

土壌施肥管理システムの開発

石橋 英二

Development of Soil and Manure Management System

Eiji Ishibashi

緒 言

岡山県では、1979年から始まった土壌保全対策事業において、土壌実態調査を5年ごと20年間に渡って実施した。その結果、水田土壌では腐植含量の緩やかな減少傾向が、畑や果樹園土壌ではリン酸集積などの傾向が明らかになった。同時に土壌養分含量の農家間差が大きくなる傾向が認められ、養分が過剰になっている農家と不足している農家の二極化が進んでいる状況が認められた(岡山県土づくりマニュアル、2004)。

ところで、日本の食料自給率は供給熱量換算で約40%と低く、その多くを輸入に頼っている。その結果、年間121万tの窒素が食・飼料として日本国内に入ってきており、畜産業だけでも年間80万tの窒素が環境へ排出されている(織田、2005)。このような情勢の中で、たい肥の有効利用が社会的命題になっている。一方、水田では、たい肥施用量の減少傾向が続き、また反対に、畑や果樹園地では、たい肥の過剰施用や不適切な施用による土壌養分のアンバランスな集積の実態も明らかになってきた(石橋、2004)。これらの原因としては、農業の担い手の高齢化や兼業化の進行、農業を取り巻く経済状況の変化などが考えられるが、技術的には次のような問題がある。第一は農家レベルにおける土壌診断体制が十分機能していないこと、第二はたい肥の効果は適正に施用することによって発揮されるものであるが、農家の中にはたい肥は施用すれば施用するだけ効果が高いという思い込みがあること、第三はたい肥に含まれる養分バランスと作物が吸収する養分バランスは等しくなく、特定養分

が残存する傾向がみられること、第四は家畜飼料の高栄養化やたい肥製造法の変化に伴って、たい肥中有効成分含量が高濃度化(山口ら、2000)してきており、前述の養分バランスの格差がより顕著になり、結果的に特定成分の過剰を引き起こしやすくなったこと、第五はたい肥や有機質肥料からの窒素の肥効パターンが数値化されておらず、計画的な施肥設計をする有効な手法が開発されていなかったことなどが考えられる。このことは、現在流通しているたい肥の成分的特徴や肥効パターンに対する農家の理解不足や、たい肥含有成分を施肥量に算入して、過不足なく効果的に施用する技術が確立されていなかったことを意味している。

これらの問題を解消するためには、たい肥等の土壌改良資材を施用することによって、主成分だけでなく副成分も含めた土壌への負荷量を簡便に、かつ正確に判定する手法の開発が望まれている。さらに、たい肥や肥料等を組み合わせた総合的な窒素供給量の簡便な推定技術の開発がなされなければならない。その上、社会的には、たい肥などの有機質資源の有効利用が求められている。そこで、第一に資源循環を推進し、土づくり資材として有効なたい肥利用を前提とした土壌診断システムを構築した。また、第二に有機質肥料やたい肥からの窒素無機化パターンや被覆肥料などの肥効調節型肥料からの窒素溶出パターンを数値化することにより、施肥時期や気象条件の異なる地域でも計画的な施肥設計を組み立てることができるシステムを構築したので、それらの内容を報告する。

本文に入るに先立ち、本システムの開発に当たり、農

業総合センター技術普及課久山弘巳氏には適切な助言を頂いた。記して謝意を申し上げます。なお、本課題は、農林水産省助成事業「土壌機能増進対策事業」及び「バイオマスフロンティア推進事業」の中で実施した。

材料及び方法

1. システム開発コンピュータの仕様

- ① Windows version : Windows 2000 Professional (Build 2195) SP 4
- ② CPU : Mobile Intel Pentium III-M 0.13u
- ③ メモリー : 512MB

2. 開発アプリケーション言語

エクセル2000 (Microsoft Office XP Personal)、VBA

結 果

1. システムの特徴及び構成

本システムの特徴は、資源循環と環境保全をキーワードとしたたい肥の積極的、かつ適正な施用を前提としたことである。

システムのメニュー画面を図1に示した。システムは大きく3つの部門で構成されている。それは、①土壌診断と処方箋作成ソフト群(畑用または水田用の土壌診断

ソフトと診断条件等を管理するための関連ソフトからなる)、②窒素の無機化及び溶出解析ソフト群(畑用または水田用の窒素無機化・溶出予測ソフトと肥料・資材の登録のための関連ソフトからなる)、③施肥量の計算用ソフト群(畑用または水田用の施肥量の計算ソフトからなる)である。その他、まだ開発中であるが、たい肥連用の影響を解析するソフトおよび重金属蓄積量を推定するソフトが含まれている。

窒素無機化・溶出予測ソフトには予測対象の肥料・資材中に含まれる窒素成分の種類により単独の場合(単肥用)と複数の場合(複合用)を設けた。

2. 土壌診断と処方箋作成ソフト群の考え方と使い方

土壌診断と処方箋作成ソフト群の主要部分を構成する土壌診断ソフトでは、診断者が入力した土壌分析結果を、コンピュータが作物の種類ごとに登録してある土壌改良目標値(表1)と比較して、その過不足を自動判定することで土壌診断が行われる。その後、処方箋の作成作業に移るが、処方箋は土壌診断結果を参照して、不足している成分の補給や成分間のバランスを整える土壌改良資材が選択されて最終的に作成される。資材を選択するのは診断者であるが、施肥量は資材施用によって資材中に含まれる主成分が改善目標値(改良目標値下限と上限の間で診断者が自由に設定できる値)になるようソフ

表1 土壌改良目標値の例(イネ)

土壌の種類	CECの範囲	改良目標	pH	EC	全窒素	腐植	CEC	有効態リン酸	塩基飽和度	石灰	苦土	加里	石灰/苦土	苦土/加里	可給態ケイ酸	遊離酸化鉄
				mS/cm	%	%	me/100g	mg/100g	%	%	%	%			mg/100g	%
黒ボク土壌	8未満	目標下限	5.5	0.0	0	5	0	10	60	42.6	13.7	3.7	2	2	10	0.8
		目標上限	6.5	0.7	1	10	8	30	100	71.1	22.8	6.1	8	6	50	2.0
	8~15	目標下限	5.5	0.0	0	5	8	10	60	42.6	13.7	3.7	2	2	10	0.8
		目標上限	6.5	0.7	1	10	15	30	100	71.1	22.8	6.1	8	6	50	2.0
	15~22	目標下限	5.5	0.0	0	5	15	10	60	42.6	13.7	3.7	2	2	10	0.8
		目標上限	6.5	0.7	1	12	22	30	90	64.0	20.6	5.5	8	6	50	2.0
22~30	目標下限	5.5	0.0	0	5	22	10	60	42.6	13.7	3.7	2	2	10	0.8	
	目標上限	6.5	0.7	1	15	30	30	90	64.0	20.6	5.5	8	6	50	2.0	
30以上	目標下限	5.5	0.0	0	5	30	10	50	35.5	11.4	3.0	2	2	10	0.8	
	目標上限	6.5	0.7	1	15	50	30	80	56.9	18.3	4.9	8	6	50	2.0	
鈳質土壌	8未満	目標下限	5.5	0.0	0	2	0	10	60	42.6	13.7	3.7	2	2	10	0.8
		目標上限	6.5	0.7	1	8	8	30	100	71.1	22.8	6.1	8	6	50	2.0
	8~15	目標下限	5.5	0.0	0	3	8	10	60	42.6	13.7	3.7	2	2	10	0.8
		目標上限	6.5	0.7	1	10	15	30	100	71.1	22.8	6.1	8	6	50	2.0
	15~22	目標下限	5.5	0.0	0	3	15	10	60	42.6	13.7	3.7	2	2	10	0.8
		目標上限	6.5	0.7	1	12	22	30	90	64.0	20.6	5.5	8	6	50	2.0
	22~30	目標下限	5.5	0.0	0	3	22	10	60	42.6	13.7	3.7	2	2	10	0.8
		目標上限	6.5	0.7	1	12	30	30	90	64.0	20.6	5.5	8	6	50	2.0
	30以上	目標下限	5.5	0.0	0	3	30	10	50	35.5	11.4	3.0	2	2	10	0.8
		目標上限	6.5	0.7	1	12	50	30	80	56.9	18.3	4.9	8	6	50	2.0

注) 土壌の種類別、CECの大きさ別の改良目標値の上限値と下限値を示す。これはイネの例であるが、作物の種類によっては、改良目標値が整理されていない。その場合はpH、ECに対する反応から作物をグループ分けして、作物グループごとに改良目標値を登録した。

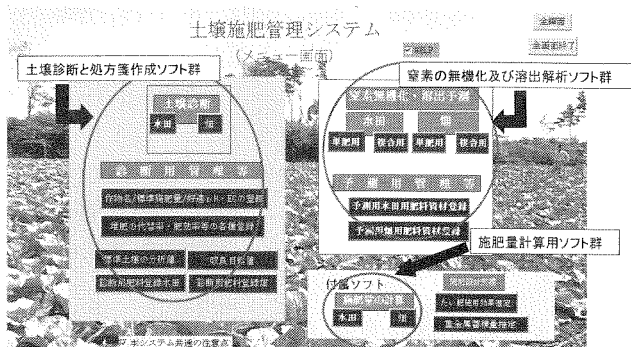


図1 土壤施肥管理システムのメニュー画面

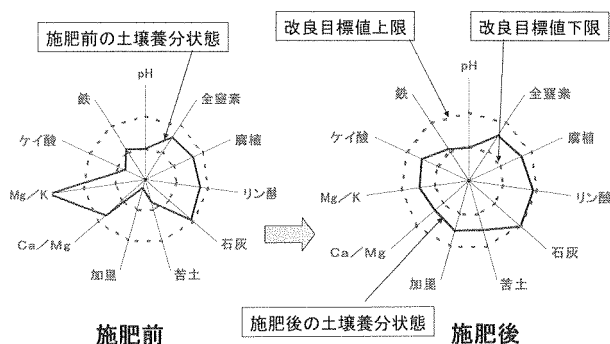


図2 肥料の施肥前後のレーダーチャートの動き

トにより自動計算される。しかし、資材施用によって主成分以外の副成分も同時に施用されるため、診断者は副成分について図2に示したレーダーチャートを参照しながら、改良目標値の上限を超えないように資材を選択する。資材の選択は、予め登録してある資材名がコンボボックスメニューに表示されるので、マウスでクリックすることにより行う。また、資材施用によってpHやECが大きく変化する場合がある。そこで、pHあるいはECの高い圃場では、pHあるいはECを必要以上高めたくない資材を選択しなければならない。pH及びEC（水田以外）の変化はレーダーチャート上に表示されるので、診断者はレーダーチャートの動きをみることで、どの資材を選択すべきか判断できる。なお、資材施用によるpHやECの変化は赤井（2003）の予測式を参考にした。

ところで、たい肥の施肥量は診断者が直接入力するようにした。それは、たい肥中の成分は、複数含まれており、土壤改良資材のように主成分を特定することができない。そこで、どの成分の不足量を基準にしてたい肥の施肥量を算出してよいかわからないためである。この点については次項で述べる。

処方箋は、診断者がソフトの指示に従い、たい肥→リン酸資材→ケイ酸資材（水田のみ）→石灰資材→苦土資材→加里資材の順に資材を選択していくことで作成される。なお、たい肥以外の資材の施肥量は、各々の資材の主成分について、改善目標値まで改良するために必要とされる量がソフトにより自動計算される。

(1) たい肥の選択及び施肥量の決定

処方箋作成は、診断者が最初にたい肥の種類と施肥量を決定することから始まる。つまり、たい肥施用による養分の負荷量を考慮せずに土壤改良資材の施肥量を決定すると、たい肥からの養分供給と土壤改良資材からの養分供給が重複することによって、リン酸、加里及び石灰が過剰になったり、塩基バランスが不良になることがあ

る。そこで、たい肥の施肥量を最初に決定することとした。

診断者がたい肥の種類を選択すると、診断対象作物の標準窒素施肥量（水稲では全窒素施肥量、水稲以外の作物では基肥窒素施肥量）に、たい肥の種類により決まる窒素代替率（農林水産省草地試験場、1983）を乗じた値が、たい肥施肥量の参考上限値として示される。ここで、窒素代替率とは、対象作物の栽培に当たって、化学肥料を用いた場合に必要とされる窒素施肥量の何パーセントをたい肥由来窒素で代替するかという割合である。窒素代替率をもとにたい肥施肥量の参考上限値を示す理由は次のとおりである。つまり、たい肥中には複数成分が含まれており、その肥効は当年度だけの肥効に留まらず、連用効果が大きいとされている。それゆえ、たい肥施肥量を決定する基準は、将来の環境負荷増大、または連用に伴う地力窒素の肥効パターンの時期的な偏りや養分の過剰・アンバランスに起因する作物生産の不安定化に繋がる恐れがないような量でなければならない。このため、たい肥施肥量は参考上限値以下にすることが望ましいとされている。実際には、診断者がたい肥を施用することによるレーダーチャート上の各種成分量の変化予測とたい肥施肥量の参考上限値を考慮して、農家の機械力、労働力、圃場の地理的及び地形的状況を勘案してたい肥施肥量を最終的に決定することになる。その際、施肥量決定において最も重要なことは、レーダーチャートに示した各成分が改良目標値上限を超えないことであって、前述のたい肥施肥量の参考上限値に必ずしもこだわらなくてもよい。この参考上限値は、あくまで、たい肥連用に伴う弊害を未然に防ぐために設定しているのであり、土壤診断を毎年実施して、圃場を計画的に管理できる場合は、改良目標値上限だけを考慮すれば問題ない。

なお、たい肥の肥効率は牛尾ら（2004）の示した肥効率を用い、投入量に肥効率を乗じた値を、土壤中への負荷量として算出した。

(2) リン酸資材の選択及び施肥量の計算

診断者が画面表示に従い、コンボボックスメニューからリン酸資材を選択すると、①土壌中の有効態リン酸含量、②土壌タイプごとの仮比重（地域の実態にあった仮比重に変更可）、③改良作土深、及び④リン酸有効化率から、リン酸の改善目標値に達するように施肥量が自動計算される。同時に、リン酸資材中副成分の土壌への負荷量も自動計算される。

ところで、リン酸は土壌中に施用されると、その多くは土壌に固定され不可給態化するため、リン酸の有効化率は数%~20%以下（土壌養分測定法委員会、1980）とされている。そのため、リン酸資材の施肥量は、単年度で土壌改良しようとする、ha 当たり10 t を越える場合もあるので、このような場合は複数年度で土壌改良しなければならない。

(3) たい肥、リン酸以外の資材選択及び施肥量計算

たい肥とリン酸以外の資材の選択は、ケイ酸（水田のみ）、石灰、苦土、加里資材の順に行われるが、リン酸資材の場合と同様に、診断者が資材名を選択すると各々の成分ごとの改善目標値に対する有効成分の不足量、土壌の仮比重及び資材の肥効率から施肥量が自動計算される。なお、肥料成分ごとの肥効率は、ケイ酸100%、石灰90%、苦土90%、加里90%（牛尾ら、2004）とした。

(4) 土壌診断結果

診断者が最終段階の加里資材の選択を行い、必要とされる施肥量がソフトにより自動計算されると、土壌診断結果及び処方箋（図3）が表示される。そして、分析結果に対するコメントと施肥改善に必要な肥料の種類と施肥量が示される。この結果を参考に、診断者は地域や対象農家の実態を考慮して、農家の施肥指導に当たることになる。

3. 窒素無機化及び溶出解析ソフト群並びに施肥量の計算用ソフト群の考え方と使い方

窒素の無機化及び溶出解析ソフト群の主要部分を構成

する窒素無機化・溶出予測ソフトは、土壌、たい肥、有機質肥料及び被覆肥料などからの窒素の無機化あるいは溶出パターンを反応速度論的解析法（金野ら、1986）を用いて予測するためのものである。また、施肥量の計算用ソフト群に含まれる施肥量計算ソフトは、無機化や溶出速度が地温の影響を強く受ける肥料を用いた施肥体系を慣行の施肥体系と比較し、新しい施肥設計を示すためのものである。

(1) 窒素無機化及び溶出予測の考え方

土壌からの窒素無機化パターンの解析に Stanford et al. (1972) は反応速度論的解析法を初めて導入した。金野ら (1986) は、3段階の温度で培養して得た温度別窒素無機化曲線を反応速度論的に解析し、有機態窒素の無機化特性値として、易分解性有機態窒素量 N_0 (mgN / 100g 乾土)、無機化速度定数 k (25℃、日⁻¹)、みかけの活性化エネルギー E_a (JK⁻¹ mol⁻¹) を定義し、任意の温度条件における無機化予測を可能にした。また、石橋ら (1992) は、被覆肥料からの窒素溶出予測に反応速度論的解析法を初めて導入し、溶出特性値を定義した。その後この反応速度論的解析法は、有機質肥料の窒素無機化予測にも適用できることが示された（石橋ら、1997）。この反応速度論的解析法は、土壌、被覆肥料、有機質肥料及びたい肥などの窒素無機化あるいは溶出パターンの解析に現在広く適用されている。窒素無機化・溶出予測ソフトは、これらの土壌、たい肥、有機質肥料及び被覆肥料などからの窒素無機化あるいは溶出予測に速度論的解析法を利用できるという前提で開発した。本ソフトを活用することにより、任意の地点あるいは任意の期間における窒素の肥効パターンを、地温データをもとに推定できるので、窒素の無機化率や溶出率を考慮した無駄のない環境負荷の小さい施肥設計の作成が可能になった。

予測する際のモデル式（杉原ら、1986）は、土壌では有機態窒素から無機態窒素が生成する最も単純な不可逆一次反応モデルである単純型、被覆肥料では溶出開始までに誘導期がある単純型（被覆資材で隔離されている窒素が被覆資材の孔隙や割れ目等から徐々に溶出してくる単純な不可逆一次反応モデル）とした。誘導期には地温に依存する期間と地温に依存しない期間がある。これら両方を定義した報告（石橋ら、1992）と地温に依存する誘導期だけを定義した報告（小林ら、1997）の両論があるので、ソフトの汎用性を持たせるため、どちらにも対応できるようにソフトを組み立てた。有機質肥料の窒素無機化にも誘導期がある単純型を採用した。有機質肥料からの窒素無機化予測は本来は有機化と無機化が同時進行する有機化・無機化並行型に当てはめるのが妥当である

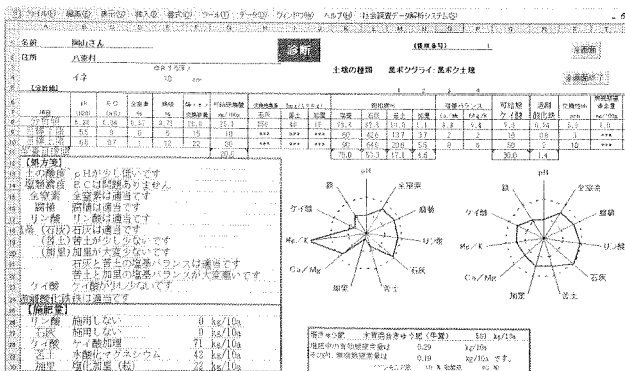


図3 土壌診断結果及び処方箋

が、無機化速度が比較的速く、有機化量も少ないため、単純型でも予測精度には大きな問題がないので、無機化予測のための特性値の数が少ない単純型を採用した。たい肥の予測には有機化速度の影響を無視できないため、有機化・無機化並行型とした。無機化や溶出特性値は本県で得たもの以外に、古江ら（2001）や全国農業協同組合連合会農薬部（2000）が整理した値をソフトに組み込んだ。

(2) 窒素無機化・溶出予測ソフトの使い方

農業総合センター農業試験場の灰色低地土水田に、LP 複合444D80（被覆尿素リニア型の100日タイプを80%+速効性窒素20%）とLPSS100（被覆尿素シグモイド型100%）を施肥したときの窒素供給量予測の例を以下に示す。計算期間は6月10日～10月30日とした。

土壤施肥管理システムのメニュー画面（図1）の窒素無機化・溶出予測ソフトの中の「水田の複合用」を診断者がクリックすると図4の入力用のメニュー画面が表示される。解析のための条件設定は以下の順に行う。①「土壤条件」をクリックすると、登録してある土壤の種類名がコンボボックスメニューに表示されるので、今回の例では灰色低地土を選択する。②「地温の選択」をクリックすると、地温を予め登録してある地区名がコンボボックスメニューに表示されるので、この例では農業試験場を選択する。③「計算期間」をクリックすると計算期間の入力画面が表示されるので、計算開始日に6月10日を、計算終了日に10月30日を入力する。④「肥料の選択」をクリックすると図5が表示される。図5では診断者が肥料の種類をコンボボックスメニューから選択し、肥料の種類ごとに施肥日、施肥量を入力する。今回の例で入力する場所は図5中の丸で囲った部分である。a 当たり LP 複合444D80を5kg、LPSS100を2kg、おがくず牛糞たい肥を100kg 施用した場合の積算窒素供給予測量が図6右、日別窒素供給予測量が図6左のように示される。このように、ソフト利用者は、このソフトを使って窒素供給パターンをシミュレーションすることにより、窒素供給量の経時変化を知ることができ、施肥量や肥料の種類を決定するための目安を得ることができる。

また、ソフト利用者は、窒素の無機化や溶出速度が地温に影響されるたい肥、有機質肥料及び被覆肥料の施用計画を立てるとき、異なった施肥時期における窒素の供給パターンの違いを知りたい場合がある。図7に、たい肥の一種である発酵鶏糞の無機化速度を施用時期を変えて推定した結果を示した。同じ発酵鶏糞でも施用時期により肥効パターンが全く違うことが分かる。このように、本ソフトによって、窒素供給パターンが今まで以上に

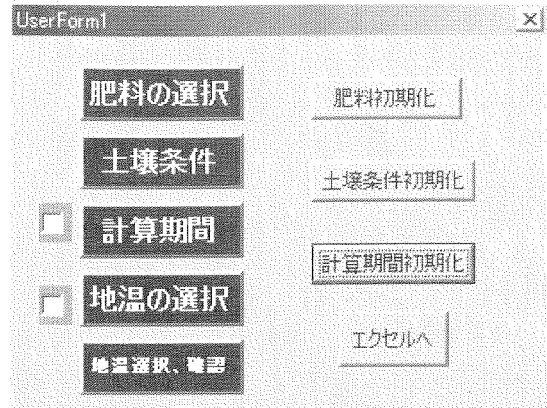


図4 窒素無機化・溶出予測ソフトの入力用メニュー画面

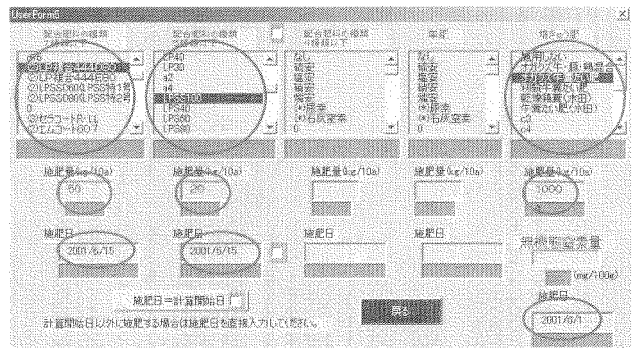


図5 窒素無機化・溶出予測ソフトの肥料等の入力画面

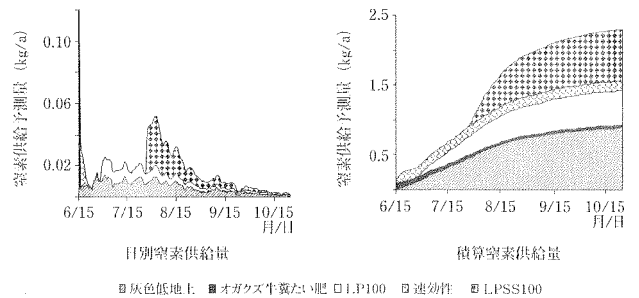


図6 おがくず牛糞たい肥及び被覆複合肥料を施肥（6/15）した圃場の窒素供給予測量

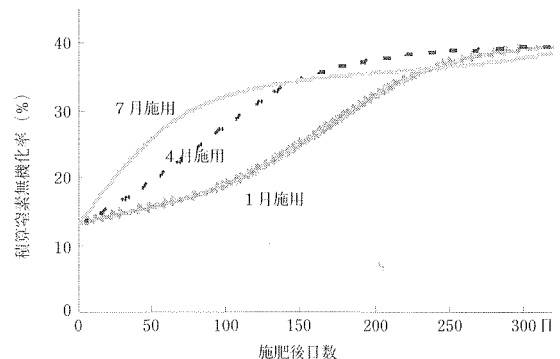


図7 施肥時期の違いが発酵鶏糞の窒素無機化速度に及ぼす影響

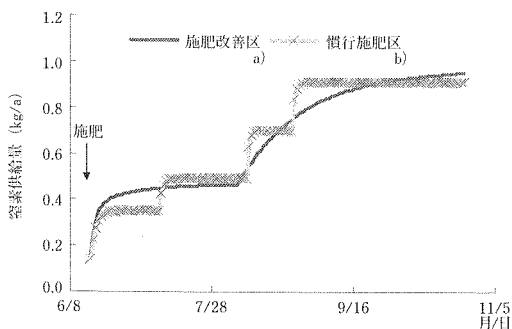
に科学的に数値化できるようになった。

(3) 施肥量の計算用ソフトの考え方と使用事例

地域における慣行の施肥体系と同等の肥効を示すような有機質肥料や被覆肥料を組み合わせた新しい施肥体系を検討するためのソフトを開発した。

使用例として、水稻栽培における慣行の施肥体系、例えば速効性の化学肥料を中心に基肥と分けつ肥を各1回、穂肥2回の計4回施肥する施肥体系（慣行施肥区）に対して、有機質肥料と被覆肥料を用いた全量基肥による施肥体系（施肥改善区）を比較した結果を図8に示した。このソフトでは、ソフト利用者が、慣行施肥区における窒素供給曲線を前項(2)に準じて出力した後、施肥改善区で用いる肥料の種類を選択し、施肥日を入力すると、必要とされる施肥量が表示される。その際、肥料の種類や施肥日等の入力方法は前項(2)と同様であるが、施肥量はエクセルの最適化分析の機能を利用して計算される。画面上では慣行施肥区の窒素供給曲線と施肥改善区の窒素供給曲線が最も良く重なり合うような施肥量を解として求めることになる。実際に、このソフトの活用で、化学肥料4回分施した慣行の施肥体系に対して、有機質肥料と被覆肥料を基肥に用いただけの施肥で、特別栽培米等の生産にも利用できる新しい施肥設計を提案することができた。このように、このソフトでは選択した肥料の最適な施肥量を表示できるが、ソフト利用者が慣行の窒素供給曲線と新しい施肥体系の窒素供給曲線を画面上で確認しながら施肥日や肥料の種類を変更することによって、より適合性の高い施肥体系を模索することもできる。

このように、反応速度論的解析法をもとに解析する本



- a) 施肥改善区：なたね油かす、魚粕及び菌体肥料に2種類の速効性窒素を配合した有機配合肥料と溶出期間が80日タイプのシグモイド型肥料を窒素成分でa当たり5.0、1.5kg全量基肥(6/15)として施用した場合の窒素供給曲線(実線)
- b) 慣行施肥区：くみあい複合燐加安444(窒素：リン酸：加里=14：14：14%)を、基肥(6/15)：分けつ肥(7/10)：穂肥Ⅰ(8/10)：穂肥Ⅱ(8/26)に、窒素成分でa当たり2.5、1.0、1.5、1.5kg施肥した場合の窒素供給曲線(網掛け線)

図8 慣行施肥区と施肥改善区の窒素供給パターンを最適化分析により近似化した窒素供給曲線

ソフトを利用すると、地温の影響で窒素の無機化や溶出パターンが変化する有機質肥料や被覆肥料を施肥設計に組み込む際に、それぞれの肥料の無機化量あるいは溶出量を正確に把握でき、地温データがあれば、任意の地点の任意の施肥日における効率的な施肥設計を組むことが可能となる。それゆえ、本ソフトは、肥料の含有窒素を有効に活用し、環境負荷の少ない施肥体系を推進するために有効であると考えられる。

4. 使用上の留意点と今後の課題

(1) 土壌診断と処方箋作成ソフト群

たい肥は土づくり資材として、効果的な資材であるが、過剰に施用するとリン酸、石灰、加里等の集積や塩基バランスの悪化を招くなどの問題がある。そこで、たい肥等の有機質資材を適正に使用するためには、土壌診断の励行と施用成分のバランスを考えた施肥設計が不可欠である。たい肥窒素成分の肥効率については牛尾(2004)や志賀(1994)の案が示されており、本ソフトでは暫定的にこれらの値を採用している。本システムの窒素無機化及び溶出解析ソフト群を用いると、たい肥由来窒素の肥効率は、これまで以上に詳細な推定が可能となったが、まだ、畜種やたい肥製造時に添加されるオガクズ等副資材の影響は明らかになっていない。牛尾ら(2004)が提案したリン酸、加里、石灰及び苦土等の肥効率は、畜種や副資材の影響を反映した肥効率に今後改善されなければならない。

(2) 窒素無機化及び溶出解析ソフト群

窒素無機化・溶出予測ソフトの精度を表2に示した。被覆肥料からの窒素溶出予測精度は、実験室における培養実験及び圃場試験ともに、水田(湛水条件)あるいは畑を問わず高かった。有機質肥料及びたい肥からの窒素無機化予測精度は畑の培養実験で高かった。畑条件における圃場試験レベルの有機質肥料やたい肥からの窒素無機化予測精度、有機質肥料及びたい肥からの窒素の無機化速度に及ばず土壌水分の影響、湛水条件における窒素無機化予測精度については現在検討中である。現在は岡山県で流通している代表的な肥料やたい肥の無機化や溶出特性値をソフトに組み込んでいるが、今後、各地域別に流通しているたい肥や有機質肥料の無機化特性値を追加することで、地域の実態にあった精度のより高い予測が可能になると考える。

(3) 施肥量の計算用ソフト

土壌や肥料などから無機化や溶出して無機態窒素として作物に供給される窒素量の推定は、本ソフトを用いることによって可能である。しかし、そのすべてが作物に利用されるわけではなく、一部は溶脱、脱窒あるいは再

有機化等のために作物は利用することができない。一般に、土壌窒素の利用率は、イネで48～87%、畑作物で50～70%とされているが、速効性の窒素肥料の利用率は、おおむね50%以下が多い（西宗、1985）。また、被覆肥料の窒素利用率は畑条件で60～78%（関、1995）、40～60%（高津ら、2003）、湛水条件で51～65%（森次、2005）、有機質肥料の窒素利用率は水稲、大麦及びハクサイで、それぞれ水稲34～70%、オオムギ31～53%、ハクサイ34～45%（松崎、1985）、牛糞たい肥の窒素利用率は、たい肥の肥効率（化学肥料の窒素利用率を100%としたときのたい肥の窒素利用率）から計算すると、概ね5%以下から30%の範囲（牛尾、2004：農業技術会議事務局、2004）であるとされている。これらの窒素利用率はいずれも施肥量に対する吸収量の割合であり、土壌及びたい肥から無機化した窒素あるいは施肥した肥料から溶出した窒素が、作物によって利用される割合ではない。また、前述の窒素利用率は栽培が終わった時点の全施肥量に対する窒素吸収量の割合であり、生育ステージ別の窒素利用率の値ではない。これに対して本ソフトを活用して得られる窒素供給曲線は経時的に示され、土壌中に毎日供給される窒素量の推定値が示される。しかし、その何パーセントが作物に吸収されるかが不明である。このことは、作物の理想的な窒素吸収パターンが既知であったとしても、無機化や溶出して土壌

中に供給される窒素のうち、作物に吸収される割合が不明な現段階では、肥料の最適な組み合わせを知ることができないことを示している。そこで、筆者は作物の理想とされる窒素吸収パターンに適合するような肥料の組み合わせを求めるとはならず、慣行施肥体系の窒素供給曲線に類似した肥効パターンを示すたい肥、有機質肥料および被覆肥料の組み合わせを提示するためのソフトとして開発した。今後、作物のステージ別の窒素利用率がソフトに組み込まれると、実用性のより高いソフトになると考える。

摘 要

たい肥の有効利用を前提とした土壌診断と処方箋作成ソフト群、土壌・有機質資材・被覆肥料等に対する窒素の無機化及び溶出解析ソフト群、窒素の肥効パターンを考慮した施肥量の計算用ソフト群を作成し、土壌施肥管理システムとして構築した。

1. 土壌診断と処方箋作成ソフト群は、土壌分析値の評価と処方箋を作成するためのソフトであり、診断者がレーダーチャート上で改良目標値と比較しながら資材の種類や施肥量を決定するためのソフトである。
2. 窒素の無機化及び溶出解析ソフト群は、反応速度論的解析法により求めた窒素無機化や溶出特性値を基に

表2 各肥料・資材別予測精度及び適用上の注意点

肥料等の種類	土地利用	予測精度	適用上の注意点
被覆肥料	水田 (湛水期間)	A	水稲栽培期間の予測精度は高い（湛水条件培養試験の温度範囲は15～35℃、一部20～30℃）。 水稲栽培期間以外の低温時には適用できない。
	畑	B	ロング：畑条件培養試験の温度範囲は10～30℃であるが、砂地畑の圃場埋め込み試験結果から、10℃以下の低温時の予測精度も問題なかった。 土壌水分条件で変動する可能性があるが、極端に乾燥しなければ問題ない。 LP等（ロング以外）：畑条件培養試験の温度範囲は短いタイプで2～25℃、70日以上の長いタイプで10～30℃。いずれも予測精度は高い。
有機質肥料	水田	D	湛水条件における既知の無機化特性値の数が少ない。
	畑	C	畑条件培養試験の温度範囲は10～30℃で、土壌水分条件で変動する可能性あり。肥料の品質のバラツキが問題。
たい肥	水田	D	湛水条件における既知の無機化特性値が少ない。
	畑	C	畑条件培養試験の温度範囲は10～30℃で、土壌水分条件で変動する可能性あり。
化学肥料	水田	E	施肥直後から7日以内で、100%溶解すると仮定。
	畑	E	施肥直後から7日以内で、100%溶解すると仮定。

注) A：精度は培養実験、圃場試験ともに高い。

B：精度は培養実験、圃場試験ともに高いが、土壌水分の影響の検討が不十分である。

C：培養試験の予測精度は高いが、圃場試験の予測精度の検証は不十分である。

また、土壌水分の影響は未検討である。

D：無機化特性値が未知の資材が多く、その予測精度は現在検討中である。

E：予測精度の検証は行っていない。

地温データを変数として、窒素の供給量を予測するためのソフトである。

3. 施肥量の計算用ソフト群は、被覆肥料及び有機質肥料などを肥料として用いた場合の窒素供給曲線を予測し、その地域、作物及び作型に最適な肥料を選択し、施肥量を決定するためのソフトである。
4. 今後の問題点として、窒素、リン酸、塩基類の各成分の利用度を明らかにすることが必要で、そのことによって実用性のより高いシステムになると考える。

引用文献

- 赤井直彦 (2003) 石灰質資材等を施用したときの土壌 pH の推定. 平成14年度試験研究主要成果, 3-4.
- 土壤養分測定法委員会 (1980) 土壤養分分析法. 養賢堂, 東京, pp225-257.
- 古江広治・上沢正志 (2001) 反応速度論的手法での土壌および有機質資材の有機態窒素の無機化特性値データ集—アンケートとりまとめ—. 農研センター資料, 43: 8-43.
- 石橋英二 (2004) たい肥の診断・評価法と診断データによる水稲施肥設計. たい肥施用コーディネータ養成研修講義・実習テキスト (4), 財団法人畜産環境整備機構・農業技術協会, 77-93.
- 石橋英二・木本英照 (1997) 動物性有機質肥料を施用した土壌中の無機態窒素量予測. 近畿中国農研, 94: 13-17.
- 石橋英二・金野隆光・木本英照 (1992) 反応速度論的方法によるコーティング窒素肥料の溶出評価. 土肥誌, 63: 664-668.
- 金野隆光・杉原 進 (1986) 土壌生物活性への温度影響の指標化と土壌有機物分解への応用. 農環研報, 1: 51-68.
- 小林 新・藤澤英司・羽生友治 (1997) 樹脂系被覆肥料の溶出機構と反応速度論的解析による溶出評価 (第1報). 土肥誌, 68: 8-12.
- 松崎敏英 (1985) 有機質肥料と施肥法. 農業技術体系土壌施肥編6 (1), 126-130.
- 森次真一 (2005) 水稲「ヒノヒカリ」の全量基肥施肥技術. 平成15年度近畿中国四国農業研究成果情報, 15
- 西宗 昭 (1985) 土壌窒素の有効利用と施肥. 農業技術体系土壌施肥編6 (1), 63-73.
- 農林水産省技術会議事務局 (2004) 家畜ふんたい肥の品質評価・利用マニュアル, 68p.
- 農林水産省草地試験場 (1983) 家畜糞尿処理利用研究会会議資料, 58: 47.
- 岡山県農林水産部 (2004) 岡山県土づくりマニュアル改訂版, 7-13.
- 織田健次郎 (2005) わが国の食料システムにおける近年の窒素収支の変遷. 土・水研究会資料, 22: 3-10.
- 関 稔 (1995) 被覆肥料による全量元肥方式—露地野菜. 農業技術体系土壌肥料編6 (1), 92の24-92の32.
- 志賀一一 (1994) 農耕地の有機物受け入れ容量と畜産廃棄物. 酪総研選書, 35: 44.
- Stanford, G. and Smith, S. J. (1972) Nitrogen mineralization potential of soils. Soil Sci. Soc. Am. J., 36: 465-472.
- 杉原 進・金野隆光・石井和夫 (1986) 土壌中における有機態窒素無機化の反応速度論的解析法. 農環研報, 1: 127-166.
- 高津あさ美・石橋英二・赤井直彦 (2003) 被覆肥料の施用が砂質土壌におけるゴボウ収量並びに窒素溶脱に及ぼす影響. 2003年度日本土壌肥料学会関西支部講演会講演要旨, 12.
- 牛尾進吾・吉村直美・斉藤研二・安西徹郎 (2004) 家畜ふん堆肥の成分特性と肥料的效果を考慮した施用量を示す「家畜ふん堆肥利用促進ナビゲーションシステム」. 土肥誌, 75: 99-102.
- 山口武則・原田靖生・築城幹典 (2000) 家畜糞堆肥の製造, 利用の現状と成分的特徴. 農研センター研究資料 41: 1-19.
- 全国農業協同組合連合会肥料農薬部 (2000) JA 施肥改善支援システム「施肥名人」シミュレーションの考え方とパラメータ集, 10-31.

Summary

Software suites were prepared and constructed as a management system for soil fertilization. One set of programs diagnoses soil and creates a prescription, on the assumption of effective use of compost. Another software suite assesses N-mineralization in soil and N-mineralization from organic materials, and analyzes nitrogen elution from coated fertilizers. A third software suite calculates the amount of fertilizer supply, considering fertilization effect patterns of nitrogen.

1. The software for soil diagnosis is prepared to evaluate soil analysis values to create a prescription and to determine materials and amounts of fertilizer supply. Users who diagnose the soil can compare soil characteristics with an improvement target value on a radar chart.
2. The software package for analyzing N-mineralization and nitrogen elution is prepared to predict the amount of nitrogen supply, defining soil temperature as variables, based on N-mineralization and elution characteristic parameters that are determined by kinetics method.
3. The software for calculating the amount of fertilizer supply is aimed at predicting a nitrogen supply curve when coated fertilizers and other materials are used as fertilizers. It selects the best fertilizer for the region, crops and work types, and determines the appropriate amount of fertilizer supply.
4. As a future problem for study, the respective availabilities of ingredients - such as nitrogen, phosphoric acid, and bases - must be clarified to provide a more practical system.