

熱帯の稲作における土壌肥沃度をめぐる諸問題

誌名	農林水産技術研究ジャーナル
ISSN	03879240
著者	本村, 悟
巻/号	15巻1号
掲載ページ	p. 32-37
発行年月	1992年1月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council
Secretariat



熱帯の稲作における土壌肥沃度をめぐる諸問題

本村 悟

熱帯地域においては、作物の生育は土壌の立地条件およびその理化学的性質に支配される度合いが極めて大きい。そして土壌の理化学的性質はその生成過程と密接に関係している。湛水状態と畑状態では土壌条件が著しく異なるので、水稲と陸稲では土壌肥沃度について全く異なった問題が発生するが、本稿では、主として東南アジアにおける水稲栽培を対象にして、稲作に利用されている土壌の種類と生成学的特徴、湛水下における土壌養分の動態、要素の欠乏と過剰に由来する生理障害、熱帯水田土壌の肥培管理の具体的例について述べる。

1. はじめに

稲は世界各地で栽培されているが、熱帯アジアは稲の発祥の地で、稲作が農業の主体をなしており、米の生産量も多い。稲は水稲と陸稲に分けられるが、水稲の生産性は陸稲よりも遙かに高く、モンスーンアジアの稲作地帯では高い人口扶養力を擁している。

水稲栽培には、作付期間中の灌漑・湛水と作物収穫後の落水による土壌の乾燥とが長年月にわたって交互に繰り返されている。この影響は土壌の断面形態や物理・化学的諸性質、土壌中の養分の動態、微生物フローラなど土壌肥沃度に関与する諸要因に鋭く反映され、いろいろな問題を提起している。

2. 熱帯水田土壌の種類と生成学的特徴

水稲は湛水下で栽培されるので、稲の栽培には低地に分布するデルタや沖積平野の土壌が主として利用されている。しかしながら、段丘や丘陵地あるいは傾斜地でさえも、灌漑水、天水をとわず、水が利用できる場所では、土壌の種類に係わりなく栽培されている。

熱帯アジア地域において、稲栽培に利用されている土壌は、Dudal・Moormann¹⁾やIRRIで刊行されているSoils and Rice²⁾によると表1のように要約される。

(1) 沖積土壌

沖積土壌は河川による沖積平野、デルタあるいは海岸平野および谷底平野などの低地に分布している。地質学的な堆積年代は新しく、土壌としては十分に熟成しておらず、土層の分化も未発達で、母材の性質がそのまま土壌の性質を規定している場合が多い。

表 1 熱帯アジアにおいて稲作に利用されている土壌

大 土 壤 群	Soil Taxonomy
低地に分布する土壌 (大部分)	
沖積土壌	Tropaquents (Entisols) Tropaquepts (Inceptisols)
酸性硫酸塩土壌	Sulfic tropaquents (Entisols) Thionic tropaquepts (Inceptisols)
泥炭土壌	Histisols
低位段丘に分布する土壌 (一部)	
低腐植質土壌	Tropaqualfs (Alfisol)
台地・丘陵に分布する土壌 (極一部)	
レゴソル	Psamments (Entisols)
アンドソル	Andepts (Inceptisols)
ラトソル	Oxisols
赤褐色土	Alfisol
赤黄色ポドソル性土壌	Ultisols
ゲルムソル	Vertisols

沖積土壌は堆積条件によって、海成沖積土壌、汽水性沖積土壌(酸性硫酸塩土壌)、河川沖積土壌などに細分される。その性状は堆積環境や微地形などの相違によって異なるが、一般に粘土含量は比較的高く、肥沃度はその生成条件からみて周辺地域や堆積物の給源地域の土壌に比べると高い。

(2) 酸性硫酸塩土壌

堆積土壌の中で汽水条件の下で堆積したもので、干陸後の熟成過程で、泥土中に含まれている硫化物(主としてパイライト)が排水とそれに続く酸化によって、硫酸と塩基性硫酸第2鉄塩となって、強酸性を呈する。本土壌は低pH、低リン酸、低珪酸、高Fe²⁺、高塩類濃度など水稻の生育に対していろいろな阻害要因を内包しているが³⁾、熱帯アジアの沖積地で、開発可能地の多くが酸性硫酸塩土壌である。

(3) 低腐植質グライ土壌

段丘の低位・中位面に主として分布する。通常、粘土の移動が若干認められ、表層に比べて下層の粘土含量が高い。土壌反応は酸性の場合が多く、理化学的な性質は母材の影響を強く受けているが、有機物含量が少なく、粘土鉱物はカオリナイトを主体とし、塩基飽和度も低い。肥沃度は沖積土壌よりもかなり劣る。

(4) 泥炭土壌

マングローブや湿地林が発達する沿岸部では、これらの植物遺体が塩水で堆積して泥炭地となっている。泥炭地は現在までほとんど未利用であったが、将来の開発が予想される。農業的に利用するには排水が必須条件となるが、泥炭土壌は容積重が小さいために、排水・乾燥に伴う地盤沈下が大きな問題である。また、銅や亜鉛などを含めた各種養分の欠乏が起こりやすい。

表 2 アジア諸国の河川の平均水質⁵⁾

国 別	河川数	Ca	Mg	Na	K	CO ₂	SO ₄	Cl	NH ₄ +NO ₃	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	PO ₄	計
日本	225	8.8	1.9	6.7	1.2	15.2	10.6	5.8	0.31	19.0	0.34	0.02	71
台湾	6	44.4	12.4	14.0	1.8	72.7	59.5	6.4	0.11	10.0	0.01	-	221
フィリピン	8	30.9	6.6	10.4	1.7	64.4	13.6	3.9	0.02	30.4	0.00	-	162
カンボジア	5	10.1	2.3	3.8	1.4	23.5	2.7	1.7	0.03	15.1	0.03	-	61
タイ	30	19.8	3.7	10.7	2.5	40.7	3.3	12.7	0.35	16.0	0.06	-	110
マレーシア	7	4.3	1.5	3.8	2.0	7.9	16.1	3.2	0.06	13.0	0.21	-	52
インドネシア(ジャワ)	22	46.8	7.6	20.4	3.8	-	-	-	-	29.8	-	-	-
ミャンマー	17	23.6	9.5	13.4	3.0	66.3	7.2	7.9	0.12	15.3	0.02	-	146
インド	15	28.7	10.1	23.5	2.9	80.8	12.7	13.9	0.53	17.6	0.06	-	191
パキスタン	7	33.8	5.1	5.8	3.0	57.8	17.2	2.9	0.18	8.1	0.01	-	134
スリランカ	7	6.9	2.1	3.7	1.4	18.6	0.8	2.9	0.07	13.1	0.01	-	50
世界平均	-	15	4.1	6.3	2.3	28.3	11.2	7.8	1	13.1	0.96	-	90

また、開発当初においては、有機物が速やかに分解して大量の窒素が可給化し、稲はしばしば窒素過多になり、カリや可給態珪酸の不足と相まって、いもち病が大発生することがある⁴⁾。

(5) その他の土壌

稲が栽培されている台地、段丘、丘陵地や山地の土壌はラトソル、赤褐色土、赤黄色ポドソル性土壌、レゴソル、グルムソル、アンドソルなどである。これらの土壌は各種の養分が欠乏しており肥沃度は低い。

3. 熱帯水田における土壌養分の動態

水田は、物質が集積する条件にあって、同一母材の畑地に比べて一般に肥沃である。また、水稻は湛水で栽培されるので、灌漑水からの養分の供給、土壌の還元に伴う養分の可給化が促進される一方、鉄過剰や硫化水素による障害がしばしば問題になる。

(1) 河川からの養分の供給

水稻一作の用水量を1,000mmとすれば、灌漑水中の溶存元素1 ppmは、ha当たり10 kgの養分に相当する。表2にアジア諸国の河川の平均水質⁵⁾を示したが、東南アジアでは、カリ、石灰、苦土、珪酸などは灌漑水からの供給量が大きい。また、シルトなどの浮遊物も多く、水田に対して流水客土的な効果を果たし、水田の若返りに役立っている。

(2) 土壌中の窒素代謝

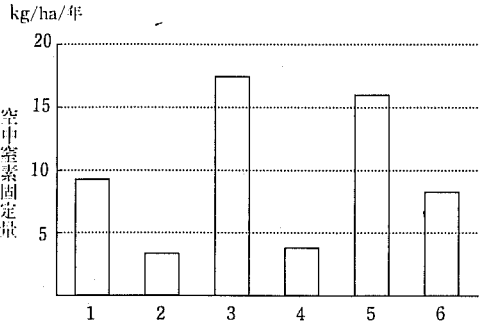
可給態窒素量が稲の生産量を支配するケースが多い。水稻が吸収する窒素の大部分は土壌窒素に由来しているが、表3⁶⁾に示したように、熱帯水田土壌の全窒素含量および湛水で生成されるアンモニアは泥炭など有機質土壌の多い地域を除いて低い。土壌窒素は水稻生育前半に無機化される場合が多く、基肥を控えて追肥に重点をおくのが合理的と考えられている⁷⁾。

湛水条件下では、①窒素ガスあるいはアンモニアガスとしての揮散、②灌漑水・浸透水による流亡、③微生物の同化による有機化などによ

表3 熱帯アジア水田土壌の窒素含量⁶⁾

国 別	試料数	全窒素含量(%)	アンモニア生成量 (mg/100g)
バングラデシュ	53	0.13	6.1 ± 4.8
ミャンマー	50	0.10	2.0 ± 1.6
カンボジア	16	0.10	4.0 ± 2.2
インド	73	0.08	2.7 ± 1.4
インドネシア	44	0.12	14.1 ± 8.7
マレーシア、西	41	0.28	14.9 ± 9.9
フィリピン	54	0.15	17.2 ± 15.7
スリランカ	33	0.13	8.4 ± 6.2
タイ	80	0.09	5.2 ± 3.2
熱帯アジア	410	0.13	8.5 ± 9.3
日本	84	0.29	17.5 ± 7.1

って施肥窒素は失われる。窒素ガスとしての揮散、いわゆる脱窒量は温帯よりも多い可能性があるが、地域性を論じるほどデータの集積はまだない。アンモニアガスとしての揮散は高pHの土壌で、高温で助長される。微生物によって有機化された窒素は再び無機化されて作物に利用される。施肥量の少ない熱帯地域の水田では、微生物による空中窒素の固定作用が窒素地力の重要な要因となっている。アセチレン還元法から推定された空中窒素固定量をタイ国の主要な水田土壌について纏めたのが図1である⁸⁾。これらの値は、アメリカ、フィリピンあるいはインドで得られた値よりも著しく低い。その理由として、土壌が強酸性であり、有効態リン酸含量および易分解性有機物に乏しいためである。最近ではアゾラを利用した空中窒素固定による土壌窒素の富化についての研究がIRRIを中心に進められ⁹⁾、実用化されつつある。



1: 海成沖積土壌 2: 酸性硫酸塩土壌 3: 河川沖積土壌
4: 低腐植質グライ土壌 5: 腐植質グライ土壌 6: グルムソル

図1 タイ国水田土壌の空中窒素固定量の推定値 (松くら⁸⁾のデータから作図)

(3) 土壌中におけるリン酸の挙動

水稻に対するリン酸の肥効は畑作物に比べて一般に低い。これは湛水下で土壌リン酸の溶解度が高まり、水稻に吸収されやすくなるからである¹⁰⁾。しかしながら、熱帯水田では、表 4⁴⁾

表 4 熱帯アジア水田土壌のリン酸含量⁶⁾
(P_2O_5 mg/100g)

国 別	試料数	全リン酸			b/a (%)
		(a)	有効態リン酸 Bray 法	0.2 N HCl (b)	
バングラデシュ	53	84.1	3.8	21.0	25.0
ミャンマー	50	58.2	1.0	7.8	13.4
カンボジア	16	44.3	0.6	1.9	4.3
インド	73	92.0	8.1	21.9	23.8
インドネシア	44	133.7	2.4	10.0	7.5
マレーシア, 東	36	101.5	1.1	5.0	4.9
マレーシア, 西	41	80.3	3.7	8.2	10.2
フィリピン	54	113.6	3.7	13.4	11.8
スリランカ	33	72.5	1.4	9.0	12.4
タイ	80	44.2	1.4	4.7	10.6
ベトナム	49	76.4	1.2	5.1	6.7
熱帯アジア	410	83.7	3.8	12.9	15.4
日 本	84	220.4	12.9	46.5	21.1

に示したように、土壌中のリン酸含量は、絶対量が不足している場合が多く、水稻はリン酸欠乏を示す。最近、リン酸欠乏抵抗性の品種が育成されつつあるが¹¹⁾、この品種は可給度の低い土壌中のリン酸を吸収することができる。しかしながら、この品種で栽培を続けると土壌中のリン酸含量はますます少なくなることには注意しなければならない。

台地や丘陵地に分布するラトソルや赤黄色ポドソル性土壌など、熱帯酸性赤色土を開田した場合、鉄過剰に基づくリン酸欠乏が発生することがある。この場合、開田初年目に100kg P_2O_5 /ha程度を施用することが必要であると指摘されている¹²⁾。

(4) カリおよびその他の塩基

熱帯諸地域では、風化にともなう鉱物からの溶出、灌漑水からの供給が多いために、泥炭土壌や砂質の老朽化水田を除けば、カリの肥効は小さい。しかしながら、将来窒素やリン酸の施用量が増加してくれば、カリ肥料の施用も必要になってくると思われる。

石灰や苦土などの塩基類も極端に pH の低い土壌や砂岩を母材として風化の良く進んだ土壌

を除いて、水稻の生育に十分な量が存在している。

4. 水稻の栄養障害

熱帯では母材の風化・溶脱が進み、微量元素欠乏土壌が多く、水稻は微量元素欠乏症を呈するが、微量元素の可給化は土壌 pH に左右され、高 pH では可給度は低下しやすい。例えば、pH の高い水田では、土壌溶液中の HCO_3^- 、 Ca^{2+} の濃度が高まり、亜鉛欠乏やカリ欠乏を招くことがある¹³⁾。

排水が不良で、還元に対して緩衝能の小さい土壌の水田、酸性土壌からの伏流水が湧出する水田、pH が極端に低い酸性硫酸塩土壌の水田では、鉄過剰が発生し、カリ不足が鉄過剰を助長する場合がある¹⁴⁾。

その他、各種養分の欠乏や養分吸収の不均衡に基づく各種の栄養障害が発生するが、アジア地域にみられる水稻の栄養障害については、Tanaka and Yoshida の報告書¹⁵⁾ に詳しい。

5. 肥培管理

熱帯水田土壌の肥培管理の具体的例について 2, 3 紹介する。

(1) タイ国における化学肥料および堆肥の連用試験¹⁶⁾

ランシット(酸性硫酸塩土壌)、スーリン(砂質の河川沖積土壌)およびピサヌロックの稲作試験地(中粒質の河川沖積土壌)において化学肥料および堆肥の連用がもみ収量(品種: RD 7)に及ぼす効果について1976~1981年の6年間にわたる圃場試験の結果を図2に示した。これによると、ランシット試験地では施肥効果は毎年高かったが、強酸性のために堆肥の効果は他の稲作試験地に比べるとやや小さい。砂質のスーリンでは施肥効果は小さいが、堆肥の施用効果は3年目から顕著に現れている。中粒質のピサヌロックにおいては施肥効果は初年度から著しく

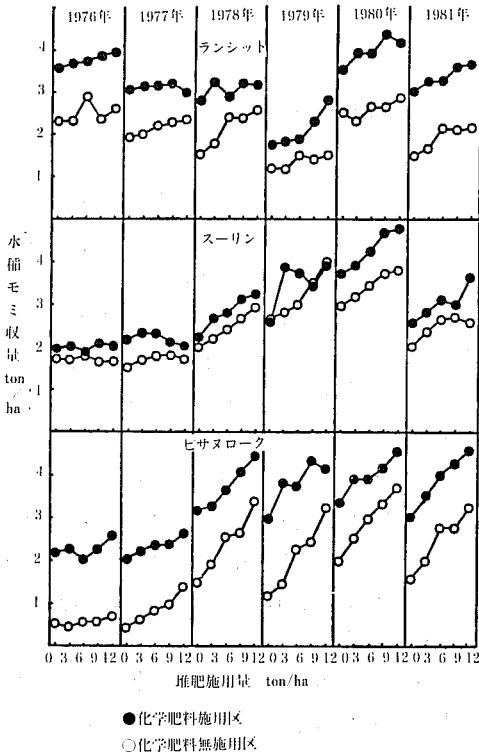


図2 もみ収量に対する化学肥料および堆肥の運用効果¹⁶⁾

高く、堆肥の施用効果は2年目から現れ、年次に伴い増大している。堆肥の効果が施用年次初期に現れず、数年たつて現れることは、地力窒素の増加に一因があると推定される。図3に化学肥料区、堆肥・肥料区における移植期、収穫期の作土表層部、次表層部および下層部のアンモニア生成量を示した。アンモニア生成量は堆肥施用効果の高いスーリンおよびピサヌロークで高く、施用効果の低いランシットで低く、前述の圃場試験の結果を裏付けている。

(2) Azollaの肥効試験¹⁷⁾

熱帯稲作で最近とくに注目されているのが水田緑肥としてのAzollaの施用効果である。Azollaは空中窒素を固定し、乾物で4~5%の窒素を含有している。Azollaは短期間に水田内で繁殖し、その場で鋤込むことが可能で、含有窒素量の60~70%はアンモニアとして放出されるので、肥料の乏しい熱帯地域では有用な窒

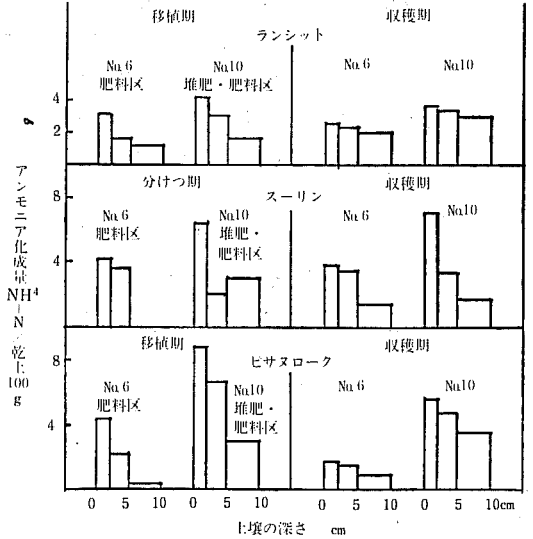


図3 稲作期間におけるアンモニア生成量¹⁶⁾

素源となる。Azollaの水稲に対する肥効試験の一例を表5に示した。Azolla単独でも水稲

表5 Azollaの水稲に対する肥効試験の結果¹⁷⁾

処理No	処理内容	平均収量 (t/ha)	指数
1	無窒素	3.00	100
2	30kg N/haを尿素または硫酸で、3回分施	3.65	121
3	60kg N/haを尿素または硫酸で、3回分施	4.24	141
4	Azolla, 移植前混入	3.73	124
5	Azolla, 移植後混入	3.67	122
6	Azolla, 混入せず、移植後接種	3.61	120
7	2+4	4.15	138
8	2+5	4.07	135
9	Azollaを移植の前後に混入	4.09	136

30カ所の試験結果平均。

移植前後の混入や接種によって無窒素に比べて20%前後の増収となり、窒素の半分を化学肥料で補えば50%を超す増収も容易と思われる。しかし、培養管理が容易ではなく、鋤込みに多くの労力を必要とし、また、窒素固定にはある濃度のリン酸を必要とすることから農家への普及は容易ではない。

(3) 酸性硫酸塩土壌に対する石灰施用の効果¹⁸⁾

タイ国クロン・ルワン稲作試験地(酸性硫酸塩土壌)における圃場試験の一例を表6に示した。無リン酸区では、窒素、カリ、石灰の施用にも拘らず、もみの収量(品種: RD1)は著し

表6 もみ収量に対する石灰施用の効果¹⁸⁾

施肥 (kg/ha)		石灰施用量 (t/ha)		
P ₂ O ₅	N	0	2.5	5.0
0	0	641	815	819
	37.5	562	663	1,168
	75	779	1,049	1,265
56.25	0	1,246	2,187	2,607
	37.5	3,109	2,981	3,693
	75	4,343	4,124	4,285

く低く、著しいリン酸欠乏土壌であることを如実に示している。石灰の施用によってもみ収量は増加しているが、窒素肥料の施用量が増加するに従ってその施用効果は低減している。水稲増収に対する石灰の施用効果は主として土壌窒素の無機化にあると考えられる。

6. おわりに

最近、持続的な農業生産への関心が高まり、FAOや国際研究機関を中心に、今後の世界人口の増大に対処した食糧生産戦略についての討議が進められる中で、持続的な農業を達成するために最も重要な資源は、作物の生育にとって不可欠な養分と水分を貯えている土壌であると指摘されている。過去20~30年間に地域によっては農業生産は著しく増大したが、これは伝統的な農法を無視し、集約化することによって得られ、土壌養分の劣化、土壌侵食、塩類集積、冠水、滞水層の汚染などの土壌環境の著しい悪化をもたらしている。将来にわたって、持続的に農業生産を維持するには、土壌のもつ物質循環機能を十分に発揮できる生産システムを構築することが必要である。米の需要は、現在世界的にみて過剰基調にあるとはいえ、稲作の持つ物質循環機能を活用した水田農業は持続性の高い農業生産システムで、一層の発展が望まれる。

((財)日本土壌協会 土壌部長)

引用文献

- 1) Dudal, R. and F.R. Moormann (1964) J. Trop. Geog. 18 : 54~80
- 2) IRRI (1977) Soils and Rice : pp. 3~177
- 3) 井上隆弘(1986)熱帯農研集報, No. 57 : 2~9
- 4) 志賀一一(1986)熱帯農研集報, No. 56 : 48~54
- 5) 川口桂三郎(1977)土壌学概論, 養賢堂(東京), p. 240
- 6) Kawaguchi, K. and K. Kyuma (1977) Paddy soils in tropical Asia, The University Press of Hawaii, Honolulu, 258p.
- 7) Koyama, T, et al. (1973) Tech. Bull. TARC, No. 3 : 1~79
- 8) Matuguchi, T. et al. (1973) JARQ, 8 : 253~256
- 9) 渡辺 巖(1982)土と微生物, No. 20 : 1~10
- 10) 瀧嶋康夫(1990)土壌管理技術, アジア・稲作技術指導マニュアル—基本編—全国農業改良普及協会 : p. 174~211
- 11) Dao The Nuan and Nguyen Hun Nghia (1982), IRRN, 7 : 12~13
- 12) Miyake, M. et al. (1984) Tech. Bull. TARC, No. 17 : 1~78
- 13) Yoshida, S. (1981) Fundamentals of rice crop science, IRRI : 269 p.
- 14) 田中 明(1987)農業および園芸 : 23~32
- 15) Tanaka, A. and S. Yoshida (1970), IRRI Tech. Bull. No. 10
- 16) 文部省特定研究「温・熱帯生物生産比較農学」成果編集委員会編(1983)熱帯・温帯水田の窒素循環, 温・熱帯の比較農学, 東京農業大学総合研究所 : p. 30~54
- 17) Watanabe, I. et al. (1977) IRRI Res. Paper Ser., 11 : 1~15
- 18) Motomura, S. (1973) The report of the joint-research work between Thailand and Japan : 253 p.