や各種新技術の導入定着等のために期間を要するので、継続的な取り組みが必須である。また経済的効果を明らかにするには流通対策を含めた幅広い視野でねばり強く当たらねばならない。様々な取り組みの結果、生産者の自主性が対外的に評価されてはじめて、環境保全型農業確立の意義が明確になる。このため、環境保全型農業に取り組む必要性を明確にし、生産者や関係機関の理解の下に地域の自主性を確立することが基盤になる。この基盤の上に各種施策、技術、及び流通対策等を組み合わせた取り組みが成り立つ。

基盤の形成に当たっては、環境保全型農業推進に関する農業外からの要因と農業内部に存在する要因とを整理し、小さな成功を積み重ねながら段階的に進むことが望ましい。環境保全型農業が成り立つ要因は地域によって多様であり、生産者も指導者ともに手を携えて冷静に分析し、現場で体系を組み立てなければならない。特に土壌保全及び施肥適正化対策は技術の中心となるものであり、現地の土壌環境を踏まえた本施肥基準の活用が重要である。

本県では、これまでに土壌モニタリング調査等によって県内農耕地土壌の実態や経時的変化を把握し、千葉県耕地土壌情報データベース等の形で情報の利用促進が図られている。また、「ちばエコ農産物」認証基準に適合した栽培技術等の各種の技術開発も行わ

れてきた。さらに現地においては、各種施策を活用しつつ生産者と関係機関との協力による環境保全型農業推進体制が構築されてきている。

本県農業の持続的な発展のために、これまでの実績の上に立ち、地域や施策の状況変化を踏まえた取り組みの拡充・深化が期待されるところである。



## 引用文献

- 1) 川口桂三郎編：水田土壌学，講談社，東京，230（1978）
- 2) 千葉県都市部：下水処理水の農業用水水質影響調査総合成績書，26～29（1989）
- 3) 田淵俊夫・高村義親：集水域からの窒素・リンの流出，120～127，東京大学出版会（1985）
- 4) 前田守弘：土肥誌，79, 1, 89～99（2008）
- 5) T.P. Burt, A.L. Heathwaite and S.T. Trudgill 編：Nitrate: Processes, patterns and management., John Wiley and Sons, West Sussex, UK, 39～74（1993）
- 6) 金子文宜ら：パンライシメータ法による関東ローマ堆積露地畑における土壌水および硝酸態窒素の浸透実態，土肥誌，73, 501～507（2002）
- 7) 八槇敦ら：千葉農総研研報，4, 107～115（2005）
- 8) 小川吉雄ら：茨城農試特別研報，4, 1～71（1979）
- 9) 亀和田國彦ら：栃木農試研究報告，52, 63～71（2003）
- 10) 気象庁：IPCC 第4次評価報告書第1作業部会報告，第2章（p. 9～18），第7章（p. 51～60）（2007）
- 11) 鶴田治雄：ほ場と土壌，31, 31-38（1999）
- 12) 国立環境研究所：日本国温室効果ガスインベントリ報告書(NIR)国連気候変動枠組条約提出版（和訳），5, 25～37（2018）
- 13) 篠田正彦ら：千葉農試研報，40, 55～61（1999）
- 14) 秋山博子・鶴田治雄：農業環境研究成果情報，17, 35-36（2001）
- 15) Dobbie K. E. ら：J. Geophys. res., 104D, 26891～26899（1999）
- 16) 陽捷行編：土壌圏と大気圏，朝倉書店，東京，85～105（1994）
- 17) 日本土壌協会：環境保全型土壌管理対策推進事業・土壌生成温室効果ガス動態調査報告書（概要編），29（1996）
- 18) Sharma C. ら：Annual Report of Eco-Frontier Fellowship in 1997, 149～161（1998）
- 19) Akiyama H. ら：Chemosphere, Global Change Science, 2, 313～320（2000）
- 20) 渋谷岳ら：農業環境研究成果情報，15, 79～80（1999）
- 21) 山添文雄：土肥誌，57, 96～104（1986）
- 22) 千葉県農業化学検査所：千葉県農業化学検査所資料第6号，14（1993）
- 23) 大嵩ら：千葉農林総セ研報，7, 67～74（2015）
- 24) 岡本保：土肥誌，71, 231～242（2000）