

水田土壤の粘土鉱物組成が有機態窒素の無機化に及ぼす 影響

誌名	日本土壌肥料学雑誌 = Journal of the science of soil and manure, Japan
ISSN	00290610
著者	廣川, 智子 北川, 靖夫
巻/号	59巻1号
掲載ページ	p. 41-46
発行年月	1988年2月

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*

廣川 智子**・北川 靖夫**

キーワード 水田肥沃度, 粘土鉱物, 土壌窒素無機化量

1. はじめに

水稲が吸収する窒素成分の半分以上は土壌に依存しているといわれている。したがって、水田土壌から供給される有機態窒素の無機化量を把握することが合理的な施肥管理法を確立するうえでも重要な問題である。

土壌の粘土含量や粘土鉱物組成は、その土壌の物理的、化学的性質に大きな影響を及ぼし、土壌窒素の無機化にも影響しているものと考えられる。甲斐²⁾は、水田土壌の有機態窒素の無機化ならびに酸化還元電位の変化に対し含有する粘土鉱物種が影響を与え、モンモリン系粘土鉱物の含量が多いと土壌窒素の無機化が抑制されると述べている。原田¹⁾はモンモリロナイトのほうがカオリナイトに比べ添加有機物（蛋白質）の分解を抑制すると述べている。また山根³⁾はモンモリロナイトやパーミキュライト等の膨張性 2:1 型鉱物は陽イオン交換容量や有機物と結合する能力等が粘土鉱物種の中で最も大きく強いため有機物が土壌に固定集積されやすいと述べている。一方、吉野・出井⁹⁾はモンモリロナイトを主成分とする土壌はカオリン鉱物を主体とする土壌より有機態窒素の無機化量が多くなっていることを指摘している。

そこで著者らは、富山県内 18 箇所の水稲生育観測圃場ならびに農業技術センター圃場の粘土鉱物組成を X 線回折法と熱分析法を併用することにより定量した³⁾。そしてその組成および供試土の理化学的性質と有機態窒素の無機化量との関係を、地力窒素供給予測を行うための基礎データを得るという立場から検討し、一知見を得たのでここに報告する。

2. 試料および実験方法

1) 試料調製

土壌試料は第 1 表および第 1 図に示す各圃場から、基肥施用前の作土を圃場内数箇所より採取し、均一に混合

した。各土壌試料は篩分けし生土の場合は、粒径 4mm 以下、風乾土では、2mm 以下の部分をそれぞれ実験に供試した。

2) 実験方法

粒径組成はピペット法により測定した。全炭素は Yanaco MT500W 型 CN コーダーを使用して定量した。陽イオン交換容量は SCHOLLENBERGER 法⁴⁾により、またリン酸吸収係数は本邦土性調査法⁶⁾により測定した。

粘土鉱物組成は沈降法によって調製した粘土試料を用いて、X線回折法と熱分析法を併用して求めた³⁾。

有機態窒素の無機化量は吉野・出井の方法⁹⁾に従って測定した。すなわち、前述の粒径 4mm 以下の生土の湿润試料 40g を径 3cm、深さ 11cm の有底ガラス管に入れ水 15ml を加え代掻き状態に攪はんした後、灌水し、ゴムの密栓をして、30℃、10 週間静置後、無機化してくるアンモニア態窒素から原土の無機態窒素量を差し引いた値を無機化量とした。一方、風乾土では、土壌試料 20g に水 15ml を加え生土と同様にして無機化量を求めた。

3. 結果と考察

1) 土壌の理化学性および粘土鉱物組成

供試土壌の理化学性は第 2 表のとおりである。各土壌の粘土含量は、灰色低地土では入善、立山、婦中、農技セの県中央から東部の圃場が 10% 以下と低く、県西部は 15~20% とやや高い傾向がみられた。供試土壌のうち粘土含量の最も多かったものは、黄色土の大沢野の 35.8% であった。グライ土、黒ボク土は、17~30% であった。陽イオン交換容量 (CEC) は、灰色低地土ではいずれの土壌も 14 meq/100g 以下で 4 土壌群中最も低く、黄色土や黒ボク土ではほとんどの土壌で 20 meq/100g 以上と高く、グライ土では福岡が 20 meq/100g 以上であったほかはそれほど大きな値を示さなかった。全炭素含量 (T-C) は黒ボク土が 4~7% と高く、グライ土がこれに次ぎ、灰色低地土では 2.5% 以下と低かった。また黄色土の全炭素含量は圃場間差が大きかった。

粘土フラクション中の鉱物組成の概略は、すでに報告した³⁾。

* 本報告の概要は昭和 62 年度日本土壌肥料学会中部支部大会で発表した。

農林水産省指定土壌肥料試験成果 87-1

** 富山県農業技術センター (939 富山市吉岡 1124-1)

昭和 62 年 6 月 15 日受理

日本土壌肥料学雑誌 第 59 巻 第 1 号 p. 41~46 (1988)

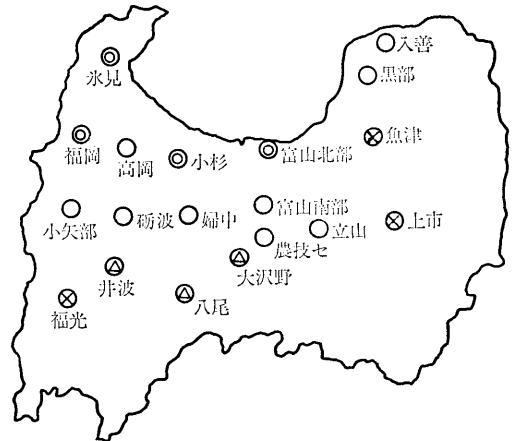
第 1 表 生育観測圃場の所在地

土壌群	観測圃名	所在地
灰色低地土	入善	下新川郡入善町入善 250
	黒部	黒部市中村 5517
	立山	中新川郡立山町本郷島 7
	富山南部	富山市布市 254
	婦中	婦負郡婦中町下吉川 627
	高岡	高岡市三ヶ 98
	砺波	砺波市西中 448
	小矢部	小矢部市福上 198
グライ土	富山北部	富山市浜黒崎
	小杉	射水郡小杉町白石 417
	福岡	西砺波郡福岡町下向田
	氷見	氷見市加納 406
黄色土	大沢野	上新川郡大沢野町万願寺
	八尾	婦負郡八尾町窪 15
	井波	東砺波郡井波町高瀬 433
黒ボク土	魚津	魚津市大海寺野 382
	上市	中新川郡上市町広野 551
	福光	西砺波郡福光町竹内 388

富山県農業水産部普及指導課⁷⁾。

2) 土壌窒素無機化量および粘土鉱物組成, 全炭素含量等から求めた指数

土壌窒素の無機化量は, 第 3 表に示すとおりである。



第 1 図 生育観測圃の設置場所と土壌条件
○, 灰色低地土; ◎, グライ土; ⊙, 黄色土; ⊗, 黒ボク土。

生土の 30°C, 10 週間インキュベーション処理では, 灰色低地土の場合, 入善が 2.88 mg/100g とかなり低かったほかは, 4~6 mg/100g の範囲にあり, グライ土では福岡が 8.69 mg/100g と高かったほかは灰色低地土よりやや高い程度であった。黄色土では大沢野が 8.86 mg/100g と高かったが, 八尾と井波はそれほど高い値を示さなかった。黒ボク土の無機化量は 5~7 mg/100g の範

第 2 表 供試土壌の理化学性

土壌群	観測圃	粒 径 組 成 (%)				土性	pH	CEC (meq/100g)	T-C (%)	リン酸 吸収係数
		粗砂	細砂	シルト	粘土					
灰色低地土	入善	26.2	49.1	15.9	8.8	SL	6.2	6.0	1.55	313
	黒部	27.0	38.2	22.5	12.3	SL	6.4	8.4	1.75	565
	立山	29.1	44.8	18.7	7.4	SL	6.0	8.4	2.22	617
	富山南	14.5	40.8	31.2	13.5	L	6.0	9.7	2.02	739
	婦中	37.9	42.4	10.7	9.0	SL	5.8	12.9	1.77	591
	高岡	16.8	30.0	36.4	16.8	CL	6.4	11.2	2.45	600
	砺波	14.0	33.8	32.3	19.9	CL	6.1	10.4	1.66	635
	小矢部	22.9	32.4	30.1	14.6	L	6.2	13.6	2.38	722
グライ土	富山北	21.4	29.2	32.8	16.6	CL	5.6	14.0	4.14	1,017
	小杉	4.0	41.6	29.6	24.8	CL	6.4	13.1	4.02	1,043
	福岡	6.3	39.8	27.1	26.8	LiC	6.3	21.6	2.37	1,122
	氷見	25.7	38.1	17.5	18.7	SCL	6.4	13.0	2.47	661
黄色土	大沢野	4.8	20.6	38.8	35.8	LiC	6.0	23.5	3.15	1,826
	八尾	31.7	24.1	15.6	27.6	SC	6.3	39.2	1.49	1,391
	井波	6.1	21.5	44.8	27.6	LiC	5.9	22.6	2.67	1,304
黒ボク土	魚津	5.5	18.6	48.5	27.4	SiC	6.2	27.3	6.97	1,844
	上市	14.7	23.3	38.4	23.6	CL	6.2	18.8	4.93	1,565
	福光	15.4	20.4	35.9	30.3	LiC	6.5	24.7	4.27	1,287

第3表 土壌中窒素の無機化量および土壌の粘土鉱物組成，全炭素等から計算した指数

土壌群	観測圃	窒素無機化量 (mg/100 g)		粘土鉱物組成からの指数	
		生土 30°C, 10週間	風乾土 30°C, 4週間	(Mt+Vt)×粘土含量	(Mt+Vt)×粘土含量×T-C
灰色低地土	入善	2.88	8.69	2.38	3.68
	黒部	4.31	10.78	3.57	6.24
	立山	4.52	13.16	3.40	7.56
	富山南	5.24	15.66	5.67	11.45
	婦中	5.07	14.84	4.95	8.76
	高岡	4.77	18.17	9.41	23.05
	砺波	5.41	17.74	5.37	8.92
	小矢部	5.38	19.87	7.88	18.76
	農枝セ	4.37	12.06	4.51	8.71
グライ土	富山北	5.90	20.93	6.14	25.43
	小杉	5.80	22.57	8.93	35.89
	福岡	8.69	19.13	21.17	50.18
	氷見	4.94	17.35	11.97	29.56
黄色土	大沢野	8.86	20.84	12.89	40.60
	八尾	5.35	15.54	16.28	24.26
	井波	6.24	20.86	17.39	46.43
黒ボク土	魚津	5.26	20.71	4.66	32.33
	上市	6.04	18.19	5.43	26.76
	福光	6.99	24.30	13.64	58.22

圃にあった。

風乾土の30°C, 4週間インキュベーション処理に伴う土壌窒素無機化量は最も少なかった入善の8.69 mg/100 gをはじめとして乾田状態にある灰色低地土で低い傾向がみられた。これに対してグライ土, 黄色土, 黒ボク土では八尾を除いてかなり高い値を示した。また生土の30°C, 10週間インキュベーション処理による無機化量と風乾土の無機化量との間には $r=0.698(n=19)$ と0.1%水準で有意な正の相関関係が認められた。

粘土フラクション中における膨張性2:1型鉱物であるモンモリロナイトとパーミキュライトの含量の和(Mt+Vt)に, 粘土含量を乗じた値, (Mt+Vt)×(粘土含量)は, 第3表の右側に示すとおりである。なお, この値は土壌中における膨張性2:1型鉱物の絶対含量と考えられる。灰色低地土は(Mt+Vt)ならびに粘土含量とも低いいため指数は10以下と低かった。特に入善, 黒部, 立山, 農枝セで低い値を示した。黄色土は粘土含量が高いため指数が高くなった。黒ボク土は粘土含量は高いが(Mt+Vt)の値がそれほど高くないため指数も大きくなかった。グライ土では圃場間差が大きく, 福岡では供試土壌中の最高の21.17であったが, 他の3圃場はそれほど高い値を示さなかった。

(Mt+Vt)に粘土含量とT-Cを乗じた値, (Mt+Vt)×(粘土含量)×(T-C)についてみると, 灰色低地土は

T-Cの値も低い傾向にあるため指数も高岡, 小矢部で20前後の値になった以外は11以下であった。グライ土は(Mt+Vt)の低い土壌でT-Cが高い傾向にあるため指数は全体に高かった。黄色土は八尾でT-Cが低いため指数は24となったが, 大沢野, 井波では40~46と高い値を示した。黒ボク土はT-Cが高いため指数も26~58と高い値になった。

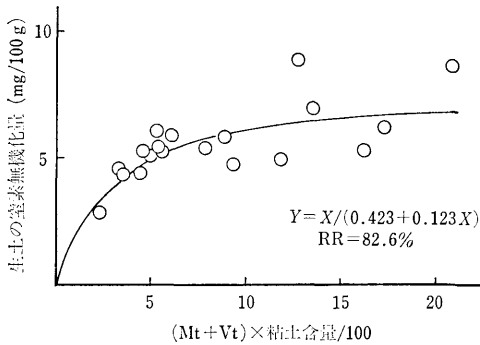
3) 有機態窒素無機化量と粘土鉱物組成, 全炭素含量等から求めた指数との関係

各土壌の粘土含量および粘土フラクション中の鉱物組成と有機態窒素無機化量との関係を河内・鈴木⁵⁾によるプログラムの単回帰式にあてはめると, 第4表に示すとおりである。無機化量と粘土含量の間には, $Y=X/(a+b \cdot X)$ の式にあてはめた場合, 生土で0.828, 風乾土で0.857の相関関係があり窒素無機化量が粘土含量にかなり影響を受けていると推察され, (Mt+Vt)に粘土含量を乗じた値は, 生土, 風乾土いずれの窒素無機化量ともさらに高い正の相関関係が認められた。一方, $Y=a+b \cdot X$ の直線回帰式にあてはめた場合には, 無機化量と粘土含量の間には, 生土で0.783, 風乾土で0.749であったが, 無機化量と(Mt+Vt)に粘土含量を乗じた値では, 生土で0.709, 風乾土で0.516と低い係数を示した。(Mt+Vt)に粘土含量とT-Cを乗じた値とは, 比較的高い相関関係がみられたが, $Y=X/(a+$

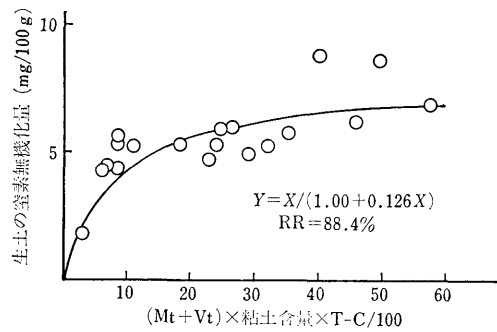
第 4 表 粘土鉱物組成からの指数および化学的性質と有機態窒素無機化量の相関係数 (R)

Y	有機態窒素無機化量 (NH ₄ -N mg/100 g)				
	単回帰式	Y = a + b · X		Y' = X / (a + b · X)	
		生 土	風 乾 土	生 土	風 乾 土
粘 土 含 量	0.783	0.749	0.828	0.857	
(Mt+Vt)×粘 土 含 量	0.709	0.516	0.909	0.948	
(Mt+Vt)×粘 土 含 量×T-C	0.785	0.821	0.940	0.977	
(Mt+Vt)×粘土含量+腐植含量*	0.776	0.739	0.837	0.882	
CEC	0.534	0.501	0.910	0.911	
T-C	0.285	0.622	0.908	0.871	

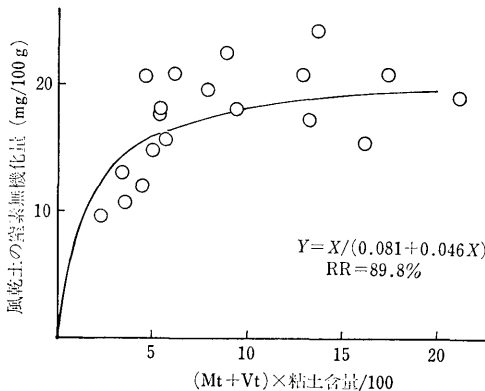
* T-C に係数 1.724 を乗じて腐植含量とする。



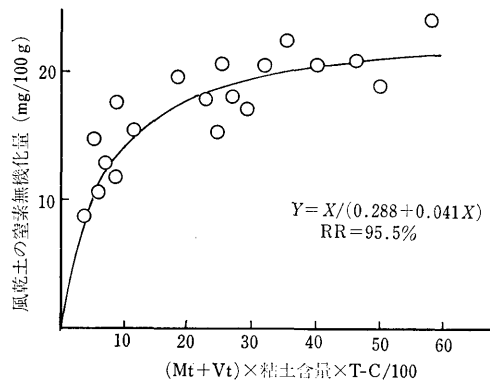
第 2 図 生土の窒素無機化量と粘土鉱物組成からの指数との関係 (RR は式の寄与率)



第 4 図 生土の窒素無機化量と粘土鉱物組成および全炭素との関係



第 3 図 風乾土の窒素無機化量と粘土鉱物組成からの指数との関係



第 5 図 風乾土の窒素無機化量と粘土鉱物組成および全炭素との関係

b · X) にあてはめた場合ほどは高くなかった。したがって、各指数 (X) が増加するにつれ窒素無機化量 (Y) の増加は緩慢になっているため直線回帰式より $Y = X / (a + b \cdot X)$ の式により適合していた。

以上の結果から、窒素無機化量 (Y) と (Mt+Vt) に粘土含量を乗じた値 (X) との関係は、生土では第 2 図のとおりで $Y = X / (0.423 + 0.123X)$, $r = 0.909^{***}$, 風乾土は第 3 図に示すように $Y = X / (0.081 + 0.046X)$,

$r = 0.948^{***}$ の関係となった。

(Mt+Vt) に粘土含量と T-C を乗じた値 (X) は窒素無機化量 (Y) とさらに高い相関関係があり、生土では第 4 図に示すように $Y = X / (1.00 + 0.126X)$, $r = 0.940^{***}$, 風乾土では第 5 図のとおりで $Y = X / (0.288 + 0.041X)$, $r = 0.977^{***}$ であった。T-C は第 4 表に示すように、係数 1.724 を乗じて腐植含量とした値を膨張性 2:1 型鉱物の絶対含量に加えた値 (X) と窒素無機化

量(Y)との相関関係はそれほど高くはならず窒素の無機化に対し相加的より相乗的な作用をしていると推察されたが、これについては今後の検討が必要である。風乾土の無機化量は、いずれの予測式も生土より高い相関関係があった。黒ボク土では粘土含量や T-C は高いが (Mt + Vt) が低いため無機化量も低い結果になった。黄色土の八尾、グライ土の氷見では T-C が低いため無機化量も低い傾向にあった。灰色低地土は全体に指数は低いが特に、入善、黒部、立山、農技セでは、粘土含量が無機化量を下げた原因と推察された。

土壌中窒素の無機化量は吉野・出井⁹⁾によって全窒素、陽イオン交換容量、交換性石灰、遊離鉄等を説明変数として ($r=0.933$, $n=18$) の重回帰式が求められている。しかし粘土鉱物種が無機化量に影響を及ぼしていると述べられてはきたが、含量と無機化量との関係を数量的に明らかにしたものは極めて少なかった。本研究においてはモンモリロナイトとパーミキュライト等の膨張性 2:1 型鉱物の含量がその土壌の無機化量と高い正の相関関係にあり精度の高い予測式が得られた。これはモンモリロナイトおよびパーミキュライトの含量の高い土壌では陽イオンだけでなく、無機態窒素に変わり得る易分解性窒素有機物をも吸着、集積することによるためと推察された。

粘土鉱物種の定量には多大の労力と経費を要するが、県下の地域的な傾向も把握できたので、土壌調査の結果等から無機化量を推定し施肥量決定の目安になると結論づけられた。

4. 要 約

富山県内 18 個所の水稲生育観測圃場と農業技術センター圃場の粘土鉱物組成と、供試土の理化学的性質および窒素の無機化量との関係を検討し以下の結果を得た。

有機態窒素の無機化量は粘土含量にかなり影響を受けているが、粘土フラクション中のモンモリロナイトとパーミキュライトの含量の合計に粘土含量を乗じた値(X)は、生土、風乾土、いずれにおける窒素無機化量(Y)と

も以下のような高い正の相関関係が認められた：

$$\text{生 土} : Y = X / (0.423 + 0.123X) \quad r = 0.909^{***}$$

$$\text{風乾土} : Y = X / (0.081 + 0.046X) \quad r = 0.948^{***}$$

さらに、窒素無機化量 (Y) と粘土フラクション中のモンモリロナイトとパーミキュライトの合計含量に粘土含量と全炭素を乗じた値 (X) との間には、より高い正の相関関係が成立していた：

$$\text{生 土} : Y = X / (1.00 + 0.126X) \quad r = 0.940^{***}$$

$$\text{風乾土} : Y = X / (0.288 + 0.041X) \quad r = 0.977^{***}$$

モンモリロナイトおよびパーミキュライト等膨張性 2:1 型鉱物の存在は、水田土壌中で有機態窒素の無機化を促進していると推定された。一方、水田土壌中の有機物の存在は無機化に対して相乗的な作用をしていると考えられた。

謝 辞 本研究を遂行するにあたり、著者らは富山県農業技術センターの新村善男企画管理部長、岡山清司主任研究員から常に有益なご助言と激励を受けたことに深く感謝する次第である。

文 献

- 1) 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，9，167～185 (1959)
- 2) 甲斐秀昭：水田土壌中における窒素の形態変化と有効性，水田土壌学，川口桂三郎編，p. 229～243，講談社，東京 (1978)
- 3) 北川靖夫・廣川智子：富山県水稲生育観測圃土壌中の粘土鉱物組成，富山農技セ研報，1，24～27 (1987)
- 4) 蔵本正義・小菅伸郎・高橋和司：土壌養分分析法，p. 34～38，養賢堂，東京 (1970)
- 5) 農林水産省農業技術研究所：土壌肥料試験研究のための統計計算用 BASIC プログラム，p. 12～22 (1983)
- 6) 関谷宏三：土壌養分分析法，p. 251～253，養賢堂，東京 (1970)
- 7) 富山県農業水産部：生育観測ほ・新技術確認は成績書，p. 2 (1986)
- 8) 山根一郎：土壌学の基礎と応用，p. 30～31，農文協，東京 (1960)
- 9) 吉野 喬・出井喜光：土壌窒素供給力の有効積算温度による推定法について，農事試験場研究報告，第 25 号，1～62 (1977)

Effect of Clay Composition on Mineralization of Organic Nitrogen in Paddy Soils

Tomoko HIROKAWA and Yasuo KITAGAWA

(Toyama Agric. Res. Cent.)

It is important to estimate the mineralization of organic nitrogen from the paddy soils for establishing the method of fertilizer application. In this study, the relation between the clay mineralogy and nitrogen mineralized from the soils was discussed by using eighteen of the growth observation fields for rice plant in Toyama Prefecture and one field of Toyama Agricultural Research Center. The soils of these fields are nine Gray lowland soils, four Gley soils, three Yellow soils, and three Andosols. Results are summarized as follows:

The indices (X_1) that the clay contents in the soils multiply by the sum of montmorillonite and vermiculite contents in clay fraction were high correlative with the amounts of nitrogen mineralized either by the incubation of wet soils at 30°C for 10 weeks (Y_1) or by the incubation of air-dried soils at 30°C for 4 weeks (Y_2):

$$\begin{aligned} \text{Wet soil: } Y_1 &= X_1 / (0.423 + 0.123X_1) & r &= 0.909^{***} \\ \text{Air-dried soil: } Y_2 &= X_1 / (0.081 + 0.047X_1) & r &= 0.948^{***} \end{aligned}$$

Higher correlation was established between the indices (X_2) that multiply total carbon by the previous indexes, and the amounts of nitrogen mineralized from wet soils (Y_1) and air-dried ones (Y_2):

$$\begin{aligned} \text{Wet soil: } Y_1 &= X_2 / (1.00 + 0.126X_2) & r &= 0.940^{***} \\ \text{Air-dried soil: } Y_2 &= X_2 / (0.288 + 0.041X_2) & r &= 0.977^{***} \end{aligned}$$

From the contents of clay fraction, the clay mineral composition and total carbon in the soils, the mineralization of organic nitrogen could be assessed with high precision.

Key words fertility of paddy soil, clay mineralogy, mineralization of soil nitrogen

(Jpn. J. Soil Sci. Plant Nutr., 59, 41-46, 1988)