

良好な土壌環境を保つための土壌診断 および環境に優しい都市の農業と土壌

—東京の土壌は比較的良好で、環境にも寄与している—

Soil Diagnosis to Maintain a Good Soil Environment and Eco-Friendly Urban Agriculture and Soil: Relatively Good Soil in Tokyo Contributes to the Environment

元 金沢学院短期大学教授

加藤哲郎 KATO, Tetsuo

I. 良好な土壌環境を保つための 土壌診断のあり方

1. はじめに

農業は、我々が生活する上で欠かすことができない米や小麦、野菜、果物などを生産する場所として重要な役割を果たしている。そして、農業が継続的に行われることで、農作物生産以外でも、人類に多くの恩恵をもたらしている。農業の持っている各種の働きや恩恵は、「農業が持つ多面的な機能」といわれている。

農業は環境や人々の生活、いろいろな動植物の生存とも密接に結びついてきた産業ともいえる。具体的には、例えば水田では、魚類や昆虫類、水生植物など多様な生物の住み処となり、エサなども供給している。また、降雨があれば、水田や畑地は、多くの雨水を一時的に貯めることができ、乾燥時には水分を蒸散・放出して大気乾燥を緩和している。農作物が生育の中で行われる光合成においては、酸素を大気中の放出してくれる。そして、農業が行われている風景は、擬似的な緑地空間として、人々の心を和ませてくれるなど、大きな働きをしている。

(1) 農業や農地・農村の持つ多面的な機能

農業などにおける多面的な機能では、国土の保全、

水源の涵養、自然環境の保全、良好な景観の形成、文化の伝承などが多岐にわたっている。いわば、農業生産活動が行われることにより生ずる、食料や花き類、飼料作物などの供給以外の多くの機能のことである。農業・農村の有する各機能としては、次のようなものがある。①洪水を防止、②土砂崩れの防止、③土砂流出の防止、④川の流れの安定化、⑤地下水の貯留、⑥暑さの緩和、⑦各種生物の生息場所、などがあげられる。その他、人々に安らぎをもたらす空間となったり、食育や体験学習の場となったり、古くからの農村文化や食文化を伝承する場にもなっている。農業や農地、農村については、多方面からその役割や機能をみていく必要がある。

(2) 都市の農業が果たしている役割

農業は農村地帯だけでなく、都市においてもその機能により、多くの役割を果たしている。東京のように、ビルディングや住宅、商店街、舗装道路などに囲まれた町の中にも、畑や水田、果樹園などの農地は存在している。これらの農業や農地では、農産物生産以外にも、人々の生活を豊かにする働きや機能を、都市であるがゆえに農村以上に持っていることもある。当然のことながら先に述べた農村地帯と重なる部分も多いが、特に①環境保全の機能、②防災の機能、③気象緩和の機能、④雨水を貯留して冠水を防止する機能、⑤人々が

交流する場としての機能、⑥食育や教育の場としての機能、⑦地産地消としての機能、⑧いやしの空間としての機能、等々がある。都市の農業においては、緑地空間だけでなく、その場所に存在する「土壌」の持つ役割も大きい。特に東京のように数メートル～十数メートルと土層の厚いところでは、表層を通過した水分を多量に下層土で貯めることができる。また、乾燥が続いたときには、下層土に貯められていた水分が表層を通過して大気中に放出される。良好な管理がされた農耕地土壌は、気象の緩和にも役立っている。

(3) 都市農業とは一東京の農業を例として一

都市農業は、都市が持つ様々な条件や状況、特殊性などと、時には共存し、時には相反しながら行われている。東京の農業は、都市農業の典型とも考えられる。農業生産活動自体は、農村地帯のスケールを小さくしたものであるが、基本的な有り様は大きく異なるものではない。しかし、農業が主たる産業となっている地域とは、農業形態や環境との関わり、求められる機能に違いのあることも事実である。

都市農業の代表である東京都と一般的な農村地帯とを比較してみると、周囲の環境をはじめ、経営規模、作物の種類、販売方法などに相違点がみられる。農地のおかれている環境としては、23区のうち都心部分を除いた、埼玉県や千葉県に近い区や多摩地域に近い区では、農地も残っている。しかし、住宅地やビルディングの間に小面積ずつ点在する状況である。多摩地域では、住宅と農地が混在したり、住宅地に小面積の農地が隣接したりして存在する。住宅地が近いと、農業散布や堆肥施用では周辺への気遣いが必要となるが、緑地空間や緩衝機能などを提供するという二面性を持っている。

東京のような農業では、農作物の種類も農村地帯とは異なり、水稻は非常に少なく、畑作や施設栽培が中心である。畑作の中でも、野菜類や花き類、花木類、果樹類などが多く、穀類や豆類などの栽培は少ない。さらに、野菜作に関しては、トマトやナス、キュウリ等の果菜類も栽培されているが、コマツナやシュンギク、ハウレンソウなど

の日持ちのしない「軟弱野菜」が比較的多い。ウドやツマミナなどのマイナーな作物も多い。都市の農業では、日持ちのしない野菜や、需要が限られているため大量に生産することができない野菜などをつくることで、他県との競争が起きにくく、生き残ることができている。

農業の経営面積は、東京では全国のレベルから見れば非常に小さい。しかし、コマツナのように4～5週間という短期間でできるものを、1年間に5～6作も栽培するなど作付け回数を多くし、または高価な花き類を栽培することなどで、耕地面積の少ないことをカバーしている。都市の中での農業では、消費地の中で生産しているという利点がある。販売方法でも、市場出荷だけに頼らなくても、すぐ目の前にいる消費者に、「庭先販売」として直接売ることができる。直販では品数を増やすために多品目栽培を行う必要がある。そして、販売自体にも手間がかかるという問題点がある。しかし、お互いが目に見える関係を形成できるのも都市での農業の特徴である。ただ、そのような農業を実施するためには、農産物の品質がよいことに加え、安全性を絶対的に確保する必要もある。都市での農業においては、各種の問題点や要望に応えるため、高い技術が必要であり、さらに、土壌を良好に保つための十分な管理を行い続けなければならない。そのため、土壌を良好に保つために、いろいろな対策や取り組みを行っている。

(4) 東京における土壌の概要

農業にとって土壌は非常に重要なものであり、その特性や肥沃度、生産力などは農作物生産だけでなく、各種の機能や周辺環境にも影響を及ぼしている。東京の土壌の特徴や種類は、島しょ地域を除くと、畑地利用しているところでは、火山灰土壌である「黒ボク土」と、山間地の「褐色森林土」が主なものである。特に、黒ボク土は畑地土壌の約93%を占めている。黒ボク土のさらに細かい種類であるが、畑地利用面積の約7割は表層多腐植質黒ボク土が占め、次いで厚層腐植質黒ボク土が約2割で、表層腐植質黒ボク土が約1割、厚層多腐植質黒ボク土が数%となっている。ここでいう「厚層」とは腐植層の厚さが100cm程度

あることを意味し、「表層」とは腐植層の厚さが50cm前後あることを意味している。「多腐植質」とは土壌中の腐植含量が10%以上であることを意味し、「腐植質」というのは、土壌中の腐植含量が10%未満～5%の範囲にあることを意味している。腐植層が50～100cmあるということは、そして、腐植含量が5%以上あるということは、土壌としては大変に良好であることを示している。

水田の面積は少ないが、「灰色低地土」や「褐色低地土」、「黒ボクグライ土」、「多湿黒ボク土」などが主に多摩地域に小面積ずつ存在する。

東京の農耕地でもっとも面積の多い「表層多腐

植質黒ボク土」の理化学性の分析値例については、「表1」に示した。

表層多腐植質黒ボク土は、多摩地域に隣接する区部から北多摩や西多摩、南多摩の台地上に広く分布している。それらの地域の地形面は大半が平坦である。土壌の一般的な特性としては、耕耘が可能な有効土層が深く1m以上ある。表層の土性は、粘土（粒径が0.002mm以下のもの）分やシルト（粒径が0.02～0.002mm以下のもの）分が比較的多い「埴壤土CL」や「軽埴土LiC」であるが、有機物が非常に多いため、粘土分がやや少なくなって砂（細砂+粗砂）が多くなる「壤土」のような感触を持つ。表層の土色は黒褐色で、一

表1 東京都内土壌の分析値例〔①物理性〕（表層多腐植質黒ボク土，1988年）

地点No	層位	礫の有無	土壌硬度 mm	仮比重 g/mL	三相分布			孔隙率 %	真比重	土性	保水性			
					固相 %	液相 %	気相 %				pF1.5 %	pF2.7 %	pF4.2 %	有効水分 %
1	1	無	7	0.71	26.9	40.9	32.2	73.1	2.64	CL	57.6	34.7	23.7	22.9
	2	無	15	0.73	27.7	43.4	28.9	72.3	2.62	CL	57.6	39.7	27.2	17.9
2	1	無	5	0.55	20.2	30.5	49.3	79.8	2.72	LiC	45.5	28.9	20.0	16.6
	2	無	18	0.76	29.5	46.6	23.9	70.5	2.57	LiC	57.6	39.7	27.2	17.9
3	1	無	4	0.63	25.6	39.7	34.7	74.4	2.44	LiC	46.6	36.7	24.3	9.9
	2	無	12	0.73	28.9	46.7	24.4	71.1	2.51	LiC	52.7	41.3	28.2	11.4
4	1	無	7	0.66	25.9	37.0	37.1	74.1	2.56	LiC	50.6	35.7	25.6	14.9
	2	無	18	0.79	31.6	43.9	24.5	68.4	2.50	LiC	54.7	41.2	28.3	13.5

*（礫の有無：「無」は1%以下，CL：埴壤土，LiC：軽埴土，EC：電気伝導度）

〔②化学性〕

地点No	層位	pH H ₂ O	pH KCl	EC dSm ⁻¹	全炭素 %	全窒素 %	C/N 比	腐植 %	CEC meq/ 100g	交換性塩基 mg/100g			塩基飽和度 %	av-P ₂ O ₅ mg/100g
										石灰	苦土	カリ		
1	1	5.07	4.40	0.13	6.30	0.51	12.3	10.9	42.7	448.5	104.8	76.6	50.2	122.6
	2	5.04	4.38	0.17	6.32	0.51	12.4	10.9	43.2	484.3	103.5	76.9	49.3	125.6
2	1	6.27	5.45	0.15	6.52	0.46	14.1	11.2	35.5	270.2	78.0	54.2	35.4	22.6
	2	5.93	5.28	0.14	6.47	0.44	14.9	11.2	33.0	201.5	63.0	47.9	29.3	11.1
3	1	7.09	6.43	0.42	8.42	0.66	12.7	14.5	54.2	695.3	225.5	150.3	61.5	65.8
	2	6.98	6.18	0.26	7.63	0.56	13.6	13.2	48.5	581.4	195.3	118.7	56.9	56.9
4	1	7.56	6.48	0.14	6.45	0.48	13.3	11.1	43.5	685.1	55.7	120.6	65.0	39.9
	2	6.22	5.39	0.22	6.80	0.48	14.0	11.7	39.7	366.3	31.5	64.2	38.3	31.2

*（EC：電気伝導度，C/N比：全炭素/全窒素，CEC：陽イオン交換容量，塩基飽和度：交換性塩基/CEC×100，av-P₂O₅：可給態リン酸）

部に極暗褐色や暗褐色もみられる。黒や褐色の土色は腐植の色に由来するもので、土壤腐植の多いことを示している。多くの地点で10%以上の腐植含量であり、良好な土壤であることを示している。表面から50～60cm以下になると、土色は下層にいくほど鮮やかな褐色をしており、土性も粘土分が50%以上の「埴土」であるが、下層になるほど粘土含量が高くなることが知られている。下層土の腐植分は、7.5YR4/6の土色を示すあたりでは、概ね3～4%前後である。礫は、場所によっては、水の影響を受けてできた「小円礫（小さく丸い礫）」を含むこともあるが、大半の場所では深さ1m以内に大きな礫はみられない。東京周辺の黒ボク土は、全体的に仮比重や固相率が小さく、非常に軽い土壤である。植物の利用しやすい有効水分は高く保水力がある反面、透水性や通気性もよい。

2. 農作物にとっての良好な土壤環境

植物にとって良好な土壤とは何か

良好な土壤状態にすることが、土壤診断や土壤改良の目的であるとするならば、「良好な状態」とは何かを知る必要がある。農作物の栽培面から考えた場合、一般的には次のようなことがあげられる。

大きくは、①物理性が良好、②化学性が良好、③生物性が良好、ということである。物理性が良好とは、通気性と透水性、保水性などが適正であることを指す。これらを達成するためには、有機物類や土壤改良資材などを利用し、団粒構造をつくって土壤を膨軟にすることである。化学性が良好とは、保肥力があり、適正な肥料分を含み、土壤反応が適正（pH）が農作物等に合っていることなどである。生物性が良好とは、土壤中の微生物相が豊富で、ミミズ等の小動物の生存もあり、病原微生物の活動が抑えられるような状態である。そのほか、その土壤がおかれている地形的な問題として、傾斜があまりなく、水が溜まらず、太陽光も十分に当たるような状況である。ビニールやビン類、空き缶などのゴミ、大きな礫等、栽培上異物となるものがないことも重要である。農

作物にとって良好な土壤状態にするための手助けの一つが、土壤診断の目的ともいえる。また、農作物が旺盛に生育するような状態の土壤であれば、環境的にも良好であると考えられる。

3. 良好な土壤を維持するための方策

(1) 良好さを維持するための土壤診断

① 土壤診断とは何か

農耕地は、将来にわたって我々の食料や生活物資などを農作物として生産する場である。農耕地の善し悪しは、土壤やその周辺環境の状態の良否ということでもある。土壤を良い状態に保つこと、あるいはさらに良くすることが、良好な農業生産に結びついている。そのためには、土壤の状態を日頃から診断・把握することが重要となる。

ところで、土壤の診断とは、土壤調査や聞き取り調査などで得られた土壤管理上や作物生産性上の問題点に基づいて、具体的な土壤改良や施肥を行うための「処方箋」をつくることである。土壤の種類や作物の種類を考慮し、単に不足養分の補給をするだけでなく、過剰施肥やアンバランスな施肥、不必要な資材の投入をも指摘し、健全な作物の安定生産を行うための方策を総合的に判断することが求められる。

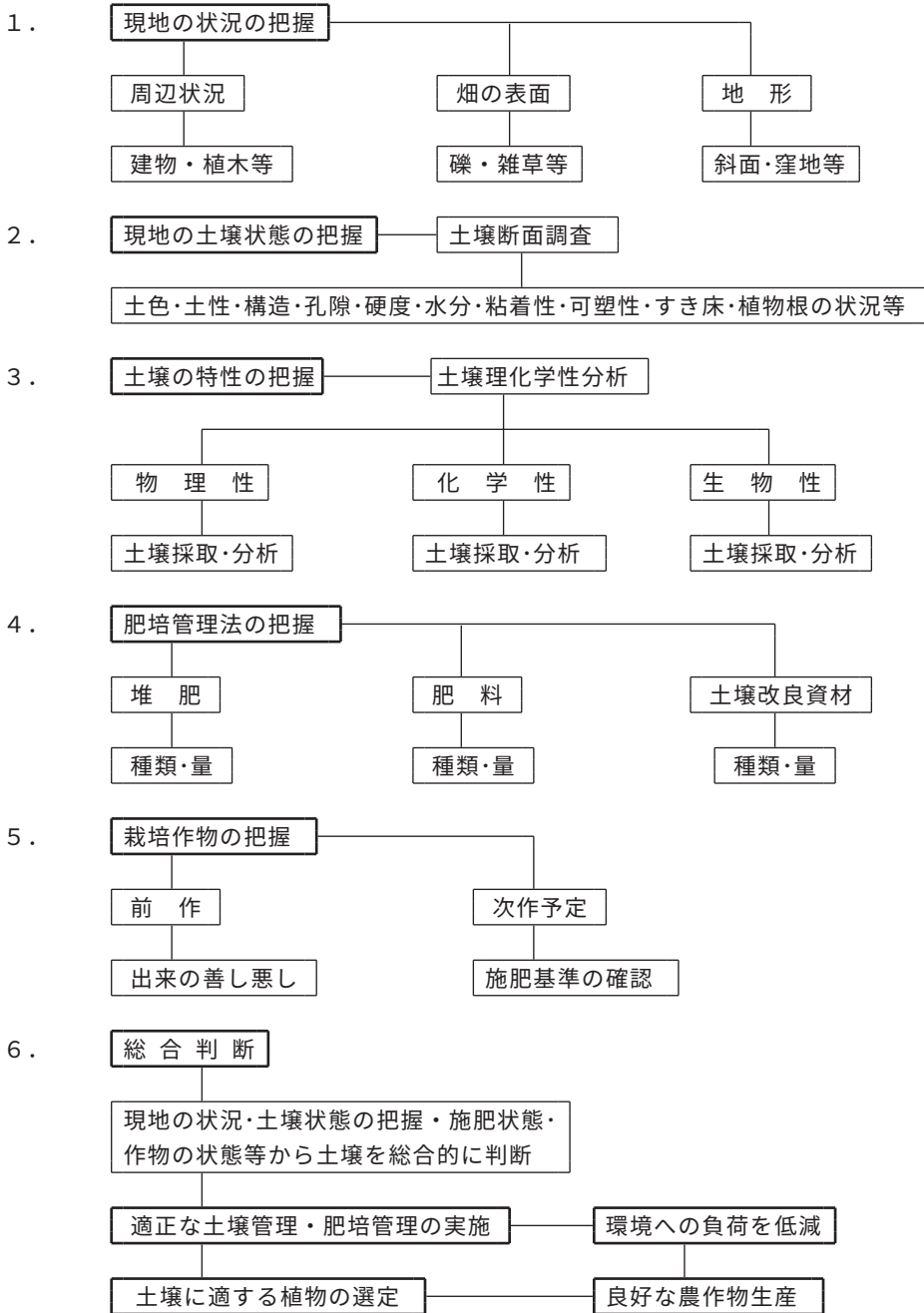
今日、実際の土壤診断は、各都道府県の農業改良普及センターや地域の農協などに、土壤分析診断室などが設けられ、農家指導の一環として行われている。パソコンを用いた土壤施肥診断システムも開発されており、土壤の分析結果と堆肥などの有機質資材の選択に基づいて肥料、資材の施用量が計算できるようになっている。

② 土壤診断の流れ

土壤診断は水田、普通畑、樹園地などいろいろな農耕地に対して行われる。時には、森林や草地など、農耕の行われていない自然界でも土壤調査や土壤診断などが実施され、土壤状態を把握したり、環境汚染が起きたりしていないかなどの確認が行われている。ここでは、露地野菜畑を例として考えてみたい。

土壤診断というと、pH分析をはじめ、化学分析が思い浮かべられるが、実際にはいろいろな角

図1 土壌診断の流れ



度から土壌をみる必要がある。はじめに、畑や畑周辺の状況、その地域の概況を把握し、さらに栽培農家から栽培方法や施肥方法、これまでの栽培履歴などの聞き取りを行う。次に、対象ほ場やその周辺地域に赴き、実際に畑を観察するこ

とが重要である。周辺の樹木の状態、地形、水の流れや集まり方、雑草の生え具合などを調べ、聞き取りとも併せることで、ある程度の土壌の善し悪しの判断をつけておく。
周辺状況の調査後に、もし可能であれば、畑に

1m ほどの穴を掘り、下層までの土壌断面調査を実施する。ただ、土壌調査に関しては、調査自体にある程度の熟練さが求められ、手間も非常にかかる。しかし、土壌の断面調査を行うことで、土壌状態や生産力、あるいは問題点など、主に土壌の物理的に関する情報を広く得ることができる。下層に盤層や礫層があるのか、有機物層は何 cm の深さまであるのか、礫が混ざっているのか、下層の土壌硬度はどのようになっているのか、等々である。1m も掘ることが難しい場合には、表層の調査だけでも行うとよい。表面の礫含量や腐植含量、土性などを調べることで、土壌の生産力の一端を知ることができる。そして、1m の試坑の場合は、下層までの各層の土壌を穴の中の側面から、表層だけの場合は上から作土層の範囲の土壌を、必要に応じて採取する。それらの土壌は、各種の分析に供試して、必要な分析を実施する。

分析・測定には、土壌の化学性・物理性・生物性など多くの項目があるが、必要な項目を選んで行えばよい。今日、分析技術や分析器の性能も進んでおり、多項目を高い精度で行うことができる。しかし、多くの項目を分析すれば、多くの情報が得られるが、多いほどコストと手間がかかることになる。できる限り最小限の分析にとどめるほうが効率的である。通常求められる最低限の項目としては、肥料として施用量の多い三要素（多量要素の窒素、リン酸、カリ）のほか、pH（水素イオン濃度）や EC（電気伝導度）、さらに石灰や苦土、あるいは、生育的に特に問題となりそうな部分を中心に行う。また、作物の要素欠乏などの症状によっては、土壌だけでなく作物体内の養分分析も必要な場合がある。

各種の分析値が得られれば、あとは栽培する農作物の種類を決めることになる。その種類によって、必要な施肥量や最適 pH が異なるため、次に何を栽培するかは、重要なことである。これらの情報全てを総合的に判断して、整理・処方し、できあがった処方箋を元に改善策、指導へとつなげていく。そうすることで、土壌状態を良好に維持することが可能となる。「土壌診断の流れ」の全体像を示したフローチャートを図 1 に示した。実

際の診断では、これらのうち必要な部分を実施することになる。

(2) 環境に優しい農業こそが土壌の良好さを維持する

環境にやさしい農業とは、一般的には農業の持つ物質循環機能を生かし、可能な限り環境負荷を低減することに配慮した持続可能な農業生産方式のことである。低投入持続型農業あるいは環境保全型農業などともいわれている。具体的には、①堆肥など有機質資材を施用した土づくり、②化学肥料などの資材の適正施用、③環境にやさしい病害虫の防除、などの方法を用いている。有機質資材などによる土づくりとしては、堆肥のほか、有機質肥料、ポカシ肥、緑肥作物などが利用されている。化学肥料の適正化では、これまで収量などを上げるためやや多めの化学肥料を使うことがあり、また、診断基準値も下限値を重視し、「ある成分をいくら以上にする」という考え方があった。しかし、作物の生育に見合った、そして土壌が吸収できる範囲の量を施用するという方向に変わってきた。適正施肥であれば、土壌や環境への負荷が少なくなるだけでなく、生産コストの削減にもつながる。そのためには、土壌診断は欠かせないことになる。病害虫の防除では、病害虫の発生状況に応じた農薬散布のほか、環境への負荷が少ない資材を導入なども行われている。

4. 土壌の基準値はいくらがよいか

(1) 露地普通畑における土壌管理基準（農林水産省の基準）

土壌調査や分析によって各種の値を得たとき、その値がどのように意味を持つのか判断する基準値が必要となる。農林水産省は土壌保全対策事業と併せて、土壌管理基準値を設定している。水田や普通畑、樹園地など農耕地の利用形態と、土壌の種類（土壌群）ごとに値が決められており、その項目も有効根群域の必要深やち密度など現場で実際に調査しなければ分からない項目から、実験室で分析しなければ得られない粗孔隙や仮比重などの物理性の項目、pH や各種成分量などの化学性の項目まで幅広く施定している。露地普通畑で

の土壌群ごとの管理基準は、「表2」のとおりである。

土壌診断値が基準値よりも大幅に低い値であれば増肥も必要であるが、範囲内に入っているときは各都道府県等が設定したそれぞれの「施肥基準値」に従って施肥などを行えばよいことになる。管理基準を超えた土壌では、施肥量を落とす必要がある。

しかし、管理基準をどれだけ超えたときに、いくら減肥すればよいのかは、土壌の種類（特にCECとの関係において）によっても異なり、今後更なる研究が求められる。

また、可給態リン酸一つをみても、黒ボク土では「10～30 (mg/100g soil)」とあるが、後で示した図6のデータと差がみられる。100mg程度まで収量が増加することを考えれば、上限値は30mg程度ではないといえよう。都内での事例でもみられるように、現実には土壌中のリン酸含量の値は上がっており、より適切な上限値の設定が求められるべきであろう。

土壌中に不足する場合の施肥であるが、一度に

施用する量をあまり大きくすることは好ましくない。例えば、pHが著しく低い土壌に中性域を好む農作物を栽培する場合でも、石灰資材であれば1回の施用につき10a当たり200～300kg以内に抑えないと、土壌となじむまでに時間がかかったり、一時的に農作物にアルカリ性の強い石灰の害が出たり、環境に負荷を与えたりすることもある。このことは、石灰以外の窒素やカリ肥料でも同様な注意が必要である。一度に施用できる窒素やカリなどの量は、土壌の種類によっても異なるが、10a当たり10～15kg（成分）以内と考えられる。

さらに、露地野菜畑では、同じ量を施用するにしても、濃度の高いもの（例：高度化成）か低いもの（例：普通化成肥料）か、あるいは肥施肥位置をどのようにするか、などが重要な意味を持っている。根からの養水分吸収は、主に先端の新しい部分の根毛から行われる。そのような根の部分から遠い場所への施肥や、一度に高濃度肥料の多量施肥などは避けるべきである。また、施肥後すぐに耕耘して土壌中に混ぜ込むことで、雨水など

表2 露地普通畑における土壌管理基準（農水省農産園芸局農産課）

項目	土壌群	土壌群					
		砂丘未熟土	黒ボク土	褐色森林土	赤色土	黄色土	褐色低地土
有効根群域の必要深	cm	40～50	40～50	40～50	40～50	40～50	40～50
有効根群域のち密度	mm	20以下	20以下	20以下	20以下	20以下	20以下
有効根群域の粗孔隙	%	10以下	15以下	15以下	15以下	15以下	15以下
有効根群域の仮比重		1.4以下	0.75以下	1.35以下	1.35以下	1.35以下	1.35以下
上部50cmの最小透水係数	cm/sec	10 ⁻⁴	10 ⁻⁴	10 ⁻⁴	10 ⁻⁴	10 ⁻⁴	10 ⁻⁴
地下水の高さ	cm	60以上	60以上	60以上	60以上	60以上	60以上
pH (H ₂ O)		6.0～6.5	6.0～6.5	6.0～6.5	6.0～6.5	6.0～6.5	6.0～6.5
// (KCl)		5.5～6.0	5.5～6.0	5.5～6.0	5.5～6.0	5.5～6.0	5.5～6.0
陽イオン交換容量	meq/100g	10以上	20以上	15以上	15以上	15以上	15以上
交換性 CaO	mg/100g	80～150	250～400	200～300	200～300	200～300	200～300
// MgO	mg/100g	15～30	25～50	20～40	20～40	20～40	20～40
// K ₂ O	mg/100g	10～20	20～35	15～30	15～30	15～30	15～30
CaO / MgO 当量比		6以下	6以下	6以下	6以下	6以下	6以下
MgO / K ₂ O 当量比		2以上	2以上	2以上	2以上	2以上	2以上
塩基飽和度	%	80以上	80以上	80以上	80以上	80以上	80以上
可給態 P ₂ O ₅ (Truog)	mg/100g	10以上	10～30	20～30	20～30	20～30	20～30
易還元性 MnO	mg/100g	3以上	5以上	5以上	5以上	5以上	5以上
可給態 B	mg/100g	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
EC (作付前・重量1:5)	dSm ⁻¹	0.1～0.2	0.2～0.5	0.2～0.5	0.2～0.5	0.2～0.5	0.2～0.5

(注：各土壌群の砂質土は砂丘未熟土に準ずる)

で流れ去ることのないようにすることが重要である。

(2) 東京都における土壌化学性の適正範囲

農林水産省（以下、農水省とする）による「表2の露地普通畑における土壌管理基準」は全国レベルの標準的なものであり、各都道府県ではこの基準を元に地域に適合した基準を設けることがある。ほぼ農水省の規準に準じているが、地域の事情や作物の種類、実際の土壌中の成分量などを考慮し、独自に若干の変更をすることがある。例えば、「可給態リン酸値」であるが、農水省では「10mg/100g以上（砂丘未熟土）」、「10～30mg/100g（黒ボク土）」、「20～30mg/100g（褐色森林土、赤色土、黄色土、褐色森林土）」となっている。これらの数値は、農作物が良好に生育するために必要な最低限のリン酸値であり、上限を示したものではない。しかし、各都道府県の現地の露地畑では、すでに100mg/100gを超えている地点がかなりみられるため、「上限値」を設定する必要が出てきた。そこで各県の農業関係の試験研究機関では、上限値にする研究を進めるようになってきた。その結果、東京都を含め各道府県では、下限値と上限値の範囲を「適正範囲」として設定するようになってきた。農水省の規準とは多少異なった数値が示されるようになった。「表3」に東京都で利用している「露地普通畑における土

壌化学性の適正範囲」の例を示す。100mg/100g程度まで、「ほぼ良好な範囲」であり、現在ではこの値が上限値と考えられるようになってきた。これは特にオーソライズされたものではなく、現地での指導で用いられている内部資料的なものである。可給態リン酸値と同様に、土壌硬度や塩基飽和度なども範囲で示している。また、ち密度に関しては、一般に使われている「土壌硬度」という表現を用いている。

5. 土壌診断と施肥量との関係

(1) 土壌診断と施肥量について

土壌診断で得られた土壌診断値は、土壌管理基準と照らし合わせることで、どのような土壌管理、あるいは施肥を行えばよいかの目安となる。施肥基準値は各都道府県で地域の実情や土壌条件、栽培されている農作物の種類（品種も含め）を考慮して決められている。また、施肥基準量の決定に当たっては、土壌管理基準と、農業の試験研究機関等が行った土壌の種類ごとの栽培試験データ、あるいは、作物による吸収量と土壌ごとの利用率なども利用され、土壌診断そのものは科学的に行われる。しかし、営農指導等においては、予測しにくい不確定要素が多く、やや非科学的とも思われる部分がある。現地での気象状態の予測、現在の生育状況などのほか、各農家の営農的な癖とい

表3 露地普通畑における土壌化学性の適正範囲（東京都の例）

項目		望ましい範囲	ほぼ良好な範囲
物理性	作土深	25cm以上	15cm以上
	礫含量	5%以下	10%以下
	有効水分	10%以上	7%以上
	土壌硬度（ち密度）	7～15mm	5～20mm
化学性	pH（H ₂ O）	6.0～6.5	5.5～7.0
	陽イオン交換容量	25meq/100g以上	20meq/100g以上
	土壌有機物	10%以上	5%以上
	可給態リン酸	20～80mg/100g	15～100mg/100g
	塩基飽和度	70～80%	60～90%

（※化学性の数値は乾土状態での測定によるもの）

われるようなものまでも考慮する必要が出てくる。農家からの現在の土壤管理状況や施肥状況等、過去の栽培履歴などの聞き取り、これらデータから各農家の営農や施肥の傾向まで判断し、今後の予測や次作の施肥量の決定などの指導には、ベテランの農業指導員の持つ経験則が必要になる。一例として、多く施用する傾向で、土壤中の含量の多い人には、予め減肥を進めるような指導が必要となる。

実際の施肥量は都道府県ごとに、あるいは品種や栽培時期などで多少異なるが、いくらをいつ施用するかについては、施肥基準の中に記載されている。例えば、葉菜類のキャベツの窒素施用量は、ごく大まかにいえば 10a 当たりの成分全量が 15～35 kg 程度である。この範囲のうちどの量にするか、基肥と追肥でどのように分けて施用するか、などについては述べられている。しかし、いろいろな条件により、これらの数値を増減させたり、追肥時期をずらしたりするなどの細かい指導が必要になることもある。

(2) 電気伝導度 (EC 値) からみた施肥量の変化
栽培現場では、いろいろな条件から施肥量を施肥基準量から変えることが行われている。例えば、窒素肥料の施用量の場合は、土壤中の窒素成分値も重要であるが、簡易的にはその土壤の持つ CEC 値 (陽イオン交換容量) や EC 値を考慮して判断されることもある。CEC 値の分析はやや面倒であるが、各県ごとに作られた土壤図から土壤の種類を特定すれば、ある程度の範囲や傾向は分かる。

一例として CEC が高い場合 (20meq/100g 以上)、EC 値 (dSm^{-1}) と施肥基準との関係を見ると、ほぼ「表 4」のようなことがいえる。

これらはあくまで目安であるが、施肥基準というのは、現地において適切な運用があって初めて生きたものとなるといえる。

6. 堆肥の施用

堆肥とは有機物類を堆積し、腐熟させたもので、大きくは植物質と家畜ふん系に分類される。植物質堆肥としては、わら、落葉、オガクズ等を発酵させたものなどがあり、成分は比較的低めで、土壤へ多少多めに施用しても問題などは起きにくい。土壤有機物を増やす効果が高い。家畜ふん系堆肥は、牛や豚、鶏等の家畜ふんや、それに敷ワラやオガクズ等を加え、堆積腐熟させたものであり、肥料成分は植物質堆肥に比べ高めである。特にカリやリン酸分が多いため、多量施用は好ましくない。また、家畜ふん系堆肥を施用した場合は、含まれる成分量を考慮し、化学肥料などの施用量を減らす必要がある。

(1) 堆肥類の土壤への効果

有機物など堆肥類の効果としては、次のようなものがある。①窒素、リン酸、カリなど多量要素の補給、②微量元素も含んでいる、③土壤中の有機物含量を高める、④土壤の緩衝能や保肥力を高める、⑤土壤中のリン酸の有効化、⑥土壤物理性の改良 (団粒化、透水性、通気性など)、⑦土壤微生物の活動を高める、などである。

(2) 堆肥類の環境へ影響

有機質肥料や堆肥が環境に与える影響としては、次のようなことがあげられる。①適量であれば徐々に分解するため土壤・環境への負荷は少ない、②土壤有機物を増加させる、③保水力も上がり、雨等の余分な水分を保持できる、④乾燥時には水分を大気中に放出してくれる、⑤化学肥料だ

表 4 EC 値と施肥基準量との関係

EC 値 (dSm^{-1})	施肥基準量に対しての施用量
0.1 以下	肥基準値より少し多めに (10～20% 程度増肥)
0.1～0.3	施肥基準量の施用でよい
0.4～0.7	施肥基準値より少し少なめにする (10～30% 程度減肥)
0.8 以上	施肥基準値の半分以下 (50～90% 程度減肥)

けより土壌中の生物への悪影響が少ない、⑥過剰であれば地下水中に各種成分が流出する、⑦過剰が続けば土壌・環境にも負荷を与える、⑧有機質肥料や堆肥の利用自体が物質のリサイクルとなる、⑨家畜ふん等を利用しなければゴミを増やすことになる、⑩有機質を燃せば大気汚染につながる、などである。

(3) 堆肥の問題点

堆肥は適切な利用をすれば、土壌などによい影響を及ぼすが、過剰施用すれば農作物に障害も出てくる。一部のほ場では実際に堆肥過剰施用による障害もみられる。特に、家畜ふん堆肥を多施用した場合、根菜類など、作物の種類によっては障害が出てくる。障害がすぐには出ないにしても、リン酸やカリウムなどの蓄積や、塩基バランスの乱れが出ることがある。そうした場合、長期的にみて将来過剰害が出るかもしれない可能性を残すことになる。また、土壌や周辺環境に与える影響も考えられる。

さらに、量だけでなく、堆肥の熟度によっていろいろな影響が現れる。未熟な有機質類を施用した直後に播種や定植をすると、発芽障害や根が褐変する障害なども出やすくなる。

(4) 堆肥の施用量は

堆肥をはじめ有機物類はうまく使えば土壌にとって良い効果をもたらす。しかし、堆肥といえども多量に施用すれば土壌中に蓄積したり、環境に負荷を与えたりする。堆肥や有機物をうまく使うことで土壌や環境、農作物にやさしい農業になるともいえる。

では、具体的にいくら施用したらよいのか、ということになるが、実際には堆肥の種類や腐熟程度のほか、土壌の種類、作物の種類、その時の気象条件などで異なってくる。

家畜ふん系堆肥の大まかな施用量の目安は、「表5」のとおりである。

7. いろいろな土壌診断法

(1) リアルタイム土壌診断

通常の土壌診断は作物の収穫後の土壌を採取して行われ、その養分分析結果に基づいて次作の資材施用・施肥設計が立てられるのが普通である。これに対して、リアルタイム土壌診断はキュウリやトマトなどの栽培期間が長い作物を対象に、生育中に土壌養分状態の過不足を調査して、必要なときに必要な量の追肥を行う技術である。短期間の間隔で土壌溶液を採取し、測定値が診断基準値より高ければ追肥は行わず、低ければ追肥をする。このようなきめ細かい施肥管理を行えば、土壌中の養分が適正な状態に保たれて、環境に負荷を与えることもなく、しかも高品質で安定的な生産が可能となる。

(2) SPAD 製品の利用

農林水産省農産園芸局農産課（1981年当時）の土壌・作物体分析システム実用化のための一連の事業（Soil Plant Analyzer Development）の略称である。この事業には、民間企業および都県試験研究機関が参加しており、現場で手軽に使える実用的な分析測定機器が開発された。これらはSPAD 開発製品と呼ばれ多くの農業関係者に利用

表5 土壌と堆肥の種類ごとの施用量目安 (t/10a)

土壌の種類 堆肥の種類	黒ボク土等 褐色森林土	砂質土 低 CEC 土
鶏ふん堆肥	0.5	0.2～0.3
鶏ふん＋落葉堆肥	0.5～1.0	0.3～0.5
豚ふん堆肥	1.0前後	0.5前後
豚ふん＋落葉堆肥	1.0～1.5	0.5～1.0
牛ふん堆肥	1.0～1.5	1.0前後
牛ふん＋落葉堆肥	2.0～3.0	1.0～1.5

されている。

(3) 簡易検定器

農家の畑などで、土壌の化学性、養分含量を簡易かつ迅速に測定するために考案された器具である。分析と判定に必要なすべての器具と試薬が小型で軽量の携帯箱に収納されている。土壌から得た抽出液を発色させ、比色表と比べることで、各成分の含量をある程度判定することができる。

(4) 土壌反応試験

野外の土壌断面調査などの際に、土壌中の二価鉄やマンガン、アルミニウム、炭酸塩の存在の有無を定性的に把握する方法で、以下に示すものがある。

①ジピルジル反応：土壌が酸素欠乏の還元状態にあるかどうかを判定するときに行う。ジピルジル溶液を新しい断面に吹き付けると、活性な二価鉄が多い還元状態では赤変する。

②マンガン反応：黒色の斑紋がマンガン酸化物かどうかの判定に用いる。TDDM(テトラベース)試薬を用い、断面に吹き付けるとマンガン酸化物に反応して紫黒色を呈する。

③活性アルミニウム反応：従来、粘土鉱物のアロフェン判定に用いられた。土壌にフェノールフタレイン紙をこすりつけ、フッ化ナトリウム液を滴下し、赤変すれば活性なアルミニウムがあると判定する。

④炭酸塩反応：炭酸カルシウムや炭酸第一鉄など炭酸塩の判定に用いられる。10%塩酸溶液を用いる。炭酸塩があると炭酸ガスを放ち、発泡する。

(5) 土色

母材から土壌が生成・変化する状況、物質の溶脱・集積、酸化・還元を知る指標として重要であり、土壌分類でも広く用いられている。未熟な土壌では母材の色に左右されるが、成熟に向かっていく土壌では主に腐植や鉄の影響を受ける。腐植が多いと黒みが強く、鉄が多いと赤みが増し、還元が進むと灰色や青みが増す。土色の判定では、客観性を与えるため、一般に、農林水産省農林水産技術会議事務局が監修した「標準土色帖」を用いて判断する。畑で農作物を栽培する上では、灰色や青色の土壌より、黒みが強い腐植土

や赤味のある酸化型の土壌のほうがよいとされる。灰色や青色では、土壌が過湿で還元化しているため、植物に必要な酸素が不足していることになる。

8. 適切な土づくりと施肥管理を進めるために —土壌診断のこれからの方向—

(1) 土壌診断に関連した基準値・評価法の整備
土壌管理のあり方に関しては、今日の農耕地の実情からみて、①堆肥の施用基準、②堆肥の施用量にかかる上限値の設定、③堆肥等有機物を施用した場合の減肥マニュアル、④土壌改善目標値の見直し(普通畑土壌のEC値、水田土壌の可給態リン酸含量の上限値)についての検討が必要である。また、全国でまちまちに使われている土壌管理のための各種基準値・評価法を再点検して、統一的な考え方・指針を作成することが必要であると考えられる。

(2) 土壌診断の体制

近年は各機関とも厳しい財政状況の中、人員の削減や診断施設の運転資金の不足などが顕著となり、連携が薄れる傾向にある。肥料原料高騰を機に、施肥コスト低減に向けて、土壌診断を行う各機関が連携を深めることが望まれるが、そのためには、専門技術員の立場の方々を中心に、各機関に積極的に働きかけを行うコーディネーター役が必要と考えられる。

(3) 土壌診断の機能分化

土壌診断の効率化を進めるには、機能分化をより明瞭にすることである。一つは総合分析診断センターのようなものを設け、重金属、微量元素などの特殊診断も含め、多数の試料を迅速に診断し、処方箋を作成するとともに、蓄積データを土壌管理対策などに活用することが可能な診断施設を作る。もう一つは農業現場でリアルタイムに診断することで、農家が自分の目で土の状態を確認することのできる、いわば庭先診断を進めることである。最近では現場で手軽に、精度よくpH、EC、硝酸、リン酸、塩基類などが測れる機器や試験紙等も開発されている。今後は精密診断と現場での簡易診断とをうまく組み合わせて、耕地の土壌環境

を保全しつつ、生産性の高い土壌を維持していくことが重要である。

(4) 土壌診断を担う人材の育成

土壌診断の処方箋に基づいて、施肥コスト低減を農家に指導していくためには、土壌分析ができるだけでなく、分析データから導き出された処方箋の意味が理解でき、その内容を農家に分かりやすく伝えられることが求められる。処方箋を元に減肥も含めた適正な土壌・施肥管理指導ができる人はそれほど多くないと思われる。そのようなことから、以前検討された「環境保全型農業」の担い手としての土壌診断士（仮称）制度の創設を今一度考えるのも一つの方法かもしれない。

また、国の補助事業が廃止され、長年にわたり都道府県土壌肥料分野の試験研究を強固に支えてきた土壌保全調査事業の実施が困難になったことから、土壌実態の調査と土壌診断を担う人材の育成は非常に厳しい状況となっている。今後とも続くと思われる肥料原料高騰の時代にあって、環境を考えた「土づくりと適正な施肥」を実行し、施肥コストの低減につなげていく仕組みを強化するうえで、国の果たすべき役割は重要であろう。

9. 良好な土壌環境を保つための土壌診断のあり方についての考察

農地は食料生産だけでなく、自然から受ける各種要因の緩和、景観としての安らぎの場の提供などの機能を持つ。このように農地の持つ生産力や各種の機能などを維持し、持続的な農業を行うためには、土壌常態を良好に維持することである。

そのためには、普段から土壌診断を実施し、状態を把握し、土壌診断基準と照らし合わせ、土壌の要改良部分を知ることで、各種項目の要改良部分の適正化を図ることで、農作物に合った土壌に近づけることができ、将来にわたっての農業生産と食料の確保が可能となり、さらには、環境にも寄与することができる。

土壌状態が良好に維持できれば、環境への負荷も小さくできる。農家によっては土壌に負荷を与えていることを知らない場合もあるので、定期的な土壌診断の実施と、それに基づく施肥体系を作

り上げ、農家の意識向上を図ることも必要である。

土壌を守ることは農業生産の持続だけでなく、環境への負荷も減らし、雨水の吸収や乾燥時の水分供給など各種の緩和機能をも高める。さらには、今後入手が段々と難しくなり、高騰が予想される肥料を無駄にしないことにもつながると考えられる。

II. 東京の土壌の実態 —基準値と比較しての土壌の状態—

1. 実際に利用してきたこれまでの診断基準値

(1) 下限値しかなかった診断基準値

かつては昭和30～40年代頃まで土壌pHは、全国的に低い傾向にあり、石灰資材を施用してpHを上げることが一つの目的であった。我が国は、元々の土壌中に石灰分が少なく、降水量が多く下層に流亡しやすい。さらに、農作物を作ると、農作物による吸収と根からの有機酸の分泌が加わり、土壌は酸性に傾くことになる。そのため、土壌は常に酸性化した状態が続き、作付けごとに石灰資材の施用が必要となっていた。このような状況下では、pHの下限値が重視され、pHを上げることが「土壌改良」や「土づくり」でもあった。常にpHの低い状態が続いていれば、やり過ぎて過剰となることは、ほとんど考慮されなかった。しかし、我が国の経済が成長するにつれ、多くの人々が資金を蓄えることができるようになり、それとあわせるように肥料類も多量に出回るようになってきた。かつては高価であった肥料類も安価で購入することができるようになり、農地にも十分な石灰を施用することができるようになった。はじめのうちは、適正なpHを維持することができ、農作物の生育も良好となった。しかし、肥料は農作物が吸収する量よりも多く施用することで、高い収量が得られるという宿命があり、次第に過剰な分が土壌中に蓄積することとなった。これは、施用量と植物の吸収する量のアンバランスから起きるものである。施用に対して、利用された分がいくらかを表すのが「肥料の利用率」というものであるが、通常、施用した肥料が植物

に利用されるのは、窒素分やカリ分では約 50% 以下である。約半分しか利用できないとすれば、どうしても吸収量の 2 倍程度の施肥をすることになる。このことは、各県で出されている作物ごとの施肥量を定めた「施肥基準」でも、吸収量よりも多い数値が出されていることから分かる。つまり、農作物を作り続けると、土壌中には各種の成分が溜まっていくことを意味している。そのため、土壌中に溜まった場合には、新たな施肥基準値を設け、蓄積を防ぐことが求められる。今日では、土壌への各種成分の蓄積についての把握・確認もでき、「良好な土壌状態」を保つための検討や研究も進んできている。「良好な土壌環境」を維持することが、「良好な農業生産」のできる土壌状態であるという認識ができてきたと考えられる。

さらに、リン酸の利用率は、施用した量の 5～20% 程度と考えられている。土壌中の可給態リン酸含量に関しては、いくら施用しても土壌に吸着固定され、すぐに効かなくなってしまう状態が続いてきた。我が国では「リン酸吸収係数が高い土壌」のため、施用するリン酸の多くが不可給態しやすい。これは、施用したリン酸分が、土壌中のアルミニウムや鉄と結びついて、リン酸アルミニウムやリン酸鉄など、水に溶けにくい形態とに変化するために起こる。いわゆる「土壌に吸着固定」された状態となり、水に溶けやすく農作物に利用される形態の「可給態リン酸」ではなくなる。その結果、土壌中のリン酸全量を示す「全リン酸」の含量は高くても、可給態リン酸含量が少ないため、土壌中にはリン酸が不足している状態となる。その結果、リン酸に関しても、いくら以上ないと農作物ができないとする「下限値」が設けられていた。しかし、かつては高価であったリン酸肥料も、今日では入手しやすくなり、十分な量を施用できるようになった。利用率が低いため、多くのリン酸資材を施用し続けた結果、今日では蓄積も見られるようになってきた。ここでも、「施肥基準値」の見直しが進められるようになった。

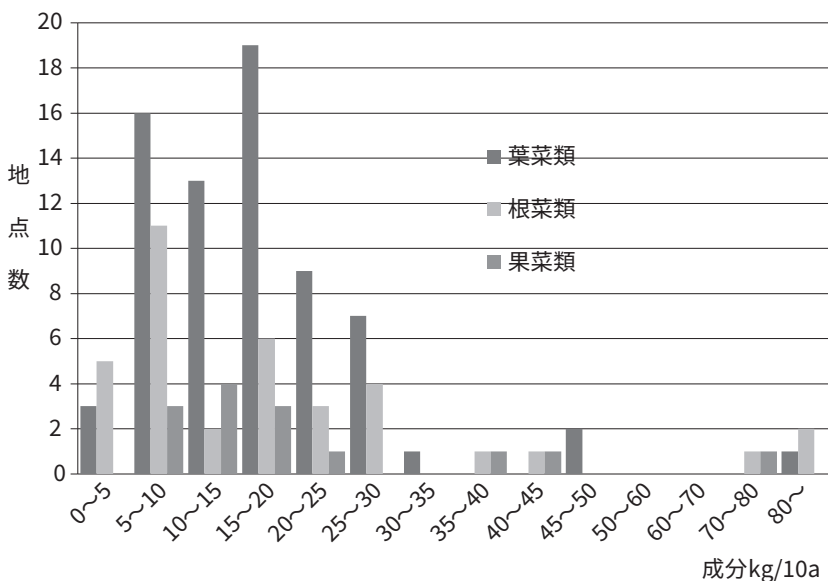
ウムやリン酸鉄など、水に溶けにくい形態とに変化するために起こる。いわゆる「土壌に吸着固定」された状態となり、水に溶けやすく農作物に利用される形態の「可給態リン酸」ではなくなる。その結果、土壌中のリン酸全量を示す「全リン酸」の含量は高くても、可給態リン酸含量が少ないため、土壌中にはリン酸が不足している状態となる。その結果、リン酸に関しても、いくら以上ないと農作物ができないとする「下限値」が設けられていた。しかし、かつては高価であったリン酸肥料も、今日では入手しやすくなり、十分な量を施用できるようになった。利用率が低いため、多くのリン酸資材を施用し続けた結果、今日では蓄積も見られるようになってきた。ここでも、「施肥基準値」の見直しが進められるようになった。

2. 今日の土壌の実態—東京都の例—

(1) 現在の土壌の状態（東京都の例）

農耕地土壌に施用するリン酸肥料と石灰資材についての東京都での例を図 2, 3 に示した。また、同じく東京都の黒ボク土中の可給態リン酸含量と交換性石灰含量の分布を図 4, 5 に示した。まず施用量であるが、葉菜類と根菜類、果菜類ごとに分けた場合、作物の種類によって異なることが分

図 2 都内黒ボク土畑でのリン酸肥料施用量 (n = 81)



かる。いずれの種類でも施用量に大きな差がみられる。これは土壌診断によって土壌中の含有量が異なるため、施用量が変わってくることに、土壌の種類が異なるためである。しかし、成分含有量や土壌 pH を考慮しても、やや過剰施用と思われる

地点もある。

ある作物は pH7 前後の中性域がよいといった場合、「7」を超えたほうがより効果がある、と思いがちの人たちがみられる。いくなればたくさん施用すれば、よりよくなると考える人たちの存在

図3 都内黒ボク土畑での石灰施用量 (n = 81)

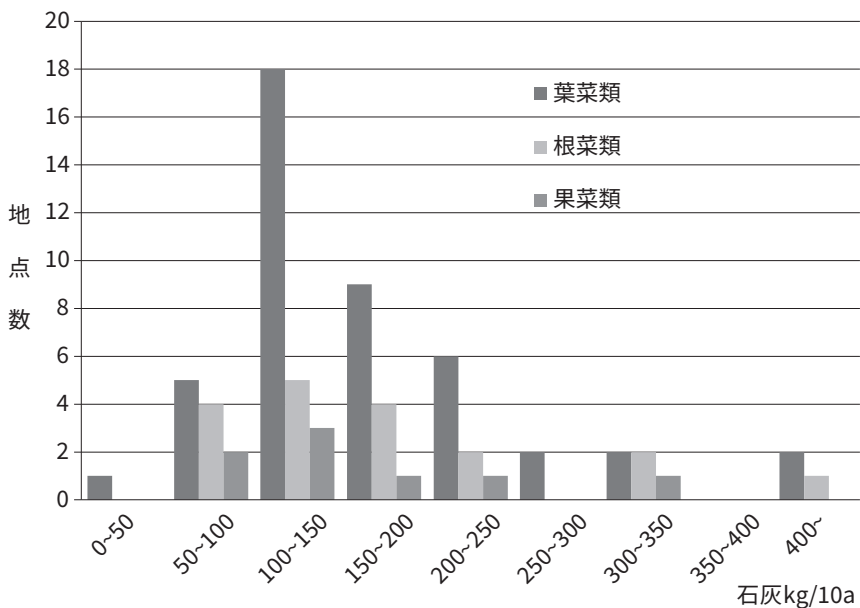


図4 都内畑（黒ボク土）中の可給態リン酸含量分布 (n = 81)

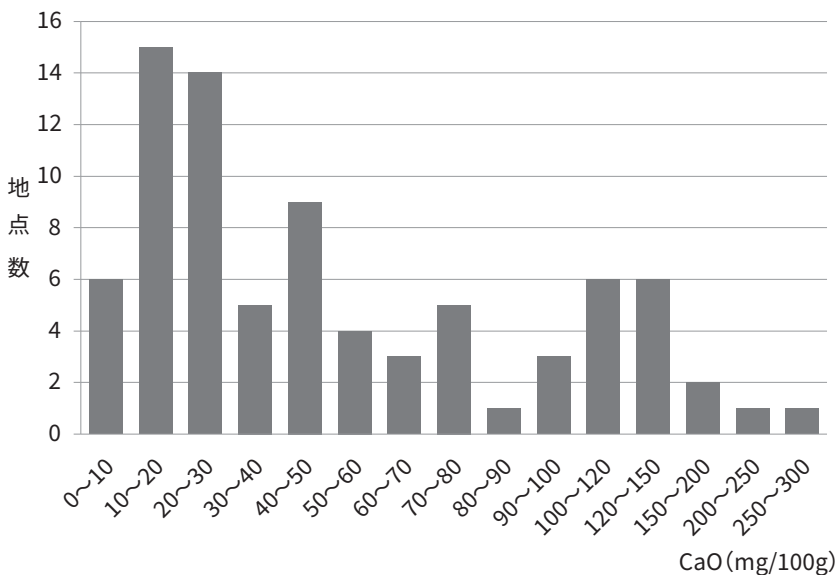
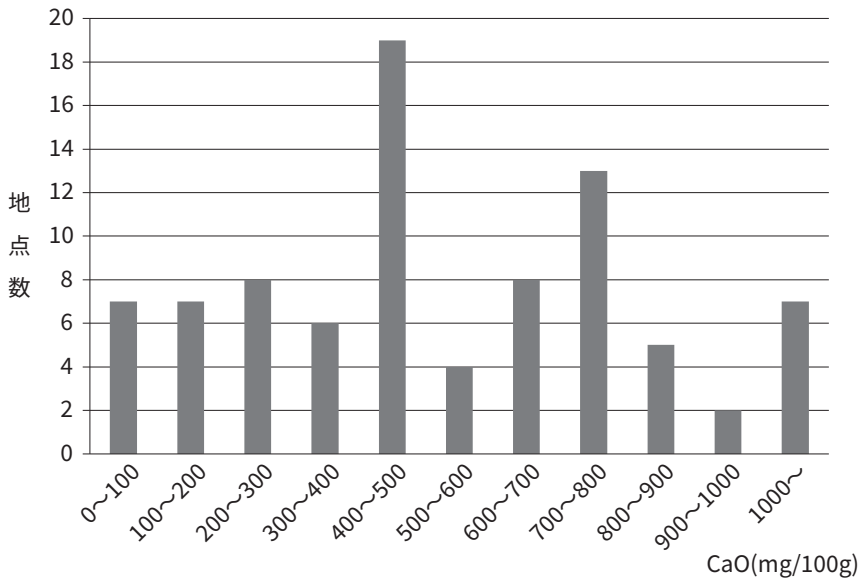


図5 都内畑（黒ボク土）中の交換性石灰含量分布（n = 81）



である。土壌診断自体が科学的な手法を用いても、それを実践する人たちが何らかの誤解を生じた場合、本来の土壌診断や施肥基準からやや乖離することも、営農指導の中では考慮する必要があるということである。

確かにリン酸に関しては、土壌中の含有量が高くなるほど収量が上がっていたことも事実である。しかし、それは上限値に達していなかったからである。リン酸のように土壌に固定されやすく、なかなか土壌中の含有量が高くない場合には、施用すればするほど収量の向上する期間が、化学肥料の施用が始まってからしばらくの間はあったのではないかと考えられる。

そこにおいて、適正な量を守る人が多いと思われる中、「少し余計にやる」という習慣も生み出されていったともいえる。その結果として、過剰ともいえるリン酸（ P_2O_5 ）値や石灰（CaO）値が出てくるようになった。

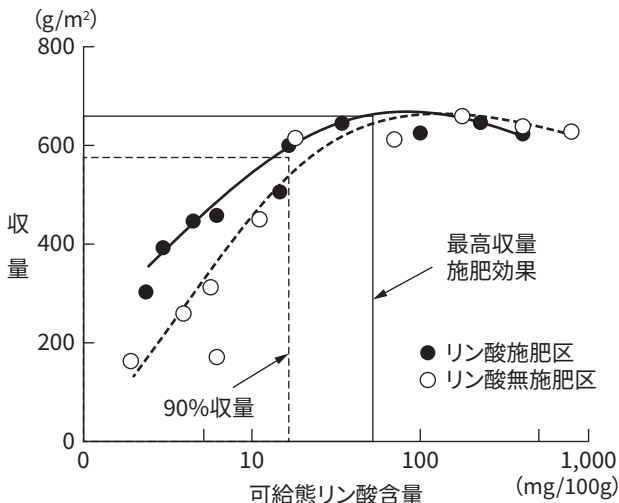
(2) 過剰の見直し

土壌中のリン酸値はいくらくらいになると収量低下などの問題が出てくるかを示したものが千葉県で実験された「図6」である。乾土100g当たり15mg以下ではビール麦の収量は低下してする

が、約80mg以上でも平行状態になるか、低下してくる。15～80mgの間であれば収量は十分に採れるわけであり、施肥量を多めにした場合であっても、この範囲内であれば問題が起きないといえる。しかし、リン酸固定力が強いいため、リン酸が溜まることがほとんどないといわれていた黒ボク土であっても、リン酸過剰土壌がみられるようになってきた。後で述べる管理基準の上限を、リン酸などは大きく超えたものが出てきており、これまでの下限値だけでなく、上限値についても設定する必要性が出てきた。

現在では、上記の「表3」に示したように、農作物栽培において、土壌中の可給態リン酸の望ましい範囲は「20～80mg/100g」で、ほぼ良好な範囲が「15～100mg/100g」程度と考えられている。もともと良好な土壌であっても、施肥による増加、農作物による吸収、雨水による流亡などで、変動しやすい化学性成分については、常にその変化や残存量などの動向に留意し、適正な管理を行っていくことが重要である。

図6 土壌の可給態リン酸含量とビール麦の収量（八巻ら，1997）



III. 土壌調査からみた 東京都内各地の土壌状態

1. 東京の畑土壌は良好に管理されている

良好な土壌状態の維持・管理を行い、農作物の収量・品質を高めるため、都内農耕地の地力を5年ごとに調査し、その結果をまとめた。

(1) 調査地域

調査地域は4地域とし、5年で一巡となるように調査を実施した。1年目から4年までは、4地域に分けた地点について、1地域ずつ行い、5年目は補足調査及び4年分全体のとりまとめの年とした。5年間で1巡のサイクルで、5巡目までの25年間にわたって継続的に同一地点の土壌調査の他、物理性や化学性の分析を行った。

4地域は、①北多摩北部と区部、②北多摩南部、③西多摩、④南多摩である。合わせた調査地点は120ヵ所とした。これら地点のうち100ヵ所が黒ボク土であり、その大半が表層多腐植質黒ボク土であった。

(2) 調査年度

調査年度は、①1巡目が1979～1983年、②2巡目が1984～1988年、③3巡目が1989～1993年、④4巡目が1994～1998年、⑤5巡目が1999～2002年とした。

(3) 調査・分析項目

調査・分析項目は、①土壌断面調査、②ほ場概況調査、③堆肥・肥料・改良材施用量把握、④土壌物理性分析、⑤土壌化学性分析、などとした。

(4) 土壌の採取と調整

各種分析用の土壌の採取は、試坑して土壌断面を作り、その各層から行った。表層から下層までで4～6層あり、そのすべての層から採取した。どの地点も、作土層（表層）は、概ね15～20cmの間であった。採取方法であるが、①物理性分析用については「採土管（試料円筒）」で採取し、土壌の構造を壊さないように持ち帰った。物理性分析は生土のままで行った。②化学性分析については、層の中からから万遍なく採取し、よく混ぜ合わせて試料袋などに入れて持ち帰った。化学分析では、4～6週間ほど風乾（異物や塵、埃のない密閉空間で自然乾燥）し、十分に乾いた後、2mmの篩を通したものを分析用試料とした。

(5) 土壌の分析方法

- ①土壌硬度（ち密度）：山中式硬度計による測定
- ②仮比重：実容積法
- ③有効水分：土柱法，加圧板法，遠心法
- ④pH (H₂O)：pHメーター法（土壌：水 = 1:2.5）
- ⑤電気電導度（EC）：ECメーター法（土壌：水 = 1:5）

- ⑥全炭素：CN コーダー法
- ⑦ C/N 比（全窒素）：CN コーダー法
- ⑧陽イオン交換容量：セミマイクロショウレンベルガー法（抽出）、ホルモル法
- ⑨交換性石灰：セミマイクロショウレンベルガー法（抽出）、原子吸光光度計法
- ⑩塩基飽和度：セミマイクロショウレンベルガー法（抽出）、原子吸光光度計法
- ⑪可給態リン酸：トルオーグリン酸、分光光度計法

(6) 結果

土壌物理性や土壌化学性分析に先立ち、断面調査において目視と触感で土壌の堆積状態や礫の有無、有効土層の深さ、腐植層の厚さ等を調べた。黒ボク土が約 90% を占める東京都内の農耕地土壌においては、いずれの地点も土層が深く、礫もほとんどみられなかった。黒ボク土は、火山灰や火山砂などが堆積してできた土壌である。その給源地は富士山や箱根山などであり、東京都内とは 50～80km 程度離れており、重い礫が飛来してくることはなく、そのため、土壌中に数 cm 以上の大きな火山礫は見られない。しかし、黒ボク土中にも、場所によってはわずかに礫が見られるが、それらは洪水など水の影響で西部山間地から流れてきたものであり、火山礫ではない。また、富士山などからの火山灰の飛来は、数万年前から 5,000 年前くらいの間には頻繁に起こり、東京都内では数メートルから十数メートルほど堆積している。そのため、礫が少なく、厚い土層を形成することに

なった。また、給源からの距離があるため、主に軽く細かい粒子が東京周辺には大量に届き、それらが化学風化を起こすことで粘土分の多い土壌となった。堆積してから長い年数を経ているため、その間各種の植物が繁茂し、それらの根が土壌に残りや、葉茎も枯死して土壌に戻っていった。そのため、土壌有機物が蓄積され、さらに腐植化することで含有量が高く厚い腐植層も形成された。東京周辺の台地上に分布する土壌は、この粘土分と腐植分の多いことが特性となっている。それにより、良好な土壌として、農作物栽培に寄与しているとされる。

土壌の分析方法で示した項目については、以下に示す。

①土壌硬度（ち密度）の経時変化

表層の土壌硬度は、通常、山中式硬度計で測定されるが、表層土では 5～20mm 程度の範囲内がほぼ望ましいとされている。5mm 以下と軟らかすぎる場合には、土壌は乾燥化しやすく、根も土壌中にしっかりと張ることができず強い風のあるときには作物体が倒伏したりする恐れがある。また、20mm 以上になると、野菜などの根が伸長しにくくなるため、農作物の生育にはよくない。

都内の農耕地土壌の硬度は、長年にわたりほぼ望ましい範囲にあり、膨軟であることが認められている。「図 7」に「表層の土壌硬度の経時変化」について示した。

②表層の仮比重の経時変化

仮比重は、生状態の土壌 100ml 当たりの重量

図 7 表層の土壌硬度の経時変化（5～20mm がほぼ望ましい範囲）

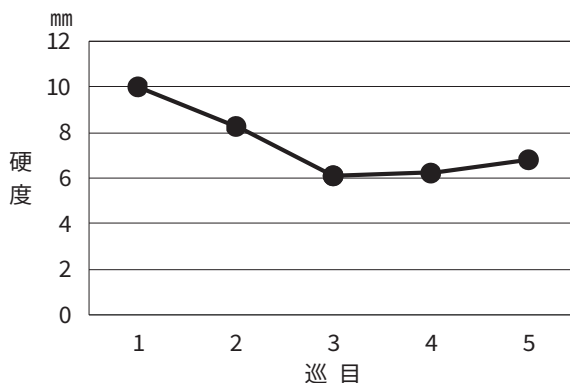
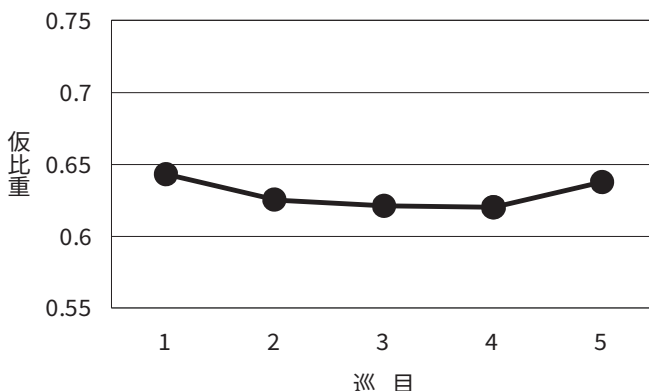


図8 表層土の仮比重の経時変化 (0.55～0.70 前後が良好な範囲)



(g) を 100 で割ったもののことであるが、これも土壌の膨軟性と関係している。0.55～0.70 前後が良好な範囲とされており、数値が小さいほど軽く膨軟であり、大きくなるほど土壌が重く、締まっていることを表している。都内の農耕地の表層土は、長年にわたってこの範囲内にあり、膨軟で良好なことを示している。「図8」に「表層土の仮比重の経時変化」について示した。

③表層土の有効水分の経時変化

有効水分は、植物に利用できる水分が、土壌 100ml 中に何 ml 含まれるかを百分率 (%) で表したものである。例えば、10% といえば、100ml の生土の中に植物に利用できる水が 10ml 含まれることを示している。通常 10% 以上含まれていれば、保水力が高く、植物に必要な水を十分に保持することができる。

都内の農耕地の表層土は、変動は見られるが、長年にわたって 12 以上と高い値を示しており、保水力が優れていることを示している。「図9」に「表層土の有効水分の経時変化」について示した。

④表層土の pH (H₂O) の経時変化

pH は抽出液の種類によって値が異なるが、pH (H₂O) (以下、pH と表記) は純水や蒸留水で抽出した値であり、広く一般的に行われている抽出法である。農作物を含めた植物は、適正な土壌 pH の範囲を持っており、その値からずれると農作物の生育にも問題が出ることになる。植物の種類によって適正 pH 範囲は異なるが、一般的な野菜類などでは、石灰を好むものが多く、6.0～6.5 程度が良好な範囲とされている。都内の農耕地の表層土 pH は、変動はみられるが、6.0～6.5 の

図9 表層土の有効水分の経時変化 (10%以上が良好な範囲)

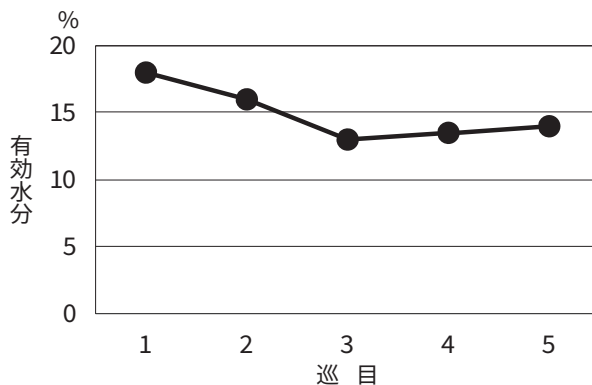
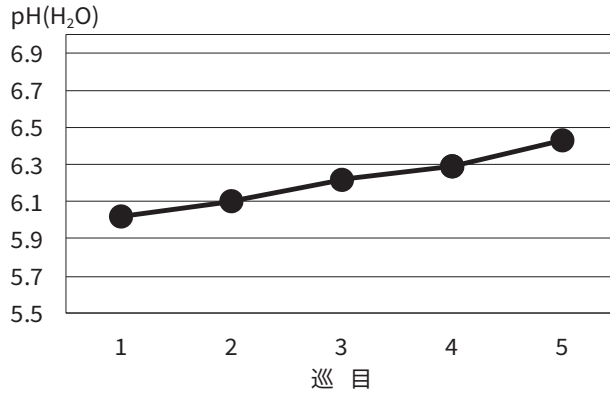


図 10 表層土の pH (H₂O) の経時変化 (6.0 ~ 6.5 程度が良好な範囲)



間にあり、良好な状態と考えられる。しかし、pH は石灰類の施用で矯正できるが、上昇し続けているので、施肥量については考慮する必要がある。「図 10」に「表層土の pH (H₂O) の経時変化」について示した。

⑤表層土の電気伝導度 (EC) の経時変化

電気伝導度 (EC) は土壌中の肥料成分の目安を知るものであり、高い値ほど窒素など水に溶けやすい肥料成分が多いことを示す。この値を知ることにより、次の栽培時の施肥量を調節することになる。通常、0.10 ~ 0.40 (dSm⁻¹) 前後が良好な範囲であり、この場合には標準的な施肥量となる。都内の農耕地の表層土は、変動はみられるが、長年にわたって 0.2 ~ 0.3 の範囲にあり、適正な状態を維持している。「図 11」に「表層土の

電気伝導度 (EC 値) の経時変化」について示した。

なお、今日では EC の単位として「dSm⁻¹」を用いるが、かつては「mS/cm」や「μ S/cm」を用いていた。やや古い資料ではこれらの単位が使われているので、場合によっては読み替える必要がある。

⑥表層土の全炭素の経時変化

全炭素は、土壌中の腐植含量とも密接な関係があり、多いほど土壌緩衝能が高く、土壌も膨軟になる。さらに、保肥力も高くなる。土壌中の全炭素量の適正範囲というものは特にないが、通常、多いほどよいとされる。土壌中の全炭素含量がおよそ 5.8% 以上あれば、土壌中の腐植及び易分解性の土壌有機物の合計量は、乾物土壌に対して 10% 以上存在することになる。この 10% という

図 11 表層土の電気伝導度 (EC 値) の経時変化 (0.10 ~ 0.40 前後が良好な範囲)

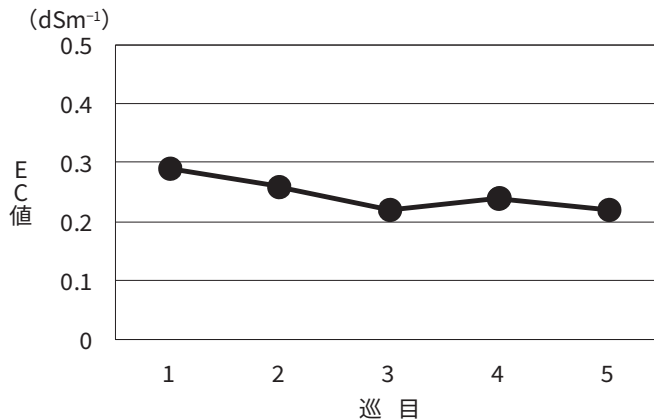
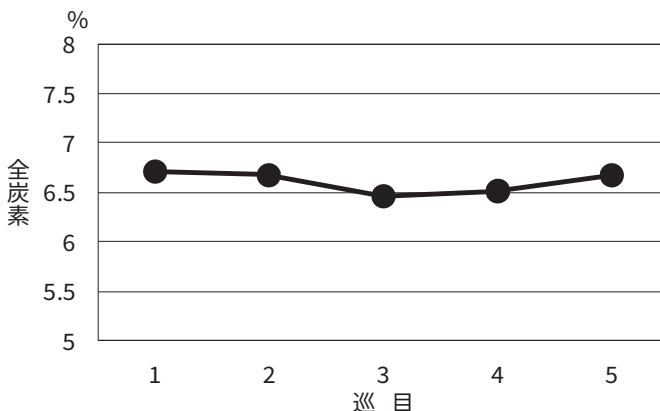


図 12 表層土の全炭素の経時変化



数値は、非常に高いものであり、良好な土壌の代名詞ともいえる。都内の農耕地の表層土の炭素含量をみると、年によって変動はみられるが、6.5～6.7の間にあり、高い値を維持している。この炭素含量から土壌有機物の含量を導き出すと、11～11.5%程度含まれており、高い値を示している。このことから、都内の農耕地土壌の表層土は、良好な土壌であることが分かる。しかし、このような有機物含量の高い状態を維持するためには、適切な管理が行われてきたといえる。「図 12」に「表層土の全炭素の経時変化」について示した。

⑦表層土の C/N 比の経時変化

C/N 比とは、炭素含量を窒素含量で割ったもので、土壌中の炭素 C と窒素 N の比率を表している。通常、野菜などの農作物栽培では、10～14 程度

の C/N 比が良好である。10 以下では窒素過多の可能性があり、逆に 14 以上では窒素不足の可能性が出てくる。東京の表層土の平均値の経時変化では、最初は 15 とやや窒素不足も考えられたが、その後は徐々に低下し、適正と考えられる 12 付近で落ち着いている。これは、保肥力などの土壌の特性も影響するが、土壌管理状態や施肥管理状態が大きく関係している。東京の土壌は、もともと良好であると同時に、土壌管理に関しても十分な配慮をし、適正に行われてきたと考えられる。「図 13」に「表層土の C/N 比の経時変化」について示した。

⑧表層土の陽イオン交換容量 (CEC) の経時変化

陽イオン交換容量は、土壌が陽イオンを保持で

図 13 表層土の C/N 比の経時変化 (10～14 程度が良好)

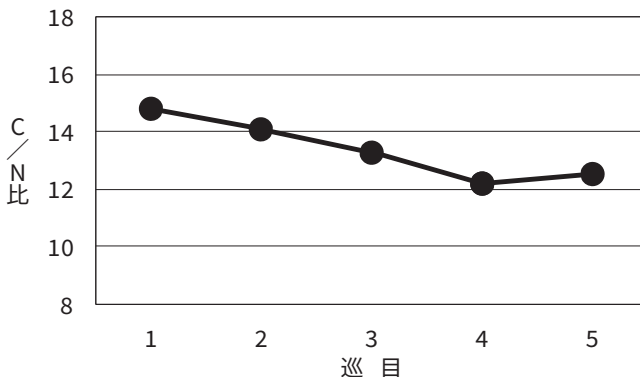
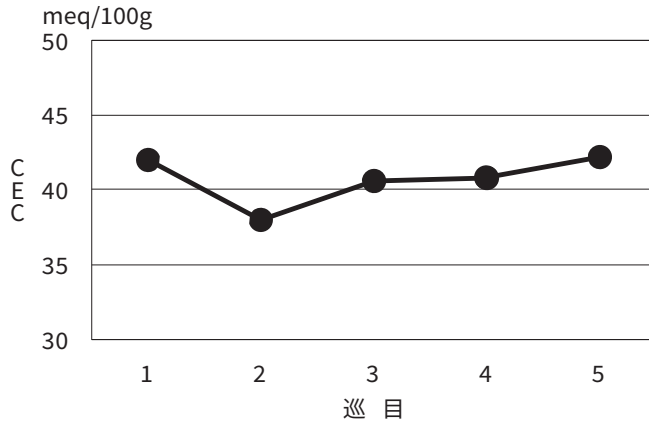


図 14 表層土の陽イオン交換容量の経時変化 (25meq/100g 以上で極めて良好)



きる容量の程度を示したものであるが、通常「CEC」という略号で表される。陽イオン交換容量の英語表記「cation exchange capacity」の頭文字を取ったものである。CECが高いほど土壌は陽イオンを保持吸着できるが、これは、肥料成分のうち、アンモニア態窒素やカリウム、カルシウム、マグネシウムなど多くが陽イオンを示すことから、保肥力の目安として用いられている。通常は、25 (meq/100g) 以上であれば、保肥力が大きく、良好とされている。

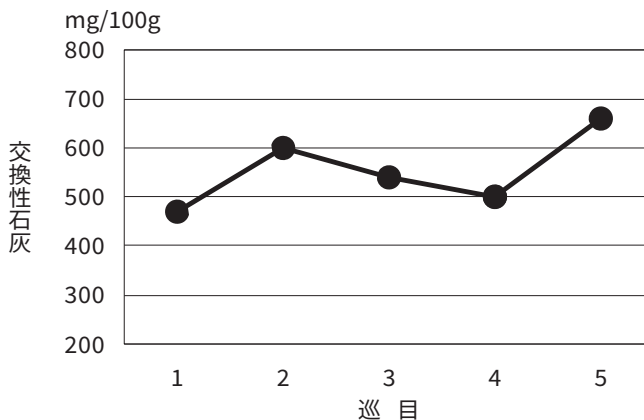
CECは土壌中の粘土鉱物の種類や量、さらには土壌腐植の量などによって決まってくる。東京の土壌は、腐植や粘土分多く、高いCECとなっている。表層土のCEC値であるが、年度によ

て多少変動しているものの、38～42の間にあり、極めて高い値を示している。「図14」に「表層土の陽イオン交換容量の経時変化」について示した。

⑨表層土の交換性石灰含量の経時変化

カルシウムは植物には必須の成分であり、農作物では特にカルシウムを必要とするものも多く、不足すると生育に影響を及ぼすものである。交換性石灰というのは、土壌中に存在するカルシウムの中でも比較的容易に植物に吸収できる形態のものを指している。陽イオン（プラスの電荷を持つ）であるカルシウムは、土壌中では陰イオン（マイナスの電荷を持つ）である硫酸や炭酸、リン酸、塩酸などと結びついているが、硫酸や炭酸などと結びついて塩を形成したものは、植物には比較的

図 15 表層土の交換性石灰含量の経時変化



吸収しにくい。マイナスの電荷を持つ土壤コロイドに吸着したものや、硝酸と結びついたものは、比較的植物には利用しやすくなる。交換性石灰の適正值は、土壤の保肥力などによって異なるが、東京のように CEC の高い土壤で一般的な農作物では、400 ~ 700 (mg/100g) 程度であれば、特に生育上問題はない。また、交換性石灰含量と土壤 pH は密接な関係にあるが、東京の土壤では上記の含量であれば、pH もほぼ適正範囲にあることが、「④表層土の pH (H₂O) の経時変化」のデータからも確認されている。「図 15」に「表層土の交換性石灰含量の経時変化」について示した。

⑩表層土の塩基飽和度の経時変化

土壤は、カルシウムやマグネシウム、カリウムなどの塩基分を保持できる容量を土壤の種類ごとに持っている。塩基飽和度は、土壤が持つこの容量のうち、何%が塩基類で満たされているかを表したものである。塩基分の保持容量は、有機物や粘土分の多い土壤ほど高くなり、砂質土などではその容量が低く、多くの塩基分を保持することができない。塩基飽和度の値が低い場合は、塩基分が不足しているか、あるいは、保持容量が大きいときにみられる。逆に 100%を超えるような高い値を示す場合は、土壤の持つ保持容量以上に塩基分が存在していることを示す。土壤の保持容量が小さい場合にも、塩基飽和度が高くなる。都内の表層土では、50 ~ 75%程度の範囲にある。50%という数値は一見低くみえるが、東京の土壤は「⑧

表層土の陽イオン交換容量 (CEC) の経時変化」でも示したように、CEC が非常に高いため、植物が必要とする絶対量が不足することはない。塩基飽和度も、栽培する農作物の種類や施肥量、肥料の種類などで変化しやすいため、良好な状態を維持するためには、日常の土壤管理や施肥管理が重要となる。「図 16」に「表層土の塩基飽和度の経時変化」について示した。

⑪表層土の可給態リン酸値の経時変化

可給態リン酸は、土壤中のリン酸分のうち植物に利用しやすい形態のものである。マイナスの電荷を持つリン酸は、土壤中では、同じくマイナスの電荷を持つ土壤コロイドには吸着保持されにくく、土壤中のアルミニウムや鉄、カルシウムなどのプラスの電荷を持つものと結びついている。このとき、アルミニウムや鉄と結びついたものは、水には非常に溶けにくく難溶性を示すようになる。カルシウムやマグネシウム、カリウムなどと結びついたリン酸は、比較的植物に利用しやすく、特に酸が存在する条件下ではその特性が強くなる。そのように植物に利用しやすい形態のリン酸が「可給態リン酸」であるが、土壤中には 20 ~ 80mg/100g 程度存在すれば、植物にとっては良好な状態となる。100mg を超えると、カルシウムや鉄を不溶化し、作物の生育にも影響してくる。東京の表層土の可給態リン酸含量は、少しずつ上昇しているが、50 ~ 75 (mg/100g) と適正值の範囲内にあり、現在のところ良好な状態程度とい

図 16 表層土の塩基飽和度の経時変化 (60 ~ 90%がほぼ良好な範囲)

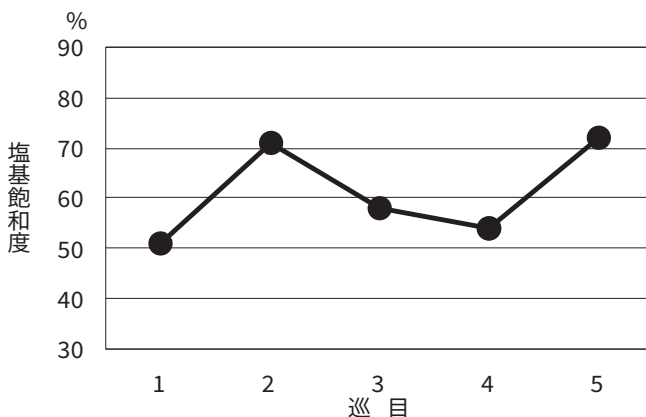
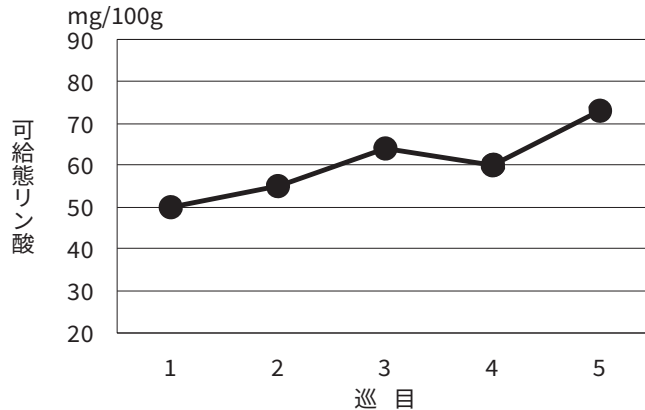


図 17 表層土の可給態リン酸値の経時変化 (20 ~ 80mg/100g が良好な範囲)



える。しかし、今後はリン酸肥料の施用量を見直すなど、施肥管理に関する課題は残る。「図 17」に「表層土の可給態リン酸値の経時変化」について示した。

(7) 考察

東京の農耕地土壌は 90% 近くが火山灰や火山砂に由来する黒ボク土である。黒ボク土以外の主な土壌は、低地土（低地の水田土壌）や褐色森林土（主に山間部に分布）、赤色土や黄色土、砂丘未熟土、岩屑土などである。土壌の種類は多いが、黒ボク土以外の土壌はいずれの種類も小面積ずつの分布である。そのため、東京の農耕地土壌全体の特性などを考える場合、黒ボク土を中心にしていくことになる。

一般的に良好な土壌について指標となる項目はたくさんあるが、主なものとしては、①有効土層が厚い、②作土層が厚く有機物が多い、③礫が少ない、④土性が砂壤土から埴壤土の範囲にある（砂土や重粘質土ではない）、⑤重すぎず膨軟である、⑥保肥力（陽イオン交換容量 CEC が高い）が高い、⑦保水力が高い、⑧透水性や通気性がよい、⑨各種肥料成分が適正量含まれている、⑩土壌反応（pH）が適正範囲である、⑪有害物が含まれない、などである。

これらと東京都内の土壌とを比較してみると、ほとんどの項目が該当し、元々の土壌としては非常に良好であることを示している。黒ボク土を主

体とした東京の土壌では、土壌有機物含量は大変に高く、土性も埴壤土質から埴壤土質のものが多く。土壌の持つ特性の多くは、土性と有機物含量によって決まってくる。有機物含量が多いと、土壌は比較的軽くて膨軟となり、透水性や通気性も良好な状態を維持できる。その他、東京の農耕地土壌の特性をみると、① CEC が高く保肥力が高い、② 塩基類やリン酸分など各種の肥料成分が十分に含まれている、③ 土壌反応（pH）が適正範囲である、などが認められる。しかし、いくつかの土壌肥料的な問題点もみられる。元々の土壌というより、土壌管理や施肥管理に起因するものである。pH や石灰は適正值であるが増加傾向にあり、リン酸含量も適正值であるが増加傾向がみられる。肥料成分などは農作物を栽培することで非常に変化しやすいため、その変動を今後も監視し続けることが必要である。そして、変化した部分を是正するような管理を続けていくことで良好な状態を維持することができる。

【引用文献・参考文献】

- 1) 東京都 (1978): 「東京都農耕地土壌の基本的性格と生産力特性」 東京都農業試験場。
- 2) 農林水産省生産局農業振興課監修 (2003): 「土壌改良と資材」 日本土壌協会。
- 3) 藤原俊六郎・安西徹郎・加藤哲郎 (1996): 『土壌診断の方法と活用』 農文協。
- 4) 藤原俊六郎・安西徹郎・小川吉雄・加藤哲郎 (2010): 『土壌肥料用語事典』 農文協。

- 5) 千葉県・千葉県農林技術会議 (2002)：「畑土壌におけるリン酸、マグネシウム及びカリウム含量の新しい診断基準値」農林技術会議資料。
- 6) 八槇 敦・戸辺 学・渡辺春朗・安西徹郎 (1997)：「砂質土における土壌の可給態リン酸含量と露地野菜の生育・収量の関係ならびに土壌中でのリン酸の移動」千葉農試報 38。
- 7) 農林水産省 (1992) 「新しい食料・農業・農村政策の方向」。
- 8) 農林水産省 (2008) 「土壌管理のあり方に関する意見交換会報告書」。
- 9) 財日本土壌協会 (1998) 「土壌・作物診断技術者情報の収集整備」平成 9 年度土壌環境影響診断システム開発事業報告書。
- 10) 財日本土壌協会 (1999) 「土壌・作物診断技術者情報の収集整備」平成 10 年度土壌環境影響診断システム開発事業報告書。
- 11) 財日本土壌協会 (2000) 「土壌・作物診断技術者情報の収集整備並びに土壌・作物診断技術士 (仮称) の認定制度の検討」平成 11 年度土壌環境評価システム開発事業報告書。
- 12) 財日本土壌協会 (2002) 「土壌環境基礎調査 (定点調査) 解析結果概要」土づくりに関する優良研究成果集。
- 13) 安西徹郎 (2009) 「土壌診断—持続的な農業生産を支える基本技術」講演会資料。
- 14) 岡崎正規・安西徹郎・加藤哲郎 (2005) 『新版土壌肥料』全国農業改良普及支援協会。
- 15) 植物栄養土壌肥料大事典編集委員会編 (高井康雄・早瀬達郎・熊沢喜久雄) (1987) 『植物栄養土壌肥料大事典』養賢堂。
- 16) 久馬一剛・佐久間敏雄・庄司貞雄ほか (1993) 『土壌の事典』朝倉書店。
- 17) 松坂泰明・栗原 淳 (1994) 『土壌・植物栄養・環境事典』博友社。
- 18) 農林水産省農産園芸局農産課・日本土壌肥料学会 (1991) 『日本の耕地土壌の実態と対策』。土壌保全調査事業全国協議会・博友社。
- 19) 農林水産省農産園芸局農産課 (1990) 「土壌環境基礎調査～基準点一般調査中間取りまとめ～」。
- 20) 農林水産技術会議事務局 (1989) 「農林水産研究文献課題 15 自然と調和した農業技術」農林統計協会。
- 21) 東京都農業試験場 (1978) 「東京都農耕地土壌の基本的性格と生産力特性」地力保全基本調査総合成績書。
- 22) 東京都農業試験場 (1979～1997) 「土壌保全調査抄録」。
- 23) 加藤哲郎 (2003) 「都内黒ボク土畑における長期間にわたる営農活動が土壌の理化学性および作物生産に及ぼす影響」東京都農業試験場研究報告 第 31 号。
- 24) 加藤哲郎・長谷川 功・米田和夫 (2000) 「長期間にわたる有機物施用およびロータリー耕耘の有無が作土の理化学性ならびに作物収量及ぼす影響」土壌の物理性 83。
- 25) 加藤哲郎・米田和夫 (2001) 「黒ボク土における作土層の深さが作物収量と土壌の理化学性に及ぼす影響」土壌の物理性 84。
- 26) 加藤哲郎・米田和夫 (2001) 「堆肥の長期連用が黒ボク土の理化学性ならびにキャベツとダイコンの収量に及ぼす影響」土壌の物理性 85。