

# 可給態窒素含量の圃場間差に基づく水稻の施肥設計手法の検討

森次 真一・山本 章吾・大家 理哉

Study of Fertilization Design Method for Paddy Rice Based on Field Differences in Available Nitrogen

Shinichi Moritsugu, Shogo Yamamoto and Masaya Ooya

## 緒言

水稻の収量は窒素吸収量と密接な関係にあり（例えば、和田，1969），窒素吸収量の約6～7割は土壌から無機化した窒素が占めている（小山，1975）。このため，土壌の窒素無機化量を施肥設計に取り入れるための研究がこれまで多く行われてきた（上野，1990；北田ら，1991；柴原ら，2000）。これらは，地域や品種ごとに最適な窒素吸収量を設定し，土壌条件や気象条件ごとに窒素無機化量を予測することで，きめ細やかな精度の高い施肥設計を行える手法であるが，施肥窒素量を計算するためには多くの条件設定が必要とされる。岡山県内では，多様な品種が栽培されていることに加えて，県南部の暖地から県北部の寒冷地まで気象条件が多様であり，また土壌の種類も多様であること（岡山県農林水産部，2015）から，これらの条件別にパラメータを設定するには多大な調査労力が必要であるため，現実的でない。

一方，県内では水稻作付面積が10ha以上の大規模経営体が近年増加し，担い手の大規模化が進んでおり（岡山県，2021），今後もさらに大規模経営体への農地集積が進んでいくことが予想される。それぞれの経営体では，これまで耕作してきた水田に加えて，有機物施用履歴等が異なる多様な肥沃度の圃場が増えることから，経験値に基づく施肥設計だけでは安定生産を維持できないケースが増えることが想定され，これまで以上に窒素肥沃度に応じた施肥技術が必要となっている。

そこで，本報では，窒素肥沃度の異なる水田を管理

する大規模経営体における施肥設計手法を開発することを目的とし，土壌窒素量の指標である可給態窒素含量の圃場間差に着目し，より簡便な施肥設計手法を検討した。

本施肥設計手法は，多くの方々のご協力によって作成できた。現地調査では，大規模稲作生産者や各地域の営農組合等に無窒素栽培へのご協力を頂いた。また，実証試験では，奈義町の豊沢営農組合に栽培管理でご協力頂いた。記して御礼申し上げる。

## 材料及び方法

### 1. 可給態窒素含量の圃場間差に基づく施肥調節量の早見表の作成

#### (1) 調査圃場及び品種

可給態窒素含量と水稻の土壌窒素吸収量との関係式を得ることを目的に，2000～2014年にかけて土壌の種類等が異なる45地点で可給態窒素含量と無窒素栽培（リン酸，加里を施肥）した水稻の窒素吸収量を調査した。

調査圃場の概要を調査年別に表1に示した。調査圃場は，いずれも水稻を連作している圃場であった。土壌は，灰色低地土が17地点，褐色低地土12地点，多湿黒ボク土9地点，グライ土4地点，グライ台地土3地点であり，県下の水田に分布している土壌群を概ね網羅した。また，品種は，‘コシヒカリ’ 21地点，‘ヒノヒカリ’ 17地点，‘あきたこまち’ 3地点，‘ひとめぼれ’ 2地点，‘山田錦’ 2地点であった。

#### (2) 可給態窒素含量及び土壌窒素吸収量

本報では，無窒素栽培した水稻の窒素吸収量を土壌

本報告の一部は日本土壌肥料学会2016年度大会一般講演において発表した。

2023年12月20日 受理。

窒素吸収量と定義した。土壤窒素吸収量は、成熟期における地上部の乾物重と窒素含有率から求めた。窒素含有率は、収穫物をわらと籾に分け、それぞれの乾燥粉碎物を乾式燃焼法により測定した。調査は、1地点当たり40～60株、1又は2反復で実施した。

可給態窒素含量は、2mm以下に篩別した風乾細土を供試し、常法（土壤環境分析法編集委員会、1997）により、30℃ 4週間湛水密栓培養により生成したアンモニア態窒素量とした。なお、供試土壌は、代かき前の4～5月に作土層を採取した。

また、作土層からの窒素無機化量を試算するために、水稻収穫後に作土深及び仮比重を測定した。仮比重は、常法（土壤環境分析法編集委員会、1997）により求めた。作土層からの窒素無機化量は、次式により推定した。

窒素無機化推定量 (kg/10a) = 可給態窒素含量 (mg/100g) × 作土深 (cm) ÷ 10 × 仮比重

なお、本報では、施肥窒素量、窒素吸収量及び窒素無機化量の単位は、最終的に作成する施肥調節量の早見表の分かりやすさを優先するため、生産現場で慣行的に使用されている10a当たりkgで表記した。

### (3)施肥調節量の早見表の作成

本手法では、対象となる稲作経営体の基準となる圃

場（以下、基準圃場）と新たに施肥窒素量を設計する圃場（以下、診断対象圃場）の窒素吸収量が同じになるように施肥窒素量を調節するための早見表を作成することを目的とした。このため、基準圃場は、診断対象圃場と同一品種を栽培し、生育や収量が安定し、適正な施肥窒素量が明らかな近隣の圃場を選定することを前提とした。

早見表の作成では、基準圃場と診断対象圃場の可給態窒素含量の組み合わせごとに土壤窒素吸収量の差を算出し、施肥窒素の利用度を考慮し施肥窒素の調節量を求めた。なお、県下では被覆肥料による全量基肥施肥栽培が広く普及していることから、施肥窒素の利用率は、被覆肥料の平均値である60%（文献や報告書等に示されている窒素利用率を収集し、各調査結果における分施対比の収量指数が95以上のデータ（n=158、うち県内のデータn=68）から算出した）を用いた。以下に、早見表の作成根拠となる施肥窒素調節量の算出手順を示した。

ここで、基準圃場を基圃、診断対象圃場を診圃、土壤窒素吸収量をAvN\_up (kg/10a)、施肥窒素吸収量をfN\_up、施肥窒素量をfN (kg/10a)、施肥窒素利用率を60%とする。基準圃場の窒素吸収量と診断対象圃場の

表1 調査圃場の概要（土壤群及び品種）

調査年度	調査地点 (地点数)	土壤群	品種
2000年	津山市(1)	グライ台地土	コシヒカリ
2001年	津山市(1)	グライ台地土	コシヒカリ
2002年	津山市(1)	グライ台地土	コシヒカリ
2004年	真庭市(9)	褐色低地土	コシヒカリ
2005年	津山市(2)	灰色低地土	コシヒカリ
	津山市(2)	多湿黒ボク土	コシヒカリ
	津山市(1)	多湿黒ボク土	ヒノヒカリ
	岡山市(2)	グライ土	ヒノヒカリ
2006年	真庭市(3)	褐色低地土	コシヒカリ
	津山市(1)	灰色低地土	あきたこまち
	津山市(1)	灰色低地土	コシヒカリ
	津山市(1)	多湿黒ボク土	コシヒカリ
	津山市(1)	多湿黒ボク土	ヒノヒカリ
	赤磐市(7)	灰色低地土	ヒノヒカリ
2007年	岡山市(2)	グライ土	山田錦
	赤磐市(6)	灰色低地土	ヒノヒカリ
2014年	奈義町(2)	多湿黒ボク土	あきたこまち
	奈義町(2)	多湿黒ボク土	ひとめぼれ

窒素吸収量が等しくなる場合、窒素吸収量は土壌と肥料由来の窒素で構成されると仮定すると、次式①が成立する。式①を基にして、式②～④の順に読み替えや式の整理によって、施肥窒素調節量を計算する式④を導いた。

- ① 基圃の (AvN<sub>up</sub>+fN<sub>up</sub>) = 診圃の (AvN<sub>up</sub>+fN<sub>up</sub>)
- ② 基圃AvN<sub>up</sub>+基圃fN×0.6 = 診圃AvN<sub>up</sub>+診圃fN×0.6
- ③ 診圃fN-基圃fN = (基圃AvN<sub>up</sub>-診圃AvN<sub>up</sub>) ÷ 0.6
- ④ 施肥窒素調節量 = (基圃AvN<sub>up</sub>-診圃AvN<sub>up</sub>) ÷ 0.6

式④を用いて、基準圃場と診断対象圃場の可給態窒素含量の組み合わせごとに施肥窒素調節量を算出し、早見表を作成した。このとき、前項の調査結果から、可給態窒素含量と土壌窒素吸収量の関係式：AvN<sub>up</sub> = -0.0145 × AvN<sup>2</sup> + 0.7087 × AvN + 0.5236 (AvNは可給態窒素含量 (mg/100g)) を用いた。

なお、水稻の窒素吸収量には、灌がい水から供給される窒素量も無視できないが、本報では基準圃場と診断対象圃場は同量であると仮定し、早見表の作成に当たり考慮していない。この理由は、両者が近隣であり、水質や灌がい水量も大きく異ならないと考えられるためである。

**2.可給態窒素含量に基づく施肥窒素調節手法の現地実証**

前項の早見表による施肥設計手法を検証した。

試験は、2014年と2015年に勝田郡奈義町の多腐植質厚層多湿黒ボク土の水田で行った。

堆肥を施用していない「基準圃場」に対して、堆肥を連用し可給態窒素含量が高まった「診断対象圃場」を設け、代かき前に作土から採取した風乾細土を供試し、近赤外分光法（森次ら、2017）により可給態窒素含量を測定し、早見表（表3）を用いて、「診断対象圃場」に施肥窒素量を減肥した窒素調節区（以下、N調節区）と減肥しない窒素基準区（以下、N基準区）を設けて栽培実証を行った。各年次毎の試験区の可給態窒素量及び施肥窒素量を表2に示した。なお、2014年は、早見表が未完成であったため、試作段階の早見表（施肥窒素調節量は完成した早見表と概ね同様）を基にN調節区の施肥窒素量を決定した。また、2015年は、可給態窒素含量が異なる複数の試験区（地点A、B）を設けた。栽培実証では、成熟期の生育、収量、玄米品質及び地上部の窒素吸収量を調査した。調査規模は、1試験区当たり、生育は10株×2か所、収量、玄米品質及び窒素吸収量は40株×2か所とした。

栽培品種は、2か年とも‘あきたこまち’を供試した。被覆肥料を用いた全量基肥施肥による耕起移植栽培（栽植密度は30×19cm）とし、耕種概要は、2014年、2015年の順に、施肥は6月2日、5月27日、移植は6月10日、6月12日、出穂期は8月12日、8月9日、収穫期は9月24日、9月22日であった。試験規模は、2か年とも1区67.5～210㎡とした。

表2 試験区の構成

試験年次	試験区	可給態窒素 (mg/100g)	施肥窒素量 <sup>z</sup> (kg/10a)
2014年	(診断対象圃場)	N調節	4.5
		N基準	6.0
	(基準圃場)	N基準	16.2
2015年	(地点A)	N調節	4.7
		N基準	6.0
	(地点B)	N調節	4.9
		N基準	6.0
	(基準圃場)	N基準	17.2

<sup>z</sup> 2014年は試作版の早見表、2015年は表3の早見表から設定した栽培品種は‘あきたこまち’

結果及び考察

1.可給態窒素含量の圃場間差に基づく施肥調節量の早見表の作成

可給態窒素含量と土壤窒素吸収量の関係を図1に示した。可給態窒素含量が多くなると土壤窒素吸収量が増加し、可給態窒素含量が約20mg/100gを超えると土壤窒素吸収量は頭打ちになる傾向がみられた。調査圃場は多種類の土壤群と品種が混在したが、両者には強い相関関係が認められ、決定係数 $R^2$ は0.605 ( $p<0.001$ )であった。また、両者の関係性を示す有意な2次式が得られた。図1において、近似曲線からの各土壤群及び各品種のプロットの距離をみると、特定の土壤群や品種が近似曲線から離れる傾向はみられなかったことから、汎用性の高い近似式と考えられた。

次に、可給態窒素含量、作土深及び仮比重から試算した窒素無機化推定量と土壤窒素吸収量との関係を図2に示した。前述した可給態窒素含量との関係(図1)と同様に窒素無機化推定量が多くなると土壤窒素吸収量が増加し、窒素無機化推定量が約35kg/10aを超えると土壤窒素吸収量は頭打ちになる傾向がみられた。両者には相関関係が認められたものの、前述した可給態窒素含量と土壤窒素吸収量との関係性に比べると決定係数 $R^2$ は0.411と低い値を示した。

図2の結果から、土壤窒素の利用率を求めると、全体の平均は36%であった。この値は、山本ら(1994)が同様に求めた約40%と概ね一致した。窒素無機化量は風乾土湛水培養と湿潤土湛水培養とで大きく異なることが知られており、23県から収集した多様な土壤を調

査した事例では、風乾土湛水培養で無機化した窒素量は、湿潤土湛水培養に比べて約4.8倍の値を示している(東ら, 2015)。風乾土壤による可給態窒素含量は、潜在的な窒素供給能を示す指標であるが、乾土効果を含むことから、窒素無機化推定量は土壤窒素吸収量よりも大幅に高い値を示した(図2)。廣川ら(1993)は、4土壤群、15圃場で湿潤土の圃場埋設試験により実際の土壤窒素無機化量を調べ、トレーサー法によってコシヒカリの土壤窒素利用率を求めた結果、全体の平均は68%であった。これらのことから、風乾土湛水培養による可給態窒素含量を用いる場合、土壤重量(作土深×仮比重)を考慮したときの土壤窒素利用率は実際よりも低い値を示していると考えられた。

可給態窒素含量と土壤窒素吸収量の関係式(図1)を用いて、基準圃場と診断対象圃場の可給態窒素含量から施肥窒素量の調節量を決定できる早見表を作成した(表3)。表3に示した値は、基準圃場と診断対象圃場の可給態窒素含量の圃場間差が被覆肥料による施肥窒素量に換算した場合、どの程度の施用量になるかを表している。調節量は、可給態窒素含量の圃場間差が同じでも両者の可給態窒素含量が高い場合と低い場合とで異なった。可給態窒素含量が高くなるに従い調節量の値が小さくなるのは、可給態窒素含量と土壤窒素吸収量の関係式(図1)を用いているからである。

本報では、従来から潜在的な地力窒素量の指標として用いられ、加えて近赤外分光法での迅速分析が可能である風乾土壤を測定対象にした。風乾土湛水培養の値は、乾土効果を含む値であるため、可給態窒素含量と土壤窒素吸収量との関係を検討する上で乾土効果の

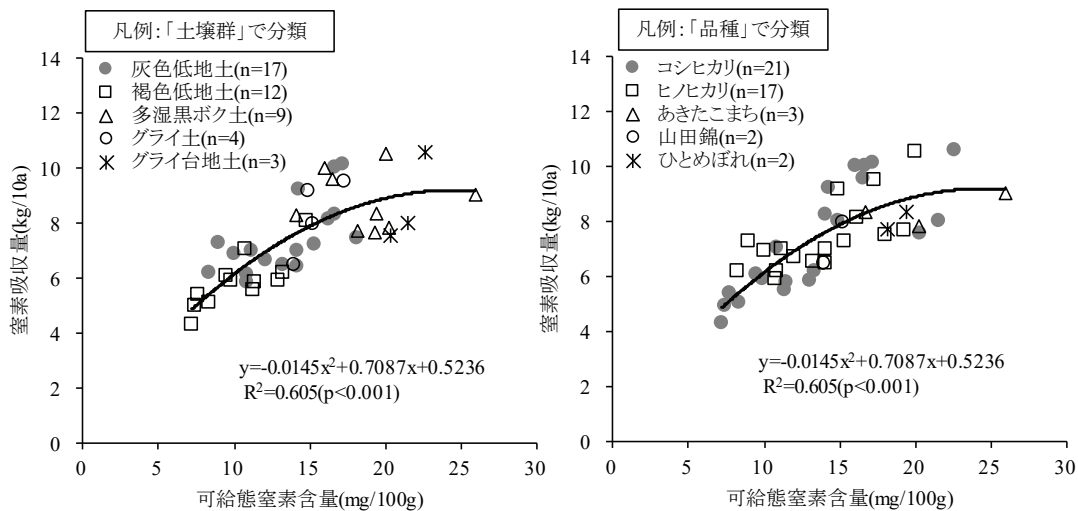


図1 無窒素栽培した水稻の窒素吸収量と可給態窒素含量の関係

影響は無視できない。可給態窒素含量が高くなると、水稻による見かけの利用率が低下した(図1)。本報と同様に、風乾土湛水培養の可給態窒素量と土壌窒素吸収量の関係性を検討した山本ら(1994)の事例では、調査圃場の可給態窒素含量の範囲が本報と概ね同等で

あったにも関わらず、本調査結果のように可給態窒素含量が高まるにつれて利用率が低下する現象はみられていない。この理由として、調査対象の土壌や品種の違いが影響を及ぼしている可能性が考えられた。つまり、山本ら(1994)の調査圃場は灰色低地土のみであっ

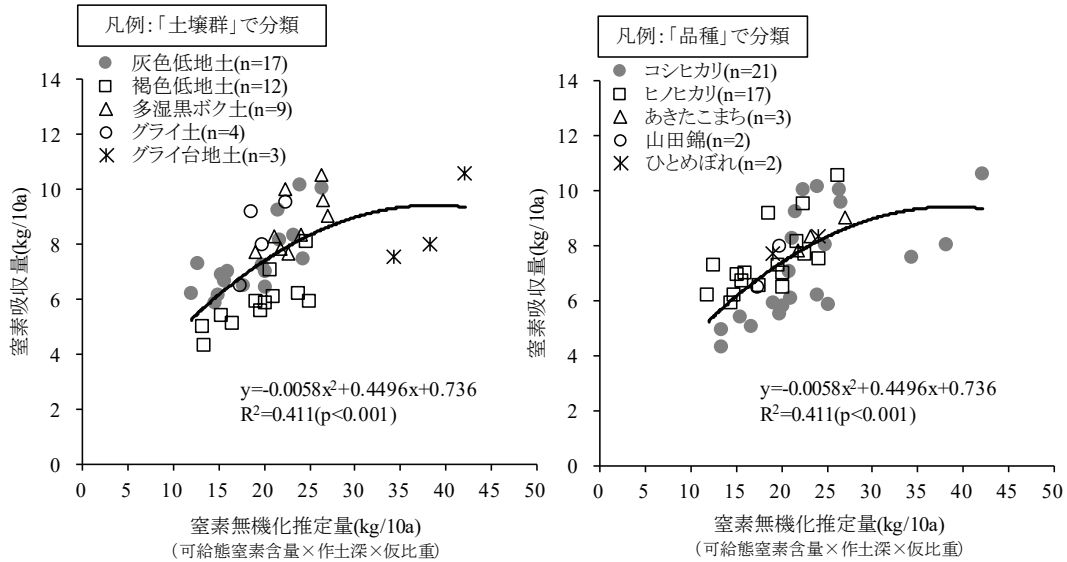


図2 無窒素栽培した水稻の窒素吸収量と窒素無機化推定量との関係

表3 基準圃場の施肥窒素量に対する診断対象圃場の施肥窒素調節量の早見表 (kg/10a)

		診断対象圃場 <sup>y</sup> の可給態窒素量(mg/100g)																	
		7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	
基準圃場 <sup>z</sup> の可給態窒素量(mg/100g)	7		-0.8	-1.6	-2.3	-3.0	-3.6	-4.2	-4.7	-5.2	-5.6								
	8	+0.8		-0.8	-1.5	-2.2	-2.8	-3.4	-3.9	-4.4	-4.8	-5.2							
	9	+1.6	+0.8		-0.7	-1.4	-2.0	-2.6	-3.1	-3.6	-4.0	-4.4	-4.8						
	10	+2.3	+1.5	+0.7		-0.7	-1.3	-1.9	-2.4	-2.9	-3.3	-3.7	-4.0	-4.3					
	11	+3.0	+2.2	+1.4	+0.7		-0.6	-1.2	-1.7	-2.2	-2.6	-3.0	-3.4	-3.7	-3.9				
	12	+3.6	+2.8	+2.0	+1.3	+0.6		-0.6	-1.1	-1.6	-2.0	-2.4	-2.7	-3.0	-3.3	-3.5			
	13	+4.2	+3.4	+2.6	+1.9	+1.2	+0.6		-0.5	-1.0	-1.4	-1.8	-2.2	-2.5	-2.7	-2.9	-3.0		
	14	+4.7	+3.9	+3.1	+2.4	+1.7	+1.1	+0.5		-0.5	-0.9	-1.3	-1.6	-1.9	-2.2	-2.4	-2.5	-2.6	
	15	+5.2	+4.4	+3.6	+2.9	+2.2	+1.6	+1.0	+0.5		-0.4	-0.8	-1.2	-1.4	-1.7	-1.9	-2.0	-2.1	
	16	+5.6	+4.8	+4.0	+3.3	+2.6	+2.0	+1.4	+0.9	+0.4		-0.4	-0.7	-1.0	-1.2	-1.4	-1.6	-1.7	
	17		+5.2	+4.4	+3.7	+3.0	+2.4	+1.8	+1.3	+0.8	+0.4		-0.3	-0.6	-0.9	-1.1	-1.2	-1.3	
	18			+4.8	+4.0	+3.4	+2.7	+2.2	+1.6	+1.2	+0.7	+0.3		-0.3	-0.5	-0.7	-0.9	-1.0	
	19				+4.3	+3.7	+3.0	+2.5	+1.9	+1.4	+1.0	+0.6	+0.3		-0.2	-0.4	-0.6	-0.7	
	20					+3.9	+3.3	+2.7	+2.2	+1.7	+1.2	+0.9	+0.5	+0.2		-0.2	-0.3	-0.4	
	21						+3.5	+2.9	+2.4	+1.9	+1.4	+1.1	+0.7	+0.4	+0.2		-0.1	-0.2	
	22							+3.0	+2.5	+2.0	+1.6	+1.2	+0.9	+0.6	+0.3	+0.1		-0.1	
23								+2.6	+2.1	+1.7	+1.3	+1.0	+0.7	+0.4	+0.2	+0.1			

<sup>z</sup> 診断対象圃場に近接し、生育や収量が安定していて、施肥窒素量が適正な圃場

<sup>y</sup> 施肥設計する圃場

表中の数値は、基準圃場の施肥窒素量に対する診断対象圃場の施肥窒素量の調節量

(計算式) 診断対象圃場の窒素施肥量(kg/10a) = 基準圃場の通常窒素施肥量(kg/10a) ± 調節量(kg/10a)

(例) 可給態窒素量が基準圃場: 12mg/100g, 診断対象圃場: 16mg/100g, 基準圃場の施肥窒素量が10kg/10aの場合

表中の数値“+2”が調節量となり、10+2=12kg/10aが診断対象圃場の窒素施肥量となる

たのに対して、本報では5種類の土壤群を対象としており、特に、多湿黒ボク土及びグライ台地土といった県下で乾土効果が大きいと思われる土壤が含まれた。また、深山(1990)は、土壤窒素吸収量に品種間差異を認め、この違いは主として品種の生育期間の長短に起因するとしており、このことは土壤窒素利用率が水稻の早晚性によって異なることを意味している。山本ら(1994)は、中生品種である‘ヒノヒカリ’、‘ニシホマレ’を対象としたのに対して、本報では、早生～中生の早晚性の異なる5品種を対象にしたことで、見かけの窒素利用率が低下した可能性が考えられた。一方、トレーサー窒素を使用して施肥条件下における土壤窒素の利用率を調べた廣川ら(1993)の報告では、土壤窒素の利用率は無機化量の増加にともない低下する傾向を認めており、本結果と一致している。

乾土効果の発現量は湛水前の土壤水分との間に定量的な関係が存在する(鳥山ら, 1988)。すなわち、可給態窒素含量が高い値を示す土壤では、乾土効果が大きい可能性があり、さらに湛水前の土壤水分によって実際の無機化量が異なることが推測できる。これまで、湛水前の土壤水分から乾土効果を予測する試みが多数行われ、春先の乾燥した土塊の混入割合と土壤水分(上野ら, 1989)、耕起から入水代かきまでの最大連続無降雨日数(中西ら, 1991)、3、4月の合計雨量(中鉢ら, 1995)等を活用することで乾土効果を評価できることが示唆されているが、乾土効果開始水分変曲点の含水比は土壤によって大きな差がある(上野ら, 1989)ことや耕起方法や耕起時期の違いによる影響があることも指摘されている。この点について、本報で示した施肥設計手法では、基本的に基準圃場と診断対象圃場が同じ地域内にあることを前提としているため、土壤の種類、降雨条件や土壤水分は概ね同一条件である。このため、乾土効果の違いによって生じる実際の無機化量、延いては施肥調節量への影響は小さいと考えられた。乾土効果以外にも、栽培期間中の地温、栽培品種、圃場の土壤群及び土性の影響が考えられるが、本報による施肥設計手法では、前述した理由により、これらの影響についても回避できると考えられた。

一方、施肥設計の際に、土壤重量を考慮するか否かについて、土壤重量を考慮した図2のプロットをみると、土壤群別では褐色低地土で、品種別では‘コシヒカリ’で近似曲線よりも下側にプロットされる傾向がみられた。褐色低地土や‘コシヒカリ’の調査圃場では他の圃場に比べて作土の土壤重量が大きい傾向を示しており(データ省略)、土壤重量を考慮する場合には品

種や土壤群により一定の傾向があるかどうかをさらに検討する必要性が考えられた。しかし、本県のように土壤群や品種が多様な場合は、調査労力が多大であり基準策定が容易でない。また、土壤窒素吸収量は、実際には水稻の根域の深さや根の活性の違いによっても影響を受けるが、これらを生産現場で正確に把握することは実用上困難である。

地力窒素量を施肥設計に活用する実用面においては、土壤重量の違いを考慮しない手法も提案されている(小川ら, 1992; 道上, 2004; 大家ら, 2013)。今回の調査結果は、土壤重量を考慮しなくても両者に強い相関関係がみられており、より簡便な施肥設計手法を目的とする場合は、可給態窒素含量と土壤窒素吸収量との関係性が利用できると考えられた。

## 2. 可給態窒素含量を活用した施肥窒素調節手法の現地実証

現地実証では、基準圃場より診断対象圃場の方が可給態窒素含量が高い値を示し、可給態窒素含量の圃場間差に基づき診断対象圃場の施肥窒素量を1.1～1.5kg/10a減らして、‘あきたこまち’を栽培した。その結果、成熟期の窒素吸収量は、試験した2か年3事例とも同様の傾向を示し、診断対象圃場のN調節区の窒素吸収量は、診断対象圃場のN基準区よりも少なく、基準圃場のN基準区に近い値を示した(図3)。基準圃場のN基準区の窒素吸収量は、2014年が約10kg/10a、2015年が約12kg/10aであり、栽培年次により大きく異なったが、診断対象圃場のN調節区の窒素吸収量は基準圃場のN基準区との差が3事例の平均で約0.3kg/10aと小さく、施肥設計手法の妥当性が検証された。生育及び収量は、試験区間で大きな差はみられなかったが、診断対象圃場のN調節区は、総じて診断対象圃場のN基準区よりも基準圃場のN基準区に近い値を示した(表4、表5)。また、診断対象圃場のN調節区では、診断対象圃場のN基準区に比べて倒伏が軽減され、登熟歩合が向上することにより、くず米が減少した(表4、表5)。さらに、玄米品質も試験区間で大きな差はみられなかったが、診断対象圃場のN調節区では、診断対象圃場のN基準区に比べてタンパク含量が低下し、食味値HONがやや向上する傾向がみられた(表5)。

以上から、多湿黒ボク土における‘あきたこまち’栽培の限られた事例ではあるが、本施肥設計手法の妥当性が確認できた。

## 3. 施肥設計手法の活用方法と残された課題

本報で提案した施肥設計手法について、活用の考え方と手法の流れを整理した(図4)。

水稻の大規模経営では、今後益々農地集積が進むことで、過去の有機物施用等の土壌管理履歴が十分に把握できない圃場を多数耕作することが予想される。経営体の中で収量や品質のばらつきを小さくするためには、圃場毎の窒素肥沃度に応じて施肥量を調節することが有効な手段の1つである。このため、施肥設計に必要とされる情報が少なく実用化が比較的容易と考えられる、近接する圃場間の地力差に基づく施肥設計手法を考案した。

この手法は、水稻を連作する基準圃場と診断対象圃

場で両者の窒素吸収量が同じになるように施肥窒素量を調節する。本手法では、基準圃場と診断対象圃場の栽培条件をできるだけ同一条件にする必要があり、土壌群や土性、品種が同じになるように両者を選定することが肝要である。また、基準圃場は、対象とする経営体の優良圃場で、生育や収量が安定し、適正な施肥窒素量が明らかな圃場を選定する必要がある。

本報で提案した施肥設計手法は、これまでの知見において施肥設計の際に必要なと考えられてきた情報（土壌の種類、作土深、気象条件、品種等）の多くを用い

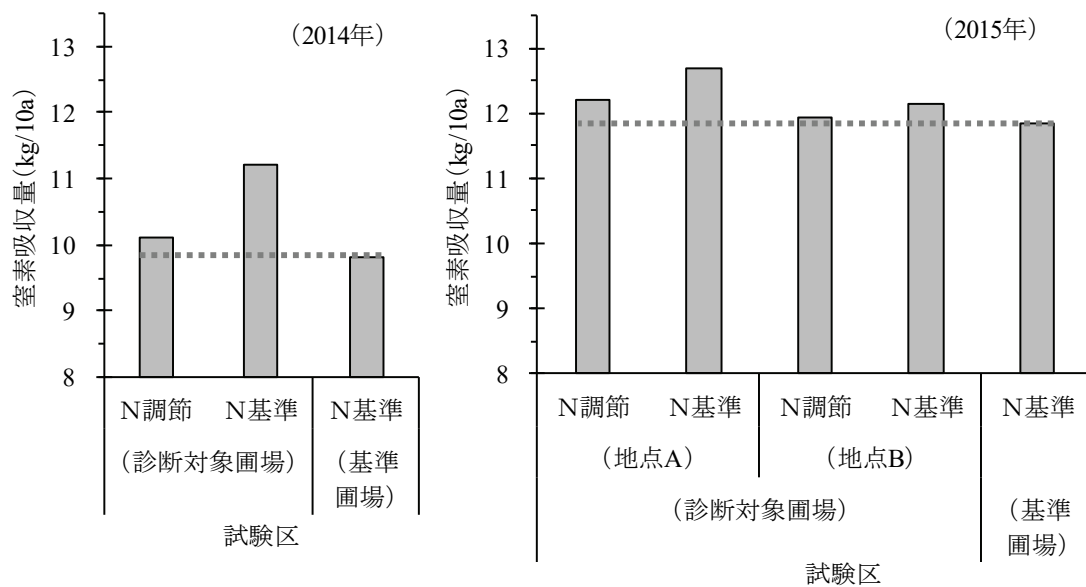


図3 可給態窒素含量に基づく施肥窒素量の調節が水稻の窒素吸収量に及ぼす影響  
注) 図中の破線は、各試験年次における基準圃場の窒素吸収量を示す

表4 可給態窒素含量に基づく施肥窒素量の調節が水稻の生育、収量に及ぼす影響

試験年次	試験区	稈長 (cm)	穂長 (cm)	穂数 (本/m <sup>2</sup> )	倒伏 <sup>z</sup> (0-4)	わら 精 ぐず 玄米 米 (kg/10a) <sup>y</sup>		
						わら	精玄米	ぐず米
2014年	(診断対象圃場) N調整	88.9	18.8	331	0~1	633	488	35
	(診断対象圃場) N基準	90.6	19.3	335	0~3	644	482	51
	(基準圃場) N基準	88.6	18.8	330	0~0.5	609	478	31
2015年	(地点A) N調整	87.0	21.1	333	0	688	541	59
	(地点A) N基準	88.0	21.3	331	0~3	667	525	72
	(地点B) N調整	86.8	21.2	313	0	664	535	57
	(地点B) N基準	87.4	21.2	329	0~2	647	532	61
	(基準圃場) N基準	87.3	21.1	310	0	682	535	48

<sup>z</sup> 0(無)~4(甚)の5段階で評価

<sup>y</sup> わらは乾物重, 玄米は水分15%換算値, 精玄米は1.85mm以上

ていない。理論的には整合性が不十分な点があると思われるが、圃場間の地力差を活用することにより、生産現場で利用しやすいよう必要な情報を最小限とした簡便な設計手法と考えられる。

最後に、本手法を活用する際の留意点と今後検討すべき課題について述べる。まず、今回の手法では、土壌重量を考慮しても可給態窒素含量と土壌窒素吸収量の関係性が向上しなかったこと、生産現場ではなるべく簡便な方が実用性が高いことから、土壌重量は施肥設計の際に用いなかった。しかしながら、耕作者が異なる場合、作業機械や土壌管理方法が異なるため、施

肥調節精度に作土深の圃場間差の影響が生じる可能性がある。今後、根域や作土深の違いを施肥設計手法に簡便に組み込む方法を検討する必要がある。

金田ら(1989)は、強グライ土の輪換田では下層土の構造の発達により根が深くまで伸長し、下層土の土壌窒素吸収量が無視できないことを明らかにしている。また、県下の田畑輪換を継続した黒大豆栽培水田では可給態窒素含量が減少しており(森次・鷺尾, 2016)、輪換田では可給態窒素含量と土壌窒素吸収量との関係式が異なる可能性が考えられる。本報では、調査圃場に輪換田がなかったため、今後は輪換田での両

表5 可給態窒素含量に基づく施肥窒素量の調節が水稻の収量構成要素、品質に及ぼす影響

試験年次	試験区	もみ数 (1穂当)×1000/m <sup>2</sup>	もみ数	登熟 歩合 (%)	千粒重 (g)	食味計値 <sup>z</sup>		外観品質		
						HON	タンパク (DW%)	等級 <sup>y</sup> (1-9)	整粒 <sup>x</sup> (%)	
2014年	(診断対象 圃場)	N調節	77.2	25.2	87.4	22.1	77	7.6	4.0	69.1
		N基準	80.2	26.8	81.9	22.0	76	7.7	4.0	67.3
	(基準圃場)	N基準	75.0	24.7	87.7	22.1	79	7.6	4.5	66.5
2015年	(診断対象 圃場)	(地点 A) N調節	81.3	27.0	83.5	24.0	70	7.9	3.0	73.3
		(地点 A) N基準	83.7	27.7	78.8	24.1	66	8.1	3.0	71.3
	(地点 B) N調節	87.2	26.8	83.1	24.0	67	7.8	3.0	72.1	
		(地点 B) N基準	82.2	27.0	81.9	24.1	65	8.0	3.5	71.5
	(基準圃場)	N基準	85.5	26.4	84.7	23.9	70	7.7	3.0	73.3

<sup>z</sup> 近赤外分光光度計(ニレコ)による

<sup>y</sup> 中国四国農政局調べ。1:1等上, 2:1等中, 3:1等下, 4:2等上, 5:2等中, 6:2等下, 7:3等上, 8:3等中, 9:3等下

<sup>x</sup> 穀粒判別器(kett RN-310)

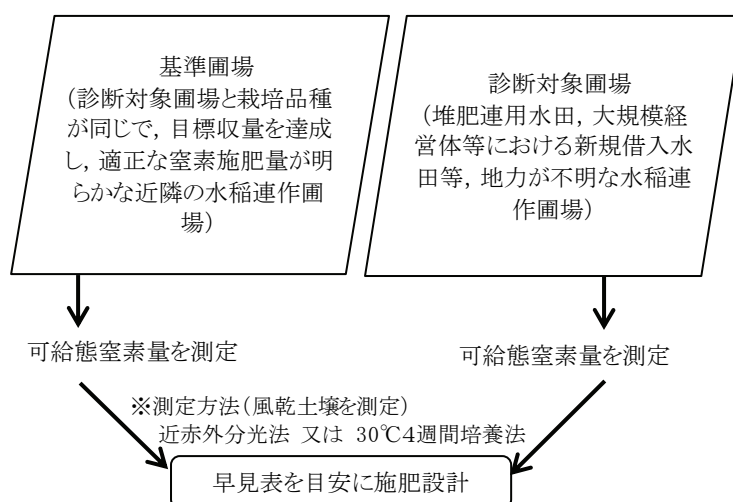


図4 圃場選定と施肥設計のフロー



者の関係性についても調査し、本手法が適用できるか検討が必要である。

本手法は、県下で広く普及している被覆肥料の利用を前提としている。利用されている被覆肥料の多くは、速効性窒素成分が含まれる肥料と被覆尿素をバルクブレンドした被覆複合肥料であり、被覆複合肥料の窒素全量を構成する速効性窒素と緩効性窒素の割合は地域や品種に応じた構成比率となっている。このため、本手法による施肥調節量が多い場合は、単に施肥窒素量を加減するだけでは基準圃場と同様の収量や品質を得られないケースが出てくることが想定され、追肥等による調整方法の検討が必要と考えられる。

### 摘要

水稻の大規模経営では、有機物施用履歴等が異なる多筆数を耕作することが多く、圃場毎の生育や収量及び品質のばらつきを小さくするためには、圃場毎の窒素肥沃度に応じた施肥調節が有効な手段の1つと考えられる。地力窒素指標として用いられている可給態窒素含量（風乾土湛水培養で生成するアンモニア態窒素量）は、乾土効果を含むため、施肥設計に活用するためには、土壌や気象条件別に条件設定が必要と考えられるが、実用化が容易でない。そこで、これらの影響を受けにくい手法として、近接する同一品種を栽培する圃場間の可給態窒素含量の差に基づく施肥設計手法を考案し、本手法による現地実証試験を行い、以下の結果を得た。

1. 土壌の種類等が異なる45地点で、可給態窒素含量と水稻の窒素吸収量との関係を調査した結果、両者に有意な相関関係を認め、2次の回帰式を得た。
2. 上記の回帰式を利用して、基準圃場と診断対象圃場で栽培する水稻の窒素吸収量が同じになるように施肥窒素量を調節する方法を考案し、施肥調節量の早見表を作成した。
3. 多湿黒ボク土水田において、早見表を用いて施肥窒素量を調節し、水稻を栽培した結果、窒素吸収量は基準圃場に近い値を示し、早見表の妥当性が示唆された。

### 引用文献

東英男・高橋茂・加藤直人（2015）水田土壌の湛水培養無機化窒素量の特徴とその簡易迅速評価法の開発 第1報 無機化窒素量と土壌含水率、及び水稻収量との関係。土肥誌，86: 175-187。  
土壌環境分析法編集委員会（1997）土壌環境分析法。博友社，東京，427p。

廣川智子・北川靖夫・伊藤純雄（1993）各種土壌における施肥窒素及び土壌窒素のコシヒカリによる吸収とその変動要因について。富山農技セ研報，13: 11-20。

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窒素吸収量の評価と無機化窒素量の推定。土肥誌，60: 399-405。

北田敬宇・宮川修・塩口直樹（1991）水稻の理想的な窒素吸収パターンと土壌窒素無機化予測によるシステム施肥法。土肥誌，62: 585-592。

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。

道上伸宏（2004）溶媒抽出法による県内水田土壌の地力窒素の評価。島根農試研報，35: 21-32。

深山政治（1990）水稻の最適窒素保有量と土壌窒素吸収パターンからみた施肥。日本土壌肥料学会編 水田土壌の窒素無機化と施肥。博友社，東京，pp.63-97。

森次真一・大家理哉・鷺尾建紀・高野和夫（2017）近赤外分光法による水田土壌の可給態窒素の推定精度。土肥誌，87: 31-34。

森次真一・鷺尾建紀（2016）水田転換畑における黒大豆の土壌施肥管理技術に関する研究（第1報）黒大豆栽培圃場の土壌化学性の実態と収量低下要因の解析。岡山県農業研報，7: 7-17。

中西政則・藤井弘志・齊藤洋助・五十嵐真一・桜井博・横尾信彦・渡部賢治・早坂剛・中野憲司（1991）気象情報を利用した乾土効果の簡易推定法とその活用事例。農及園，66: 37-42。

小川吉雄・加藤弘道・酒井一・緑川覚二（1992）リン酸緩衝液抽出法による輪換田水稻の基肥窒素診断法。土肥要旨集（関東支部），38: 301。

岡山県（2021）岡山県水田農業振興方針。 [https://www.pref.okayama.jp/uploaded/life/709541\\_6381467\\_misc.pdf](https://www.pref.okayama.jp/uploaded/life/709541_6381467_misc.pdf)。（2023.9検索）

岡山県農林水産部（2015）第2章 土壌の分類と県内農耕地土壌の特性。土壌診断と土づくりの手引き。 [https://www.pref.okayama.jp/uploaded/life/423596\\_2722881\\_misc.pdf](https://www.pref.okayama.jp/uploaded/life/423596_2722881_misc.pdf)。（2023.9検索）

大家理哉・森次真一・鷺尾建紀・高津あさ美・高原知佳子・藤本寛・亀井雅浩・石橋英二・高野和夫（2013）飼料用稲栽培において土壌可給態窒素量と堆肥窒素肥効を考慮した施肥窒素量の決定方法。土肥誌，84: 394-398。

柴原藤善・武久邦彦・長谷川清善（2000）水稻窒素吸

収量の簡易予測モデルと施肥診断システムの開発.  
土肥誌, 71: 898-902.

鳥山和伸・関矢信一郎・宮森康雄（1988）湛水前の土  
壌の乾燥が土壌窒素の無機化量に及ぼす影響の定量  
的把握. 土肥誌, 59: 531-537.

中鉢富夫・武田良和・山家いずみ（1995）春期の雨量  
による土壌窒素発現量（乾土効果）の予測. 宮城農  
セ報, 61: 33-44.

上野正夫（1990）水稻の生育予測と窒素無機化. 日本  
土壌肥料学会編 水田土壌の窒素無機化と施肥. 博  
友社, 東京, pp.157-168.

上野正夫・佐藤之信・熊谷勝巳・大竹俊博（1989）水  
田の乾土効果発現量の予測と水稻の生育反応. 土肥  
誌, 60: 167-171.

和田源七（1969）水稻収量成立におよぼす窒素栄養の  
影響. 農技研報A, 16: 27-167.

山本富三・田中浩平・角重和浩（1994）暖地水田にお  
ける地力窒素発現パターンと施肥の診断. 日作紀,  
63: 411-417.