

第7章 総合考察

本研究は、山形県の庄内地域をモデルにして、良食味水稻品種の安定生産・食味向上を図るために必要な地力窒素の無機化量の予測と地域全体への普及を目的に行ったものである。

1. 水田土壌における地力窒素無機化モデルの開発とその適応性

1) 地力窒素の無機化モデル

畑土壌を中心に開発された速度論的解析を、水田土壌の地力窒素の無機化モデルに応用し、自然変温条件下で検討した。その結果、沖積水田土壌の場合、地力窒素の無機化過程は、負の項のある2項モデルがよくあてはまった。負の項のある2項モデルとしては、負の項が有機化を示す有機・無機並行モデルと無機化過程に中間過程が含まれ中間生成物を経てから無機化する逐次反応モデルが提唱されている^{85・86)}。窒素を添加して行った培養実験によれば、培養後10~20日間でアンモニア態窒素が減少し、その後一定となったことから、培養初期に添加アンモニア態窒素の有機化・脱窒が起きていることを示している。添加アンモニア態窒素と同様に無機化されたアンモニア態窒素も有機化・脱窒を受けていることが考えられる。つまり、培養によって定量される無機態窒素量は、真の無機化量から有機化・脱窒された窒素を差し引いた値として示される。

したがって、窒素無添加で実施した場合、負の項は水田の地力窒素の無機化の一つの指標とみなせる。一方、正の項は全無機化量を示すと考えられる。以上より、窒素無添加の沖積水田土壌の無機化モデルとして、負の項のある2項モデルを提唱する。無機化モデルの適応性についても、黒ボク水田土壌を除くと適応性が高いと考えられる。

2) 無機化特性値の特徴

速度論的解析によって得られた無機化特性値を比較すると、黒ボク水田土壌は、沖積水田土壌と異なる無機化特性値を示した。すなわち、黒ボク水田土壌の場合、活性化エネルギーが高く、無機化速度が遅い特徴が見られた。このよ

うに、土壌型による無機化特性値の違いは沖積土壌と黒ボク土壌の母材の違いと有機物の集積条件（有機物の質）の違いを反映しているものと考えられる。また、6月30日時点の地力窒素の無機化量のうち、負の項の占める割合は、黒ボク水田土壌を除いて、沖積水田土壌は80～90%であった。したがって、水稻の生育初期の地力窒素吸収量の大部分が負の項で表される地力窒素由来であることを示している。

一方、7月以降に水稻が吸収する地力窒素は負の項を含めた全無機化窒素量であり、地力窒素の無機化量の予測には、正の項（全無機化量）の特性値を使用すれば可能となる。

2. 山形県庄内地域の水田土壌における地力窒素の無機化特性値の特徴

1) 作土における地力窒素無機化特性値

地力窒素の無機化モデルの検討は代表地点でしか実施されていないので、地域全体に適応できるかどうかを明らかにするため、庄内地域のグライ土壌を対象にして無機化モデルの適応性を調べた。その結果、庄内地域のグライ土壌の地力窒素の無機化は、負の項のある2項モデルが適応できることを明らかにした。さらに、無機化特性値のうち無機化速度定数は、火山灰が混入していない土壌では、0.01 1/day前後でほぼ同一であった。一方、活性化エネルギーおよび可分解性有機態窒素量には一定の傾向は認められなかった。

No.1土壌（第3章）の生育初期（5/15～7/1）における地力窒素の無機化量を吉野・出井法で算出すると2.2kg/10a、負の項のある2項モデルの正の項で算出すると6.4kg/10aとなる。一方、水稻による同じ期間の地力窒素量の吸収量は、約3～4kg/10aであり、負の項の2項モデルによる地力窒素の無機化量によって、水稻による地力窒素吸収量を正確に予測できると考えられる。なお、水稻の生育中期以降（7/22～9/22）の地力窒素吸収量と正の項で計算した地力窒素の無機化量の間には正の相関が認められた。この期間中に無機化される地力窒素の水稻による利用率は、平均で86%であった。これを個別に見ると、52～117%の変異があった。この原因としては、土壌側の要因として下層土からの無機化量を考慮していないこと、水稻側の要因として根の窒素吸収能力が異なる

ことが考えられるが、特に、地力窒素の無機化における下層土の評価の重要性がうかがえた。

また、庄内地域のグライ土壌における生育初期(5/15~6/30)中期(7/1~8/10)および後期(8/11~9/15)における地力窒素の無機化割合は、平均でそれぞれ52%、36%および12%であり、前半型の無機化パターンであることが明らかとなった。

さらに、水稻の生育中期(7/12~8/15)に無機化される窒素量と可分解性有機態窒素量との間にも正の相関が認められ、水稻による地力窒素の吸収量の平均値の指標として、可分解性有機態窒素量が妥当であることを明らかにした。一方、水稻の生育中期(7/12~8/15)における地力窒素無機化量の土壌ごとの年次変動を絶対値でみると、最大無機化年次と最小無機化年次の差は0.5~2.8mg/乾土100gで平均1.3mg/乾土100gである。この1.3mg/乾土100gを窒素追肥で補うとすれば、約2.6kg/10aとなる。このように、最大無機化年次と最小無機化年次に窒素追肥量で2.6kg/10aの差が認められることから、収量安定のためには地力窒素の無機化量を把握することが重要であることを示している。

2)下層土における地力窒素の無機化特性値

グライ土壌の下層土における無機化モデルも作土と同様に負の項のある2項モデルによく適合した。下層土の無機化特性値のうち無機化速度定数は、作土と同様に正の項では0.004 1/dayで一定であり、同一土壌型における類似性がうかがえた。一方、活性化エネルギーおよび可分解性有機態窒素量は一定の傾向を示さなかった。

下層土と作土の無機化特性値を比較すると、無機化速度定数は、正の項・負の項ともに、可分解性有機態窒素量は正の項が常に作土>下層土であった。負の項の可分解性有機態窒素量および正の項の活性化エネルギーは、大部分の土壌で下層土>作土であった。その理由として、次のことが考えられる。すなわち作土は、圃場条件下でも新鮮有機物の供給量が多い反面、その新鮮有機物や土壌有機物が分解しやすい条件下にある。一方、下層土は作土に比べて水分・温度などの環境変化が小さく、粗大有機物が供給される量も少ない。このよう

な条件下では作土では全有機物、易分解性有機態窒素が下層土に比較して集積しやすいこと、さらに下層土の有機物が作土のそれより難分解性であることに起因するものと考えられる。

また、地力窒素が50%無機化するのには、作土では7月上旬であるのに対して下層土では8月中旬であった。このように、下層土の方が作土に比べて地力窒素が50%無機化するのに要する日数が長くかかるのは、下層土の地力窒素の無機化速度定数が作土のそれに比べて小さいことと地温が低いことによる。したがって、下層土の地力窒素が水稻の生育中後期における窒素吸収に対して重要な役割を果していることを示している。

3. 地力窒素の無機化特性値の簡易推定法及び土壌肥料学的意義

1) 可分解性有機態窒素量

速度論的解析で求めた無機化特性値を用いて算出した地力窒素の無機化量と水稻による地力窒素吸収量との間に相関が認められることから、地力窒素の無機化量の予測が水稻栽培において意義のあることを確認した。しかし、無機化特性値を得るためには100日以上 of 長期間にわたる培養実験と繁雑な解析手順を実施しなければならない。生育診断予測の面的な拡大や地力窒素発現地図の作成など現場への普及に当っては無機化特性値を精度良くかつ簡便に求めることが必要である。

無機化特性値のうち、庄内地域のグライ土壤の作土および下層土における無機化速度定数は、それぞれ0.01および0.004 1/day 前後ではほぼ一定であるので、可分解性有機態窒素量の簡易分析法について研究した。作土および下層土の可分解性有機態窒素量は、それぞれ0.25M および0.5M硫酸抽出窒素量との間に高い正の相関が認められた。畑土壤で検討した事例⁶⁾によっても可分解性有機態窒素量の化学的手法による推定は可能であることが指摘されている。簡易分析法の開発により、窒素供給量の大小を示す可分解性有機態窒素量について、簡易に推定することが可能となり、地域における可分解性有機態窒素量の分布図の作成が可能となった。

2) 活性化エネルギー

活性化エネルギーは、無機化速度定数に及ぼす温度の影響の強さを示す指標で、活性化エネルギーが小さいほど反応速度に対する温度の影響は小さいことを示している。活性化エネルギーについては、短期培養してその期間の無機化過程を0次反応に近似して算出した無機化速度定数をアレニウス・プロットして活性化エネルギーを求めた。それによれば、速度論的解析により求めた活性化エネルギーと同じ培養条件下（自然変温条件）で簡易に求めた活性化エネルギーとの間に相関が認められた。しかし、現段階では、活性化エネルギーを化学的手法によって推定することは、困難であると考えられる。

活性化エネルギーの土壤肥料学的意義としては、有機物の分解抵抗性を示す一つの指標であると考えられることから、この点の解析を進めていくことにより化学的手法による推定が可能になると考えられる。

4. 地力窒素の無機化特性値と水稲収量の関係

庄内地域の作土における可分解性有機態窒素量は、全体で8.7~21.6mg/乾土100gで平均14.4mg/乾土100gであり、下層土のそれは、全体で2.5~14.8mg/乾土100gで平均5.7mg/乾土100gであった。収量は、可分解性有機態窒素量が作土で15mg/乾土100g、下層土で6mg/乾土100gまでは、可分解性有機態窒素量の増加につれ収量が増加する傾向であった。収量700kg/10aレベルの時期別地力窒素吸収量は、移植~6月下旬が2.6kg/10a、7月上旬~出穂期が4.3kg/10a、出穂期~成熟期が2.6kg/10aである。一方、作土の可分解性有機態窒素量が15mg/乾土100g、下層土のそれが6mg/乾土100gの条件における水稲の利用可能な時期別地力窒素量はそれぞれ3kg/10a、6.2kg/10aおよび2.7kg/10aであり、700kg/10a程度の収量をあげるのに十分な窒素が土壤から供給されることを示している。また、収量構成要素のうち、栽培的要因によって変えうる要素のうち、穂数（有効茎歩合）は下層土の可分解性有機態窒素量に、一穂粒数および登熟歩合は、作土+下層土の可分解性有機態窒素量に強く関係していることが明らかとなり、簡易分析により地力窒素無機化情報を地域にまで拡大して利用することができることを示している。

5. 地力窒素発現地図の作成と普及性

現在まで、地域全体を考慮した土壌側からの情報は有効ケイ酸・リン酸含量の分布図がある程度で、水稻の生育・収量に直接に関与している地力窒素については情報が提供されていない。そこで、速度論的解析を利用して無機化特性値を簡易に推定して地力窒素発現地図を作成した。この地図は、土壌の地力窒素供給量を5段階に区分したもので、収量の分布図との関連も認められ、現場における地力窒素無機化量の情報として有用であると考えられる。

さらに、近年、食味の向上が大きな課題として良食味品種の開発、栽培法の改善によって食味向上へのアプローチがなされており、食味の向上には整粒歩合の高い、タンパク質含有率の低い米の生産が必要である。その中で、玄米中のタンパク質含有率は追肥窒素・地力窒素によって変動することが指摘されている。第34図に示すように、7月1日における窒素吸収量と7月1日から穂揃期までの窒素吸収増加量の関係から、その含量が $12\text{kg}/10\text{a}$ 以上となる場合は精米中のタンパク質含有率が高まり食味の低下が懸念される。このように、適正なもみ数の確保とともに生育中期における窒素吸収量の適正化が必要である。地力窒素発現地図によれば、7月1日から8月10日における地力窒素吸収量の幅は、約 $2\sim 6\text{kg}/10\text{a}$ にもなることから、稲の側からの情報（生育量、葉色、乾物重、窒素吸収量）だけでは、十分な制御は困難である。この点からも、地力窒素の無機化量の情報の提供は普及の面からも極めて重要である。

さらに、地力窒素の供給量を考慮することによって、早い時期に、より正確に、総合的な診断が可能になると考えられる。実際、地力窒素の供給量も加味して追肥対応した区は、追肥量も適正であり、その結果として玄米生産能率も高く、精米中のタンパク質含有率の低い米の生産が可能であった（第26表）。一方、稲だけの情報で対応した区は、追肥量が多くなり、玄米生産能率が低下して精米中のタンパク質含有率の高い傾向であった（第26表）。以上より、食味の変動要因（品種、登熟期間の温度、窒素吸収量等）の中で栽培上対応可能な窒素施肥による制御を行うには、地域の作土および下層土の地力窒素供給量を考慮して対応することが必要であり、地力窒素発現地図の作成は普及の上で極めて意義があることを指摘した。

第8章 摘要

稲作の栽培管理上の大きな課題である様々な気象条件における収量・品質の安定と消費者ニーズとしての食味の向上に必要なきめ細かな肥培管理を可能にする地力窒素の無機化量を把握するために、山形県の庄内地域の水田土壌を取り上げて速度論的解析を利用して、水田土壌における地力窒素の無機化モデルの策定を行うとともに、作土および下層土の地力窒素の無機化特性を明らかにした。さらに、作土および下層土の地力窒素の供給量と水稻の生育・収量との関係を解析して、生育診断予測に利用可能な地力窒素分布図の作成を行いその有用性を明らかにした。得られた成果の概要は以下のとおりである。

1. 沖積水田土壌の地力窒素の無機化モデルの策定

地力窒素の無機化過程は、負の項をもつ2項モデルでよくあてはまった。負の項は、沖積水田土壌中に存在する易分解性炭素によって無機態窒素の有機化脱窒作用が起きるために出現したものと見られた。また、有機化・脱窒は地力窒素の無機化に支配され、負の項は、水田の地力窒素の無機化の1つの指標とみられた。一方、正の項は、全無機化量を示す特性とみられた。また、黒ボク水田土壌の場合、負の項をもつ2項モデルでは、負の項の可分解性有機物量が沖積水田土壌と比べて低い値であった。また、黒ボク土壌の活性化エネルギーは沖積土壌のそれに比べて高い傾向であった。

沖積水田土壌での水稻生育初期の地力窒素吸収量の80~90%は負の項から無機化した窒素に由来する。このことは、水稻の生育初期の地力窒素吸収量の予測にあたっては、負の項の無機化特性値が使用できることを示している。一方7月以降の水稻の吸収する地力窒素量の予測にあたっては、全無機化量の無機化（正の項）の特性値を使用すればよいことになる。

2. グライ土壌の作土の無機化特性について

グライ土壌作土の地力窒素の無機化は負の項のある2項モデルに適合した。正の項の無機化速度定数は、火山灰が混入していない土壌では、0.01 1/day前後あり、負の項のそれは、0.01~0.03 1/dayであった。一方、活性化エネルギー

一、可分解性有機態窒素量には一定の傾向がみられなかった。

正の項で計算した生育中期以降の地力窒素の無機化量と水稲による地力窒素吸収量の間には正の相関が認められ、負の項のある2項モデルの正の項を使用して、水稲による地力窒素の吸収量を推定できることを明らかにした。正の項、すなわち全無機化部分が50%および90%分解するのは大部分の土壌で、それぞれ6月下旬～7月上旬および9月以降である。また、庄内のグライ土壌の地力窒素は、水稲の生育前期に50%以上が無機化されることが明らかとなった。

さらに、供試した大部分の土壌の正の項の無機化速度定数が0.01 1/day前後であることから、生育中期(7/12～8/15)の地力窒素無機化の年次変動は活性化エネルギーで示されることを明らかにした。

3. グライ土壌の下層土の無機化特性について

負の項のある2項モデルは分散が小さく下層土の地力窒素の無機化によく適合した。地力窒素の特性値のうち無機化速度定数は、正の項では0.004 1/day前後で一定であり、負の項は0.01～0.02 1/dayであった。一方、活性化エネルギー、可分解性有機態窒素量は一定の傾向が見られなかった。

下層土と作土の無機化特性値を比較すると、無機化速度定数は、正の項、負の項ともに、可分解性有機態窒素量は正の項が常に作土>下層土であった。負の項の可分解性有機態窒素量および正の項の活性化エネルギーは、大部分の土壌で下層土>作土であった。

水稲の全窒素吸収量に対して下層土由来の窒素の占める割合は7～22%の範囲にあり、下層土は水稲に対する生育後半の窒素の供給源として重要な役割を果たしている。

4. 無機化特性値の簡易分析法について

グライ土壌における作土では、易還元性のマンガン量および酢酸ナトリウム抽出の二価鉄量の少ない土壌を除き、速度論的に求めた可分解性有機態窒素量は、0.25M ないし0.5M硫酸抽出で得られる窒素量から推定可能である。一方、下層土では、可分解性有機態窒素量は0.5M硫酸抽出窒素量から推定可能である。

5. 可分解性有機態窒素量と水稲の収量構成要素との関係および可分解性有

機態窒素量の分布図の作成について

庄内地域のグライ土壌の作土の可分解性有機態窒素量は、8.7~21.6mg/乾土100gで、平均14.4mg/乾土100gであった。一方、下層土のそれは、2.5~14.8mg/乾土100gであり、平均5.7mg/乾土100gであった。地域的にみれば、飽海地域の方が田川地域に比べて、可分解性有機態窒素量の値が高い傾向であった。また、可分解性有機態窒素量が作土で15mg/乾土100g、下層土で6mg/乾土100gまでは、可分解性有機態窒素量の増加につれて収量が増加するとともに変動が少なかった。栽培的要因がほぼ同一（施肥量、最高莖数）の条件では、穂数（有効莖歩合）は下層土の可分解性有機態窒素量に、1穂粒数および登熟歩合は、作土と下層土の可分解性有機態窒素量の含量に強く関係していることが明らかであり、地力窒素の分布図の作成の有用性を支持している。

作土の可分解性有機態窒素量の区分を4段階、下層土のそれを3段階に分け、全体で5段階に分けた可分解性有機態窒素量の分布図を地形図を基本として作成した。この分布図は、庄内地域の収量の分布図との関連が明らかに認められ、精度の高い生育診断に利用可能である。

引用文献

- 1) 赤塚恵・坂柳迪夫(1964)畑土壌における窒素供給力の検定方法に関する2・3の考察. 北海道農試集報, 83: 64~70.
- 2) 安藤豊・庄子貞雄(1986)水田土壌中の地力Nの発現と施用窒素の土壌中での固定について. 土肥誌, 57: 1~7.
- 3) 安藤豊・庄子貞雄・相沢喜美(1985)水田土壌中における穂肥Nの挙動について. 土肥誌, 56: 53~55.
- 4) 安藤豊・藤井弘志・佐藤俊夫・荒垣憲一・中西政則・佐藤之信(1989)沖積水田土壌の地力Nの無機化モデルについて. 土肥誌, 60: 1~7.
- 5) 安藤豊・藤井弘志・中西政則(1990)山形県庄内地域(グライ土壌)の下層土の無機化特性について. 土肥誌, 61: 466~471.
- 6) 青峰重範(1949)暗渠排水と乾土効果. 農学集書, 8: 68.
- 7) 青峰重範(1955)多収穫水田の土壌条件. 農業技術, 10: 297~301.
- 8) 浅見輝男(1970)水田土壌中における窒素化合物の有機化および無機化に関する研究 第1報 添加アンモニア態窒素の有機化におよぼすグルコース非晶質酸化鉄・二酸化マンガン添加の影響. 土肥誌, 41: 433~437.
- 9) 浅見輝男(1971)水田土壌中における窒素化合物の有機化および無機化に関する研究 第2報 新たに有機化された化合物の無機化過程と土壌有機態窒素の無機化過程との相違. 土肥誌, 42: 22~25.
- 10) Campbell, C. A., R. J. K. Myers and K. L. Weier(1981)

- Potentially mineralizable nitrogen , decomposition rates and their relationship to temperature for five Queensland soils. Aust.J. Soil Res ., 19 : 323 ~ 332.
- 11) Campbell. C. A., Y. W. Jame and G. E. Winkleman (1984) Mineralization rate constants and their use for estimating nitrogen mineralization in some Canadian prairie soils. Can. J. Soil Sci. , 64 : 333 ~ 343.
- 12) 出井嘉光 (1975) 水田における有機物の集積と分解. 土肥誌, 46 : 251 ~ 254.
- 13) 土壤養分測定委員会編 (1970) 土壤養分分析法. 養賢堂
- 14) 江幡守衛・石井龍一 (1988) イネ. 食用作物学 : p 34 ~ 88 文永堂, 東京.
- 15) 藤井弘志・安藤豊・佐藤俊夫・荒垣憲一・中西政則・佐藤之信 (1989) 山形県庄内地域 (グライ土壤) の地力窒素の無機化について. 土肥誌, 60 : 8 ~ 14.
- 16) 藤井弘志・安藤豊・佐藤之信・中西政則 (1990) 速度論的に得られた可分解性有機態窒素の簡易推定法. 土肥誌, 61 : 92 ~ 93.
- 17) 藤井弘志・安藤豊・佐藤之信・中西政則 (1992) 山形県庄内地域の水田土壤 (グライ土壤) の可分解性有機態窒素と水稻の収量構成要素の関係について. 土肥誌, 63 : 58 ~ 63.
- 18) 藤井弘志・荒垣憲一・佐藤俊夫・渡部幸一郎・芳賀静雄・錦斗美夫・長谷川 (1987) 稲の生育と深耕「下層土の肥沃性の影響について」. 農及園, 62 : 949 ~ 954.

- 19) Griffin, G.F. and A.F. Laine (1983) Nitrogen mineralization in soils previously amended with organic wastes. *Agron. J.*, 75, 124~129.
- 20) 廣川智子・北川靖夫(1988)水田土壤の粘土鉱物が有機態窒素の無機化に及ぼす影響. *土肥誌*, 59: 41~46.
- 21) 原田登五郎(1964)水田土壤の有機態窒素の無機化とその機構に関する研究. *農技研報*, 139: 23~199.
- 22) 原田登五郎・林竜三・近本明雄(1964)土壤の機械的処理と有機態窒素の無機化促進効果. *土肥誌*, 35: 21~24.
- 23) 羽生寿郎・内島立郎(1962)作物の生育と気象との関連に関する研究 第1報 水稻の出穂期と気温との関係. *農業気象*, 17: 21~29.
- 24) 本庄一雄(1971)米のタンパク含量に関する研究 第2報 施肥条件の違いが玄米のタンパク質含有率およびタンパク質総量に及ぼす影響. *日作紀*, 40: 190~196.
- 25) 本庄一雄・平野貢・藤瀬一馬(1981)米のタンパク含量に関する研究 第5報 穂揃期窒素追肥および葉面散布窒素の穂への移行と米粒タンパク質含有率に及ぼす影響. *日作紀*, 49: 467~474.
- 26) 樋口太重(1981)緩衝液による有機化窒素および土壤有機態窒素の抽出特性. *土肥誌*, 52: 481~489.
- 27) Inubushi, K., H. Wada. and Y. Takai (1984) Easily decomposable organic matter in paddy soil (IV) Relationship between reduction process and organic matter decomposition. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 30: 189~198.

- 28) 犬伏和之・和田秀徳・高井康雄(1985)窒素無機化過程とアンモニア化成量. 土肥誌, 56: 404~408.
- 29) Jenkinson, D.S. (1968) Chemical test for potentially available nitrogen in soil. J. Sci. Food Agric, 19: 160~168.
- 30) 金田吉弘・児玉徹・三浦昌司・長野間宏・佐々木昭太郎(1986)八郎潟干拓地における水稻の栄養診断と追肥の要否判定. 東北農業研究, 39: 55~56.
- 31) 金田吉弘・長野間宏・児玉徹(1989)輪換水田における土壤窒素の無機化予測を組み入れた水稻生育栄養診断システム. 東北農業研究, 42: 89~90.
- 32) 金田吉弘・児玉徹・長野間宏(1989)輪換水田における水稻の下層土からのN吸収量の評価と無機化窒素量の推定. 土肥誌, 60: 399~405.
- 33) 金田吉弘(1993)八郎潟干拓地低湿重粘土における田畑輪換効果の解明と水稻安定多収技術に関する研究. 秋田県農試研報, 33: 1~45.
- 34) Keeney, D.R. and J.M. Bremner (1966) Comparison and evaluation of laboratory methods of obtaining an index of soil nitrogen availability. Agron. J., 58: 498~503.
- 35) 金野隆光(1976)種子発芽速度と地温. 北海道農試研究資料, 8: 43~58.
- 36) 金野隆光(1980)土壌中の生物活性と温度. 土壌の物理性, 41: 7~16.
- 37) 金野隆光(1983)非線形モデルのあてはめ, 土壌肥料試験研究のための統計計算BASICプログラム. 農技研化学部資料, 1: 79~111.
- 38) 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. (
- 39) 甲斐秀昭(1970)土壌N発現条件. 土壌肥料の研究,
第1集: 173~178.
- 40) 甲斐秀昭(1981)土壌中における窒素の動態. 土の微
生物: 352~372, 博友社, 東京.
- 41) Kai, H., Z, Ahmad. and T, Harada. (1969) Factors
affecting immobilization and release of
nitrogen in soil and chemical characteristics
of the nitrogen newly immobilized, 1. Effect
of temperature on immobilization and release
of nitrogen in Soil. Soil Sci. Plant Nutr.,
15: 207~213.
- 42) 北田敬宇(1990)灰色低地土とグライ土水田につい
ての速度論的解析法による土壌Nの無機化予測. 土肥
誌, 61: 241~247.
- 43) 川田信一郎・片野学・山崎耕宇(1980)水稲株の直下
土壌層における水稲根の生育の様相, その一事例に
ついて. 日作紀, 49: 301~310.
- 44) 狩野宏美・米山忠克・熊沢喜久雄(1974)発光分析法
による重窒素の定量法について. 土肥誌, 45: 549
~559.
- 45) 小山雄生(1975)¹⁵N利用による水田土壌窒素肥沃度
測定の実際と生産力. 土肥誌, 46: 260~269.
- 46) 丸本卓哉(1977)風乾処理による土壌有機態窒素の無
機化—とくにアミノ酸態およびアミノ糖態窒素につ
いて. 土肥誌, 48: 391~395.
- 47) 丸本卓哉・甲斐秀昭(197)タンパク物質・コロイド
複合体の無機化に及ぼす乾燥の影響. 土肥誌, 49:

372～377.

- 48) 前田乾一(1983)水田に施用された窒素の行動の定量的評価. 農研センター研報, 1: 121～192.
- 49) 宮下慶一郎・新毛晴夫・遠藤征彦・高橋政夫(1986) 水稻の生育診断と予測, 第1報 S P A D葉緑素計の適応性. 東北農業研究, 39: 53～54.
- 50) 松浦勝美・福永明憲・坂上行雄(1978)作土のみが違う場合, 水稻の生育・養分吸収・養分の溶脱などに及ぼす下層土の役割. 土肥誌, 49: 285～289.
- 51) 松浦勝美・坂上行雄(1980)水稻の生育と無機成分吸収に及ぼす下層土の役割に関する圃場試験. 土肥誌, 51: 351～354.
- 52) 松尾憲一(1966)水稻の収量と土壤断面の二、三の性質との関連. 土壤の物理性, 15: 5～8.
- 53) 松島省三(1957)水稻収量の成立と予察に関する作物学的研究. 農技研報A, 5: 1～271.
- 54) 三井進午・太田寛一(1950): 窒素肥料の土壤中における行動追跡元素として¹⁵Nの利用について. 土肥誌, 21: 83～85.
- 55) 深山政治・岡部達雄(1980)稚苗移植水稻の施肥法とその地域性 第1報 稚苗移植水稻に対するN施用法の地域性. 千葉県農試, 21: 35～60.
- 56) 西宗昭・藤田勇・金野隆光(1980)十勝地方の畑作物のN利用 第1報 NH₄態およびNO₃態窒素肥料の土壤中での動向とテンサイによる利用. 北農試研報, 126: 31～52.
- 57) 西宗昭(1982)十勝地方における畑作物の生産に対する土壤Nの評価. 北農試研報, 133: 17～29.
- 58) Nuske, A. and J. Richter(1981)N-mineralization in

- loss-prabrownearthes incubation experiments.
Plant and soil, 59:237~247.
- 59) 中西政則・藤井弘志・佐藤俊夫(1989)水稻生育前期における土壌N無機化量の推定法について. 土肥誌, 60:60~62.
- 60) 仲谷紀男・鬼鞍豊(1974)稲わら施用水田におけるアンモニア態Nの成長の一例. 土肥誌, 45:546~548.
- 61) 鬼鞍豊・吉野喬・前田乾一(1975)稲作期における土壌窒素の有効化過程. 土肥誌, 46:255~259.
- 62) 小野剛志・村上芳子(1987)寒冷地における緩効性窒素肥料の利用に関する研究 第8報 水稻ササニシキに対する早期追肥の効果. 東北農業研究, 40:79~80.
- 63) 大山信雄(1987)東北地方における水稻側条施肥の肥効. 農業技術, 42:49~53.
- 64) 大山信雄・吉沢孝之・坂井弘(1973)暖地水田の水稻生育期間中における土壌窒素の有効化の推移(第2報)水稻の生育および土壌中のアンモニア態窒素の推移. 中国農試研報, 46:20~23.
- 65) 大沼濟(1987)山形県庄内地域の土壌条件と稲作, 農文協「農業技術体系、土壌肥料編」. 作物栄養VI, 3~7.
- 66) 斎藤雅典(1990)東北地方における畑土壌の窒素無機化特性値. 土肥誌, 61:265~272.
- 67) 斎藤雅典(1988)0次反応モデルによる畑土壌の窒素無機化量の推定. 東北農試研報, 78:155~160.
- 68) Saito, M. and K. Ishii(1988) Estimation of soil nitrogen mineralization in corn-grown fields based on mineralization parameters.

- Soil Sci. Plant Nutr., 33:555~566.
- 69) Savant, N. K. and S. K. De. Datta (1982) Nitrogen transformations in wetland rice soils. Adv. Agron., 35:241~302.
- 70) 佐藤俊夫 (1990) 山形県における水田土壌の窒素肥沃性並びに水稲の生育窒素栄養診断. 山形県農試特例研究報告, 18: 1~57.
- 71) 佐藤俊夫・中西政則・藤井弘志 (1989) 水稲の生育前期における土壌窒素無機化量の推定法. 農及園, 61: 827~832.
- 72) 佐藤俊夫・藤井弘志・荒垣憲一・渡部幸一郎 (1990) 深耕時における下層土の窒素肥沃性と水稲生育について. 土肥誌, 61: 198~201.
- 73) 関矢信一郎・本谷耕一 (1968) 水田土壌中の窒素の行動に関する研究. 東北農試研報, 36: 1~26.
- 74) 関矢信一郎・志賀一一 (1975) 北海道における水田土壌中の窒素の動態と吸収パターンについて. 土肥誌, 46: 280~285.
- 75) Sekiya, S. and H. Shiga (1979) A role of subsoil of paddy field in nitrogen supply to rice plant. JARQ, 11:95~100.
- 76) 志賀一一・関矢信一郎 (1976) 寒地における高収水稲のための窒素供給法 第1報 基肥窒素の役割と限界. 北海道農試研報, 116: 121~137.
- 77) 庄子貞雄・和田源七 (1971) 水田における窒素の動態と水稲による窒素吸収について 第2報 基肥窒素の土壌中における行動. 日作紀, 40: 281~286.
- 78) 庄子貞雄・前忠彦 (1984) 無機養分と水の動態, 作物の生態生理, p.97~172, 文永堂.

- 79) 塩入松三郎・青峰重範(1938)湛水状態の土壤中における窒素の形態変化. 土肥誌, 12: 406~410.
- 80) 塩入松三郎・青峰重範(1940)休閑地における水田土壤乾燥の効果について. 農事試験場臨時報告, 1~3.
- 81) Smith, S. J., L. B. Young and G. E. Miller(1977) Evaluation of soil nitrogen mineralization potentials under modified field conditions. Soil Sci. Soc. Am. J., 41:74~76.
- 82) Stanford, G. and S. J. Smith(1972) Nitrogen mineralization potentials of soil. Soil Sci. Soc. Am. J., 36:465~472.
- 83) Stanford, G., M. H. Frere and D. H. Schwaninger (1973) Temperature coefficient of soil nitrogen mineralization. Soil Sci. 115:321~323.
- 84) Stanford, G., J. N. Carter and S. J. Smith(1974) Estimates of potentially mineralizable soil nitrogen based on short-term incubation. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 38: 99~102.
- 85) 杉原進・金野隆光・石井和夫(1986)土壤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.
- 86) 杉原進・金野隆光・石井和夫(1990)土壤窒素の無機化予測と温度, 博友社, 水田土壤の窒素無機化と施肥: 35~61.
- 87) 高井康雄(1978)湛水下の土壤中における酸化還元過程. 水田土壤学, 川口桂三郎編: 23~55, 講談社.
- 88) 武田俊昭(1986)福島県における水稻の生育診断及び生育予測技術開発に関する土壤肥料的研究. 福島農試特研報, 3: 1~118.

- 89) 高橋重郎(1975)東北地域における水稲生育型改善に関する研究. 宮城農業センター研報, 45: 1~58.
- 90) 田中伸幸・東海林覚・吉田昭(1982)水稲生育に対する施肥窒素・地力の意義. 山形農試研報, 6:1~12.
- 91) 田中伸幸(1988)被覆尿素を利用した水稲の省力的な施肥法. 土肥誌, 59: 500~503.
- 92) 田中市郎・野島数馬・上林幸正(1963)排水が水稲の生育に及ぼす影響. 日作紀, 32: 89~93.
- 93) 谷藤雄二・東海林覚(1984)水稲生育の逐次予測と栽培技術の策定. 農及園, 59: 877~883.
- 94) 丹野文雄(1988)総合計量化方式によるコシヒカリ・ササニシキの生長予測と診断技術. 土肥誌, 59:423~428.
- 95) 立川涼(1966)土壌及び液体資料中の有機物の迅速定量法ならびに糖類に関する二・三の定量法. 土肥誌, 37: 28~33.
- 96) 龍野得三・向井三雄(1955)試験成績からみた水田深耕の効果. 農業技術, 10: 114~117.
- 97) 鳥山和伸(1990)水稲の生育予測と土壌窒素の無機化, 水田土壌の窒素無機化と施肥. 日本土壌肥料学会編, 125~156. 博友社.
- 98) 地力保全基本調査総合成績書(山形県)(1958): 136~139.
- 99) 東北農政局、東北農林水産統計(1986)
- 100) 津野幸人・稲葉伸由・清水強(1959)主要作物における収量予測に関する研究V 水稲群落の乾物生産と体内窒素ならびに日射量との関係. 日作紀, 28: 188~190.
- 101) 中鉢富夫・菊地修・塩島光(1981)ササニシキの簡易

- 窒素栄養診断技術 第1報 葉色板による窒素栄養診断. 東北農業研究, 29: 11~12.
- 102) 平宏和・平春枝・中島紀一(1978)同一部落で生産された玄米のタンパク質含量におよぼす土壌型の影響. 食総研報, 33: 86~88.
- 103) 平宏和・平春枝・佐野稔夫(1979)宮城県産水稻玄米とその精白米の化学成分組成. 日作紀, 48: 25~33.
- 104) 茶村修吾・川瀬金次郎・横山營造・本多康邦(1972)米の食味と土壌型との関係 第1報 土壌型とその化学的性質が水稻の生育・食味に及ぼす影響. 日作紀, 41: 27~31.
- 105) 徳永美治・深山政治・北原健吾・草野秀(1974)畑土壌に施用した肥料及び新鮮有機物中のNの動態 第1報 ポット試験について. 農事試研報, 20: 1~58.
- 106) 上野正夫・熊谷勝己・富樫政博・田中伸幸(1991)土壌Nと緩効性被覆肥料を利用した全量基肥施肥技術. 土肥誌, 62: 647~653.
- 107) 和田源七・庄子貞雄・高橋重郎(1973)水田における窒素の動態と水稻による窒素吸収について(第4報). 日作紀, 42: 81~90.
- 108) 和田源七・庄子貞雄・高橋重郎・斎藤公夫・新保到(1971)水田におけるNの動態と水稻によるN吸収について(第3報), 日作紀, 40: 287~293.
- 109) 和田源七(1982)水田における窒素の動態と水稻によるN吸収について. 日作紀, 51: 37~38.
- 110) Wada, G. and P. C. Stacruz(1989)Varietal difference in nitrogen response of rice plants with special reference to growth durations. Jpn. J. Crop Sci., 58: 732~739.

- 111) 和田秀徳・犬伏和之・上原洋一・高井康雄(1981)全窒素量とアンモニア化成量との関係. 土肥誌, 52: 246~252.
- 112) 和田秀徳・犬伏和之・高井康雄(1982)クロロフィル様物質とアンモニア化成量との関係. 土肥誌, 53: 380~384.
- 113) 渡部幸一郎・小南力・深沢昭吾(1988)深耕が水稻の生育収量及びN吸収量に及ぼす影響. 土肥誌, 59: 213~216.
- 114) 山形県農業試験場庄内支場他(1986~1988)豊かなこめづくり運動, 第1~3年次の実績.
- 115) 山形県農業試験場庄内支場他(1992)味の庄内米レッツ5運動庄内地域米づくり4ジャスト運動の実績.
- 116) 山形県農業試験場庄内支場他(1993)味の庄内米レッツ5運動庄内地域米づくり4ジャスト運動の実績.
- 117) 山形県農業試験場(1982~1988)水稻作況解析成績書.
- 118) 東北農政局山形統計情報事務所(1990~1991)山形県農林水産統計年報
- 119) 山形県企画調整部(1992)山形県の農業.
- 120) 山室成一(1981)水田土壌中における施肥窒素の有機化・脱窒および水稻による吸収. 土肥誌, 52: 141~148.
- 121) 山本富三・久保田忠(1986)速度論的解析による水田土壌の窒素無機化特性. 土肥誌, 57: 481~486.
- 122) 結城和博・渡部幸一郎・小南力・田中伸幸・梅津敏彦・中山芳明・田中順一・渡部昭(1988)山形県における水稻の側条施肥技術. 山形農試研報, 23: 17~45.
- 123) 横尾政雄(1990)食の多様化と米の品質育種. 日作紀

, 59: 619~625.

- 124) 吉田昌一(1986)稲作科学の基礎, p70, 博友社.
- 125) 吉田浩(1989)山形県における水稲多収栽培に関する研究 特に区分施肥法を中心にして. 山形農試特別研究報告, 17: 1~70.
- 126) 吉野喬・出井嘉光(1977)土壌窒素供給力の有効積算温度による推定について. 農事試験報, 25: 1~62.
- 127) 米林甲陽・久馬一剛・川口桂三郎(1973)土壌腐植の形態別画分と易分解性有機物との関係、易分解性有機物の存在形態(その2). 土肥誌, 44: 367~371.
- 128) 米林甲陽・森下年起・服部共生(1987)水田土壌中における窒素無機化量の年次変動とその要因. 土肥誌, 58: 729~737.
- 129) 神保恵志郎・吉田浩(1976)水稲多収技術の実証的研究. 日作紀東北支部報, 19: 11~12.
- 130) 神保恵志郎・芳賀静雄・吉田富雄・板垣憲一・吉田浩・原田康信・東海林覚(1982)水稲生育中期における窒素栄養と生育診断予測に関する研究. 山形農試研報, 16: 79~90.
- 131) 米穀データバンク(1990)米づくり最新動向, 食味評価地図集.