

山形県庄内地域の水田土壌(グライ土壌)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

誌名	日本土壌肥料学雑誌 = Journal of the science of soil and manure, Japan
ISSN	00290610
著者	藤井, 弘志 安藤, 豊 佐藤, 之信 中西, 政則
巻/号	63巻1号
掲載ページ	p. 58-63
発行年月	1992年2月

山形県庄内地域の水田土壌（グライ土壌）の可分解性有機態窒素と 水稲の収量構成要素の関係について*1

藤井弘志*2・安藤 豊*3・佐藤之信*4・中西政則*5

キーワード 速度論的解析, 無機化, 穂数, 登熟

1. はじめに

近年の水稲の栽培管理上の大きな課題として、さまざまな気象条件下での収量・品質の安定、低コスト化と消費者ニーズとしての米の食味の向上があげられる¹⁾。収量・品質の安定には、水稲生育各時期に適正量の窒素を吸収させることが必要とされる。一方、米の食味はタンパク含量と関係し²⁾、生育後期の窒素追肥は玄米中のタンパク含量を増加し³⁾、米の食味を低下させることが知られている。しかし、収量・品質および食味に及ぼす追肥窒素の影響は、水稲の生育状態だけでなく地力窒素の無機化量によっても異なる。したがって、これらの課題を解決するためには水稲の生育状態の把握と同時に、地力窒素の無機化量を生育時期別に予測することも重要となる。

これまでも地力窒素の無機化に関する研究は数多く行われてきた^{4,5)}。その結果、土壌タイプ別の地力窒素無機化パターン、水稲による地力窒素の吸収量などが明らかにされてきた^{5,6)}。しかしながら、これらの研究成果が現場の稲作農家で十分にいかされているとはいいがたいのも現状である。この原因としては、従来の研究では土壌に重点がおかれ、水稲の生育・収量との関連が不十分であったこと、個々の圃場での解析におわっていたため地域への拡大が困難であったことにあるものとみられる。

筆者らは、これまで山形県庄内地域における水田土壌の地力窒素の無機化について速度論的な解析を行ってきた^{6~8)}。その結果、水田の作土および下層土の無機化の

速度定数（以下 ka とする）は、それぞれ 0.01/d および 0.004/d とほぼ一定であった。一方、可分解性有機態窒素量（以下 N_0 とする）と、希硫酸抽出窒素量との間には正の相関関係が存在した⁷⁾。したがって、無機化特性値のうち N_0 と活性化エネルギー（以下 E_a とする）が、その地点の土壌窒素の無機化パターンを示すことになる。さらに、水稲生育中後期（幼穂形成期～成熟期）の地力窒素の吸収量は、得られた無機化特性値（ N_0 , E_a ）を用いて算出した地力窒素無機化量と相関が高かった⁶⁾。これらの結果の応用は、上述の問題点、すなわち地力窒素の無機化と水稲の生育の関連が不十分であったこと、個々の圃場での解析結果を地域へ応用できなかったことを解決する一つの可能性を示すものと考えられる。

そこで、本報告では、山形県庄内地域をモデルとして、前報の結果を利用して、 N_0 と水稲の生育・収量の関係を検討し、収量形成に及ぼす N_0 の影響を検討した。さらに、作土と下層土の N_0 の分布図の作成を試みた。

2. 材料と方法

1) 供試水田土壌と可分解性有機態窒素量の定量

供試水田土壌は、庄内経済連および山形県立農業試験場で実施した調査事業を利用して設定した。すなわち、庄内経済連で実施した「豊かな庄内こめづくり運動」⁹⁾ から作土 86 点、下層土 65 点、地力保全事業¹⁰⁾ から作土 65 点、下層土 20 点の計、作土 151 点、下層土 85 点を供試した。なお、下層土は作土直下から 10 cm の間を採取した。

供試土壌の陽イオン交換容量は作土で 12.6~37.7 meq/100 g であり、平均 23.1 meq/100 g、下層土で 13.2~33.6 meq/100 g、平均は 22.1 meq/100 g であった。

N_0 の簡易推定は、風乾土を希硫酸抽出し、ケルダール分解後、水蒸気蒸留法で窒素を定量して行った⁷⁾。な

*1 水田土壌中での地力窒素無機化の速度論的解析（第4報）

*2 山形県立農業試験場（現在、山形県農業技術課 990 山形市松波 2-8-1）

*3 山形大学農学部（997 鶴岡市若葉町 1-23）

*4 山形県立農業試験場（現在、山形県村山農業改良普及所 995 村山市榑岡苗田 2-4-18）

*5 同上（現在、山形県砂丘地農業試験場 998-01 酒田市八窪 1）

1991年8月5日受理

日本土壌肥科学雑誌 第63巻 第1号 p.58~63 (1992)

お、抽出される窒素量と N_0 の関係は抽出する硫酸濃度によって異なる。そのため、抽出する希硫酸濃度は、希硫酸によって抽出される N 量と N_0 の間の相関係数と回帰係数から決定した。すなわち、希硫酸によって抽出される N 量と N_0 の間で希硫酸濃度によって相関係数の有意水準が異なる場合は相関係数の高い希硫酸濃度とした。一方、相関係数が同一水準で有意の関係にあるときは回帰係数がより 1 に近い希硫酸濃度とした。作土では両者の相関係数の有意水準は硫酸濃度によって差がみられなかったため、回帰係数が 1 に近い 0.25 M⁷⁾ で抽出した。下層土では、前報⁸⁾ の下層土を用いて検討した結果、0.5 M 硫酸抽出で相関が高かったため (0.5 M 硫酸抽出: $y=1.35x-4.7$, $r=0.955^{***}$, 0.25 M 硫酸抽出: $y=0.84x-0.07$, $r=0.906^{**}$), 0.5 M 硫酸を使用した。

2) N_0 と水稻の生育・収量

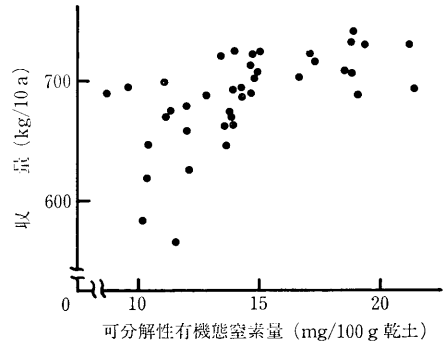
N_0 と水稻の生育・収量の検討にあたっては、「豊かな庄内こめづくり運動」⁹⁾ の成果のうち 1985~1987 年に調査したデータから、作土、下層土の N_0 の分析に供試し、かつ施肥量がほぼ同一の地点 (41 地点) の生育・収量の結果と N_0 の分析結果を使用した。なお、庄内地域ではササニシキの作付け面積が 95% をこえており、供試地点の水稻品種もすべてササニシキであった。供試地点の収量は、468~778 kg/10 a で、平均 680 kg/10 a であった。収量構成要素のうち、穂数は 409~797 本/m² で、平均 593 本/m²、粒数は 29,800~59,100 粒/m² で、平均 41,100 粒/m² であった。また、登熟歩合は 58.5~94.3% で、平均 77.8%、有効茎歩合は 50.4~93.5%、平均 75.0% であった。

収量構成要素間に負の相関関係が認められることがある。また、有効茎歩合、一穂粒数などは、単位面積当たりの最高茎数、穂数によって変化する。そのため、一般に収量構成要素と環境条件、栄養条件の関係を検討する場合、その要素についてはほぼ数量的な同一の条件下で検討される。そこで本試験では、収量構成要素を検討するために前述の 41 地点のなかから各年次の要素の平均値を考慮し以下のような地点を選出し検討した。有効茎歩合については、1985 年度は最高茎数が 760~860 (9 点)、1986 年度は 660~770 (14 点)、1987 年度は 800~900 本/m² (9 点) の地点、一穂粒数については、1985 年度は穂数が 590~630 (9 点)、1986 年度は 543~598 (13 点)、1987 年度は 589~638 本/m² (13 点) の地点を選出した。

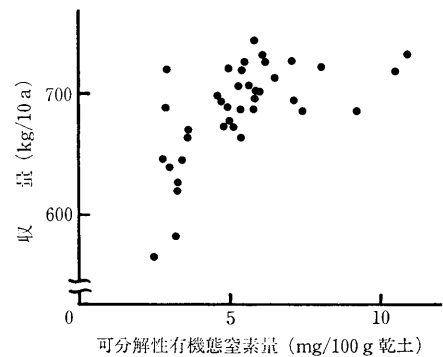
N_0 の分布と収量分布の関係の検討にあたって、収量は 1985~1987 年の 10 a 当たりの結果⁹⁾ を使用した。利用した各地点の施肥量は地点ごとに異なる。

第 1 表 可分解性有機態窒素量

	作土 (N mg/100 g)	下層土 (N mg/100 g)
平均	14.4	5.7
最大	21.6	14.8
最小	8.7	2.5
点数	151	85



第 1 図 作土の可分解性有機態窒素量と収量の関係



第 2 図 下層土の可分解性有機態窒素量と収量の関係

3. 結果および考察

1) N_0 と収量・収量構成要素の関係について

作土の N_0 は、全体では 8.7~21.6 mg/100 g で、平均は 14.4 mg/100 g であり、下層土のそれは、全体では 2.5~14.8 mg/100 g で、平均 5.7 mg/100 g であった (第 1 表)。

水稻の収量構成要素は、それぞれ異なる生育時期の栄養条件や環境条件の影響を受けることはよく知られている。水田の作土と下層土から無機化してくる地力窒素の水稻の窒素吸収に与える影響は水稻の生育時期により異なる⁸⁾。そこで、第 1, 2 図には、作土および下層土の N_0 と収量の関係を示した。全体的な傾向についてみると、 N_0 が作土で 15 mg/100 g、下層土で 6 mg/100 g までは N_0 の増加につれて収量が増加するが、それ以上で

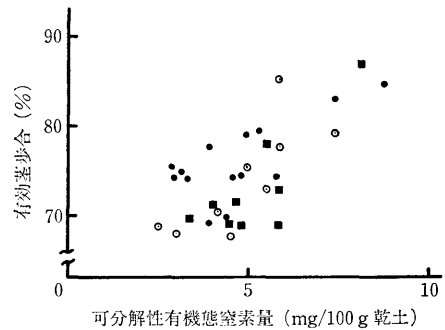
は収量が停滞した。

一方、収量の変動を N_0 との関係でみると、収量が停滞する作土の N_0 が $15 \text{ mg}/100 \text{ g}$ 以上と、下層土の N_0 が $6 \text{ mg}/100 \text{ g}$ 以上の変動係数はそれぞれ 23%, 27% であった。 N_0 がそれ以下のときには、変動係数はそれぞれ 44%, 40% であった。したがって、 N_0 が大きいほど収量が安定しているといえる。

庄内地域における水稻収量が 700 kg 程度の時期別窒素吸収量は、移植期から 6 月下旬まで 4.6 、7 月上旬から出穂期まで 5.8 、そして出穂期から成熟期まで $2.6 \text{ kg}/10 \text{ a}$ であった¹⁰⁾。このうち施肥窒素に由来する部分を、基肥窒素および追肥窒素（生育中期）の利用度をそれぞれ 30, 50%¹¹⁾、施肥量をそれぞれ $6, 3 \text{ kg}/10 \text{ a}$ として求めると $1.8, 1.5 \text{ kg}/10 \text{ a}$ となる。基肥窒素の吸収は東北地方では 6 月下旬に終了すること、追肥窒素の吸収は短期間（7~10 日間）に終了すること¹¹⁾から各時期に水稻が必要とする地力窒素量は以下ようになる。移植期~6 月下旬： 2.8 ($4.6-1.8$)、7 月上旬~出穂期： 4.3 ($5.8-1.5$)、出穂期~成熟期： $2.6 \text{ kg}/10 \text{ a}$ 。一方、作土の N_0 が $15 \text{ mg}/100 \text{ g}$ 、下層土の N_0 が $6 \text{ mg}/100 \text{ g}$ の条件における水稻の利用可能な時期別地力窒素無機化量はそれぞれ、 $3:6.2:2.7 \text{ kg}/10 \text{ a}$ である*1。このことは、 700 kg 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。反対に、作土の N_0 が $15 \text{ mg}/100 \text{ g}$ 以下、下層土の N_0 が $6 \text{ mg}/100 \text{ g}$ 以下の水田では、追肥などにより 700 kg 程度の収量をあげるのに必要な窒素を供給しなければならないことを示す。

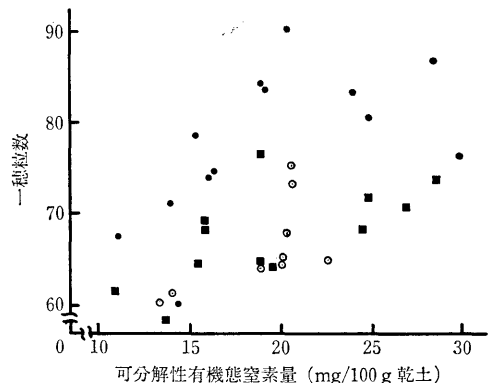
一般に穂数は、最高茎数と最高分けつ期以後の栄養・気象条件によって決定され、有効分けつ終期と有効茎歩合もそれにともなって変動する。このことは、有効茎歩合と最高分けつ期以降の栄養条件、すなわち土壤条件との関係を検討する際には、最高茎数が同一条件下で検討する必要があることを示す。そこで、第 3 図には最高茎数がほぼ同一条件の圃場での下層土の N_0 と有効茎歩合の関係を示した。なお、各年次の供試圃場の最高茎数は前述のように異なる。下層土の N_0 と有効茎歩合の相関関係をみると、両者には正の相関関係が認められた（1985 年： $y=2.88x+60.1$, $r=0.792^*$ 、1986 年： $y=1.77x+67.4$, $r=0.701^{**}$ 、1987 年： $y=3.53x+54.6$,

*1 地力窒素の利用度を 6 月下旬までは 30%, 7 月以降を 70% とし⁸⁾、作土深、下層土深をそれぞれ $15 \text{ cm}, 10 \text{ cm}$ 、仮比重を山形農試庄内支場の値の 0.76 として求めた。また、地温は山形農試庄内支場の 1986 年度の 5 cm 地温、 E_n 、 k は供試土壌の平均値を用いた。



第 3 図 下層土の可分解性有機態窒素量と有効茎歩合の関係

○, 1985 年度; ●, 1986 年度; ■, 1987 年度.

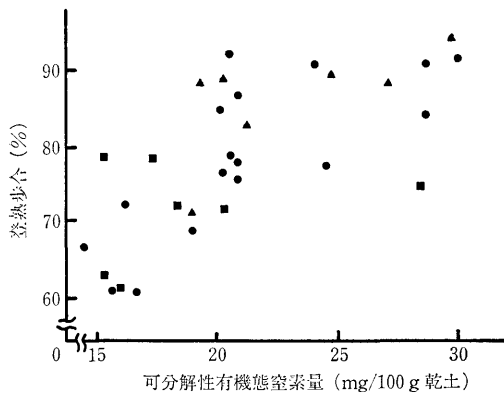


第 4 図 可分解性有機態窒素量（作土と下層土の合計）と一穂粒数の関係

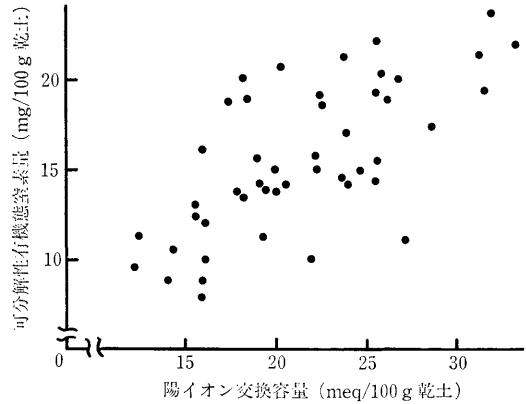
○, 1985 年度; ●, 1986 年度; ■, 1987 年度.

$r=0.814^{**}$). 一方、作土では各年次とも相関関係が認められなかった（図省略）。このことは、最高茎数が同一のときには、有効茎歩合は下層土の N_0 に支配されることを示す。

単位面積当たりの粒数は穂数と一穂粒数の積であり、両者間には一般に負の相関関係がある。そこで、ここでは穂数がほぼ同一の条件のときの作土と下層土の N_0 の合計と一穂粒数の関係を検討した（第 4 図）。年次により両者の関係は異なるが、同一年次では正の相関関係が認められた（1985 年度： $y=0.952x+48.0$, $r=0.558^*$ 、1986 年度： $y=0.837x+61.5$, $r=0.564^*$ 、1987 年度： $y=0.696x+53.5$, $r=0.696^{**}$). 単位面積当たりの粒数は、穎花分化終期ないし出穂期の窒素吸収量と相関があることが認められている¹²⁾。したがって、穂数、施肥量が同一のときは、穎花分化終期ないし出穂期までの総地力窒素（作土+下層）の無機化量が一穂粒数を定めることになる。年次により回帰式が異なるのは、気象条件を反映しているためである。1986 年は平年に比べ



第5図 可分解性有機態窒素量(作土と下層土の合計)と登熟歩合の関係
▲, 3万粒/ m^2 以下; ●, 3~5万粒/ m^2 ; ■, 5万粒/ m^2 以上.



第6図 陽イオン交換容量と可分解性有機態窒素量の関係

て、生育初期は低温に経過した。一方、1987年は高温に経過した。生育初期に高温に経過することは、地力窒素の無機化が早くからおき、生育中期の無機化量は平年に比べて相対的に少ないことが考えられる。このことが起因して年次により N_0 と一穂粒数の関係が異なったものと考えられる。

第5図には、作土と下層土の N_0 の含量と登熟歩合の関係を1985年度について示した。 N_0 の含量と登熟歩合の間には正の相関関係が認められた ($r=0.686^{***}$)。1986年度も同様の関係が得られたが ($r=0.600^{**}$)、1987年度は相関関係が認められなかった。これは登熟中期(8月下旬~9月上旬)にフェーン現象が発生し、登熟が早期に停滞し、心白などが多量に発生したためと思われる。顕果への炭水化物の供給源は、出穂前の蓄積と、登熟期間中の光合成産物の二つであり、後者が顕果中の全炭水化物の6~8割を占める¹³⁾。この炭水化物の供給量が大きければ、登熟歩合が増加する。同一気象条件下では、光合成能力は葉身の窒素濃度と密接に関係している¹⁴⁾。このことは、登熟歩合を高めるためには、登熟期間中の稲体の窒素濃度を維持する必要があることを示す。作土と下層土の N_0 の含量が大きい水田土壤では登熟期間中の地力窒素の無機化量が相対的に大きい。したがって、作土と下層土の N_0 の含量が大きい水田土壤では、葉身中の窒素濃度も高く、光合成活性が高くなり、結果として登熟歩合が高くなったものとみられる。

収量構成要素のうち、千粒重は品種の遺伝的特性が強いとされる¹⁵⁾。一方、栽培的要因によって変えうる収量構成要素は、穂数、一穂粒数および登熟歩合であるとされる¹⁶⁾。本研究の結果は、栽培的要因がほぼ同一(施肥

量、最高茎数が同一)の条件下では、穂数(有効歩合)は下層土の N_0 に、一穂粒数および登熟歩合は作土と下層土の N_0 に強く関係していることを示すものである。

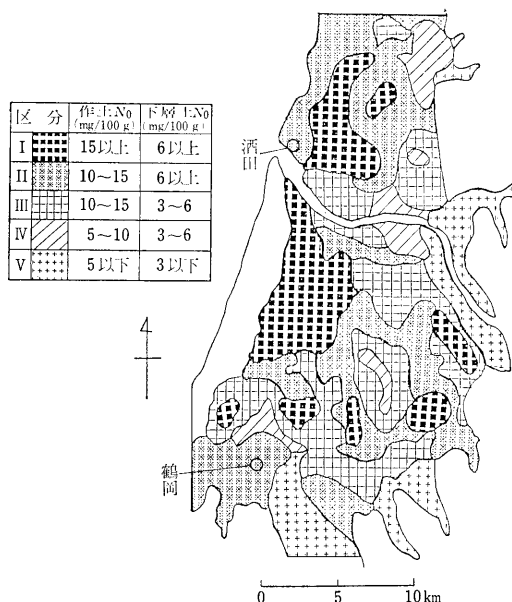
2) 庄内地域における N_0 分布図

第6図には、 N_0 と陽イオン交換容量(CEC)の関係を示した。両者の間には正の相関関係 ($r=0.681^{***}$) が認められた。さらに、CEC と粘土含量の間には正の相関関係が認められた ($r=0.882^{***}$)。吉野・出井⁵⁾は、土壤中の窒素の無機化量は、全窒素、CEC、交換性石灰、遊離鉄などを説明変数として重回帰式で表わされることを示した。一方、廣川・北川¹⁷⁾はモンモリロナイトとバーミキュライト等の膨張性2:1型鉱物の含量がその土壤の窒素無機化量と高い相関があることを報告した。これらのことは、地力窒素の供給量は、粘土含量やCECと密接に関係していることを示し、 N_0 の分布を考慮する際、粘土含量やCECの分布を検討する必要があることを示す。この粘土含量やCECに大きな影響を与える粘土鉱物組成は沖積水田土壤では地形および母材に支配されている¹⁸⁾。そこで、 N_0 の分布図(第7図)の作成にあたっては、地形図を基本とし、簡易分析により求めた N_0 (作土151点、下層土85点。作土は約280haに1点)を利用した。なお、 N_0 は、作土の N_0 を4段階に、下層土のそれを3段階に分け、全体で5段階とした。区分Iは700、IIは650、IIIは600、IVは550、そしてVは500 $\text{kg}/10\text{a}$ 程度の収量をあげるのに必要な窒素量を想定した。収量区分は、庄内地域で最も作付け率の高いササニシキを対象とした。庄内の水田土壤に占める各区分の割合は以下のとおりである。I:20%、II:30%、III:27%、IV:8%、V:15%。これらの結果は、地力窒素からみた庄内地域の水田土壤の収量は、全体の3/4の面積で600 $\text{kg}/10\text{a}$ 以上であることを示している。事実、

第 2 表 可分解性有機態窒素量と収量の関係

	N_0 (mg/100 g) による地帯区分		収 量 (kg/10 a)			
	作土の N_0	下層土の N_0	650 以上	600~650	550~600	550 以下
I	15 以上	6 以上	27*	56	17	0
II	10~15	6 以上	22	45	32	1
III	10~15	3~6	10	60	25	5
IV	5~10	3~6	10	56	29	5
V	5 以下	3 以下	0	22	53	26

* 面積割合 (%)。



第 7 図 可分解性有機態窒素の分布図 (作土+下層土)

1985 年から 1989 年の 5 カ年の庄内地域の平均反収は 600 kg/10 a をこえている¹⁹⁾。

また、庄内各地帯における収量の平均を 4 段階に分けて、収量の分布図を作成した。収量分布図の作成にあたっては、収量調査地点 (150 点) の平均収量 (1985~1987 年)⁹⁾ を各農協支所ごとに設定されている地区 (60 地区) ごとの平均収量として地図にプロットした。各地帯の施肥量は農家の慣行によるものである。この収量分布図と N_0 の分布図を重ね合わせて N_0 と収量の関係を検討した (第 2 表)。これによれば、650 kg/10 a 以上の収量をあげた地帯の面積が各区分に占める割合は、区分 I, II では 20% をこえている。一方、区分 V では面積の大部分が 600 kg/10 a 以下で庄内地域の平均収量以下の地帯である。このことは、施肥管理の違いをこえて収量と N_0 が密接に関係していることを示すものと考えられる。

4. まとめ

山形県庄内地域の水田土壌の作土と下層土の N_0 を簡易分析法により求め、水稻の生育・収量の関係を検討した。さらに、 N_0 の分布図を作成した。得られた結果は以下のとおりである。

1) 作土の N_0 は 8.7~21.6 mg/100 g で、平均は 14.4 mg/100 g であった。一方、下層土のそれは、2.5~14.8 mg/100 g であり、平均 5.7 mg/100 g であった。

2) N_0 が作土で 15 mg/100 g、下層土で 6 mg/100 g までは N_0 の増加につれて収量が増加した。最高茎数がほぼ同一条件の圃場での下層土の N_0 と有効茎歩合の間には正の相関関係が認められた。さらに、穂数がほぼ同一条件のときの穂粒数と、作土と下層土の N_0 の合計の間には正の相関関係が認められた。また、 N_0 (作土+下層土) が大きいほど登熟歩合が高まった。

3) N_0 の大小による区分別分布面積と収量レベル別分布面積の間には、一定の関係が認められた。

文 献

- 1) 横尾政雄：食の多様化と米の品質育種，日作紀，59，619~625 (1990)
- 2) 稲津 脩：良質米の理化学的特性と栽培，同上，59，611~615 (1990)
- 3) 本庄一雄：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，同上，40，190~196 (1971)
- 4) 原田登五郎：水田土壌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 B，9，123~199 (1977)
- 5) 吉野 喬・出井嘉光：土壤窒素供給力の有効積算温度による推定法について，農事試研報，25，1~62 (1977)
- 6) 藤井弘志・安藤 豊・佐藤俊雄・荒垣憲一・中西政則・佐藤之信：山形県庄内地域 (グライ土壌) の地力窒素の無機化について，土肥誌，60，8~14 (1989)
- 7) 藤井弘志・安藤 豊・佐藤之信・中西政則：速度論的に得られた可分解性有機態窒素の簡易推定法，同上，61，92~93 (1990)
- 8) 安藤 豊・藤井弘志・中西政則：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，同上，61，466~471 (1990)
- 9) 山形県農業試験場庄内支場ほか：豊かな庄内こめづくり運動，第 1~3 年次の実績 (1986~1988)

- 10) 山形県農業試験場：水稲作況解析成績書 (1982~1988) 並びに日射量との関係，日作紀，28, 188~190 (1959)
- 11) 庄子貞雄・前 忠彦：無機養分の動態，作物の生態・生理，p. 97~220, 文永堂，東京 (1984)
- 12) WADA, G. and STA. CRUZ, P. C.: Varietal difference in nitrogen response of rice plants with special reference to growth durations. *Jpn. J. Crop Sci.*, 58, 732~739 (1989)
- 13) 江幡守衛・石井龍一：イネ，食用作物学，p. 34~88, 文永堂，東京 (1988)
- 14) 津野幸人・稲葉伸由・清水 強：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
- 15) 吉田昌一：稲作科学の基礎，p. 70, 博友社，東京 (1986)
- 16) 松島省三：水稲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 (1957)
- 17) 廣川智子・北川靖夫：水田土壌の粘土鉱物組成が有機態窒素の無機化に及ぼす影響，土肥誌，59, 41~46 (1988)
- 18) 庄子貞雄・安藤 豊・増井淳一：東北地方の水田土壌の粘土鉱物，第3報，福島県会津高田町付近の水田土壌，同上，44, 197~203 (1973)
- 19) 山形農林統計協会：山形農林水産統計年報 (1985~1989)

Relationship between Yield Components of Rice and Mineralization Potential of Paddy Soil in Shonai as Estimated by Chemical Method

Hiroshi FUJII, Ho ANDO,* Yukinobu SATO** and Masanori NAKANISHI***
 (Yamagata Prefect. Off., * Fac. Agric., Yamagata Univ., ** Murayama Agric. Ext. Serv. Stn., *** Yamagata Agric. Sand Dune Exp. Stn.)

Relationship between yield components of rice plant and mineralization potential (N_0) of paddy soil was evaluated. The mineralization potential was obtained using sulphic acid extraction method. Furthermore, map of N_0 was made.

The mean value of N_0 of topsoil was 14.4 mg/100 g soil, which ranged from 8.7 to 21.6 mg/100 g soil. On the other hand, that of subsoil was 5.7 mg/100 g soil, and ranged from 2.5 to 14.8 mg/100 g soil.

It was found that yield of rice plant increased with increase in N_0 of topsoil and subsoil of paddy field. There was correlation ($r=0.684^{***}$) between N_0 of subsoil of paddy soil and percentage of bearing tillers among the fields which had same number of maximum tillers. The number of grains per panicle was highly correlated with total amount of N_0 from topsoil and subsoil of paddy field in which the panicle number was almost the same.

According to difference in N_0 of topsoil and subsoil of paddy fields, map of N_0 was made. The map of N_0 was appropriate in comparison with map of yield of rice plant in Shonai district.

Key words: kinetic study, mineralization, number of panicle, ripening

(Jpn. J. Soil Sci. Plant Nutr., 63, 58-63, 1992)