

土壤診断のための可給態成分の分析

誌名	日本土壌肥料学雑誌 = Journal of the science of soil and manure, Japan
ISSN	00290610
著者	中司, 啓二 清水, 義昭 米山, 忠克
巻/号	59巻1号
掲載ページ	p. 120-124
発行年月	1988年2月

 資 料

 土壤診断のための可給態成分の分析
 簡易・迅速分析器の変遷

 中司啓二*・清水義昭**・米山忠克*

キーワード 土壤診断, 簡易迅速分析, 可給態成分, 抽出法

土壤の保全政策として「耕土培養法」が1952年に制定されていたが、制定後4半世紀を経過して内容が必ずしも時代の要請に答えられなくなってきたために、1984年新たに「地力増進法」が制定された。

この「地力増進法」はまったく新しい法律ではなく、「耕土培養法」の改正という形で行われたが、改正点はそれまで土壤の化学性のみに限って事業を行うこととしていた耕土培養法にかわり、物理的性質、生物的性質も含めた広汎な土壤の性質を対象にしたことである。これは、従来、土壤の化学的性質の改善を主眼として行ってきたことへの反省であるが、化学的性質とくに可給態成分を中心とした分析は一般的に土壤診断と呼ばれ、現在も広く行われている。

土壤診断についてはまとまった資料^{1,2)}や平易な解説書等も多数発行されているが、土壤診断の歴史、とりわけ簡易・迅速分析器の変遷に触れられたことはほとんどないので、ここでは簡易・迅速分析器の歴史を振り返り、あわせて現在の課題について整理したいと思う。

1. 簡易土壤検定器の開発

現在使用されている可給態成分の測定法は、海外では1930～1940年代に研究が始められ^{3,4)}、かなり総合的な研究も行われている^{5,6)}。日本でも同じ時期に有効態リン酸についての研究⁷⁻⁹⁾が行われたが、これらの研究を基礎として1950年代に簡易土壤検定器が開発された。こ

Keiji NAKATSUKA, Yoshiaki SHIMIZU and Tadakatsu YONEYAMA: Fertility Evaluation by Plant-available Nutrients of Soil —A Historical Review on Simple, Rapid Soil Testing Methods—

* 農林水産省農業研究センター土壤肥料部 (305 つくば市観音台 3-1-1)

** 富士平工業株式会社研究所 (176 東京都練馬区貫井 3-19-16)

昭和62年4月21日受理

日本土壤肥科学雑誌 第59巻 第1号 p.120～124 (1988)

の時期に農林省によって「開拓地土壤調査事業」(農地局入植営農課, 昭和22～43年), 「耕土培養事業化推進事業」(農政局農産課, 昭和33～37年)等の事業が行われ、この簡易土壤検定器は国庫補助対象器材として、開拓地の熟畑化や酸性土壤の改良などに、全国で幅広く利用されて食糧増産に寄与したことは、評価されるべきである。この簡易土壤検定器には考案者の違いにより若干検定項目、および分析手法等が異なる数種の器種がある。

代表的な器種としては「矢木式(FHK式)簡易土壤検定器」, 「柳田式土壤作物栄養診断器」および「日本土壤協会式簡易検定器」があった。このほかにも土壤のpHだけを対象とした酸度検定器類、全購連(現、全農)組織が開発して利用を奨励した「全購連型土壤検定器」もあった。

とくに矢木式簡易土壤検定器は広く利用されたので考案者自身による成書¹⁰⁾や手引書¹¹⁾も発行されており、詳細はこれらにゆずり、概略について述べることにする。この簡易土壤検定器の特徴の第1点は可給態成分の抽出を生土を用いた容量比で行い、なおかつ3分以内で抽出できることにある。第2点は、MORGAN氏の抽出液(pH 5.2, 10% CH₃COONa)⁵⁾で多くの可給態成分(交換性カリウム, カルシウム, マグネシウム, マンガン, アンモニア態窒素など)の抽出を行うこと、第3点は、抽出された可給態成分はそれぞれ1～2種類の試薬を用いてきわめて簡単な操作によって結果を知ることができるように、器具や試薬がセットになっていることである。

この三つの特徴はフィールドテストやラピッドテストが備えなければならない簡便性と効率性を達成するためには重要なことであり、簡易土壤検定器が広く利用された理由であろう。しかし、やはり問題点もあり、とくに精度が劣ることと、抽出液が「土壤養分分析法」¹²⁾など

の方法と異なっていることがあげられる。簡易・迅速分析器であるから、精度がやや劣るのはやむをえないが、簡易土壌検定器では、主要作物の肥料適量試験における作物の生育状況を基準として、土壌の肥沃度の度合を「富む、含む、欠く」という定性的な評価法を採用していた。後に、どの程度の含有量に相当するか、判定表に数値を付記するようになった。

また、抽出法が現在使われている方法と異なるので、両者の比較は困難ではあるが、清水ら（未発表）が参考のために行った結果は、1) アンモニア態窒素、硝酸態窒素、交換性カリウム、交換性カルシウム、交換性マグネシウムの相関は比較的高くて使用に耐えられること、2) 有効態リン酸（土壌検定器はモリブデン酸アンモニウムを含む 0.77 N HCl, 抽出液比は 1:2.5）はばらつきが大きく相関が低く両者の間に一定の傾向は認められない。なお、簡易土壌検定器は国の事業の助成対象からはずれた以後も 2～3 の器種は引き続き生産され、土壌診断や学校教材として利用されているだけでなく、土壌診断用として東南アジアをはじめ、諸外国で用いられている。

2. 「土づくり運動」と全農型土壌分析器

1960年代になると、化学肥料の普及や栽培技術の進歩などにより、測定精度が高いだけでなく測定できる濃度範囲が広い簡易・迅速分析器の開発を望む声が多くなった。また、この時期にはアメリカでは「Methods of Soil Analysis」¹³⁾が、日本では「土壌養分分析法」¹²⁾がまとめられ、土壌分析法の考え方がまとまっていた。さらに分析用機器の改良が進み、分光光度計が安価になっただけでなく、炎光度計の普及、原子吸光度計の開発も始まっていた。

そこで分光光度計を主体とする「谷口式土壌セミマイクロ分析セット」が開発されている。この分析セットは縦照射式の比色・比濁計を中心に同一抽出液（MORGAN氏抽出液）で全成分の抽出を行い、定量することを特徴としていたが、操作が煩雑で分析精度にもやや問題があったため、あまり普及せず生産が中止されている。

1970年代になると、土壌診断は広く受け入れられるようになった。そのようななかで、官民あわせて取り組んだ「土づくり運動」の一環として、全農は土壌診断体制の強化をめざして簡易・迅速分析器の開発と施肥診断技術者の養成を行った。開発された簡易・迅速分析器は「谷口式土壌セミマイクロ分析セット」を発展させたもので「全農型土壌分析器」と呼ばれている。この土壌分析器は農協を中心に一部の農業改良普及所を含め、広く利用され

ており、テキスト¹⁴⁾なども完備したものになっている。その特徴をあげると、1) 分光光度計、pHメーター、電気伝導率計を主体として実験用器具類と調製済み試薬セットからなる、2) 抽出法や分析法は「土壌養分分析法」¹²⁾などと同じか、相関の高い方法を採用したこと、3) 分光光度計を濃度直読式にしたり、抽出法の改良・工夫によりすべて 30 分以内に完了する、4) 発色試薬を長期保存に耐えるようにしたことである。その内容は小型実験室的な簡易・迅速分析器といえる。

この全農型土壌分析器と、矢木式簡易土壌分析器を比較すると、全農型土壌分析器の分析項目では塩基交換容量（CEC）、腐植含量¹⁵⁾、可給態ケイ酸が加えられて酸化鉄や活性アルミナなどが除かれている。これは土地改良事業の推進や土壌改良資材の使用などにより土壌の改良が進んだ反面、多収で高品質な作物を栽培するために、土壌の可給態成分の測定が重要になってきたことを示すものと思われる。また項目は同じでもアンモニア態窒素、硝酸態窒素や有効態リン酸のように抽出液や発色方法が変えられて、簡易土壌分析器より精度が高くなったものもある。もう一つ重要なことは、分析用試料では簡易土壌検定器が生土容積法なのに対し、全農型土壌分析器では風乾細土重量法になっていることである。これは分析精度に大きな寄与をした反面、前処理という迅速性とは両立しがたい問題ももち込んだことになったし、風乾土を用いることに対して、その正当性を問うむきもある。この全農型土壌分析器の精度は取りまとめ¹⁶⁾によれば、1) 有効態リン酸（トルオーグ法）、腐植含量、可給態ケイ酸では抽出率が低いので補正を行うこと、2) 交換性カリウムにばらつきがあるが、その原因は比濁法によるためであること、3) 上記以外の項目は「土壌養分分析法」などの方法とよく一致するとしている。このように一部に分析精度という問題は残るものの、その実用性の高さと、農協や農業改良普及所の土壌診断事業を支えていることは評価されるべきと思われる。

3. SPAD と土壌・作物体総合分析装置

全農が全農型土壌分析器を開発して土壌診断事業を推進させたが、全国の農業改良普及所でも効率的で精度のよい診断を行うための各種機器が望まれるようになった。そこで、1981年に農林水産省農畜園芸局農産課が中心となり、「分析機器システム開発委員会」を発足させて「土壌・作物体分析機器開発事業（略称 SPAD）」を行い、診断のための各種機器を開発することになった。この事業の推進により現在までに土壌の化学性、物理性あるいは作物体の栄養診断のための機器が多数開発され、

第 1 表 代表的な簡易・迅速分析器の分析法

診断項目	矢木式簡易土壌検定器		全型型土壌分析器		土壌・作物体総合分析装置	
	抽出液	測定法	抽出液	測定法	抽出液	測定法
アンモニウム態窒素	10% CH ₃ COONa (pH 5.2)	比色法 ネスラー法	1 N KCl	分光光度法 インドフェノール法	(A) 10% KCl (B) —	分光光度法; インドフェノール法
硝酸態窒素	0.02 N Ca ₃ SO ₄ (Ca(OH) ₂ , MgCO ₃ 粉末)	比色法 GRIESS-ILOSVAY 法	1 N KCl	分光光度法 GRIESS-ILOSVAY 法	(A) 10% KCl or 0.02 N CuSO ₄ (B) 0.02 N CuSO ₄	分光光度法; GRIESS-ILOSVAY 法 分光光度法; PDS 法
有効態リン酸	0.77 N HCl((NH ₄) ₆ Mo ₇ O ₂₄ 含有)	比色法 モリブデン青法 (Sn 還元)	0.002 N H ₂ SO ₄ (pH 3)	分光光度法 モリブデン青法 (Sn 還元)	0.002 N H ₂ SO ₄ (pH 3)	分光光度法; モリブデン青法 (アスコルビン酸還元)
リン酸吸収係数	0.06% Na ₂ HPO ₄ (pH 5.0)	比色法 モリブデン青法 (Sn 還元)	2.5%(NH ₄) ₂ HPO ₄	分光光度法 バナドモリブデン酸法	(A) — (B) —	分光光度法; バナドモリブデン酸法
交換性カリウム	10% CH ₃ COONa (pH 5.2)	比濁法 並硝酸コハバルトソーダガカリ法	10% CH ₃ COONa (pH 4.8)	比濁法 並硝酸コハバルトソーダガカリ法	1 N CH ₃ COONH ₄ (pH 7)	炎光光度法
交換性カルシウム	10% CH ₃ COONa (pH 5.2)	比濁法 シュウ酸カルシウム法	10% CH ₃ COONa (pH 4.8)	比濁法 シュウ酸カルシウム法	1 N CH ₃ COONH ₄ (pH 7)	(A) 分光光度法; OCPC 法 (B) 原子吸光光度法
交換性マグネシウム	10% CH ₃ COONa (pH 5.2)	比色法 チタン黄法	10% CH ₃ COONa (pH 4.8)	分光光度法 チタン黄法	1 N CH ₃ COONH ₄ (pH 7)	(A) 分光光度法; XB-I 法 (B) 原子吸光光度法
腐植含量	—	—	2.23% Na ₄ P ₂ O ₇ アルカリ溶液	分光光度法 530 nm 直接比色	(A) 2.23% Na ₄ P ₂ O ₇ (B) —	分光光度法; 530 nm
交換性マンガン	10% CH ₃ COONa (pH 5.2)	比色法 アノール法	—	—	(A) 1 N CH ₃ COONH ₄ (pH 7) (B) —	分光光度法; 過ヨウ素酸ナトリウム法
有効態ケイ酸	—	—	1 N CH ₃ COONa (pH 4)	分光光度法 モリブデン青法	(A) 1 N CH ₃ COONa (pH 4) (B) —	分光光度法; モリブデン青法
遊離酸化鉄	0.85 N HCl	比色法 ロタン鉄法	Na ₂ S ₂ O ₄ -EDTA	分光光度法 o-フェナントロリン法	(A) Na ₂ S ₂ O ₄ -EDTA (B) —	分光光度法; o-フェナントロリン法
熱水可溶性ホウ素	—	—	—	—	水	(A) 分光光度法; アゾメチンH法 (B) 分光光度法; クルクミン法
塩基交換容量	—	—	1 N CH ₃ COONH ₄ 1 N KCl	分光光度法 インドフェノール法	(A) 1 N CH ₃ COONH ₄ 10% KCl (B) —	分光光度法; インドフェノール法

(A) 分光-炎光型土壌・作物体総合分析装置, (B) 原子吸光-炎光-分光型土壌・作物体総合分析装置
PDS法, フェノールジスルホン酸法; OCPC法, オルトクレゾールフェニルレインコンプレキソソ法; XB-I法, キシリジルブルー-I法。

SPAD 開発品ということで発売されている。それらのなかには、硝酸イオンメーター、陽イオン交換容量測定器、葉緑素計、貫入式土壌硬度計等がある。ここでは従来の可給態成分に関する土壤診断用簡易・迅速分析ということで、土壌・作物体総合分析装置に限り、その測定方式ならびに特徴について述べることにする。

a) 分光-炎光型土壌・作物体総合分析装置(A社): 分光光度計と炎光光度計を合体させた分析装置を主体としたキットで、カルシウムとマグネシウムを分光光度法^{17,18)}で測定することと、試薬セットや試験器具類が含まれているのが特徴となっている。また、分析機器システム委員会が定められた6項目以外の分析項目も取り入れられている。この型の総合分析装置は全農型土壌分析器の改良型とも呼べるものである。

b) 原子吸光-炎光-分光型土壌・作物体総合分析装置(B社): 原子吸光光度計、炎光光度計と分光光度計を合体させた測定装置であるので、カルシウム・マグネシウムは原子吸光光度法で定量することが前記の装置とは異なっている。また、分析法はすべて「土壌養分分析法」¹²⁾などと同じで、試験器具や試薬キット等は付属していない。すなわち、この分析装置は従来の分析計をコンパクトにまとめたものといえる。

以上、2タイプの土壌・作物体分析装置の分析精度については農産業振興奨励会がまとめた資料¹⁹⁾がある。これによると、両装置ともよい精度が得られている。

第1表はおもな簡易・迅速分析器で用いられた分析法であるが、簡易土壌検定器の開発から約30年を経て、簡易・迅速分析器は大きな変貌をとり、発展も頂点に達したように思われる。しかし、この発展のなかで考えるべき問題も少なくないと思われるので、次では土壤診断や栄養診断のなかで、簡易・迅速分析が直面している課題を整理したいと思う。

4. 簡易・迅速分析の課題

土壤診断に占める簡易・迅速分析の役割は大きなものであるが、簡易・迅速分析が直面している問題の多くは土壤診断が抱えている問題とかなりの部分でオーバーラップしている。ここでは可給態成分の抽出法、およびその簡便性と迅速性について取り上げることとする。

「地力増進法」は可給態窒素として培養法を、有効態リン酸としてトルオーグ法を規定している。可給態窒素は最も重要な養分であるから、多くの研究が行われているが、現在のところ、時間がかかる培養法に代わる適当な方法が確立したとはいえない。これは簡易性、迅速性からみて大きな問題である。有効態リン酸の場合は、

可給態窒素とは異なる問題がある。トルオーグ法にしてもブレイⅡ法²⁰⁾にしても古くから利用されて有効性が認められているが、最近の養分が集積した圃場では必ずしも有効な方法ではない。これはトルオーグ、ブレイおよびオルセン²¹⁾等による方法は、低濃度のリン酸の有効性を判定する rapid test として開発されたことを考えると当然と思われる。また、高濃度の問題は交換性塩基も同様のことがいえる。

そこで簡易・迅速分析ではこの問題に対処するために、水抽出を含めた1種類の抽出液による多成分分析をもう一度、検討する必要があると思われる。矢木式簡易土壌検定器ではこの方法が用いられていたが、それ以後は分析値の相関という問題があるために軽視されている。しかし、養分の集積問題が示すように作物体系、栽培技術や施肥法が多様化している現在では、農家自身が圃場で使用できる迅速で簡易な分析器と分析法が必要になっている。そのためにはMORGAN⁵⁾やMEHLICH²²⁾の抽出法、水抽出法などを検討し、より現地に対応できるシステムが必要である。一方、現在使用されている方法でも、和田²³⁾による効率的な交換性塩基の抽出法、中司²⁴⁾によりCECの抽出を2時間に短縮する装置が提案されているように、改良できるものもあるので、抽出法のよりいっそうの研究が期待される。

可給態成分の分析では時間と人手がかかるという問題が常にある。簡易・迅速分析器は簡便性と迅速性を基本として造られたはずであるが、発展の過程で分析精度の向上と反比例して迅速性が低下することになった。分析精度と簡便性・迅速性は両立しがたい問題ではあるが、野菜・花きなどの栽培期間の短い作物や過剰害の判定等に対処するためには、より迅速性の高い土壌検定器の開発が必要になると思われる。

渡辺ら^{25~27)}が土壌・作物体の養分テストとして簡易な方法を提案しているが、この考え方を基礎としてより簡易で迅速な新土壌検定器を開発して、農家自身が圃場を経時的にチェックし、追肥の時期や量を判断することができただけでなく、養分の集積の予防ができるようにすべきと思われる。

以上、簡易・迅速分析法の展開について述べたが、作物の栄養診断を含めた土壌診断は、新たな展開が必要な時期になっていると考えられる。農協、農業改良普及所、県や国の研究機関が行ってきた土壌診断は大きな成果を上げてきたが、現地のニーズに必ずしも答えてきたとはいえないと思われる。それは、今の土壌診断は単位重量当たりの可給態成分の量を測定することが中心で、作物の生育や根の分布、栽培期間や気候条件等はほとんど

ど考慮されていないことが原因と思われる。集約的で作期の短い作物の場合には養分の豊否だけでよいこともあるが、一般的には根圏での土壤養分供給予測ができることがより有効な診断といえる。このような実効的な土壤診断はシステムの診断と呼べるものであろう。根圏環境の変化や養分の時間的供給予測に関しては、現在研究が行われており、近い将来明らかになると期待される。そのときにはこれらの成果を取り込んだより高度なシステムの診断が可能となり、農業生産に新たな貢献をすることが期待される。

文 献

- 1) 茅野充男：作物診断・土壤診断事業と分析化学，ふんせき，**80**，394～400 (1980)
- 2) 山崎慎一：土壤中の可給態成分の分析，同上，**80**，867～871 (1985)
- 3) TRUOG, E.: Proposed Method for Determining Readily Available Phosphorus of Soils. *J. Am. Soc. Agron.*, **22**, 879～882 (1930)
- 4) SCHOLLENBERGER, C. J. and SIMON, R. H.: Determination of Exchange Capacity and Exchangeable Bases in Soils—Ammonium Acetate Method. *Soil Sci.*, **44**, 13～24 (1945)
- 5) MORGAN, M. F.: Agronomic and Horticultural Considerations in the Use of Simple Chemical Soil Test. *Am. Fert. Nov.* (1939)
- 6) PEECH, M. and ENGLISH, L.: Rapid Chemical Soil Tests. *Soil Sci.*, **57**, 167～195 (1944)
- 7) 小林 嵩：土壤成分に及ぼす肥料配合の影響並びに施肥により土壤に集積したる希薄酸に溶解するりん酸の有効性に就て，土肥誌，**2**(3)，40～55 (1928)
- 8) 今井 道：土壤の有効態りん酸，加里含有量と2～3の所謂土壤有効養分定量法による分析結果との関係，同上，**4**(2)，7～8 (1930)
- 9) 大野数雄：水稲および裸麦の植木鉢三要素試験成績と土壤分析成績との相関関係に就て，同上，**4**(3)，65～72 (1930)
- 10) 矢木 博：新版図解土壤検定と肥料試験，p.23～42，博友社，東京 (1973)
- 11) 富士平工業(株)：土壤検定と線虫防除の手引，p.17～66 (1956)
- 12) 土壤養分測定法委員会編：肥沃度測定のための土壤養分分析法，養賢堂，東京 (1970)
- 13) BLACK, C. A., EVANS, D. D., ENSMINGER, L. E., WHITE, J. L. and CLARK, F. E.: Methods of Soil Analysis, Part 1, 2, Am. Soc. Agron., Inc., Madison (1965)
- 14) 全農肥料農薬部：施肥診断技術者養成講習会テキストIV (1983)
- 15) 鈴木正昭・熊田恭一：腐植の簡易定量法に関する一考察，土肥誌，**44**，144～145 (1973)
- 16) 全農肥料農薬部：全国代表土壤における全農型土壤分析器の精度解析の結果について (1980)
- 17) 清水義昭・竹田政史・北村耕作・深川正己・石井奈緒子・麻生英夫：オルトクレゾールフタレインコンプレキソン吸光度法による土壤の置換性カルシウムの迅速定量法，土肥誌，**55**，477～480 (1984)
- 18) 清水義昭・竹田政史・石井奈緒子・平方泰範・麻生英夫：キシリジブルー I 吸光度法による土壤の置換性マグネシウムの迅速定量法，同上，**55**，269～272 (1984)
- 19) (財)農産業振興奨励会：土壤・作物体分析器開発事業総合報告，p.42～61 (1986)
- 20) BRAY, R. H. and KURTS, L. T.: Determination of Total, Organic, and Available Forms of Phosphorus in Soils. *Soil Sci.*, **59**, 39～45 (1945)
- 21) OLSEN, S. R., COLE, C. V., WATANABE, F. S. and DEAN, L. A.: Estimation of Available Phosphorus in Soils by Extraction with Sodium Bicarbonate. *U. S. Dept. Agric. Circ.*, No. 939, 1～19 (1954)
- 22) MEHLICH, A.: New Extractant for Soil Test Evaluation of Phosphorus, Potassium, Magnesium, Calcium, Sodium, Manganese and Zinc. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, **9**, 477～492 (1978)
- 23) 和田信一郎：銀チオ尿素・酢酸アンモニウム混合液を用いた交換性塩基の抽出法，土肥誌，**55**，183～185 (1984)
- 24) 中司啓二・柳井政史・清水義昭・足立嗣雄：攪拌抽出法による塩基交換容量と交換性塩基の迅速化，同上，**58**，480～483 (1987)
- 25) 渡辺和彦・宇田 明・藤井 浩：簡単にできる土壤・作物体の養分テスト法の検討，土肥要旨集，**29**，64 (1983)
- 26) 渡辺和彦監修：野菜の要素欠乏と過剰症，タキイ種苗(株) (1983)
- 27) 渡辺和彦：原色生理障害の診断法，p.189～231，農文協，東京 (1986)