

水田転換畑の生産性向上に関する研究

第1報 水田の畑地化に伴う土壤埋化学性の変化

南 松 雄† 前 田 要†

STUDIES ON THE IMPROVEMENT OF THE SOIL PRODUCTIVITY IN A PADDY FIELD CONVERTED TO AN UPLAND FIELD

1. Changes of Soil Physical and Chemical Properties with the Conversion of Paddy Fields

Matsuo MINAMI & Kaname MAEDA

水田転換畑土壤は普通畑土壤に比べて土壤の窒素的地力に富むが、転換後の年数経過に伴って漸減の傾向を示し、転換後3年目では転換前に比べ50~60%前後に低下した。

また、転換畑は普通畑に比べ作土の土壤構造、透水性ならびに砕土性の劣る傾向がみられるが、転換後2年目では土壤3相組成、土塊分布ならびに透水性が著しく良好となり、通気・通水性ともに普通畑を上廻った。

なお、転換時に施用する石灰資材は、土壤 pH の矯正よりもむしろ石灰養分の供給に重点を置くべきであると考えられる。

I 緒 言

ここ数年来の全国的な豊作および米消費量の減少など需給情勢の変化によって生じた米の生産過剰とそれに伴う稲作転換の諸問題は周知のように農業関係者は勿論、社会経済的にも深刻な話題を投げかけている。

一般に、減反作付転換の対策としては、①休耕地として放置する、②畑地として作付転換する、③工場、宅地、林地など他の目的のために転用するなどのケースがある。

生産調整3年目の昭和47年度における北海道の水田面積の動向は、全道の水稲作付可能面積287,000haのうちおおよそ41%に相当する118,000ha

† 上川農業試験場

が休耕、転作ならびに他の目的のための転用地として流出しているのが現状で、この中で転作率は71%にも達している¹⁾。

水田は、元来水稲栽培を目的とした土壤管理—たとえば湛水、代掻きなど—を長年にわたり実施しているため作土は土粒子が整一化した層をなし、かつ、作土直下には鋤床層が存在するなど土壤環境面が普通畑とは著しく異なっている。

したがって、水田転換畑を培地として畑作物を栽培するためには転換畑の土壤特性を十分に把握し、それに基づいた土壤改良なり施肥対策を講ずることが肝要である。

筆者らは、昭和45年度より水稲作の不安定地帯を対象として、水田転換畑における畑作物栽培上の支障制限要因の摘出と畑作物の生産性向上につ

いての研究に着手しているが、本報では主として水田の畑地化に伴う土壤理化学性的変化について2種類の乾田タイプ土壤（黄褐色、礫質土壤）間で比較検討した結果の概要を報告する²¹⁾。

なお、本研究の遂行にあたり、試験ほの提供および管理を分担され、かつ、有益な助言を頂いた上川農業試験場畑作科関係諸氏に厚く御礼申し上げる。また、上川農業試験場長島崎佳郎博士には校閲を賜った。記して感謝の意を表する。

II 試験方法

1) 土壤条件

(1) 供試ほ場の土壤条件

礫質土壤；上川農業試験場畑作科ほ場（水田歴20年）。本転換畑の土壤は天塩川流域の砂岩を主体とする河成沖積土壤で、施肥改善調査要領による基本土壤類型では礫質土壤の壤土マンガン型に属し、透水性は比較的良好なほ場である。

黄褐色土壤；土別市水稻試験場（水田歴24年）。本試験地の土壤は、凝灰岩を母材とする河成沖積土壤で、その基本的な土壤類型は黄褐色土壤・強粘土型に属し、排水良好な土壤である。

これら両土壤の土層断面形態および理化学性的特徴は Table 1, Table 2 に示した。

礫質土壤は表層、下層とも腐植含量が少なく、CEC の小さい細粒質土壤であり、作土直下には酸化沈積物の集積が顕著に認められ、約 60cm 下には砂礫層が出現する。また、本土壤は容積重が大きく、土壤 3 相中に占める固相率が60%前後と高い値を示すのが特徴的傾向と思われる。

一方、黄褐色土壤では、第1層および第2層の腐植含量が高く、かつ CEC の大きい微粒質土壤であって、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 生成量および乾土効果より推定されるように地力的窒素の高い土壤と考えられる。

なお、畑転換前の両土壤の飽和透水係数は第1層および第2層とも 10^{-5} — 10^{-4} オーダーと水田としては比較的大きな値を示し、かつ、ほ場全体の地下水位が低いことから考えて、畑転換後の土壤の立地条件としては、透水性不良および土壌水分過多などによる畑作物の湿害は比較的少ないものと推定される。

(2) ほ場における試験区の内容

本研究に供試したほ場の処理内容は Table 3 に示すとおりである。礫質土壤では普通畑と転換畑の比較はすべて小豆栽培土壤を供試し、また、転換畑における年次間の比較にはすべて小豆栽培畑土壤を供試し、また、転換畑における年次間の

Table 1 Soil profiles of experimental fields (1970)

Soil groups	Horizon	Depth (cm)	Soil colour	Structure	Mottles and concretions	Hardness (mm)
Gravelly soil	Apg	0—17	2.5 Y 4/2	Medium granular	Fine tubular (common) Filmy (common)	18
	A12g	17—35	5 Y 4/2	Medium blocky	Fine tubular (common)	19
	Cg	35—46	7.5 Y 5/1	Platy	Tubular (common)	13
	II C	46—100	2.5 Y 5/2	Single grain		
Yellowish brown soil	Apg	0—14	10 Y R 2/2	Medium granular	Fine tubular (many)	16
	A12g	14—28	10 Y R 2/3	Coarse granular	Cloudy (common) Fine tubular (common)	22
	Cg	28—51	10 Y R 4/4	Coarse blocky	Cloudy (few)	26
	II C	51—100	10 Y R 4/4	Single grain		

Table 2 General physuplandcal and chemical properties of the soils on the converted upland field (1970)

Soil groups	Depth (cm)	Bulk density (g/100ml)	Mechanical composition (%)				Texture	Soil three phases (%)			Total porosity (%)	Permeability coefficient (cm/sec)
			Co. S	F. S	Silt	Clay		Vs*	VI**	Va***		
Gravelly soil	0—17	132	28.5	38.1	18.2	15.2	S C L	61.7	27.5	11.2	38.7	1.67×10^{-5}
	17—35	112	19.4	34.7	25.7	20.2	C L	54.6	33.4	12.0	45.4	1.27×10^{-5}
	35—46	—	16.7	40.3	26.5	16.5	C L	—	—	—	—	—
Yellowish brown soil	0—14	86	10.2	17.2	35.6	37.0	LiC	46.7	36.9	16.4	53.3	8.09×10^{-5}
	14—28	85	7.9	17.3	34.4	40.4	LiC	48.3	35.0	16.7	51.7	2.82×10^{-4}
	28—51	—	8.9	29.1	30.0	32.0	LiC	—	—	—	—	—

Remarks ; *Vs...Solid phase, **VI...Liquid phase, ***Va...Air phase

Soil groups	Horizon	pH (H ₂ O)	T—N (%)	T—C (%)	NH ₄ -N		Effect of soil-drying	CEC (me)	Exchangeable bases (me)			Degree of CaO saturation (%)	Truog -P ₂ O ₅ (mg)
					Air-dried soil	Wetted soil			CaO	MgO	K ₂ O		
Gravelly soil	Apg	5.80	0.28	2.71	9.92*	1.59*	8.33	12.3	3.05	1.26	0.13	24.8	12.2
	A12g	5.89	0.34	3.16	12.15	2.10	10.05	17.5	3.84	1.57	0.12	22.0	5.8
	Cg	6.00	0.10	1.91	2.90	1.68	1.22	15.2	2.70	1.14	0.11	17.8	7.0
Yellowish brown soil	Apg	5.62	0.60	5.56	14.23	3.61	10.62	35.7	5.93	1.22	0.32	16.5	14.6
	A12g	5.75	0.60	5.55	14.09	2.87	11.22	35.9	5.74	1.34	0.45	15.9	12.8
	Cg	5.90	0.31	3.02	2.19	1.09	1.10	17.3	4.30	0.66	0.41	24.9	6.2

Remarks ; *...Figures show amount of ammonium nitrogen after incubated at 30°C for 28days under waterlogged condition.

Table 3 Experimental design of two converted upland fields from paddy

Soil groups	Kind of crops used and treatments for changing soil condition
Gravelly soil	<ol style="list-style-type: none"> 1) Kind of upland crops ; Sugar beets, Adzuki beans, Onions, Red clover and Orchard grass 2) Level of ground water ; 40 and 60 cm 3) Application rate of CaO ; 40, 60 and 80% of CaO saturation 4) Method and depth of plowing ; Rotary plowing in 15cm depth and subsoiling in 30cm depth
Yellowish brown soil	<ol style="list-style-type: none"> 1) Kind of upland crops ; Sugar beets 2) Application rate fo CaO ; Ammount of acidity (pH=6.5) rectification 3) Method and depth of plowing ; Rotary plowing in 15cm depth and subsoiling in 30cm

比較には地下水位 60cm 一石灰飽和度 60% 一普通耕のは場を供試した。

一方、黄褐色土壌では昭和45年および46年に水田から畑地に転換し、pH を 6.5 に矯正した普通耕のてん菜栽培畑は場を供試した。

なお、両土壌の石灰飽和度ならびに酸度矯正にはすべて炭カルを使用した。

2 実験方法

(1) $\text{NH}_4\text{-N}$ 生成量および乾土効果

風乾細土および湿潤原土をガラスチューブに充てんし、脱塩水で湛水後、 30°C で4週間インキュベートし、処理後、生成した $\text{NH}_4\text{-N}$ 量は常法により求め、乾土と湿土のその差をもって乾土効果とした。

(2) 熱水抽出N

赤塚・坂柳の方法²⁾を採用した。すなわち、2.0mm 篩別の湿潤原土 10g を冷却用ガラス管の付いた 200ml 容の三角フラスコに秤取し、 100°C の湯せん器上で2時間加熱後、室温に放置し、その濾液について常法により、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 量および $\text{NO}_3\text{-N}$ 量を求め、その合計量をもって熱水抽出Nとした。

(3) 活性2価鉄

山中ら²⁵⁾の方法に準拠した。風乾細土 10g を 100ml 容の三角フラスコに秤取し、0.5g の glucose を添加後、脱塩水を用いて湛水し、換気孔のある葉包紙でふたをして、 30°C で2週間インキュベートした。その後、一定量の土壌を 0.2% AlCl_3 溶液中に浸漬し、浸出液について $\alpha\text{-}\alpha'$ -dipyridyl 法により活性2価鉄量を求めた。

(4) 遊離酸化鉄

浅見・熊田の「 $\text{Na}_2\text{SO}_4\text{-EDTA}$ ・法」³⁾を用いた。風乾細土 2g を 200ml 容三角フラスコに秤取し、3g のハイドロサファイトと 100ml の 0.02 M-EDTA を加え、沸騰している湯せん上で 70°C に15分間保ち、処理後、上澄液の一定量を *O-phenanthroline* で発色させ遊離酸化鉄の含量を求めた。

(5) 易還元性マンガン

風乾細土 10g を 100ml 容の三角フラスコに秤取し、 $\text{N-NH}_4\text{OAC}$ (pH=7.0) 液 100ml を加

え、1時間振とう後、上澄液を濾過し、濾液中のマンガン含量を原子吸光度法により測定した。

(6) 腐植の抽出およびフルボ酸の分画法

腐植の抽出は TYURIN 法¹⁹⁾に準拠し、フルボ酸の分別定量法としては FORSYTH¹⁷⁾の方法を採用した。すなわち、0.2mm 篩別の風乾細土を 0.1N-NaOH で処理し、全抽出腐植を腐植酸とフルボ酸に分画後、フルボ酸溶液の一定量(炭素として5~20mg 相当量)をすでに Glass wool, 濾紙パルプおよび活性炭の充てんしてあるアリン氏管に採取し、サッカーで吸引しながら 0.1N- H_2SO_4 , 90%含水アセトン, 温水, 0.5N-NaOH の順に活性炭に吸着されたフルボ酸を洗浄し、洗浄液は順にフルボ酸の画分 A, B, C, D として回収し分析に供試した。なお、炭素の定量はすべて TYURIN の酸化滴定法を用い、数値は mg. % で表示した。

(7) pF—土壌水分特性

層別別に採取した Core の未風乾試料について pF—水分含量をすべて遠心法により測定した。また、粗孔隙量は pF1.8 の張力によって排水される水分量をもって、易有効水分および全有効水分はそれぞれ pF1.8~3.0, pF1.8~4.2 の領域における水分の変化量によって求めた。

(8) 土塊ならびに耐水性粒団の測定

土塊分布割合; 乾土 200g 相当量の湿潤原土を 4.0, 2.0, 1.0, 0.5cm の連続した篩上に秤取し、120rpm の往復振とう器で60秒振とう後、各篩上の乾土重量をもって土塊分布量とした。耐水性粒団割合; 未風乾土を 1cm の篩上で篩別し、乾土 50g 相当量の試料を団粒分析篩上に採取し、水中振とう篩別法で1時間振とう後、各篩上の乾物粒団重量より耐水性粒団の分布割合を求めた。

III 試験結果

1 普通畑と転換畑土壌の理化学性の差異

まず、礫質土壌において、隣接する普通畑と転換畑土壌の物理性について比較してみると (Table 4)、普通畑土壌の土性は転換畑土壌に比べやや粗い傾向を示しているが、土壌の3相組成の面で

Table 4 Differences on physical properties of soil between general upland field and converted upland field of Gravelly soil (1970)

Kind of soils	Layer	Texture	Soil three phases (%)			Rate of air capacity* (%)	Water permeability coefficient (cm/sec)
			Vs	Vl	Va		
General upland field soil	Topsoil	S L	56.4	21.6	22.0	50.4	1.75×10^{-5}
	Subsoil	S L	61.7	21.4	16.9	44.1	1.75×10^{-5}
Converted upland field soil	Topsoil	S C L	61.7	27.5	11.2	28.9	1.67×10^{-5}
	Subsoil	C L	54.6	33.4	12.0	26.4	1.27×10^{-5}

Remarks ; *...Figures are calculated from following formula : $\frac{Va}{Vl+Va} \times 100$

Topsoil is a layer in 0-15cm depth from soil surface

Subsoil is a layer in 15-30cm depth from soil surface

Table 5 Differences on water stable aggregation between general upland field and converted upland field of gravelly soil (1970)

Kind of soil	Layer	Distribution of water stable aggregation (%)			
		2.0mm<	2.0—0.5mm	0.5—0.1mm	0.1mm>
General upland field soil	Topsoil	15.2	14.7	30.1	40.0
	Subsoil	47.1	32.1	10.8	10.4
Converted upland field soil	Topsoil	51.5	24.5	9.7	14.4
	Subsoil	52.5	27.9	10.2	9.4

Remarks ; Topsoil...0—15cm, Subsoil...15—30cm

は、転換畑土壌は普通畑に比べて作土、心土とも気相率ならびに容気度（全孔隙量に対する気相率の割合）が小さく、相対的に液相率が高い。さらに、飽和透水係数の数値から転換畑土壌の通気性および透水性の劣る傾向がうかがわれ、その程度は作土よりも心土において大きい。

一方、耐水性粒団組成をみると（Table 5）、普通畑土壌は転換畑土壌に比べて各粒団中に占める大粒団の組成割合がきわめて小さな値を示しているのに対し、転換畑土壌では 2.0mm 以上の粒団の占める割合が50%以上にも達し、相対的に 0.5 mm 以下の小粒団の占める割合が少ない。この結果は、水田と畑地の土壌管理の相違面を反映しており、水田では湛水代掻きにより作土の構造は

泥状化し、これが乾燥すると塊状または団塊状構造に変化するために緊密な土壌構造の特性を示したものである。

つぎに、土壌の化学性についてみると（Table 6）、普通畑土壌は転換畑土壌に比べ有効態磷酸含量が高い反面、窒素的地力の指標である $\text{NH}_4\text{-N}$ 生成量 および乾土効果が逆に小さく、土壌の窒素肥沃度の面において転換畑土壌の優位性が顕著に認められる。なお、土壌の pH および置換性石灰含量が転換畑土壌に比べ普通畑土壌が幾分低い傾向にあるが、一般的には、普通畑では土壌の酸度矯正を目的として石灰質資材を施用するため土壌 pH および置換性石灰含量が転換畑に比べ高いのが普通であろうと考える。

Table 6 Differences on chemical properties between general upland field and converted upland field of Gravelly soil (1970)

Kind of soil	Layer	pH (H ₂ O)	T-N (%)	T-C (%)	NH ₄ -N (mg)		Effect of air drying	Degree of CaO saturation (%)	Truog- P ₂ O ₅ (mg)
					Air-dried soil	Wetted soil			
General upland field soil	Topsoil	5.30	0.21	2.28	3.58	2.27	1.31	14.9	15.8
	Subsoil	5.40	0.16	2.12	4.07	1.13	2.94	19.4	11.3
Converted upland field soil	Topsoil	5.80	0.28	2.71	9.92	1.59	8.33	24.8	12.2
	Subsoil	5.89	0.34	3.16	12.15	2.10	10.05	22.0	5.8

Remarks ; Topsoil...0—15cm, Subsoil—15—30cm

Table 7 Difference on fulvic acid content fractionated by FORSYTH'S methods between general upland and converted upland soil of Gravelly soil (1972)

Kind of soils	Content of fulvic acid (mg. %)				Ratio of fractionated fulvic acid (%)						H/F*
	Fraction				A	B	C	D	A + C	B + D	
	A	B	C	D							
General upland field soil	27	97	30	50	13	48	15	24	28	72	1.45
Converted upland field soil	17	100	20	54	9	52	11	28	20	80	1.71

Remarks ; *...Humic acid/Fulvic acid
Soil sample...Topsoil (0—15cm)

つぎに、普通畑と転換畑（水田畑転換後2年目）土壌の腐植特性の中、とくに、可動性に富むフルボ酸の量的組成について検討した結果によると（Table 7）、転換畑は普通畑に比べ 0.1N—Na OH で抽出される腐植中に含まれる腐植酸の量が多い反面、フルボ酸の量が若干少い傾向がみられるが、フルボ酸画分中に占める A + C 画分含量およびその割合が低く、B + D 画分は逆に著しく高い値を示している。このことは、普通畑では土壌微生物の栄養源となるフルボ酸の集積が多く、転換畑ではキレート形成能をもつフルボ酸が優占的であることを裏付けている。

2 転換畑の地力の推移

(1) 土壌化学性の変化

① 土壌反応 (pH) の矯正とその持続性

一般に、水田土壌の pH は 5.5 前後であり、水田転換畑は普通畑に比べて土壌の pH が低く、か

つ、概して置換性石灰含量に乏しい。

したがって、転換畑を培地として微酸性～中性を好む畑作物を栽培するためには、酸度矯正と石灰の補給を目的として事前に炭カル、消石灰などの石灰資材を施用することが必要である。

そこで、筆者らは畑転換時に施用した炭カルの持続性について検討した。結果は Fig. 1 に示したとおりで、両土壌とも炭カル施用により作土、心土の置換性石灰含量が著しく高まり、しかも、転換後の年数経過に伴って次第に増加の傾向を示している。

一方、土壌 pH の変化は土壌の種類によって若干異なり、緩衝能の小さい礫質土壌では石灰飽和度 60% 相当量 (635kg/10a) の炭カル施用によって著しく高まり、かつ、その持続効果も十分認められるのに対し、腐植含量が高く緩衝能の大きい黄褐色土壌では pH 6.5 酸度矯正量に相当する炭カ

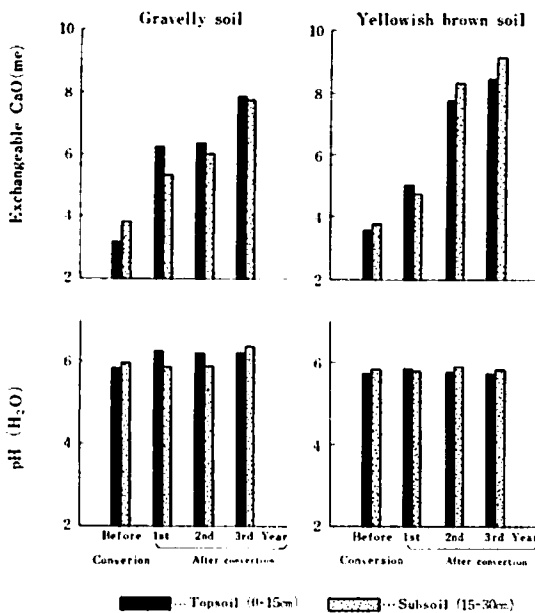


Fig 1 Change of pH and exchangeable CaO in soil with the conversion from paddy field

ルの施用量 (1,260kg/10a) では土壌 pH の上昇は 0.2 前後でほとんど認められない。この傾向は、Fig. 2 の土壌中の置換性石灰含量と土壌 pH との関係においてより明瞭に認められる。すなわち、土壌中の置換性石灰含量の変動幅がほぼ同様な値 (4me 前後) を示す範囲内において変動する pH の幅は、礫質土壌では 1.0 以上であるのに対し、黄褐色土壌では 0.5 以下ときわめて小さい。

しかしながら、水田転換後の黄褐色土壌における 3 カ年のてん菜の収量は土壌 pH が比較的低いにもかかわらず、土壌中の置換性石灰含量が 8 ~ 10me の範囲内において最も安定した収量を示したことより²²⁾、転換時に施用する炭カルは土壌 pH の矯正よりもむしろ肥料養分としての石灰供給に重点を置くべきであろうと考えられる。

② 土壌の窒素肥沃度

水田は湛水条件下にあることによって、土壌中の有機物の分解が抑制される一方、藻菌類など微生物による有機物の固定があって、転換畑土壌の窒素肥沃度が普通畑に比べて著しく高い傾向にある。畑転換後の熱水抽出 N、乾土の $\text{NH}_4\text{-N}$ 生成量ならびに乾土効果について調査した結果は

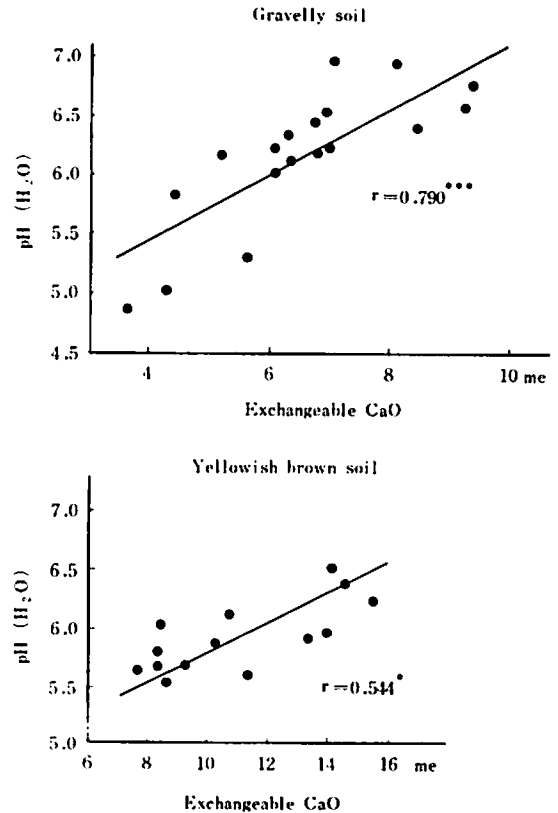


Fig 2 Correlative relationship between pH and the content of exchangeable CaO of the two converted upland soil

Fig. 3 および Fig. 4 に示すとおりである。

まず、可給態 N の指標である熱水抽出 N の時期別推移を礫質土壌では普通畑と転換畑間で、また、黄褐色土壌では転換後の年次間でそれぞれ比較すると、全抽出 N 量 ($\text{NH}_4\text{-N} + \text{NO}_3\text{-N}$) は、生育全期間をつうじて常に転換畑の方が普通畑を上廻っているが、全抽出 N 中に占める $\text{NO}_3\text{-N}$ の割合は逆に転換畑の方が低い傾向を示している。このことは、転換畑土壌の硝酸化成能が普通畑に比して劣っていることを意味している。また、黄褐色土壌における年次間の比較では、畑転換初年目土壌は 2 年目土壌に比べて全抽出 N 量が終始高く推移し、とくに、7 月上旬における調査結果では、両者間に 8 mg 前後の較差がみられる。

つぎに、乾土の $\text{NH}_4\text{-N}$ 生成量および乾土効果を比較すると (Fig. 4)、両土壌とも畑転換後の年数が経過するに伴って乾土の $\text{NH}_4\text{-N}$ 生成量

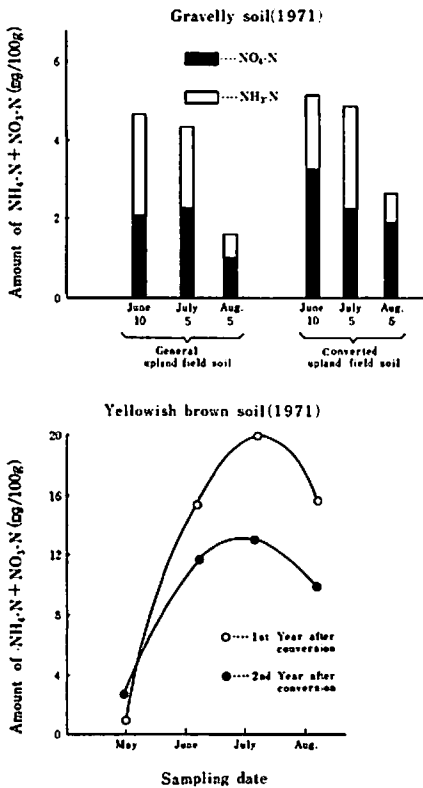


Fig 3 Change of Nitrogen in soil extracted with hot water with the conversion from paddy field

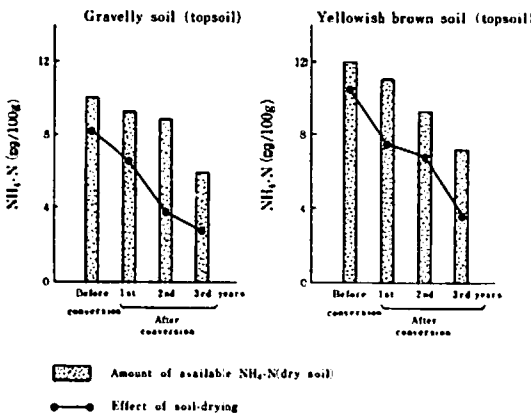


Fig 4 Change of available NH_4-N and effect of soil-drying on soil with the conversion of paddy field

が次第に低下し、乾土効果もそれに比例して漸減の傾向を辿り、転換後3年目においては転換前の水田に比べて50~60%前後に低下している。このことは、水田の畑地化に伴い地力窒素の消耗がき

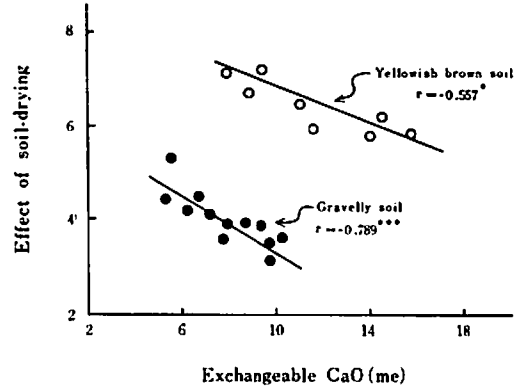


Fig 5 Relation between amount of exchangeable CaO and effect of soil-drying on the two converted soils at 3rd year after conversion (1972)

わめて急速に進展することを示唆しているものといえる。そこで、土壤窒素の消耗機構解明の一端として、転換後3年目における土壤の置換性石灰含量と乾土効果の関連について検討し、結果をFig.5に示した。礫質および黄褐色両土壌とも、乾土効果と土壤中の置換性石灰含量との間に比較的高い負の相関が認められ、土壤中の置換性石灰含量が増加するに伴って乾土効果が減少している。この事実は、水田を畑地に転換する際に施用する炭カル量の多少により土壤窒素の消耗度が著しく左右されることを裏付けている。

③ 鉄、マンガンの存在形態

水田から畑地に転換された場合には、水田時の還元層の酸化に伴い鉄、マンガンなどの可動性に富む還元物質の著しい形態変化が考えられる。そこで、畑転換後の鉄、マンガンの形態的な消長について検討を加えた。その結果はTable 8に示すように、両土壌とも、畑転換後の年数経過に伴って易還元性マンガンおよび活性2価鉄含量は次第に減少の傾向を辿るが、遊離酸化鉄含量は逆に若干の増加傾向がみられる。このように、水田土壌は畑地化の進行に伴って土壤が乾燥し、酸性的になると Fe^{2+} および Mn^{2+} は容易に Fe^{3+} 、 Mn^{4+} に変化し、その可動性の低下する現象が明らかに認められた。

(2) 土壤物理性の変化

① 土壤構造および透水性

水田転換畑は普通畑に比べて通水性、透水性な

Table 8 Formal changes of Mn and Fe in subsoil with the conversion from paddy field (1971)

Kind of soil	Year after conversion	Readily reductive Mn		Active Fe ⁺⁺		Free Fe ₂ O ₃	
		mg/100g	Ratio (%)	mg/100g	Ratio (%)	%	Ratio (%)
Gravelly soil	1st	5.7	100	56.5	100	0.49	100
	2nd	5.4	95	43.1	76	0.50	102
Yellowish brown soil	1st	17.0	100	44.4	100	0.86	100
	2nd	13.8	81	12.9	29	0.91	106

らびに碎土性の劣ることは先にのべたとおりであるが、畑転換後の年数経過に伴う土壌物理性の変化を土壌の3相組成、透水性ならびに土塊分布状態などの面から検討した。まず、土壌3相組成についてみると (Fig.6)、両土壌とも、転換後の年数の経過に伴って土壌が乾燥収縮するため、土壌3相中に占める固相率が減少し、気相率が増加する傾向が顕著に認められるが、転換後2年目以降はほぼ一定した割合で推移している。さらに、土塊の分布割合についてみても (Fig.7)、礫質土壌では畑転換後2年目で作土、心土ともほぼ普通畑

に近い均一な分布割合を示している。また、土壌孔隙の内容および、透水性について検討した結果 (Table 9)、礫質土壌では畑転換後2年目において、作土、心土とも粗孔隙量が著しく増加し、現場ならびに室内における透水係数も $10^{-4} \sim 10^{-2}$ -オーダーの値を示し、いずれも普通畑を上廻っている。さらに、黄褐色土壌における年次間の比較においても同様の傾向を示し、乾田を畑地化した場合には、畑転換後の年数経過に伴って通気性、透水性が著しく良好になることが明瞭である。

② 土壌の水分特性

転換後3年目における礫質土壌の水分特性について検討した。結果は Fig.8 に示すように、pF—水分曲線全体の勾配は普通畑、転換畑ともほぼ類似したパターンを示しているが、転換畑は普通畑に比べ各 pF 値の水分含量が高く、かつ、全有効水分量 (pF 1.9~4.2)、易有効水分量 (pF 1.8~3.0) も多い傾向を示し、土壌の水分供給能に富んでいることが明らかである。また、水分分布特性についてみると、普通畑では pF 1.6, 3.4付近に大きな変曲点が、また、pF 2.6, 4.2近辺に小さな変曲点がそれぞれ認められる。これに対し、転換畑では pF 1.6, 3.2, 4.2 近辺に比較的大きな変曲点がみられるが、全体的な水分分布の変域は両者ともほぼ同様なパターンを辿っている。このことより、透水性が比較的良好な乾田タイプの水田土壌では、畑転換後3年目ではほぼ普通畑に匹敵する水分特性を示し、内容的には普通畑を凌駕することさえ十分に考えられる。

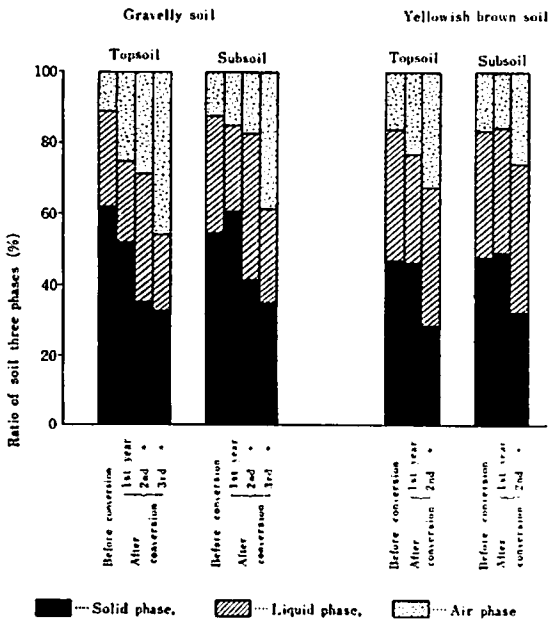
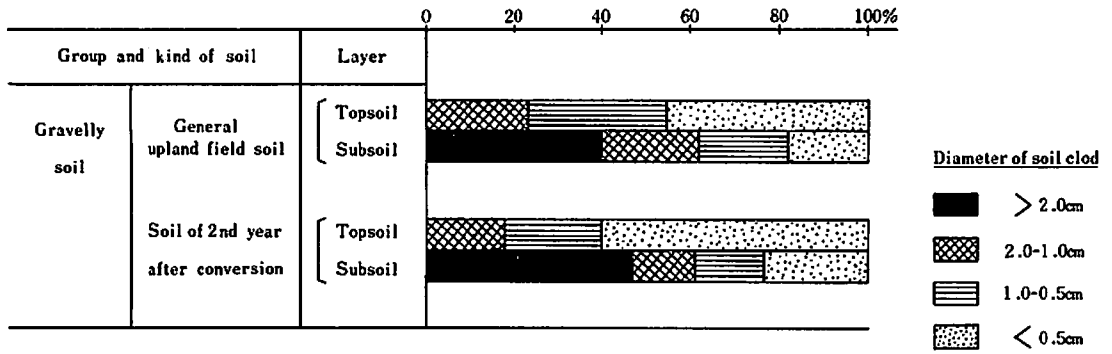


Fig 6 Change of three phases composition of soil with the conversion from paddy field



Remarks: Topsoil ...0-15cm, Subsoil ...15-30cm

Date of sampling...Sept.16

Fig 7 Distribution of soil clod formation with the conversion of paddy field (1971)

Table 9 Changes of soil porosity and water permeability with the conversion from paddy field (1971)

Group and kind of soil		Layer	Ratio of porosity (%)		Water permeability coefficient (K_{10})	
			Total porosity	Crude porosity	Field (cm/sec)	Indoor (cm/sec)
Gravelly soil	General upland field soil	Topsoil	59.6	21.1	8.2×10^{-5}	6.5×10^{-4}
		Subsoil	47.0	16.0	4.1×10^{-5}	2.3×10^{-4}
	2nd_year after converston	Topsoil	65.1	32.9	1.9×10^{-3}	1.2×10^{-2}
		Subsoil	58.9	20.5	3.1×10^{-4}	1.6×10^{-3}
Yellowish brown soil	1st Year after conversion	Topsoil	76.2	21.3	3.3×10^{-4}	3.3×10^{-3}
		Subsoil	62.9	18.9	1.3×10^{-4}	1.3×10^{-3}
	2nd Year after conversion	Topsoil	73.2	29.2	9.6×10^{-4}	1.2×10^{-2}
		Subsoil	67.6	23.2	4.5×10^{-4}	9.2×10^{-3}

IV 考察および論議

従来水田を畑地に転換して畑作物を導入する場合の前提条件として、①地下水位の低下、鋤床層破碎による地表水の排除ならびに透水性改良、②酸度矯正、③有機物、磷酸資材および各種塩基資材の施用などの対策が取り上げられている¹⁸⁾。

水田は、もともと用排水の便にめぐまれた沖積土地帯の平坦な低地に分布しており、かんがい水の導入による各種無機養分の富化ならびに藍藻類による窒素固定もあって、畑土壌より肥沃とされている。

また、一般的に、水田土壌の pH は 5.5 前後で酸性を呈しているため、畑転換時に施用する炭カル、消石灰、苦土石灰などの石灰資材量の算出には、大部分、土壌の酸度矯正を基準としており、土壌中の置換性石灰含量との関連において検討した例はほとんど見当たらない。炭カル施用によって変動する土壌 pH の幅は土壌の緩衝力の大小によって異なり、緩衝能の大きな土壌では十分な炭カル量を施用しても土壌 pH の上昇程度が少ない現象が見られた。さらに、土壌の置換性石灰含量と小豆、てん菜などの畑作物の収量との関連について検討した結果、両土壌とも共通的に土壌中の置

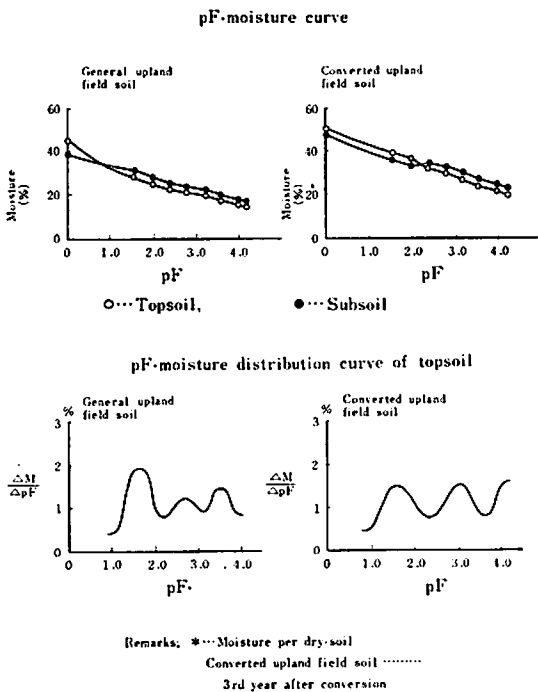


Fig 8 Comparison of soil moisture properties between general upland field soil and converted upland field soil (1972)

換性石灰含量が 6~8me 前後で収量の頭打ちする傾向がみられることより、転換時に施用する石灰資材の意義は筆者ら^{22) 23)} が指摘している様に、土壌 pH の矯正よりもむしろ肥料養分としての石灰供給に重点を置くべきであろうと考えられる。

一般に水田土壌は畑土壌に比べ窒素的に肥沃であるが、水田が畑地に転換された場合には、湿田が乾田化された時と同様に、一時的に N 供給能が高くなるが、転換後の年数経過に伴って $\text{NH}_4\text{-N}$ 生成量ならびに窒素的地力が漸減の傾向を示した。

水田土壌中における有機態窒素の無機化を促進させる方法としては機械的効果、地温上昇効果、アルカリ効果、乾土効果などが主体をなすと考えられているが^{12) 15) 16)}、本実験の結果において土壌中の置換性石灰含量と乾土効果の間に高い負の相関が認められたことは、畑転換時における石灰資材の多施（一種のアルカリ効果）は土壌窒素の消費度合を著しく助長することを示唆している。また、転換畑における共通的な問題としては普通畑

に比べ硝酸化成能の劣ることであり、本研究でも同様に劣る傾向がみられた。このことに関しては石沢・豊田⁵⁾、南ら²³⁾ および石井⁴⁾ が報告している様に、土壌中の硝酸化成菌の密度の小さいことが主要因であるものと考えられる。

なお、水田転換畑が普通畑に比べ土壌中の有効態磷含量に乏しい傾向がみられたが、この原因としては両者間における磷肥の施肥履歴の相違に加え酸化還元の違いに起因することがきわめて大きいものと思われる。すなわち、畑地化による土壌の酸化脱水に伴って土壌中の磷の形態は磷酸第 2 鉄 $[\text{Fe}_2(\text{PO}_4)_3]$ から磷酸第 1 鉄 $[\text{FePO}_4]$ に変化してその溶解度および移動性が低下するためと思われる。

つぎに、土壌有機物の中でもっとも可動性に富むフルボ酸組成の面で、転換畑土壌は畑土壌に比べ画分 B および画分 D より成るフルボ酸の分布量が多く、その反面、画分 A および画分 C より成るフルボ酸の分布量が少ない傾向を示し、これらの結果は望月・花田の報告結果¹⁴⁾ と一致している。この現象は、FORSYTH によるフルボ酸の各画分特性から推定されるように、水田土壌では微生物の栄養源および土壌の粒団形成に関与する腐植が少ない反面、鉄、アルミナなど土壌塩基類の溶脱を助長するキレート的な性質を具備した腐植に富み、畑地に較べ腐植化度の低いことを意味している。

また、水田を畑地に転換することによって、土壌中の活性 2 価鉄含量および易還元性マンガン含量が減少し、遊離酸化鉄含量が逆に増加する現象がみられた。本村²⁴⁾ は、湿潤土を風乾処理することにより土壌中の 2 価鉄のうち大部分が不活性の形で存在し、活性の部分はわずかであると報じている。さらに、南²⁰⁾、小林ら¹⁰⁾ は休耕田の土層断面調査において、湿田タイプの土壌（泥炭質、グライ土壌など）では休耕に伴う土壌の酸化脱水によりグライ層が消失し、酸化沈積物の増加することを認めている。以上の事柄は、水田の畑地化に伴う土壌の酸化脱水作用によって、水田土壌中で還元形態で存在する鉄、マンガンなどの物質群は容易に酸化形態に転じ、その可動性が低下し、不可給

態化することを示している。

水田土壌が畑土壌に比べ特異的な土壌構造をなしていることはすでに多くの研究者により指摘されている^{1) 9) 11) 13)}。

一般に、水稻栽培では湛水、代掻き作業が行なわれ、還元条件下で推移するため水田作土の構造は泥状または団塊状となっており、これが乾燥すると団塊状、角塊状構造に転化し、かつ、土粒子の乾燥収縮により亀裂の発生がみられる。また、作土直下に緊密な鋤床層が存在することも普通畑ではみられない現象である。鋤床層は水稻栽培では漏水防止や地耐力の増大のためには不可欠の役割をはたしている。水田土壌は畑土壌に比べて通気・通水性が悪く、かつ、土塊および粒団組成の面でみられるように、作土の碎土性が極端に劣り、培地条件は大土塊の分布量が多い。そのため、転換畑では土壌水分の円滑な供給が妨げられることによって、発芽の不揃や初期生育の不良を招来することが予測される。しかしながら、水田の畑転換後2年目においては、土塊の分布割合が転換前に比べて著しく均一化し、土壌の3相組成割合、孔隙の内容ならびに透水性の面では普通畑を上廻る傾向を示した。

石塚ら⁹⁾は強粘質水田の畑地化において、畑転換後3年目には鋤床層の痕跡がほぼ消失し、内容的には普通畑に近似した土壌物理性を示し、透水性の不良な湿田タイプ土壌においても、畑地に転換して3年ぐらい経過すれば普通畑と同様な土壌構造に変移することを報告している。したがって、本試験を行った乾田タイプの土壌では、より早く普通畑と同じ条件になることが容易に想定される。

なお、池田ら⁷⁾は転換後における土壌構造発達機構の主要因として乾湿の変化や温度変化などの優位性を指摘しているが、これらに関しては乾田と湿田の差異および土壌の母材、粒径組成の面に関連し今後さらに検討する必要がある。

V 摘 要

礫質土壌および黄褐色土壌などの乾田を畑地に転換した場合の土壌の化学性、物理性の変化につ

いて検討した結果を要約するとつぎのとおりである。

1) 水田転換畑土壌の3相組成、土塊分布および透水性などの土壌物理性は普通畑土壌に較べていずれも劣り、とくに、土壌の気相割合および容気度が小さく、相対的に液相率の割合が大きく、かつ、2.0cm以上の大土塊の分布量がきわめて高い値を示し、その傾向は作土よりも心土において顕著である。

2) 水田が畑地化される際の石灰質資材施用による土壌pHの上昇程度は土壌の種類(土壌の緩衝能の差異)によって異なり、礫質土壌では所定の炭カル施用で土壌pHおよび土壌中の置換性石灰含量は十分高まったが、腐植含量の高い黄褐色土壌では炭カル施用に伴う土壌pHの変動はわずかであった。なお、畑作物の収量と土壌中の置換性石灰含量との関係から、炭カルの施用は土壌pHの矯正よりもむしろ石灰養分として供給することに重点を置くべきであると考えられる。

3) 水田転換畑は普通畑に比べて土壌の窒素的地力は高いが、畑転換後の年数経過に伴って、しだいに減少する傾向がみられた。なお、乾土乾果と土壌中の置換性石灰含量との間には負の相関(礫質土壌: $r = -0.789^{***}$, 黄褐色土壌: $r = 0.557^*$)が認められ、石灰質資材の多施は窒素的地力の減少度を助長する傾向がうかがわれた。

4) 転換畑は普通畑に比べ鉄、アルミナなどの溶脱を助長するキレート的なフルボ酸含量が多い反面、土壌微生物の栄養源となり、土壌の粒団形成に関与するフルボ酸含量に乏しい傾向がみられた。

5) 水田の畑地化に伴って鉄、マンガン形態変化が著しく、両土壌とも、畑転換後、活性2価鉄含量および易還元性マンガン含量が減少するのに対し、遊離酸化鉄含量は逆に増加する傾向にあった。

6) 転換畑土壌の3相組成、土塊分布および透水係数などの土壌物理性は、転換後2年目において著しく良好となり、通気・通水性ともに普通畑を上廻る内容を示した。

引用文献

- 1) 青峰重範, 1961; 土壤肥料講座, 2.
- 2) 赤塚忠, 板柳迪夫 1964; 畑土壤における窒素供給力の検定法に関する 2, 3 の考察, 北農試彙報, 83, 64—70.
- 3) ASAMI, T. and K. KUMADA, 1959; Comparison of several methods for determining free iron, Soil Plant Food, 5, 179—183.
- 4) 石井忠雄, 1972; 水田転換畑土壤の微生物相について, 土肥学会北海道支部講演要旨集, 8—9.
- 5) 石沢修一, 豊田広三, 1964; 本邦土壤のミクロフロラに関する研究, 農技研報告, B—14.
- 6) 石塚喜明, 永沢悟, 西瀧高一, 1951; 田畑輪換栽培土壤の物理的および化学的性質に関する研究, 北海道米作研究会報告, 1, 135—161.
- 7) 池田実, 原田勇, 田村香居, 1956; 田畑輪換土壤に関する研究 (第 3 報), 土肥誌, 27, 9, 361—364.
- 8) 上川専技室, 1973; 稲作転換作物栽培事例集 (第 3 編) 北海道立上川農業試験場
- 9) 喜田大三, 川口桂三郎, 1960; たん水・還元・脱水条件の土壤構造への影響 (第 1 報), 土肥誌, 31, 9, 375—379.
- 10) 小林荘司, 伊藤輝行, 大西嵐圃, 1972; 休耕田の土壤変化について, 北農, 39, 3, 1—12.
- 11) 斎藤万之助, 1971; 水田土壤の凝集性, 土試報, 56, 1.
- 12) 塩入松三郎, 青峰重範, 宇野要次, 原田登五郎, 1941; 水田土壤の乾燥の効果について, 土肥誌, 15, 331—333.
- 13) 出井嘉光, 1967; 水田作土の構造と水稻生育, 土壤の物理性, 16, 27—32.
- 14) 日本植物防疫協会, 1965; 土壤病害の手引 (Ⅱ), 180—186.
- 15) 原田登五郎, 1959; 水田土壤の有機態窒素の無機化とその機構に関する研究, 農技研報告, B—9, 123—199.
- 16) ———, 林竜三, 近本明雄, 1964; 土壤の機械的処理効果と有機態窒素の無機化促進効果, 土肥誌, 35, 21—28.
- 17) FORSYTH, W. G. C., 1947; Biochem. 41; 176.
- 18) 前田要, 山口正栄, 盛時雄, 小田切弘一, 1967; 水田の蔬菜地化に伴う土壤肥料的対策, 北農, 34, 8, 32—39.
- 19) KONONOVA, M. M. 1961; Soil Organic matter, 345.
- 20) 南松雄, 1971; 休耕田の肥培管理, 農業北海道, 23, 3, 52—55.
- 21) ———, 前田要, 藤原耕治, 関口明, 1971; 水田の畑転換に伴う土壤理化学性の変化について, 土肥学会北海道支部講演要旨集, 5.
- 22) ———, ———, 和田順行, 関口明, 1972—a; 水田転換畑における短期連作に関する研究 (第 2 報) 甜菜連作と石灰施用の関係, 土肥学会北海道支部講演要旨集, 21.
- 23) ———, ———, ———, 吉田正, 1972—b; ——— (第 3 報) 小豆連作と根圏土壤の生態につ

いて, 土肥学会北海道支部講演要旨集, 21.

- 24) 本村悟, 1969; 水田土壤における 2 価鉄の行動とその役割について, 農技研報告, B—21, 1—114.
- 25) 山中金次郎, 中村秀夫, 松尾憲一, 本村悟, 1957; 土壤のグライ化に関する研究 (第 1 報), 土肥誌, 28, 308—310.

Summary

The authors have conducted studies on the soil characteristics of an upland field converted a paddy field in the northern rice area of Hokkaido. These papers deal with the change of the physical and chemical properties of soil with the conversion of paddy fields. They used two well-drained paddy fields of Gravelly soil and Yellowish Brown soil for conversion.

Results obtained are summarized as follows;

1) A large proportion of liquid phase among the soil three phases and of soil clods as large as more than 2.0cm in diameter could be found immediately after conversion from the paddy field. But that of the air phase and the rate of air capacity in the whole pore space were relatively small. It was recognized from these facts that the physical properties of soil in the converted upland fields such as development of structure, water permeability and crush ability were extremely inferior to that in the general upland fields in the first year after conversion. These conditions of soil could be found in the subsoil more significantly than in the topsoil.

2) In the Gravelly soil, the amount of exchangeable CaO could be increased by application of calcium carbonate as much as corresponding to 60 percent of CaO saturation, a sufficient improvent of soil acidity. In the Yellowish Brown soil, on the other hand, the improvement of the soil acidity could hardly be found.

A high positive correlation could be found between the yield of upland crops and the amount of exchangeable CaO in the converted upland fields in the first year after conversion. The highest yield of crops was harvested in the soil condition of eight me of exchangeable CaO after the second year of conversion. It can be emphasized from these facts that the application of lime materials to converted fields should be taken with every regard to the effects

on the nutritional condition, rather than that on the improvement of soil acidity.

3) The nitrogenous fertility of soil was superior in the converted upland fields to that in the general upland fields, immediately after conversion from paddy fields. But, the content of available nitrogen in the soil and the effect of soil-drying could be decreased in the converted fields with the lapse of time after conversion the paddy fields. As results, the available nitrogen in the soil in the third year after conversion was decreased to about 50-60 percent of the paddy field condition. Furthermore, it was recognized that there was a negative correlation between the effect of soil-drying and the amount of exchangeable CaO in the soil.

4) The content of fraction B and D in fulvic acid fractionated by FORSYTH'S method were high in the converted field, in comparison with

that in the general upland fields, and a lower content of fraction A and C were found. The former fractions are considered to have had the chelating action promoting the leaching losses of iron and aluminium in the soil and the latter is regarded as connected with the nutritional source of microorganisms and the formation of aggregates of the soil.

5) The amount of free ferric oxide could be increased, but the content of active ferrous iron and readily reductive manganese decreased in the converted upland fields after the conversion from paddy fields.

6) Physical properties of soil effecting its productivity such as the constitution of the three phases of the soil, the proportion of soil clods and water permeability could be improved remarkably in the converted field in the second year after conversion.