

機械化農業

(FARMING MECHANIZATION)

特集

日本型精密農業を普及する



2021

2

新農林社発行

特集 日本型精密農業を普及する

—土壌診断技術に基づく土づくりを推進—

土を健康にする土壌改良と施肥管理

Soil Amelioration and Fertilizer Management for Health of Soils

東京農業大学 名誉教授 / 全国土の会 会長 後藤 逸男

1. 熟練農家の「土づくり」には課題が

農林水産省が推進するスマート農業といえば、パソコン・タブレット・スマートフォンなどによる経営・生産管理システム、無人のトラクター、田植機、草刈り機や農業用ドローン、アシストスーツなど農作業の省力化や軽労化技術に注目が集まっている。その他にも新規就農者の確保や熟練農家の栽培技術の継承などが求められている。熟練農家の栽培に関する匠の技を、ICT技術により若手農家に技術継承することは可能と思われるが、農業生産の基盤である「土づくり」に関しては、熟練農家の技をそのまま受け継ぐことには課題が多い。熟練農家が必ずしも「土づくり名人」ではないからだ。

2. 「土壌調査」から「土壌診断」へ

筆者は2015年3月まで、40年間東京農業大学土壌学研究室（現、土壌肥科学研究室）に在職した。本研究室は、東京農業大学の初代学長である横井時敬先生の次男横井利直先生により1957年に開設され、筆者が定年退職するまでは一貫して「実践的土壌肥料学」を目指した研究を続けてきた。横井利直先生の前職は農林省振興局研究企画管理官で、第二次大戦後の開拓地事業に携わっていた。そのため、東京農業大学着任後も研究室での研究内容は、そのほとんどが全国各地の開拓予定地の土壌調査であった。筆者も1971年に研究室に所属すると、夏休みや春休みには北海道や東北地方の調査にかり出された。毎日原野を廻り20カ所程の試坑調査と土壌試料の採取を行った。2週間くらい調査を行うと300点くらいの分析用の土壌試料が貯まる。大学に帰るとすぐにそれらの分析が待っていた。その当時の土壌分析は、中和滴定・キレート滴定・酸化還元滴定などの容量分析法が中心で、pH・ECメーター以外の機器分析は干渉フィルター方式の蛍光光度計と光電比色

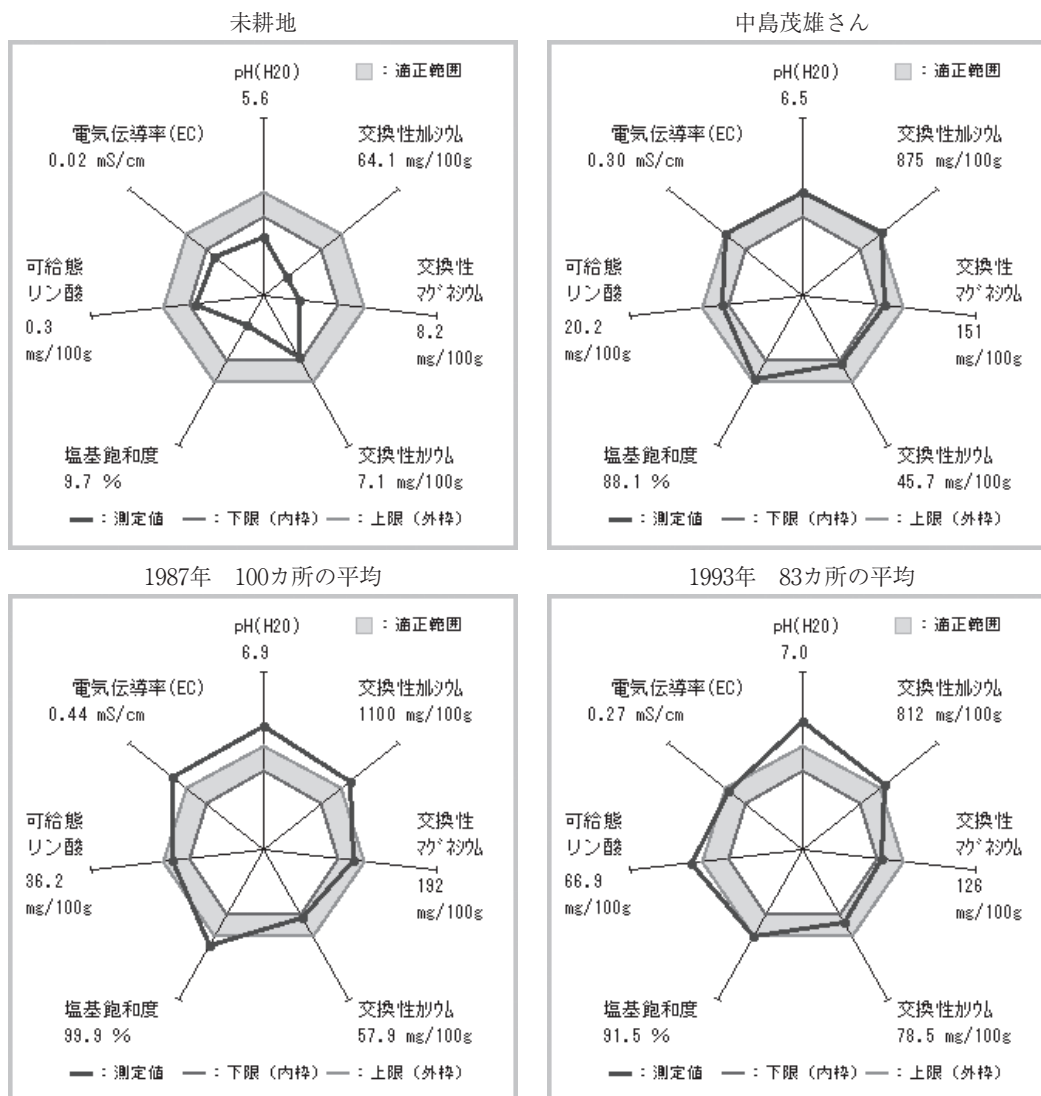
計のみであった。開拓予定の原野の土壌は酸性が強く、交換性塩基や可給態リン酸が極端に欠乏していて、それまで原野として放置されていた理由がよく理解できた。

その後、大学院修士課程修了後4年間の無給副手を経て、1979年に東京農大の助手として採用された。その頃から天然ゼオライトや鉄鋼スラグのような未利用資源を土壌改良資材として利用する研究とともに、学生時代に夏休みも返上して苦労した土壌分析の迅速化を図る研究に着手し、ICP発光分光分析法を導入した、迅速で効率のよい土壌分析法（東京農大式土壌診断システム）を確立した。その応用研究として、戦後の開拓地で、その後野菜の大産地となった地域やそれらと対照的に古くから農地として利用されてきた都市農業地域の野菜産地などの土壌診断調査を始めた。時を同じくして、1981年には国の事業として土壌・作物体分析機器実用化（SPAD）事業がスタートし、現在全国の多くの土壌診断室で活躍している分析装置、あるいは水稻や野菜の葉色を図るための葉色計などが開発された。その目的は、土壌分析に基づいた土壌改良・施肥管理を推進することであった。その頃から、土づくりのための土壌調査と分析を人の健康診断にたとえて「土壌診断」と称するようになった。

3. ふたりの「土づくり名人」

筆者らによる園芸産地の土壌診断調査の手始めが、長野県南佐久郡南牧村野辺山であった。野辺山は高原野菜の大産地として全国にその名を知られ、標高800～1400mの高原の冷涼な気候を利用して、ハクサイ、レタス、キャベツが集約的に栽培されている。この地域の土壌は八ヶ岳の火山灰を母材とする黒ボク土で、1図左上のように酸性が強く交換性塩基類を著しく欠いている。また、リン酸吸収係数は2500mg/100g以上で可給態リン酸は皆無に等

1 図 未耕地と野菜畑の土壌化学性の相違(長野県南佐久郡南牧村野辺山)



※上限値と下限値は地力増進法(畑土壌の改善目標値)に準拠して設定

しい。化学性を改良しなければ野菜の生産は全く望めない不毛の地であった。そのため、第二次大戦前には放牧地としてしか利用されていなかったが、戦後入植地として土壌改良事業が進められた。1970年代には、不毛の原野から野菜王国への変身を成し遂げた。その一方では、単一野菜の栽培に伴うアブラナ科野菜根こぶ病やハクサイ黄化病などの土壌病害に悩まされてきた。筆者らは野辺山開拓農協(現在、JAハケ岳野辺山支店)とタイアップして1984年より野菜畑の土壌診断を開始した。

1987年に実施した100カ所の土壌診断調査によれば、1図左下のようにpH(H₂O)は平均6.9、塩基飽和度は100%を超過し、可給態リン酸は40mg/100g

に達した。また、栽培終了後の電気伝導率は0.4mS/cmで、約10mg/100gの硝酸態窒素が残存していた。農家には土壌診断分析結果を見せながら施肥改善を強く勧めたが、野菜づくりには石灰、黒ボク土にはリン酸の多施が不可欠との意識が強かった。その結果、7年後の1993年の調査では1図右下のように可給態リン酸が70mg/100gと7年間に倍増してしまった。本来やせた土壌であったはずの野辺山の野菜畑が、長年にわたる「土づくり」により塩基とリン酸の過剰化が進み、黒ボク土とは思えないような土壌に変身してしまっていた。

しかし、地元でハクサイの名人として知られた中島茂雄さん(2図)の畑は上記のような高pH・EC、

2図 野辺山の「土づくり名人」中島茂雄さん㊟



養分のアンバランスがなかった。しかも、1図右上のようにpH (H₂O) 6.5、塩基飽和度90%弱、可給態リン酸20mg/100gと土壤分析値が地力増進法で設定した畑土壌の改善目標値とぴったり一致していた。この事例で、可給態リン酸20mgでも立派なハクサイが穫れること、また地力増進法の改善目標値もまんざらではないことが実証された。

中島さんは野菜とデントコーンの輪作を堅持する「頑固親父」で、デントコーンの代償として畜産農家から牛糞堆肥を入手する。しかし、決して有機農業ではなく、化学肥料も農薬も使用する。ただし、それらの使用量は他の農家より少ない。筆者らが何より驚いたことは篤農家の中島さんがこれまでに土壤診断をしたことがなかったということであった。

もう一人の「土づくり名人」が埼玉県熊谷市の養田昇さん(3図)だ。養田さんは全国野菜園芸技術研究会(全野研)の会長も務めた方で、全国的にも有名な施設トマト農家であった。1991年頃に養田ハウスとその周辺のトマトハウスの土壤診断調査を行った。土壤はいずれも灰色低地土であった。4図のように、熊谷市近隣のハウス土壌では可給態リン酸が200~300mg/100gに達していたが、養田ハウスでは80mg/100gであった。2003年には、全野研の協力で全国の熟練施設園芸農家の土壌155点を収集して土壤診断分析を行った。その内、トマトハウスは67点で、4図右上のようにそれらの可給態リン酸平均は202mg/100gであった。また、電気伝導率の平均は0.67mS/cmで、20mg/100g程度の硝酸態窒素が検出された。トマト栽培では、糖度が品質のひとつとして重要視されるため、窒素を施用して土壌の電



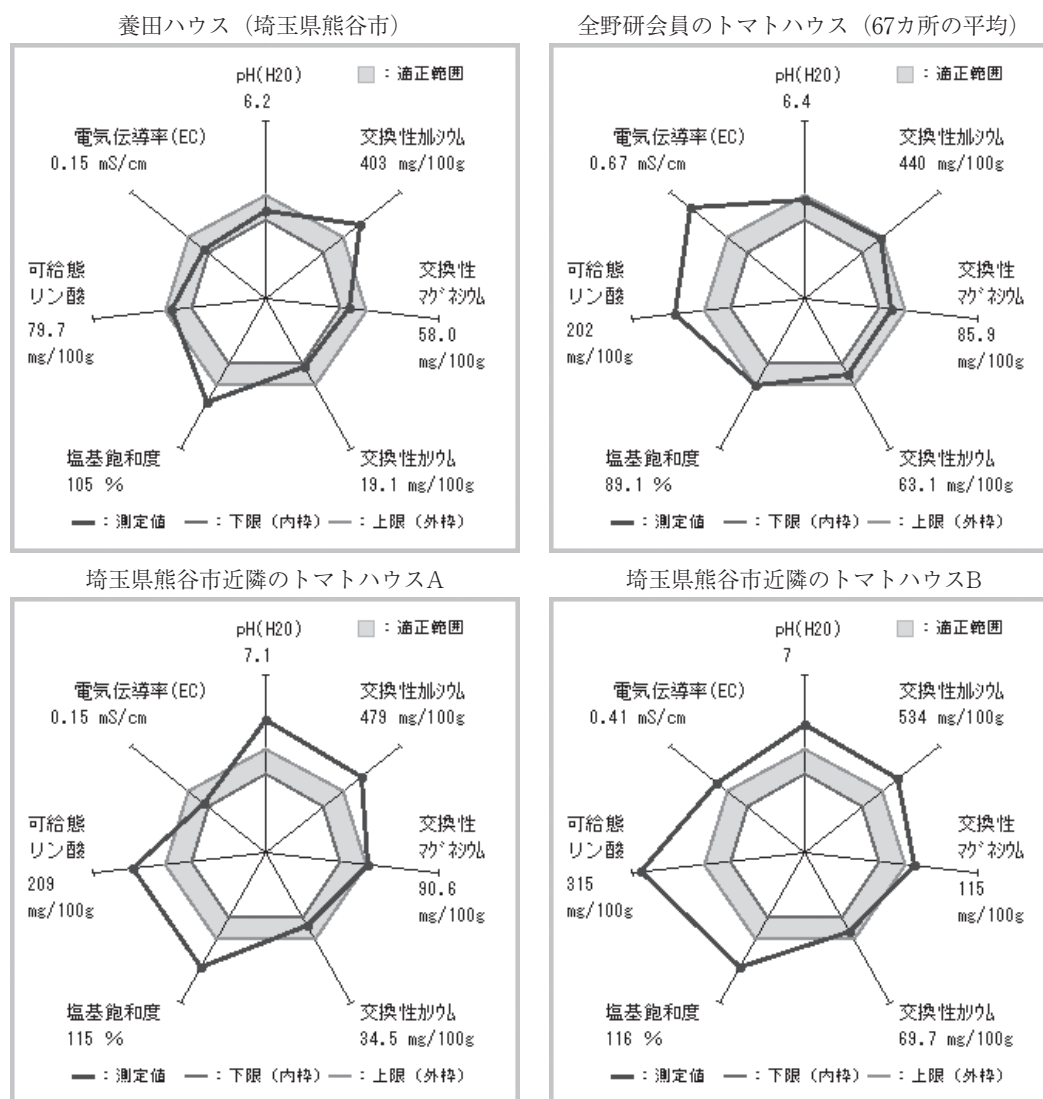
3図 「トマト名人」「土づくり名人」の養田昇さん

気伝導率を高めて糖度を上げる栽培法もある。また、科学的根拠はないと思うが、糖度を上げるにはリン酸の多施用と思い込んでいる農家も多かった。そのようなトマト農家に可給態リン酸の上限値を大きく超過する土壤診断分析結果を見せてリン酸肥料の削減を勧めても「馬の耳に念仏」であった。しかし、トマト農家が一目置く養田ハウスの分析結果を見せると、目の色が変わった。

各地には「篤農家」と呼ばれる農家が必ずと言ってよいほど見いだされる。確かに、年季の入った熟練農家で作物の栽培技術に長けてはいるが、土壤診断分析を行ってみると、とんでもないリン酸過剰土壌であることが少なくない。他の要素に比べて作物にリン酸過剰障害が出にくいことがその一因である。しかし、筆者らの研究で土壌のリン酸過剰がアブラナ科野菜根こぶ病やフザリウム病害、ウリ科ホモブシ根腐病、ネギ黒腐菌核病などの発病を助長することが明らかになった。最近の野菜や花卉産地では、「土づくり名人」とはいえない「篤農家」が深刻な土壤病害を被っている。「全国土の会」には、そのような痛い目を見て、土壤診断の大切さに目覚め入会する農家も多い。

「全国土の会」とは、1989年に筆者らが立ち上げた農家のための土と肥料の研究会である。全国の野菜生産地で土壤診断調査を行い、それらの調査を通じて地元の農家とつきあう中で、作物づくりではプロである農家に意外にも土壌学や肥料学の基礎知識が備わっていないことを知った。それはすなわち、土壌肥料学関係者の怠慢ではないか、それが「全国土の会」を立ち上げる理由であった。

4図 熟練トマト栽培農家のハウス土壌の化学性比較



4. 「全国土の会」の活動

「全国土の会」設立当初から2015年3月まで、事務局を東京農業大学土壌学研究室に置いた。本会の初代会長は土壌学研究室二代目教授の蛭木 翠会長で筆者は事務局長であったが、2005年に会長を引き継ぎ、事務局長を兼ねることになった。本会の活動の基本は、第一に農家が土と肥料の正しい知識を身につけること、第二に土壌診断に基づいた土壌改良と施肥管理を実践するである。そこでまずは、毎年秋に各地で全国大会を開催した。筆者の他に土壌肥料学の専門家による講演と会員による活動実績報告などが中心で、翌日には土壌診断調査法のデモンストラクションや会員圃場の視察などを行った。初回

の参加者は約30名、2回目は50名程度に過ぎなかったが、3回目以降の全国大会の様子が業界紙に取り上げられて入会者が急激に増加した。その多くが土壌病害などの連作障害に苦しむ地域の園芸農家であった。

根っからの土壌肥料屋で植物病理学とは全く縁なかった筆者らを、いつの間にか土壌病害の分野に引きずり込んだのは「全国土の会」に入会してきた農家の「土壌病害を何とかしてほしい」という切実な要望であった。「全国土の会」設立当初は、大学教員としての本業（教育と研究）に対して、それとは別のボランティアと位置づけていた「全国土の会」活動であったが、しだいに本業である研究活動の主体と変わり、2005年前後以降は筆者が担当した卒論

5 図 東京農大式土壌診断システム 土壌診断分析表

		印刷日 2020/12/03				
氏名	農大 太郎					
受付番号	2019050019					
園場・ハウス名	連棟ハウス①					
園場・ハウス場所						
土壌種類	非火山灰土壌					
採土年月日	2019年 5月19日					
現状作物	イチゴ					
状況	作付後					
前作物	イチゴ					
次作物	イチゴ					
深さ	15 cm					
土性						
備考						

■ : 測定値 ▭ : 下限(内枠) ▭ : 上限(外枠)	

土壌理化学性		単位	測定値	下限	上限
密度	mm				22
腐植	%			3	
全窒素	%				
C/N比					
pH(H2O)			6.9	過剰	6.5
pH(NaCl)			6.3	過剰	5.5
電気伝導率(EC)	mS/cm		0.06	不足	0.3
交換性カルシウム	mg/100g		307	過剰	203
交換性マグネシウム	mg/100g		44.3	不足	44.9
交換性カリウム	mg/100g		56.3	適正	67.4
交換性ナトリウム	mg/100g				
交換性マンガン	mg/kg		4.2	適正	4
Ca/Mg比	当量比		5	過剰	3
Mg/K比	当量比		1.8	不足	2
Ca/K比	当量比		9.2	適正	6.5
塩基飽和度	%		90.1	過剰	70
CEC	meq/100g		15.9		
可給態リン酸(モリブデン法)	mg/100g		121	過剰	100
リン酸(NaCl抽出法)	mg/100g		0.9		5
水溶性リン酸	mg/100g				10
リン酸吸収係数	mg/100g				
アモニア態窒素	mg/100g		1.5		
硝酸態窒素	mg/100g		0		
硫酸イオン	mg/100g		4		

微量要素	単位	測定値	下限	上限
可給態ホウ素	mg/kg	0.4	不足	0.5
可給態鉄	mg/kg	106		4.5
可給態マンガン	mg/kg	12.2		1
可給態亜鉛	mg/kg	6.9		1
可給態銅	mg/kg	5.5		0.2

総合所見	
・pH(H2O)がやや高すぎます。 ・交換性カルシウムがやや過剰です。 ・交換性マグネシウムがやや欠乏しています。 ・塩基バランスがかなり崩れています。 ・塩基飽和度はほぼ適正です。 ・可給態リン酸が過剰です。 ・可給態ホウ素がやや欠乏しています。	
★土壌改良・施肥改善対策★ ・塩基バランス改善対策：硫酸マグネシウム(硫マグ)40kg/100a。 基肥施用によりpH(H2O)が低下するので、水マグの方がよいかも。	

東京農大式土壌診断システム webみどりくんR		全国土の会ホームページ http://www.nodai.ac.jp/app/soil	東京農大(株)全国土の会	〒156-8502 東京都世田谷区板丘 1-1-1 TEL 03-3426-1771 FAX 03-3426-1771
-------------------------	--	--	--------------	--

や修論指導学生の研究テーマの多くが土壤病害多発地の土壤診断調査と防除対策となった。このような農家や地元のJAと一体となって取り組んだ「全国土の会」活動は学生に対する現場教育にもたいへん役立ち、卒業生の多くを農業関連の職に送り込むことができた。また、土壤理化学性が土壤病害の発生に大いに関連することが明らかになり、「土の健康」に対する土壤診断の重要性を再認識することができた。

2015年3月の東京農業大学定年退職に伴い、「全国土の会」事務局を同年4月に東京農業大学内に起業した「東京農大発(株)全国土の会」に移した。同社内に専用の土壌診断室を設け、「全国土の会」会員からの土壌診断分析を中心に年間約1,500点の分析を行っている。もちろん有料で、「全国土の会」の土壌診断結果を示す「Webみどりくん」(5図)には、処方箋の記載がない。

5. 土壌診断の処方箋は農家でも書ける

1981年にスタートした国の土壌・作物体分析機器

実用化（SPAD）事業以来、国や農業団体では「土壌診断に基づいた土づくり」を啓発し続けてきた。2006年時点での農林水産省の調査によると、全国には914の土壌診断室があった。その内訳は普及指導機関392、JA・経済連など365、肥料商・メーカーなど88、公設試験研究機関69であったが、年間の分析点数は50万点、全農耕地当たりの土壌診断分析密度は9.8haに1点、施設野菜では2.3haに1点に過ぎない状況であった。2008年には中国がリン鉱石の輸出を一時ストップしたため、肥料価格が高騰したリン酸ショックを契機に土壌診断啓発の機運が再燃し、JA全農では全国9カ所に広域土壌診断センターが設けられた。また、各地の公設試験研究機関では、リン酸過剰畑や施設でのリン酸減肥試験などが実施され、減肥基準が設けられた。農林水産省が2013年に行った調査によれば、土壌診断の実施率は39.8%で土壌診断に対する農家の関心が高まりつつあるようだが、園芸土壌ではリン酸やカリ過剰化の留まる気配がない。それどころか、最近の施設園芸土壌では硫酸イオンの過剰蓄積と、それに伴う電気伝導率

の上昇とpHの低下が目立つようになっている。

「土壌診断に基づいた土づくり」が思うように進まない背景には、農業者の土壌診断分析結果に対する意識に一因がある。土壌診断分析で足りない養分を補うことには即応できるが、多い養分を減らす「勇気」がなかなか出ない。また、土壌診断分析機関にも原因がある。多くの土壌診断分析が無料で行われていることである。特に、肥料団体・業界では土壌診断分析を肥料や資材販売のための道具とすることも多く、土壌診断結果には土壌改良資材や肥料の処方箋が記載されている。農家はろくに分析結果を見ずに、処方箋どおりのメニューを注文してしまうため、土壌診断を行っても経費削減にならないことが多い。

土壌診断分析には分析装置の維持・試薬・人件費などの経費を要するので、それ相応分を農家が負担すべきだ。園芸農家がその分析値を自ら判断し、それに応じた施肥管理を行えば、必ずといってよいほど生産経費の削減につながる。人の処方箋は医者にしか書けないが、土壌診断の処方箋は農家でも書ける。そのためには、土と肥料の基礎知識を身につければよい。

6. 土壌診断分析の合理化に向けて

最新のスマート農業では、トラクターやドローンに装着した各種センサーで圃場の土壌養分マップを作る技術なども開発されているようであるが、土壌診断の基本は6図のように農家自らが圃場に穴（試坑）を掘ることだ。深さはせいぜい40～50cmで下層土の状態が観察できる程度でよい。土壌断面を目で見て、土を手で触ればおよその土壌物理性を知ることができる。見ても触っても舐めてもわからない土壌化学性と生物性については分析が必要である。従来、土壌診断分析と言えば化学性が主体であったが、最近ではPCR法などによるセンチュウや土壌病原菌密度の測定も普及し「健康な土づくり」に大いに役立つようになりつつある。

土壌化学性分析を土壌診断室に依頼すると結果報告まで通常2週間程度以上を要するため、リアルタイム分析キットを購入して自分で分析する農家も多い。最善は、両者を上手に使い分けることだ。pH・電気伝導率・硝酸態窒素のように作物栽培期間中に変動する成分では、リアルタイム分析が有効である。一方、交換性塩基や可給態リン酸、微量要

6図 土壌診断は穴掘りから



素などは短期間に大きく変動する成分ではないので、年に一度程度の分析でよい。また、それらを簡易に分析することは容易でないので、土壌診断室に依頼する方がよい。

土壌診断室では、分析時間の短縮が今後の課題である。現状の土壌化学性分析では、項目ごとに少なくとも5種類くらいの抽出溶液を使い分けているため、分析の前処理に手間を要する。そこで、「全国土の会」では土壌中の多量要素全てを1M/L塩化ナトリウムで抽出し、ICP発光分光分析法と自動化学分析法で分析する方法を採用している。また、最近では土壌試料の秤量・抽出溶液分注・振とう抽出・ろ過を自動化した土壌分析前処理ロボットの普及も進んでいるので、両者を組み合わせると、分析担当者1名で年間数万点の分析も可能となる。

リン酸やカリ過剰、塩基バランスの崩れなど「メタボ化」が目立つ園芸土壌とは裏腹に、水田土壌の地力低下が大きな課題となっている。今後は水田土壌の肥沃度向上のための土壌診断分析が重要となる。畑土壌での分析項目の他に、可給態ケイ酸と遊離酸化鉄が必須であるため、園芸土壌以上に土壌診断分析法の合理化が望まれる。なお、水田土壌の健康復活には石灰・ケイ酸・含鉄資材などの土壌改良資材の施用が必要となり、収益性の低い水田農家の経営を圧迫することになりかねない。そこで、水田農業に対する補助金制度を見直し、土壌診断分析結果に基づいて施用する土壌改良資材に対する手厚い補助を求めたい。