

長期無施肥水田土壌における二三の 植物養分の動態について

川村三郎 ・ 中島照夫*

On the Some Plant Nutrients Behavior in Many Years

Non-fertilized Paddy Soil

Saburo KAWAMURA and Teruo NAKAJIMA*

Synopsis

This report is concerned to the behavior of rice plant nutrients in soil of the paddy field which has not been manured since 1951. The rice yield of this non-fertilized field has been remarked keeping about 70% of that of ordinarily fertilized fields. Continuous irrigation is the particularity of the production practices in this field. The experimental results are summarized as follows.

- 1) The total nitrogen of the soil was determined as 130 mg N of mean value per 100 g soil. The diminishing tendency of total nitrogen of soil could not be observed accompanying with the investigation years. The total nitrogen values widely varied in the growing season of rice plant (38.8% variation coefficient), and were higher at inlet part and lower at the outlet of the paddy field.
- 2) Water soluble nitrogen of the soil were less than 0.6% of the total nitrogen, and almost of them were $\text{NH}_4\text{-N}$ form. One normal HCl solution soluble soil nitrogen content was mostly equal to that of the rice plants.
- 3) Everywhere in this field, water soluble phosphate of the soil was found at higher contents in early stage of rice plant growing, and lower in the late stage. One normal HCl solution soluble phosphate contents of the soil decreased rapidly at the early July.
- 4) Ammonium-nitrogen and phosphate contents of the irrigation water were 0.29 ppm and 0.09 ppm on averages, respectively. The contents of nutrients in the flooded water of this field decreased with distances from the inlet.
- 5) The above mentioned decreases of nutrients in the flooded water were remarkably at the gland period of rice growing, especially for Ca, $\text{NH}_4\text{-N}$ and P_2O_5 contents.
- 6) The released Ca concentration into deionized water was affected rather by the soil water ratio than by extraction time factor. Calcium adsorption of the soil differed from anions of calcium salts. Much higher calcium adsorption ratio of the soil were observed by three folded a concentration treatment to irrigation water.

* 農芸化学科, 土壌学研究室 (Lab. of Soil Sci., Dept. of Agricultural Chemistry, Kinki Univ., Higashiosaka, Osaka, 577, Japan)

I 緒 言

無施肥田においては、水稻の生育に必要な養分は灌がい水と土壤に依存するが、長期にわたるこのような栽培においては、これらの養分の由来、状態、行動などは土壤肥料学的にも興味の尽きない問題であろう。

そこで、本調査研究は、実際の稲作地域における灌がい用水の水質の実態と水稻栽培下において用水中の成分が土壤に及ぼす影響についての知見を深める目的で行なったもので、琵琶湖沖積地帯の一無施肥無農薬田を対象にしている。そして、いわゆる天然供給のみからなる水稻栽培での土壤と灌がい用水中の二三の植物養分の動態が検討されたものである。これらの結果が汚染防除対策あるいは施肥技術の参考になればと考え報告する。

II 対象水田と方法

調査の対象としたのは、滋賀県栗東町辻の田中一枝氏の耕作するもので、面積9aと6aの2筆が隣接して、昭和26年より完全な無施肥無農薬農法を実施している水田（以下無施肥田と略す）である。生産した稲ワラもすべて搬出し、冬期間に生育するわずかの雑草と稲株が毎年すき込まれ、いわゆる自然農法で今日に至っている。品種は例年紅旭（長稈・晩生種）で、保温折衷苗代で育苗された苗を用い、手植されている。除草は田打車で3～4回と手取りで1回行なっている。また、本水田では中干しは行なわず、灌がい用水が十分に供給されている（例えば、昭和52年度では田植後から8月下旬までほとんど掛け流しの状態）。収量は、当初に天地返しを行なったため減じたが、以後増加し近辺の水田の約70%に安定していると言われている。

土壤試料の採取は、主として用水の上流位田（9aの水田で長谷川らのB田³⁾）で行ない、水口、水尻などの各採取地点についてそれぞれ直径1m以内で、深さ表層数cmまでの作土についてである。原土をそのまま使用する実験以外は土壤を日影で自然風乾し、2mm以下の細土とし、ガラスビンに保存した。さらに、調査対象とした施肥田（以下施肥田と略す）は上記の無施肥田の西側に隣接する水田で、その中央部に一地点（直径1m以内）を設定し、施肥田の土壤及び用水の試料として無施肥田の場合と同様に取り扱って実験に供した。

灌がい用水の採取は、設定された各地点で泥の懸濁を防ぐため、下流より上流の順で直接に採取ビン

で行なった。用水中の溶存成分の測定にあたっては、前もってろ紙によるろ別を行なった。ただし、用水の全窒素については、ろ別前の浮遊物を含めた状態で行った。

土壤及び用水の全窒素の測定はサリチル硫酸分解法⁴⁾で行ない、硝酸態窒素はフェノール硫酸法⁴⁾によった。また、アンモニア態窒素は酸化マグネシウムによるNH₃-N蒸留法⁵⁾で測定した。土壤及び用水中のリン酸の測定はDenigesの比色法⁵⁾で行なった。土壤の窒素及びリン酸の吸収係数の測定はリン酸ニアンモニウム法⁵⁾、土壤の有効態ケイ酸は1N-酢酸-酢酸ナトリウム緩衝液による浸出法⁴⁾によった。また、土壤及び用水中のCa, Mg, K, Naなどの塩基は原子吸光光度法によって測定した。処理操作または分析はすべて2連で行なった。

III 結果及び考察

無施肥田土壤と施肥田土壤の全窒素量は昭和50年度から53年度までについてはTable 1に示す通りである。

表1 各調査年度における土壤の全窒素含量

Table 1 Total nitrogen of the soil at the investigated years.

調査区 examine plots	年度 years	1975	1976	1977	1978
		無 施 肥 田	水口 inlet	160.5	140.0
non-fertilized paddy soil	中央 center	128.5	126.0	137.5	130.5
	水尻 outlet	148.5	124.0	113.8	122.0
施 肥 田	fertilized paddy soil	179.5	205.5	147.2	216.0

各試料の採取は7月初旬に行なった。単位：N mg/100g 土壤

These soils were sampled at the early in July.

Unit: Nmg per 100g soil.

無施肥水田の土壤中の全窒素量は、必ずしも低い値とは言えないし、また、年数の経過につれて順次に減少するとも限らない。さらに、一筆内の位置的な違いについては、各調査年ともに例外なく水口が最大値を示し、水尻部位がほとんど最低値を示した。

これら全窒素の給源は、灌がい用水中の有機あるいは無機態窒素の沈積あるいは土壤により吸着保持されたもの、微生物による固定、水稻根あるいは切株残査の窒素成分などが予想される。これらの値は、各年の気象条件や稲の生育条件にも左右さると思わ

れる。しかしながら当該する無施肥水田の7月初・中旬での全窒素は、100g土壌当り水口部で140~164mg N, 水尻部で114~149mg Nの範囲を推移している。

圃場内での位置の違いによる全窒素量のバラツキは灌がい水の流れの方向・速さあるいは各土壌表面の流量・水地温の違い、土壌の性質や微生物相の相違などによる不均一さを示すものと思われる。しかし、それにもかかわらず用水の上流部より下流部への明らかな減少傾向は、灌がい水中の成分の沈降現象に依存するところが大きいことを暗示する。

次に調査期間を通じほとんど掛け流しの状態であった昭和52年度の水稻の生育期間の各場所における土壌の全窒素量は Fig. 1 に示す通りである。無施肥

月初旬までは増加の一途を辿り、後に再度減少するという変動の激しさを示す。これに対して、無施肥田では7月下旬までいずれの位置においてもおおむね増加を示し、8月以後は減少を示すパターンであった。

土壌の全窒素量は水稻の生育にとってもポテンシャルティとして重要な意味を持つ^{6,7)}が、必ずしも直接的な可給態窒素の指標ではないと思われる。すなわち、水稻の生育初期においては、急激な有機態窒素の蓄積過程が進行し、作物への窒素の供給は灌がい水中の無機成分から直接に行なわれると思われる。このようにして、生育中期にかけて全窒素は漸増して、生育最盛期に窒素の無機化を旺盛にし、作物への窒素の供給能が増大すると考えられる。これは作物の窒素要求に対応するわけで、光合成能力の増加につれ蛋白質合成量の増加も伴うと言われる。したがって、水稻根の窒素吸収力は幼穂形成期においてピークに達し、土壌中では湛水による易分解性成分の増加に合致し、その後急速に根の吸収力は低下すると思われる。

無施肥田の作土層の深さを15cmと仮定して、その10a当りの全窒素量は、100g土壌当りの平均値130mg Nから算出して、約200kg(硫安換算1トン)となる。反収玄米平均400kg当りに吸収されるN量はおよそ8kgとすると、水稻に利用された窒素量は土壌中の全窒素量のわずか4%にすぎないことになる。しかも、水稻に吸収された窒素は土壌中で無機化されたものと限らず、灌がい水中から直接に吸収された場合もある。あるいは、上方田より漏水に伴って浸透した無機態窒素などを考えると、さらに土壌中の全窒素の利用率は低くなると思われる。

一般の肥培管理が行なわれる水稻栽培においては、全窒素の大部分を占める有機態窒素⁸⁾の無機化がその生育に重要な意味を持つといわれる^{6,7)}。したがって、全窒素からの無機化量の推定法が種々に提案されたと思われる。そこで、シロカキ前の当該土壌についての全窒素の内容を推定しようとして、水と0.01, 0.1, 1N-HCl溶液による各可溶性窒素と1N-KCl置換性窒素のフランクシオンを無施肥田の水口水尻、中央部と施肥田及び無施肥田水口の溝側の底土について測定した。その結果は Fig. 2 に示す通りである。土壌の水溶性窒素は、各測定値の間で有意な差をほとんど認めないが、0.01N可溶, 1N-KCl置換性, 0.1N-HCl可溶, 1N-HCl可溶の各窒素の順にいずれの測定区についても漸増の傾向が認められる。すなわち、水尻より中央部、水口、溝と灌が

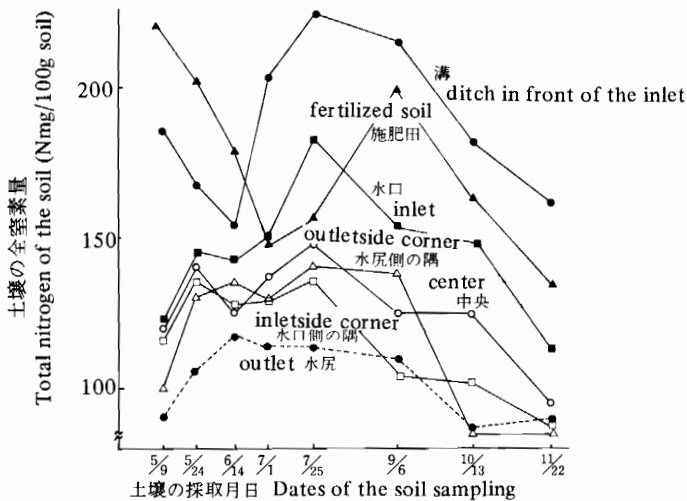


図1 稲作期における無施肥田内の各位置及び施肥田の土壌の全窒素量変化

Fig. 1 Total nitrogen of the some plots of non-fertilized paddy soil in the growing season.

田については圃場の四隅と中央及び水口の附近の溝の底土(以下溝と略す)、施肥田では中央部のものについて図示した。

施肥田の値が高いのは説明を要しないが、溝の底土の高い値は、灌がい水の関与が大きいことを意味するものであろう。また、7月以後においては明らかに施肥田土壌よりも高い値を示し、用水上流域での施肥、近隣住宅の生活用水などの影響を受けたものと思われる。無施肥田区については、全期間を通じてやはり水口部位が明らかに高い値を示し、水尻部がおおむね最低値を示した。施肥田では、施肥による当初の増加からのあと、作物による利用や微生物的な競合によって7月初旬までに激減し、以後9

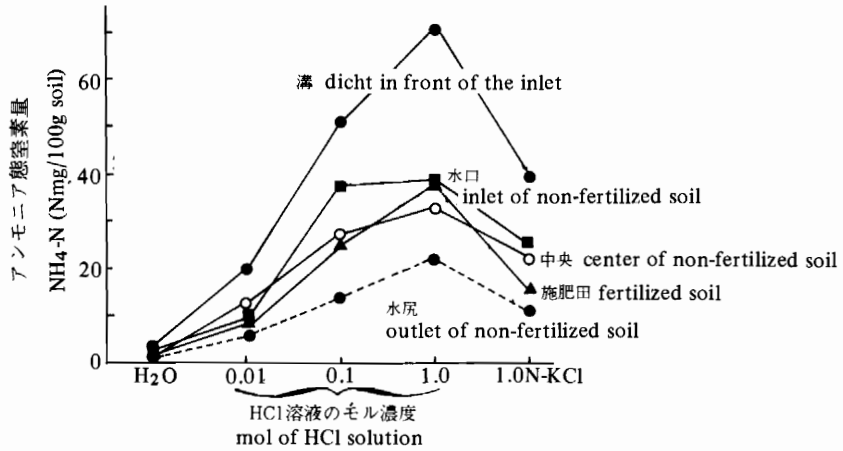


図2 各種溶液によって浸出した土壌のアンモニア態窒素量と採取位置の関係 (試料は5月初旬のシロカキ前に採取)

Fig. 2 Relations of soluble ammonium content treated with some conc. HCl solutions suspension and sampling positions (The soil sampled at early May).

い水の流路に遡る順におおむね高い値を示した。これらのフラクションの値の位置的变化は、灌がい水

に溶存あるいは懸濁する窒素成分の影響が大きいことを示す。無施肥田のシロカキ前の 1N-HCl 可溶

表2 調査土壌の若干の理化学性

Table 2 Some chemical properties of the soil used

採取日 sampling dates	位 置 locations		pH(H ₂ O)	乾土 効果 soil drying effect (Nmg/100g soil)	nutrient adsorp. coeff. (mg/100g soil)		可給態ケイ酸 available SiO ₂ (mg/100g soil)	water soluble cations (ppm)			
					N	P ₂ O ₅		Ca	Mg	K	Na
7/1	無 施 肥 田 non-fertilized paddy soil	水 口 inlet	6.0	9.3	259.0	590.0	33.8	5.9	1.4	1.8	3.2
		隅 corner	5.8	8.3	230.7	506.8	10.7	2.6	0.6	1.1	1.8
		水 尻 outlet	5.8	7.7	232.4	510.5	9.6	2.1	0.7	0.8	1.8
		施 肥 田 fertilized paddy soil	6.6	8.4	253.0	579.3	17.0	10.5	1.5	2.0	3.1
7/28	無 施 肥 田 non-fertilized paddy soil	水 口 inlet	5.8	9.1	235.0	560.0	21.4	3.9	1.0	1.1	2.3
		隅 corner	5.7	8.2	230.7	490.5	10.6	2.4	0.6	0.8	2.7
		水 尻 outlet	5.7	7.5	240.4	501.7	10.1	2.0	0.4	0.7	1.4
		施 肥 田 fertilized paddy soil	6.0	9.3	260.0	577.1	12.4	8.3	0.9	0.9	1.7

(注：pHと水溶性塩基は土：水比を1：2、24時間ときどき振り混ぜながら静置して行なう)。

(Note: pH and water soluble cations were suspended with soil water ratio at 1 : 2 for 24 hours sometimes shaking)

態窒素は、平均約3mgN/100g土壌で、水稻が吸収した全窒素量の約56%にみ合う量と推算しうる。本図で特に施肥田の溶出性が予想外低い値であることは、微生物による有機態窒素の無機化量と、本処理のような単なる加水分解反応によって無機化した量との間に大きな違いがあることを暗に示す。また、この結果は、土壌中で無機窒素肥料の有機態化が施肥田においても無施肥田と同様に進行することを予察させる。土壌中における有機態窒素の形態変化は、アンモニア化成、硝酸化成を問わず、ほとんど微生物活動に起因し、無機化した窒素のみが作物に吸収利用されるといわれる⁷⁾。実際に様々な栽培条件において吸収された窒素量と土壌の化学的な処理によって推定した可給態窒素量との相関は概して非常に低いことを実証するものであろう。

そこで、微生物の作用によるアンモニア化成量を土壌の乾土効果の方法⁴⁾によって推定するとTable 2に示す結果が得られた。本表には風乾細土のpH、可給態ケイ酸、水溶性塩基などについて施肥田と対照させて、水稻の生育前期と旺盛期を比較して示した。

乾土効果による可給態窒素量は、無施肥田で7/1

区が多少7/28区よりや、高い値を示すが、施肥田においても著しい違いはない。平均すると100g土壌当り8.5mgNとなり10a当り約12kgNに相当し、水稻が吸収した窒素量よりさらに50%も上回ると推定される。このことは、無施肥田においては、施肥田に較べて脱水による易分解性の蛋白複合体量の割合が高いことを示すと思われる。その他の分析項目については、乾土効果によるアンモニア化成量と同じく水口に近い側におおむね高い値が示された。

次に、土壌の水溶性アンモニア態窒素、同硝酸態窒素及び同リン酸をそれぞれFig.3, Fig.4とFig.5に無施肥田の水口、中央、水尻部とその施肥田の溝の底土及び施肥田などについて対応して示した。水溶性アンモニア態窒素については、7/1区でいずれも原因の明らかでない急低下が見られる以外は各試験区ともほぼ類似のパターンを示し、有機態窒素の無機化への最盛期が7月下旬に進行することを示すと思われる。硝酸態窒素は、アンモニア態窒素と違って湛水期にいずれの調査地点とも低い値を示し、特に、田植期から活着期にその低下が著しい。また、9月以後では落水によって酸化状態が促進され、硝

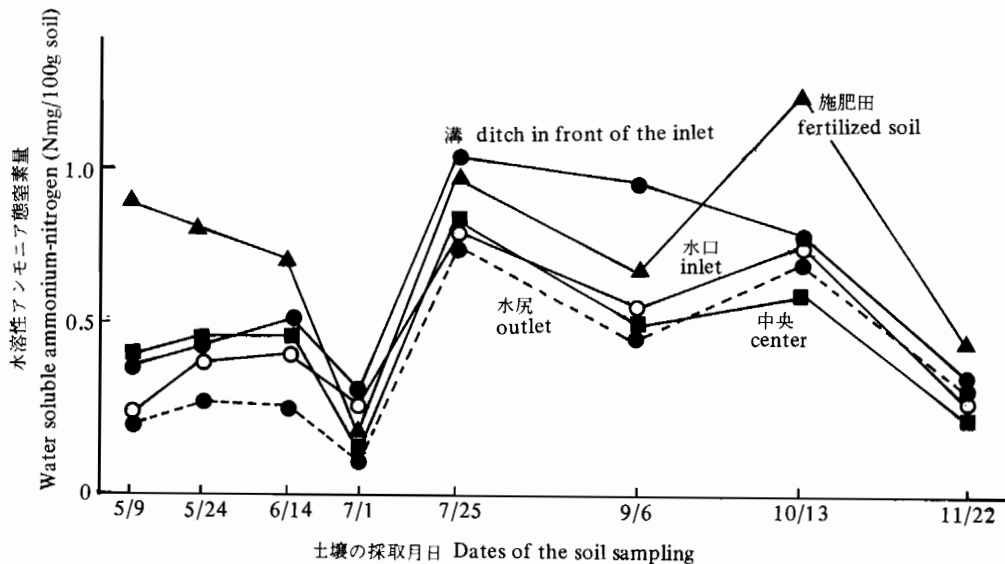


図3 無施肥田及び施肥田土壌から溶出したアンモニア態窒素量の時期的変化

Fig. 3 Seasonal variation of soluble ammonium-nitrogen from the some plots of non-fertilized and fertilized paddy soil.

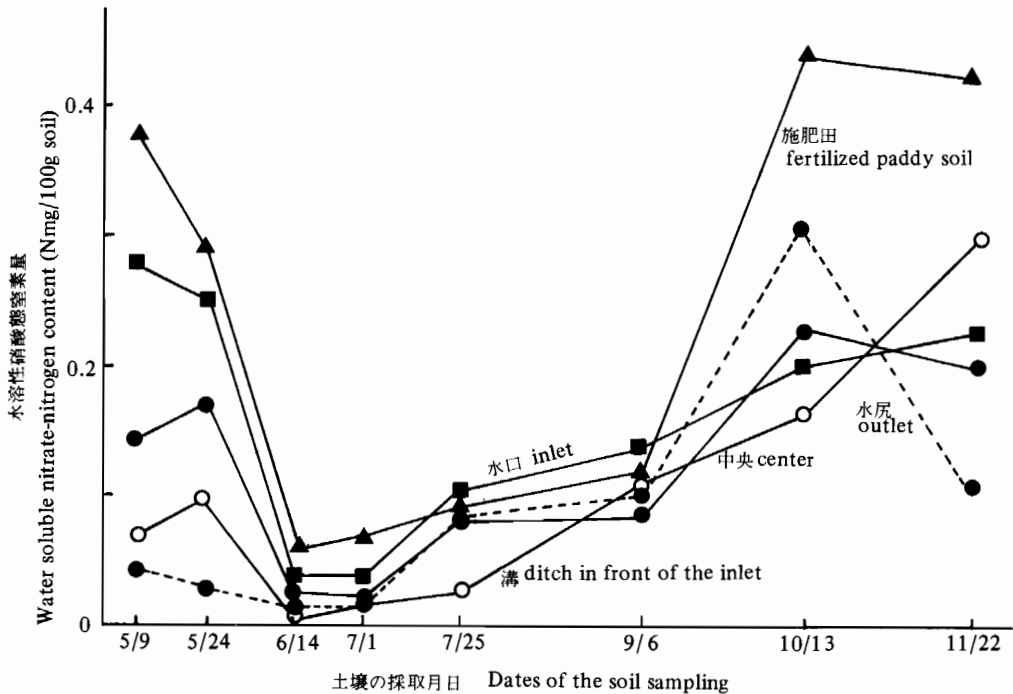


図4 無施肥田及び施肥田土壤から溶出した水溶性硝酸態窒素量の時期的変化

Fig. 4 Seasonal variation of water soluble nitrate-nitrogen from the some plots of non-fertilized and fertilized paddy soil.

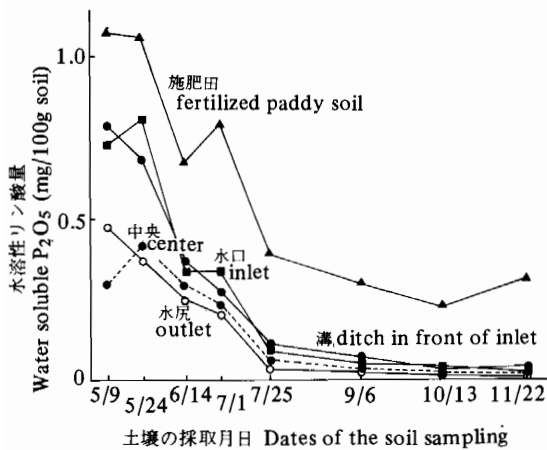


図5 無施肥田及び施肥田土壤からの水溶性リン酸量の時期的変化

Fig. 5 Seasonal variation of water soluble phosphate from the some plots of non-fertilized and fertilized paddy soil.

酸態窒素が当然増加する結果を示す。土壤の水溶性リン酸については初期に高く、以後に漸減するパターンをいずれも示し、おおむね施肥田>溝>水口>中央・水尻の順に各期日の試料とも減少している。

Fig. 6は土壤を1N-HCl処理によって溶出したアンモニア態窒素量である。各区とも7/1の採取土壤については、急激な値の減少が見られるが、水溶性アンモニア態窒素と同様に異常減少の原因は明らかでない。この異常減少区を除き、このアンモニア態窒素は、ほぼ湛水期に高く、かつ、無施肥田区では水口>中央>水尻の順を各期日の試料とも示している。溝の底土の値はいずれの期日においても最高値を示すが、施肥田についての値は、ほとんど最低値を示し、全窒素含量に必ずしも比例しない。この結果は、無施肥区と施肥区の土壤窒素の無機化の傾向が相違することを示すものと思われる。この原因については、蛋白質の組成あるいは構造の安定性によるものか、微生物の量と質の相違によるものかは今後の課題である。恐らく、藻類などの繁殖状況では、肉眼的にも施肥田が格段に優ると見えるので、微生物

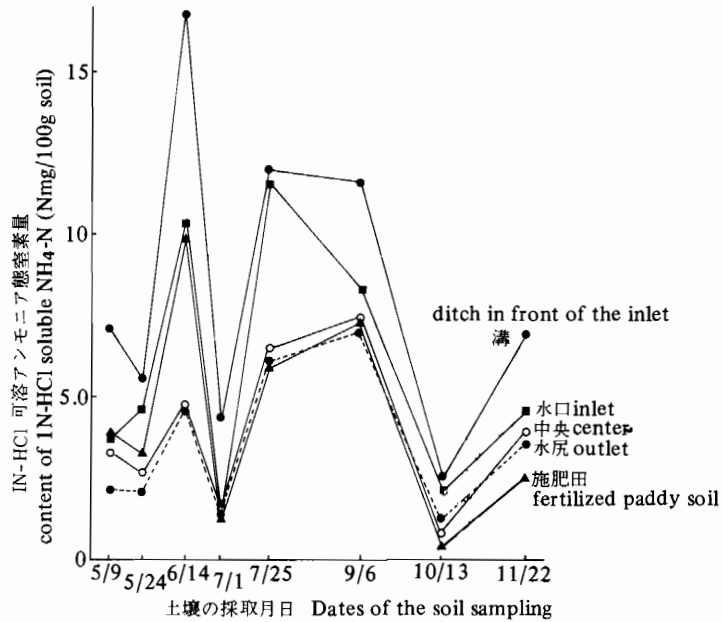


図6 無施肥田及び施肥田土壌からの1N-HCl溶液可溶アンモニア態窒素量の時期的変化

Fig. 6 Seasonal variation of 1N-HCl solution soluble NH₄-N from the some plots of non-fertilized and fertilized paddy soil.

物的な原因による可能性が大きいと思われる。

1 N-HCl 処理によって土壌から溶出するリン酸量は Fig. 7 に示す通りである。無施肥田区においては 6/14 区を除き各区の P₂O₅ 量は 100g 土壌当り 10mg 以下を示し、その順位は窒素量と同じく水口 > 中央 > 水尻を示している。溝と施肥田においては、これらの値は、さらに高く、7 月期においては急激に減少している。施肥田で、このように全般に高い値と急激な増加は、施肥の影響と考えられる。しかし、無施肥田においては、リン酸の作物体中の含量と本法による溶出リン酸量とは偶然にもほぼ一致したように思われる。

作物の吸収利用する無機態窒素の給源は、土壌中の有機態窒素の無機化に依存する⁷⁾と言われるが、本無施肥田の場合には、灌がい水中の無機態窒素を直接に利用する場合も考えられる。さらに、土壌窒素の直接的給源としても灌がい水中に溶存する窒素成分は重視されるわけで、Table 3 に無施肥田に流入する灌がい水の窒素成分量をその他の諸成分量とともに示した。溶存するアンモニア態窒素量と無機リン酸量は平均すると純農村型の灌がい用水としては多少高い値と思われる。全国平均値に近い成分にケイ酸、上回る成分に Mg, K, Na があり、下回るものに Ca があ

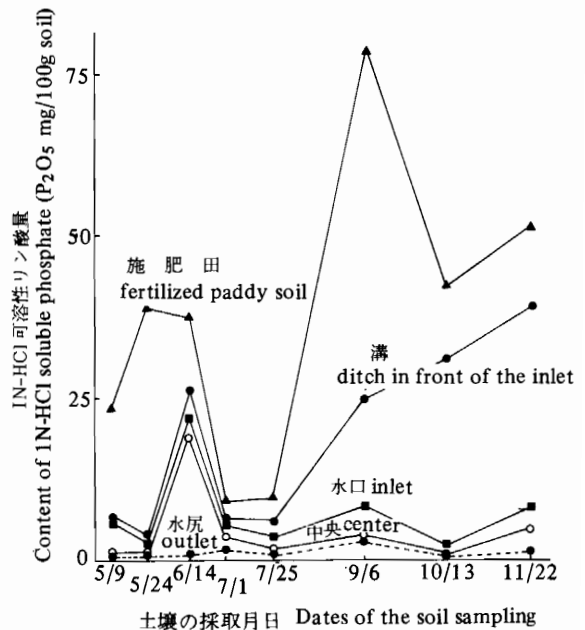


図7 無施肥田及び施肥田土壌からの1N-HCl溶液可溶リン酸量の時期的変化

Fig. 7 Seasonal variation of 1N-HCl solution soluble phosphate from the some plots of non-fertilized and fertilized paddy soil.

表3 水口より無施肥田へ流入する灌がい水中の成分量

Table 3 Content of some plant nutrients (ppm) of inflowed irrigation water from the inlet of non-fertilized paddy field.

成分 components	年度 years	1975	1976	1977	1978	平均 average
pH		6.80	6.55	6.70	6.75	6.70
NH ₄ -N		0.360	—	0.224	0.277	0.287
P ₂ O ₅		0.054	—	0.112	0.105	0.090
SiO ₂		19.5	—	24.5	18.0	20.7
Ca		6.16	3.51	8.18	6.60	6.11
Mg		1.93	2.36	2.48	2.12	2.22
K		2.39	2.82	4.18	3.61	3.25
Na		14.5	10.3	9.83	10.5	11.3

各試料の採取は7月初旬に行った。単位：ppm
These irrigation water were sampled at early July.

る。調査年度によって差の大きいものはCa, 小さいものにケイ酸がある。pHはいずれも微酸性であった。次に、無施肥田内の各採取地点での用水中の窒素

成分とリン酸の分布を溝及び施肥田との対照で示すとTable 4の結果が得られた。全窒素とあるのは用水をろ別せず直接に分解した全窒素量を示し、アンモ

表4 無施肥田内の各場所と施肥田の用水の成分量

Table 4 Content of some plant nutrients in irrigated water of some plots of non-fertilized and fertilized paddy fields.

成分 components	場所 locations	水口 inlet	水口側隅 corner of inlet side	中央 center	水尻側隅 corner of outlet side	水尻 outlet	溝 ditch in front of inlet	施肥田 fertilized soil
pH		6.70	6.75	6.60	6.72	6.72	6.70	6.95
全窒素 total N (mg/l)		0.941	0.909	0.345	0.563	0.483	0.982	1.913
NH ₄ -N (mg/l)		0.224	0.205	0.186	0.181	0.156	0.225	0.743
P ₂ O ₅ (mg/l)		0.112	0.058	0.045	0.042	0.045	0.125	0.405

各試料の採取は7月初旬に行った。 These irrigated water were sampled at early July.

ニア態窒素はろ別後のアンモニウムイオンである。諸成分とも水口から水尻にかけて濃度勾配がほぼ認められる。灌がい水の掛け流しの状態においては、一筆田内の流れの方向・流量などは、線状あるいは面としての拡がりの勝るところなど複雑で^{9,10)}、さらに水地温にも影響を及ぼす。これらの場合に応じて、浮遊物の沈降、アンモニア態窒素やリン酸の土壌および植物あるいは微生物による吸着ないしとり込みの結果が様々に表われている^{1,2)}ものと思われる。用水中の全窒素に対する溶存性のアンモニア態窒素の比率は22~53%の範囲を示している。さらに、

この全窒素の内容は、浮遊物に付着ないし吸収された無機態窒素も含まれ、必ずしも有機態窒素だけとは限らない。このような浮遊物は流速の急激な低下で水口部位にかなり沈降すると予想される。溝においては、諸成分はおおむね高い値を示す。施肥田においては、これらの値はさらに高く、施肥による影響が顕著に認められる。各場所における用水のpHはいずれも微酸性で、しかも、少ない変動を示す。

田植後の活着期から出穂期に至るまでの無施肥田の各位置と溝及び施肥田における用水中の塩基含量はTable 5に示す通りである。水稻の生育前期の各成

表5 無施肥田内の各場所と施肥田の用水中の塩基量の時期的変化

Table 5 Content of some cations (ppm) in irrigated water of non-fertilized and fertilized paddy field on the sampling dates.

成分 components	期日 dates	水口 inlet	水口側隅 corner inletside	中央 center	水尻側隅 corner of outletside	水尻 outlet	溝 ditch in front inlet	施肥田 fertilized soil
Ca (ppm)	5/24	8.18	7.30	7.98	6.80	8.99	8.00	6.75
	6/14	8.10	7.10	6.83	6.85	7.08	7.99	8.68
	7/1	7.35	7.00	7.50	6.40	6.80	7.00	13.1
	7/25	7.10	7.85	7.00	6.90	6.06	7.20	7.60
	8/17	6.60	7.61	6.50	6.30	5.84	6.70	7.01
Mg (ppm)	5/24	2.48	2.20	1.94	2.12	2.38	2.52	2.72
	6/14	1.98	1.63	1.80	1.78	1.78	2.02	2.16
	7/1	2.68	2.48	2.26	2.10	2.04	2.62	3.95
	7/25	2.72	2.65	2.42	2.52	2.05	2.84	2.64
	8/17	2.12	1.42	1.53	1.20	0.85	2.08	2.30
K (ppm)	5/24	4.18	3.38	3.25	3.19	3.99	4.12	4.10
	6/14	3.80	3.58	3.38	3.17	3.44	3.80	3.99
	7/1	3.85	3.97	3.34	2.79	2.84	3.89	3.51
	7/25	2.98	2.95	2.69	2.88	2.09	3.00	3.89
	8/17	3.61	3.02	2.80	2.30	2.28	3.60	3.50
Na (ppm)	5/24	9.83	9.78	9.83	9.63	9.68	9.90	9.80
	6/14	12.0	12.1	12.1	11.7	11.8	12.1	11.8
	7/1	11.4	11.8	12.3	11.2	10.6	11.7	11.8
	7/25	11.1	11.1	11.2	11.3	10.9	11.7	10.8
	8/17	9.80	9.90	9.65	8.90	8.78	9.70	10.7

分量は全般に各位置とも著しい差はなく、生育中期から後期においては無施肥田内における水口から水尻にかけての違いはかなり認められる。

これらの表面水中の成分濃度差は水稻、土壌への成分の移行を示すが、連続して水口より流入する灌がい水の成分濃度に変化がない場合のみそれら成分の移行が考えられる。一時的には微量かも知れないが、上位に隣接する水田よりの浸透、空中からの塵埃などによる飛来、降雨水あるいは当該水田より浸透除外などによる影響などは作期全体を考えると無視できない量となろう。それにもかかわらず、諸成分濃度の収支に及ぼす諸影響は時期的に方寄るとは考えられず、水稻生育中期以後に差が顕著な結果は、植物養分の水田土壌面への沈降、吸着だけでなく、植物へのとり込みが大きいと見込まれる。

無施肥田へ連続的に水口から流入し、そしてその水尻から流出する灌がい水中のそれぞれ同時に採取した諸成分量は、7月1日のものについてはFig. 8, 7月27日のものについてはFig. 9に示す通りである。しかも、これらの採水は午前9時より午後4時半まで1時間半おきに行なった結果を示す。

昭和52年度に行なった調査においては、無施肥田の水口より流入した用水の流速は毎秒0.8~1.3*l*であり、例へば毎秒1.1*l*と見込むと、用水の灌水期間は100日余りで10a当り約1万トンの用水量と推算される。この容量は通常の6~10倍の値である。

さて、水口あるいは水尻より流入出する水質は採水時の違いによって必ずしも均質とは言えず、午前より午後におおむね各測定成分についてわずかな濃度の減少がみられる。特にアンモニア態窒素とリン

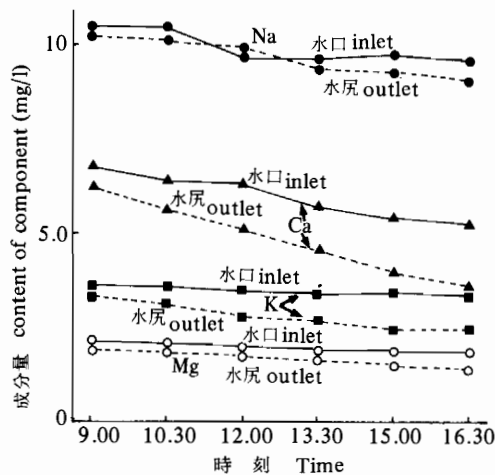
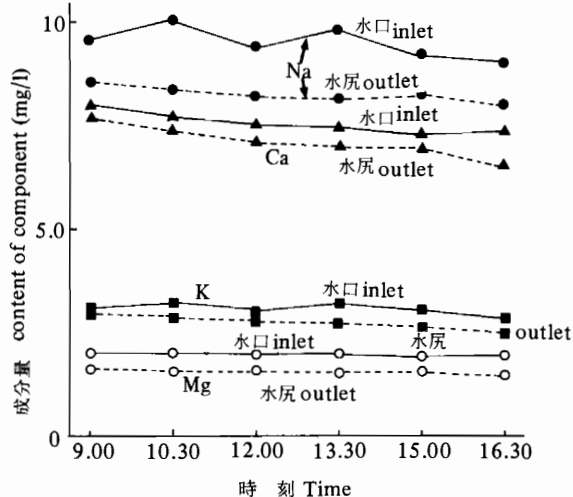
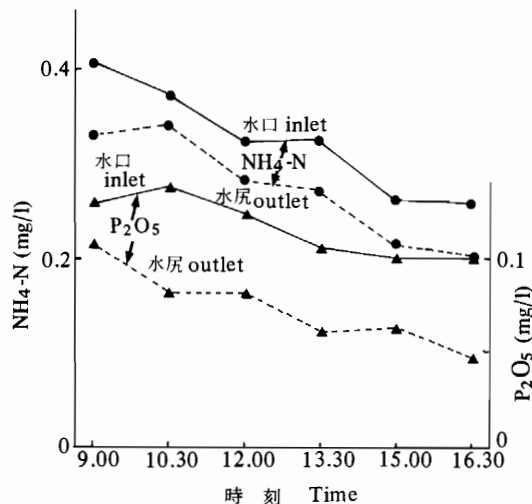
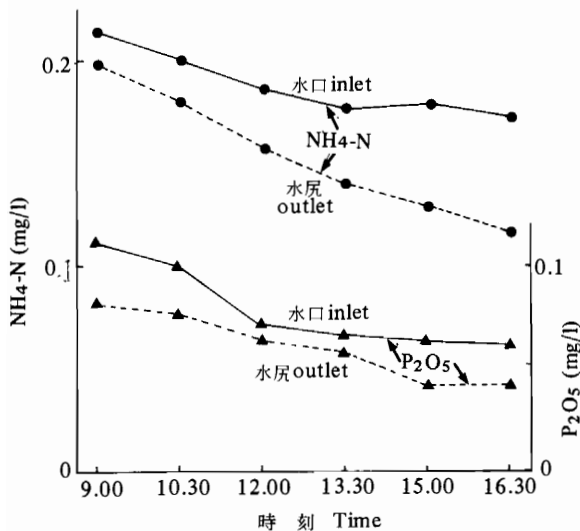


図8 無施肥田の水口及び水尻における用水中の成分量の経時的变化 (7月1日採取試料についての結果)

Fig. 8 Some plant nutrients of the irrigated water at the inlet and outlet of a non-fertilized paddy field at the time elapsed (These samples were gathered at July 1).

図9 無施肥田の水口及び水尻における用水中の成分量の経時的变化 (7月27日採取試料についての結果)

Fig. 9 Some plant nutrients of the irrigated water at the inlet and outlet of a non-fertilized paddy field at the times elapsed (These samples were gathered at July 27).

酸についてはその傾向が強い。更に水稻の生育期によっても異なり7月27日調査区について午後には顕著な減少がみられた。これは溶存する栄養塩類の稲による吸収が生育の旺盛期に活発に行なわれることを表わすものと思われる。

流入用水の流速、水質などの変化が存在すると、水口より流入した用水の水質変化は単純に一筆水田

内の各部位における一定時刻の濃度差では実態をつかめない。いま、仮りに水口より秒速1.1ℓの割りで用水が9aの田面に深さ平均3cmの湛水を行うとすれば、所用時間は6時間49分必要とする。したがって、水口より水尻への用水の流達は整流であるならばちょうどこれだけの時間を要することにもなる。特に流入成分の変動の大きい場合の水尻あるいは各部位での成分の動態を知るためには諸成分の収支比較は各部位まで流達する時間的ずれを考慮する必要がある。所が実際には、田面水の用水の動きは複雑

で、たとえば水地温差は感覚的にも認められて、局部的に用水の滞留時間は異なると思われる。また、成分濃度に影響する用水量の収支は水口から水尻までに至る流れの量だけにとどまらず漏水、溢水、降雨、浸透水、稲あるいは田面からの蒸発散など種々の現象が関与し、さらに水稻の生育時期の影響もあるため、無施肥水稻栽培における用水中の溶存成分収支についてはさらにこれら多くの影響を検討する

必要がある。

次に、用水中に溶存するCaの行動については、直接に水稻根に吸収される部分もあると思われるが、恐らく始めに土壌による吸着現象を経て後に次の段階で水稻根への吸収が進行すると思われる。そこで、Caと土壌との関係を知るために、蒸留水と無施肥田土壌懸濁によるCaの溶出と種々なCa塩溶液あるいは灌がい水によるCaの土壌吸収について示すとFig.

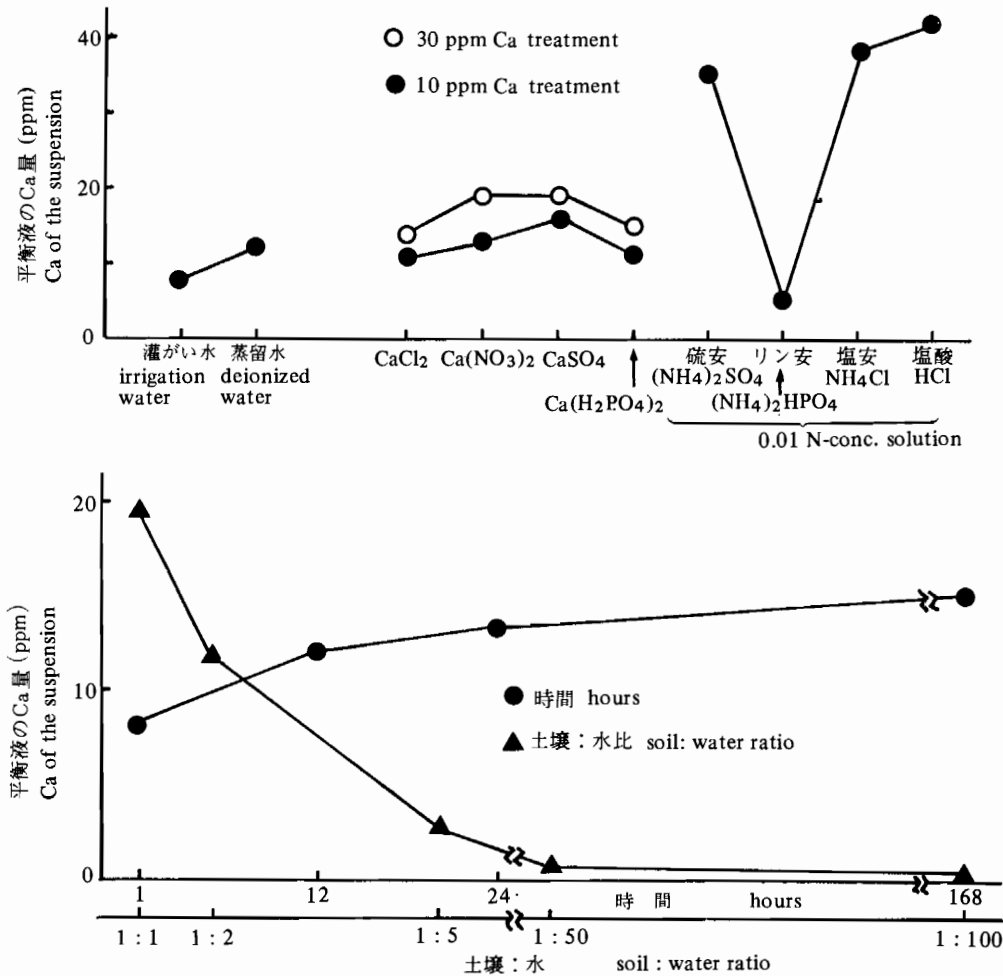


図10 諸溶液と無施肥田土壌の懸濁におけるカルシウム平衡 (上図：無機塩類溶液などによる土壌からのCaの溶出あるいは吸収，下図：蒸留水による土壌からのCaの溶出，土壌：溶液比は，その効果の実験を除き全て1：2)

Fig. 10 Calcium equilibrium of non-fertilized paddy soil's suspension (upper: Release or adsorption of Ca with some solts solution and water, Lower: Effect of time or soil water ratio on the Ca release from the non-fertilized paddy soil, soil solution ratio were 1:2 except for ratio's effect treatment).

10の結果が得られた。Caの蒸留水中へ溶出する要因は時間よりもむしろ土壌と水量の比が大きいことを示す。水稻の生育状態における根圏では、土壌溶液比が小さくて、しかも、溶出するCa濃度の高いことが予想される。また、用水と土壌の成分吸着関係下では、逆に、土壌溶液比の大きい状態が予想される。一定量の土壌に対してほとんど無限大に近い用水量の関係は、溶存Caが微小であっても土壌に保持されるCaの積算量は予想外に大きくなるものと思われる。また、用水中のCaの溶存量に相当するCa濃度をCaCl₂、Ca(NO₃)₂、CaSO₄、Ca(H₂PO₄)₂の各塩溶液で土壌と懸濁平衡させると、ほとんどCaの土壌吸収は認められず、CaSO₄溶液との平衡においては逆にCa濃度の増加が認められる。それぞれの塩につき3倍量のCa濃度にすると、全てのCa塩溶液の処理で土壌によるCaの吸収が認められる。なお、1/100規定の硫酸アンモニウム、塩化アンモニウム、塩酸溶出については著しい土壌からのCaの溶出があるが、リン酸二アンモニウム塩溶液については著しい溶出抑制がみられる。

このように、土壌と溶存成分との吸収あるいは吸着関係は、用水中に溶けている全ての成分の量と質に大きく影響を受けることが予想される。そして、土壌による養分の保持は、土壌中の結晶あるいは結晶性の粘土、腐植その他の非晶質粒子のそれぞれの特性に応じて平衡関係が維持されるものと思われる。水稻根の近辺土壌においては、根によって吸収除外された養成分の補給はmass flowとdiffusionによると云われる。そして、水稻の生育にしたがって、常に成分の補給が起るものと思われる。無施肥田においても土壌による成分保持平衡が通常の肥培管理の水田の場合以上に活発に進行すると思われるが、さらに、このような貧養条件下では、栄養成分の多い場への水稻根の伸長による吸収や用水中の養分の直接的吸収の関与が無視し得ないものと考えられる。

この長期の無施肥田で行なわれている可能な限りの用水の掛け流しによる灌がい水多用栽培では、土壌の無機栄養塩類は洗脱や植物による吸収などによる一方的な減少に繋がらないことを示す。そして、土壌への直接的無機流入成分の補給と水田生態系を通じた微生物の間接的な補給が作物への養分供給に適切に関与し、長期にわたってこの関係がほとんど平衡にあることを物語るものと思われる。

Ⅳ 要 約

本報告は長期の無施肥無農薬栽培(28年継続)の

水田土壌における二三の植物栄養分の動態を四年間調査研究した結果である。当該水田における水稻の収量は施肥による通常栽培に対して7割近くに安定化して来ているといわれ³⁾、その栽培での特徴は灌がい用水を可能な限り掛け流しにすることである。調査検討した点は以下のように要約することができる。

1. 無施肥田土壌中の全窒素は、100g土壌当り平均130mg Nを示し、年々減少傾向を認められない。また、その全窒素量は、水稻の生育時期においても変動し、その大きさは、38.8%の変動係数として示すことができた。なお、水田内の調査位置によっては、水口部で高く、水尻部で低い値を示した。

2. 無施肥田土壌の水溶性窒素は、全窒素の0.6%未満で、大部分はアンモニア態窒素であった。さらに一規定塩酸溶液可溶アンモニア態窒素は、サンプル時期によって変動があるが、水稻の生育旺盛期においてはいずれの位置においても作物体内の窒素量に匹敵する場合が多い。

3. これらの土壌の水溶性リン酸量は水稻の生育初期に多く、後期に減少する傾向を示した。一規定塩酸可溶性リン酸量は、同処理のアンモニア態窒素よりも多量の場合が多く、7月上旬から急激な減少傾向を示した。

4. 7月初旬に無施肥田に流入する灌がい水中のアンモニア態窒素は0.29ppm、リン酸は0.09ppmの平均値を示し、純農村型灌がい水としては窒素、リン酸、ケイ酸、Mg、Kなどは多少高く、Caは低い値を示した。無施肥田の水口より水尻に向かって用水中の諸成分量は減少傾向を示した。これは無施肥田内の水口域あるいは上流域で諸成分の沈降、吸着、水稻による吸収などを明らかに示すものである。

5. 水口より水尻へ流達する用水中の成分量の減少は、水稻生育の盛んな時期に顕著であり、また、Mg、K、NaなどよりCa、NH₄-N、P₂O₅などで著しい減少が示された。

6. 無施肥田土壌より溶出するCa量は時間の要因より、土壌溶液比の違いによる影響が大きい。土壌のCaの吸収量は対応する溶存アニオンの違いによって異なった。灌がい水中の3倍量のCa濃度処理では、いずれのカルシウム塩処理においてもCaの吸収割合は著しく増加した。

謝辞 本研究は、自然農法に関するプロジェクトによって行なわれたものである。研究の遂行・草稿にあたりプロジェクト代表・作物学研究室竹内史

郎教授を始めプロジェクトの諸先生より種々に有益なご教示を頂いた。また、本研究は学内研究費によって行なったものであり、ここに付記して感謝の意を表します。

引用文献

- (1) 三好洋：農業技術，**33**，6（1978）
- (2) 高村・田淵・鈴木・張・上話・久保田：土肥誌，**47**，398（1976）
- (3) 長谷川・竹内・奥村：本誌**12** 109（1979）
- (4) 土壤養分分析法委員会：土壤養分分析法，177，192，278 養賢堂（1970）
- (5) 京大農芸化学教室：農芸化学実験書，1 卷131，103，244 産業図書（1969）
- (6) Stanford, G., : SEFMIA, *Proc. International Seminar Japan*, 305（1977）
- (7) YAMANE, Y. : SEFMIA, *Proc. International Seminar Japan*, 207,（1977）
- (8) Stanford, G., Carter, J. N and Smith, S. J. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* **38**, 99（1974）
- (9) 白鳥・松丸・森川：千葉農試報，19, 101(1978)
- (10) 田淵俊雄：農業土木誌，**48**，525（1975）

（昭和53年10月16日受理）