

水田における土壤窒素の評価と

今後の研究展開

石川県農業総合試験場

農業研究専門員 北 田 敬 宇

1. はじめに

環境保全および持続型農業を前提にした高品質生産が求められている。このような背景の下で、稲作では次の点が土壤肥料分野に要請されるようになった。第1は、耐倒伏性の弱い良質米品種および高品質・良食味の志向に対応した養水分管理技術を確立する。第2は、有機物施用に伴う土壤の養分動態を定量的に把握するとともに、土壤肥沃度の長期変動予測に基づく適正な有機物管理指針を策定する。第3は、土中施肥、緩効性肥料の施用および不耕起栽培などにかかわる、土壤-作物系における養分動態を解明し、効率的な肥培管理技術を確立する。

水田においては上記の解決に向けて、土壤生態系の物質循環、とくに窒素の動態解明が最も重要な課題となっている。ここでは、土壤窒素の評価について、これまでの成果を概観し、今後の研究展開について論じたい。

2. 土壤窒素の無機化予測

1) 土壤窒素供給パターンの把握

コシヒカリに代表される良質米品種は一般に耐倒伏性が弱く、良質米品種の移行に伴い、窒素を中心としたきめ細かな肥培管理が求められるようになった。また、近年の気象変動に起因する作柄の変動が大きく、水稻の生育状況や気象条件の推移などの情報に基づいた肥培管理対策が要請されるようになった。このような肥培管理技術を解決するには、土壤別に土壤窒素の無機化予測を行い、これに基づいた合理的な窒素施肥体系を確立する必要がある。

さて、圃場においては土壤環境要因の、とくに温度が時々刻々と変動するため、土壤窒素の無機化量を時間・温度の関数として表わす必要がある。金野、杉原らの速度論的方法においては、温

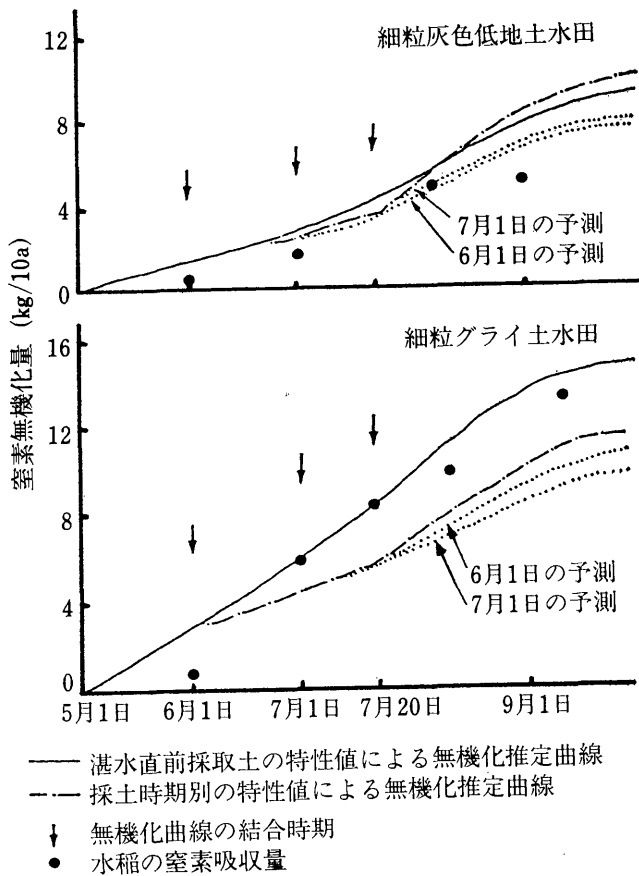
度の適用範囲が広く、また無機化過程の特性がパラメータにより明らかであり、有効な方法と考えられる。

2) 速度論的解析法による土壤窒素無機化予測

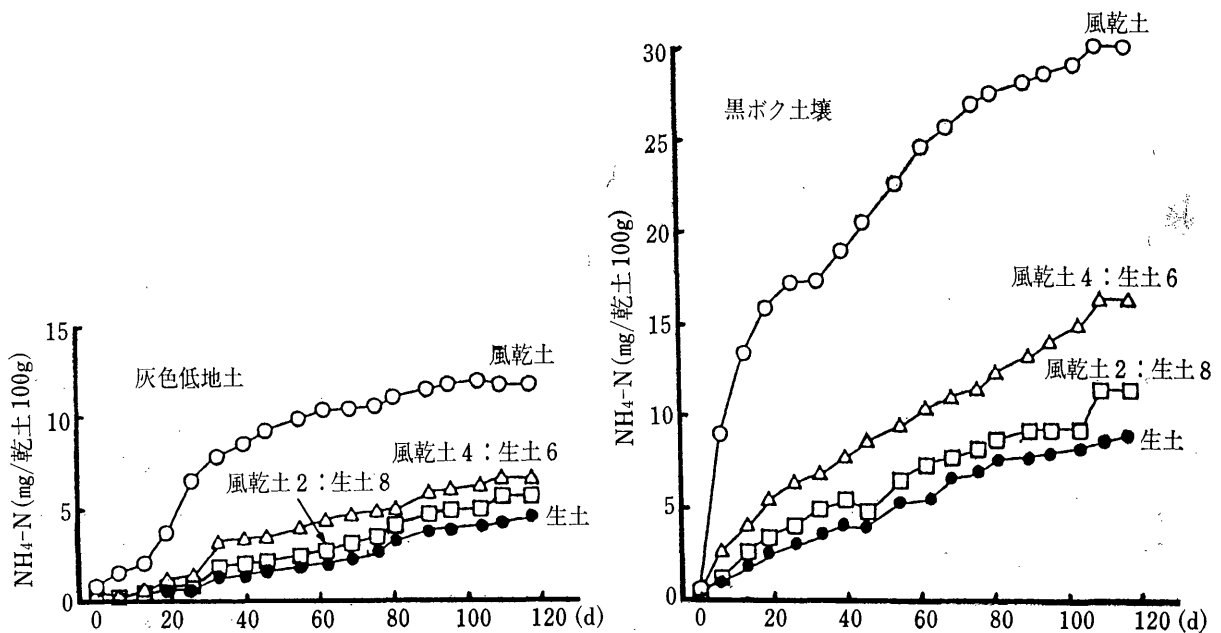
土壤窒素の無機化は、微生物により同化される有機化反応と同時に進行している。土壤中の窒素はこのように複雑な動態を示すが、土壤から作物への土壤窒素の移行を考えると、土壤窒素の無機化がとくに温度変動によりどのようなパターンを示すかが重要な点であり、この意味において土壤窒素の解析を行うには常に土壤環境要因の影響評価を行う必要がある。したがって、圃場における土壤窒素の動態の解析を行う場合、できるだけ圃場の土壤環境条件に近似させて行うことが重要となる。

速度論的解析法では長期の湛水培養が必要となるが、その状態は圃場における土壤の湛水条件に近似させたものであり、適当な方法と考えられる。ただ、閉鎖系である試験管内での無機・有機化反応に関与する微生物とその活性は、透水性が付与された圃場でのそれとは培養に伴い異なってくるものと考えられる。そこで、筆者は水稻の土壤窒素吸収量を予測するにあたり、生育期間中のいずれの時期の土壤を用いれば精度よく予測できるかを検討した。結果を第1図に示すように、水稻の窒素吸収量は春先の土壤での予測によりおおよそその推定ができるが、窒素無機化過程は採土時期により異なることがわかる。また、上野らは、春先の圃場乾燥状態に対応した土壤窒素無機化量を推定する方法を提案している。すなわち、第2図に示すとおり土壤水分別の土壤窒素無機化パターンを求め、当該年の水分状態の窒素無機化量は、比例計算より培養データより求めるものである。

第1図 圃場における土壌窒素の無機化推定曲線 (北田, 1990年)



第2図 土壌水分別土壌窒素無機化パターン (圃場埋設法) (上野ら, 1990年)



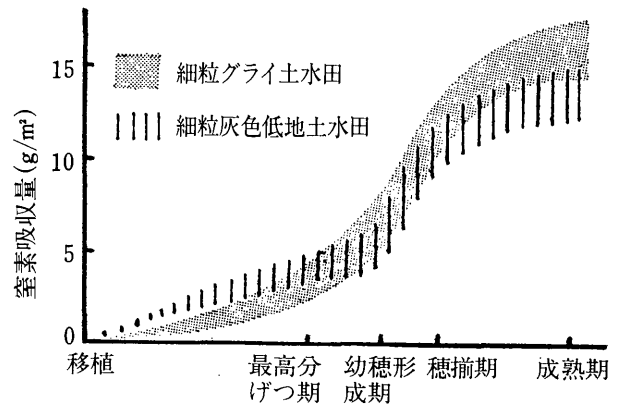
このように、速度論的解析法は、時々刻々と温度が変化する圃場において、作物への土壌窒素供給パターンを求めるのに有効な方法と考えられる。そして、なによりも、得られた無機化特性値により土壌窒素の無機化特性が明らかとなり、現地圃場への適用が一般化できる。

3. 土壌窒素無機化予測に基づいた窒素施肥体系の確立に向けて

1) 施肥量策定のための土壌窒素無機化予測

適正な施肥量は、目標とする水稻の窒素吸収量と土壌窒素吸収量との差を、生育時期を追って補足していく方法が基本になる。このシステム施肥

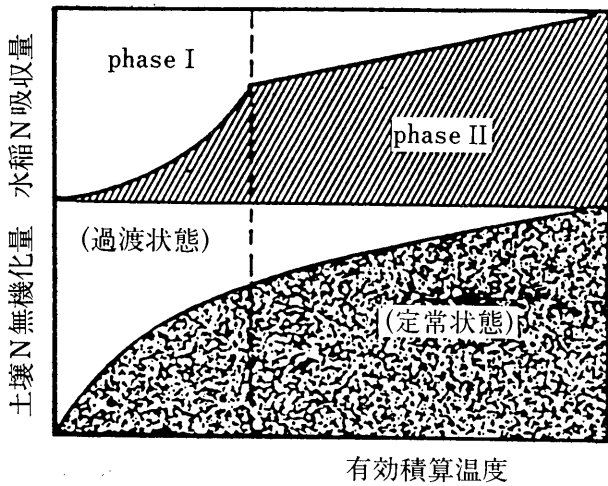
第3図 多収水準 (収量650kg/10a以上)における水稻の窒素吸収パターン (北田, 1990年)



法を確立するため、筆者は数量化Ⅰ類の統計解析から第3図に示すように、土壤の種類別に、コシヒカリの多収水準（収量650kg/10a）における窒素吸収パターンを明らかにした。さらに、合理的な窒素施肥量を判定するため、施肥時期や土壤の種類別に、土壤窒素無機化量および施肥窒素量の水稲による利用率を明らかにした。利用率は、土壤管理要因や、水稲根の活力、根系の拡大速度などの要因により変動するため、窒素無機化推定量と窒素吸収量とは、生育初期ではそれほど一致しないことが報告されている。

鳥山は、水稲の窒素吸収パターンと土壤の窒素無機化パターンの関係を第4図のように模式化し、窒素吸収の律速段階の違いによって phase を分ける考え方を示している。これによると、phase-1 では、窒素吸収の律速要因が稲体要因（生育速度）であるのに対し、phase-2 では土壤要因（窒素の無機化速度）である。

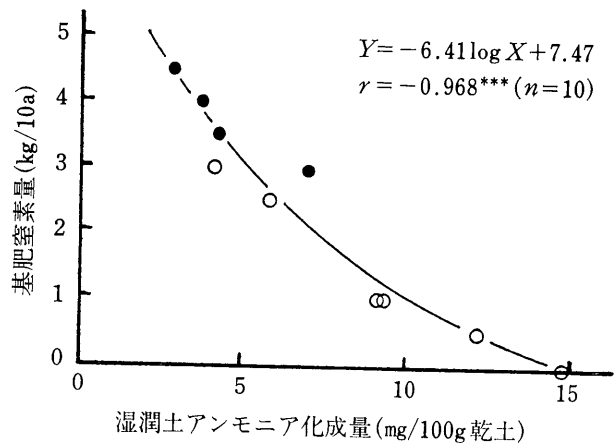
第4図 水稲の窒素吸収パターンと土壤窒素無機化パターンの関係の模式図（鳥山，1990年）



(1) 適正な基肥窒素量の判定

phase-1 では、春先の湛水前土壤の乾燥程度などの環境要因の変化により、土壤窒素の無機化反応が不安定となる。また、土壤窒素無機化予測法により基肥窒素量を判定する場合、当年の気象情報が乏しいため予測精度は低下することがある。このため、生産現場では、肥培管理技術のより簡便で、しかも現場に適合した方法が求められてい

第5図 湿潤土アンモニア化成量と適正な基肥窒素量*との関係（北田ら，1991年）



*最高分けつ期に、多収水準を維持するために必要な窒素保有量を得たときの量を示す。
○、グライ土水田；●、灰色低地土水田

る。このような観点から、筆者は、適正な基肥窒素量は平年の気象年次において、多収水準を維持するために必要な最高分けつ期の窒素吸収量が得られた時の量とした。この方法に従って求めた土壤ごとの適正な基肥窒素量と、湿潤土アンモニア化成量（30℃，4週間湛水培養）との間には第5図に示すとおり、土壤の種類を問わず曲線回帰関係が認められ、湿潤土アンモニア化成量を指標とした基肥窒素の施肥基準を策定した。

(2) 適正な追肥窒素量の判定

phase-2 では、土壤窒素の無機化反応が安定であり、窒素無機化推定量と窒素吸収量とはほぼ一致するという報告が多い。

適正な追肥窒素量（kg/10a）は以下の式で求められる。

$$\text{追肥N量} = \left\{ \left(\frac{\text{目標日(B)の理想N保有量}}{\text{理想N保有量}} - \frac{\text{栄養診断日(A)のN保有量}}{\text{N保有量}} \right) - \left\{ \frac{(\text{A} \sim \text{B間の土壤N無機化量}) \times (\text{土壤Nの利用率})}{100} \right\} \right\} \div (\text{追肥Nの利用率}) \div 100$$

筆者は、組み立てたシステム施肥法に基づいて施肥管理を行い、目標とする窒素吸収パターンに誘導できるか、さらに安定多収が得られるかについて検討を行った。幼穂形成期次いで穂揃期に窒素栄養診断を行い、それぞれ次期の穂揃期、成熟期における目標とする窒素保有量と土壤窒素吸収量との差から追肥窒素量を判定し、生育時期を追って補足した。現地圃場におけるシステム施肥法

第1表 システム施肥法による追肥窒素量の判定 (北田ら, 1991年)

Kg/10a

土壌の種類	穂 肥				実 肥			
	目標日 (穂 揃期) のN 保有量	診断日 (幼 穂形成期) のN保有量*	診断日~目標 日間の土壌N 無機化量**	追 肥 N量***	目標日 (成 熟期) のN 保有量	診断日 (穂 揃期) のN 保有量*	診断日~目標 日間の土壌N 無機化量**	追 肥 N量***
グライ土水田	11.5	4.37	1.75	8.28	15.5	11.61	1.83	3.18
灰色低地土水田	10.5	4.19	1.50	7.40	13.5	9.80	1.43	3.49

* 葉緑素計値×草丈×茎数の値を変数としたN保有量の推定式から算出した。

** 利用率を考慮した数値を示す。利用率は、幼穂形成期~穂揃期、穂揃期~成熟期をグライ土水田が100%、100%、灰色低地土水田が80%、60%とした。

*** 利用率を考慮した数値を示す。利用率は、グライ土および灰色低地土水田とも幼穂形成期~穂揃期、穂揃期~成熟期を65%、65%とした。

第2表 システム施肥法による水稻の窒素吸収パターンおよび収量・収量構成要素 (北田ら, 1991年)

土壌の種類	窒素吸収量 (kg/10a)				収 量 (kg/10a)	収量構成要素			
	最高分 げつ期	幼穂形 成期	穂揃期	成熟期		穂 数 (本/m ²)	一穂着粒数	登熟歩合 (%)	千粒重 (g)
グライ土水田	3.5	5.0	12.8	17.9	643	470	69.4	87.8	22.3
灰色低地土水田	3.0	4.4	11.5	15.8	676	445	64.9	86.5	24.3

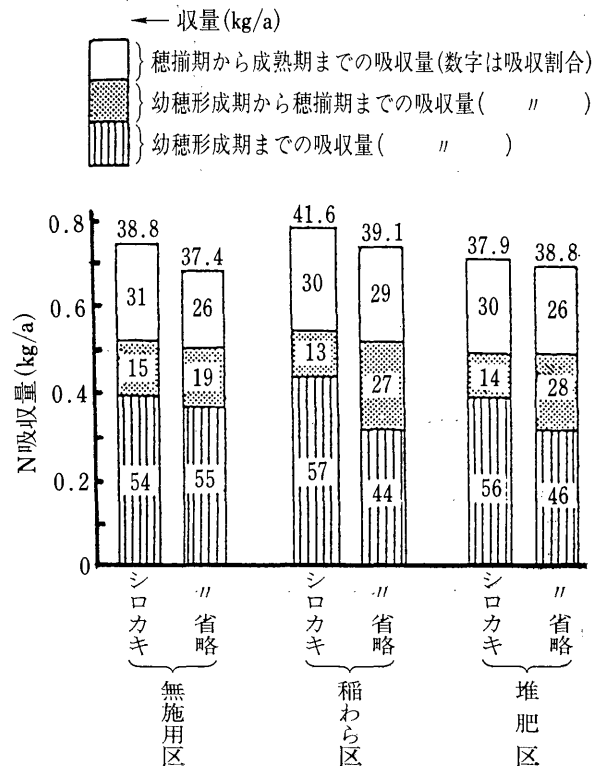
1989年の調査結果を示す。

に基づく追肥窒素量の判定結果と、それによる水稻の窒素吸収パターンおよび収量調査結果を第1, 2表に示す。システム施肥法により、土壌の種類を問わず理想的な窒素吸収パターンが得られ、640~670kg/10aの目標収量が達成された。本試験は、毎年同じ土壌管理が行われている連作水田で実施したものであるが、田畑輪換体系や新たな土壌管理が行われている状況下では、環境要因の変化にも対応したシステム施肥法を構築していくことが必要であろう。

2) 新たな土壌管理技術に対応したシステム施肥法の構築

長野間らは、低湿重粘土の汎用化のため、輪換田における部分耕移植栽培の作業技術を検討し、その有効性を認めている。これによると、代かきによる土壌の亀裂の粘閉がなく、またわらが田面にあるため土壌還元が進行せず、このため土壌窒素無機化過程が連作田と異なるものと推察される。また、環境保全や省力化を目指し、緩効性肥料による施肥法や側条施肥および二段施肥などの

第6図 水稻の窒素吸収に及ぼすシロカキの影響 (有機物連用4年目) (大山, 1975年)



局所施肥法が検討されている。これらの施肥法では、土壌の種類や土壌肥沃度により施肥効果が大きく異なるので、これら土壌条件を考慮する必要がある。

不耕起土壌における窒素無機化過程について、大山は水稻の窒素吸収に及ぼす代かきの影響について検討し、結果を第6図に示す。粒状構造（代かき省略）の土壌は泥状構造（代かき）に比べ窒素無機化が遅れ、水稻の窒素吸収が生育後半に旺盛になると報告している。これは、耕起碎土の程度が土壌有機物を分解する土壌微生物の活動の場を規制し、窒素無機化に影響を及ぼすためと思われる。

上記の報告は、土壌管理と土壌の不均一性および環境変化との関係を明らかにしながら、土壌窒素の動態を調査する必要があることを物語っている。

4. おわりに

環境保全、生産持続性を前提にした、高品質生産のための土壌管理・栽培技術が種々提案されている。この技術に対応した研究は土壌肥料分野にも求められており、とくに土壌窒素の動態については、圃場で起こっている現象機構の理論的解明が急務である。今後、圃場における土壌環境要因を組み込んだモデルの開発が必要であろう。

チッソ旭の新肥料紹介

★作物の要求に合わせて肥料成分の溶け方を調節できる画期的コーティング肥料……………

ロング[®]〈被覆燐硝安加里〉 **LPコート[®]**〈被覆尿素〉

★緩効性肥料……………**CDU[®]**

★バーミキュライト園芸床土用資材……………**与作[®] V1号**

★硝酸系肥料のNo.1……………**燐硝安加里[®]**

★世界の緑に貢献する樹木専用打込み肥料……………**グリーンパール[®]**



チッソ旭肥料株式会社