

A 土 壤 ・ 肥 料

東南アジアの水田土壌の概要と 重要研究課題

川 口 桂 三 郎

は し が き

東南アジア¹⁾の農業生産性を向上させるために、特にわが国の技術者が主力をそそぐべき稲作の改良のために、他の専門分野の研究とともに土壌の十分な理解がなされねばならない。京都大学東南アジア研究センターでは1963年秋以来本地域の水田土壌について系統だった研究を行なっている。本稿においては今日までに得られた成績を主とし、これに国外および国内の研究者による成果を加え、東南アジアの水田土壌の概要と主要な研究課題について述べる。

I 東南アジアの土壌概観

東南アジアは大部分が湿潤気候下にあるため世界的視野で見ると乾燥気候型土壌に属する土壌は比較的少ない。一方地形および地理的複雑さにより湿潤気候型土壌の種類はきわめて多い。寒冷湿潤土壌の代表的なものとしてされているポドソールから熱帯土壌の典型的なものといわれるラトゾルに至るまで多種多様な土壌が分布している。

しかしこれらの複雑な土壌も水田土壌に限定してその肥沃性を遠観する立場からは次のように区分して考察することができる。

1. 熱帯圏外の風化物を母材とする土壌

東よりメコン、サルウィーン、イラワジ、ブラマプトラ、ガンジスなどの大河川による堆積物がこれにあたる。これらの河川は源流を高緯度、高標高の地域にもち、その堆積物は化学的風化を受けることが少なく、また河川の水質はケイ酸、塩基類に比較的富んでいる。したがってこれらの大河川の堆積物上の土壌は窒素、リン酸を除く他の成分に母材的に欠乏していることはほとんどない。窒素、リン酸は最重要な要素であるがこの2要素の供給を河川の堆積物や河川水に求めることは一般にできない。

1) 京都大学東南アジア研究センターで研究の対象とする地域は地理学上の通念となっているビルマ以東の大陸、島嶼部であるが、ここではいわゆる南アジアに属するセイロンおよび東パキスタンを含めている。

2. 熱帯圏内の風化物を母材とする土壤

熱帯圏内の風化物は前者に比べ化学的風化をうけることが大きいため、これに由来する土壤も塩基、易溶性ケイ酸、鉄、マンガンの含量が概して上記の大沖積地の土壤に比べて少なく、また母材、堆積の条件により含量に変異が大きい。

この部類に属する土壤は次のように分けて考えるのが妥当であろう。

1) 塩基にきわめて乏しい母材よりなる土壤

タイの東北部すなわちコラート台地の土壤がその典型的なものである。大部分は中生層の砂岩が長期の熱帯風化をうけて生成した母材よりなっている。特にコラート南部の土壤はほとんどすべての植物養分に極度に欠乏している。

2) 塩基に乏しい母材よりなる土壤

マラヤ全域およびセイロンのウエットゾーン (wet zone) の土壤などがこれに属する。前者は花こう岩などの酸性岩の風化物を母材とすることが多い。後者はケイ岩風化物を母材とする場合もあり、また母岩が必ずしも塩基に欠乏していないときも、それらが高温、多湿下で烈しい風化、洗脱を受けた風化物が母材となっている。

3) 塩基が中程度ないし豊富な母材よりなる土壤

雲母片岩などの変成岩風化物を母材とするセイロンのドライゾーン (dry zone)、火山灰の影響を受けているルソン (Ruzon) 島南部、ジャワ島の相当部分などがこれに属する。またタイのメナムチャオピアを主幹とするタイ中央平地の土壤は集水域は熱帯～亜熱帯にあるが、石灰質風化物の混入があって、塩基、ケイ酸などはなはだしい欠乏はない。

また石灰岩、泥灰岩などカルシウム、マグネシウムに富む母岩の風化物が比較的近距離の運積を受けた堆積物を母材とするグルムゾル (grumusol) が各地にある。

なお海成沖積土、河川沖積土に海成沖積の影響の加わったものを母材とする土壤も各地に多い。これらは一般に塩基、ケイ酸に富みまた易溶性リン酸に富むこともある。しかし一方では酸性硫酸塩土壤 (acid sulfate soils) を生成する場合がある。局部的には沼沢性 (boggy)、泥炭質 (peaty) 母材の上につくられている水田もある。大河川の堆積物上の土壤はテラス面の安定後の年代などにより肥沃性に変化をきたしている。

残積性土壤の上の水田も散在するが水田としての重要性は低い。

II 土壤生成論的 (pedogenetical) な特性

久馬・川口は、作土における還元溶脱、下層における酸化集積をもって水稻栽培によるのみひき起こされる特有の土壤生成作用であるとし、Ap—Bg—Cg あるいは Ap—Bg—G のごとき層序 (horizon sequence) をもつ水田土壤を Aquorizem と名づけた。Aquorizem に相当する水田土壤はインドネシア、ビルマにも存在が報告されているが、われわれもマラヤ東部、

タイ北部，セイロン，東パキスタン北部の Piedmont area で Aquorizem の存在を認めている。しかしその分布は比較的限られている。大部分の水田は時間的因子が不十分でない場合も，(1)重粘な土性による水の透水の阻止，(2)セルフ・チャーニングあるいはセルフ・インバージョンの作用，(3)高温下にもかかわらず有機物の少なさやその他の理由による作土における還元状態の発達の弱さなどのために典型的な Aquorizem の形態を示さず，水田化以前の土壌形態を保っている場合が多い。土壌中の小生物による土壌の反転，混合作用も無視できないかもしれぬ。

III 東南アジアの水田土壌の肥沃度

土壌生成論的な特性についての詳細は別に報告することとし，本稿においては水田土壌の肥沃度について，要素別に大要を述べる。

1. 有機物含量と可給態窒素

今日までに調査した範囲で，各地域における水田土壌の作土中の有機炭素量とその粘土含量に対するパーセントを表1に示す。また土壌からの水稲に対するN供給力の指標として風乾土を湛水したのち生成する $\text{NH}_4\text{-N}$ の量をとったが，その値を表2に示す。これらの結果から次のことを推察することができる。

表1 水田作土中の炭素（有機）含量

	C %			$\frac{\text{C}\%}{\text{Clay}\%} \times 100$			Clay%	
	平均	σ	n	平均	σ	n		
タイ 中央部	1.43	0.47	44	2.70	0.77	18	57.2	
	1.38	0.54	42	4.44	1.25	34	34.6	
	0.54	0.31	30	2.90	0.91	4	19.4	
マラヤ 西側	2.33	0.82	17	5.04	3.10	11	42.7	
	1.41	0.42	10					
	沼沢，泥炭質	6.02	2.48	14	14.17	5.41	3	49.6
セイロン	ドライゾーン	0.90	0.45	18	4.35	1.43	18	24.2
	中間～ウェットゾーン	1.34	0.60	12	6.23	1.76	12	21.2
	沼沢，泥炭質	4.76	2.94	3	22.70	11.7	3	32.2
カンボジア (バタンバン付近)	1.14	0.29	16	2.30	0.48	4	62.0	
フィリピン (マニラ付近)	1.54	0.31	6	3.02	1.06	6	54.4	
日本	(1) 全国*	3.19	2.13	321	—	—	—	—
	(2) 各試験場**	1.74	—	43	—	—	—	—
	(3) 児島干拓地***	1.83	0.47	7	3.95	1.50	7	47.4

* 昭和32年，農林省振興局研究課

** 昭和42年，農技研化学部，ただし強グライ土，火山灰土，泥炭土を除く

*** 粘土含量40%以上のだけをとる

表2 作土を湛水後のアンモニア態窒素の生成

	HN ₄ -N mg/100g		アンモニア化成率 %		n	
	平均	σ	平均	σ		
タイ 中央部	4.50	2.31	4.11	1.79	39	
	7.51	4.48	6.23	3.68	37	
	3.06	3.37	5.57	3.68	30	
マラヤ 西側	9.63	4.93	5.46	2.47	17	
	13.39	5.38	9.71	3.04	10	
	22.30	11.80	5.39	3.48	14	
セイロン	5.46	5.45	5.67	3.27	18	
	12.18	5.44	9.63	2.69	12	
	14.13	5.89	4.57	1.31	3	
カンボジア (バットバン付近)	5.43	2.89	4.25	2.01	4	
フィリピン (マニラ付近)	6.33	2.33	5.32	1.18	6	
日本	(1) 全国*	11.73	7.53	6.37	2.90	277
	(2) 各試験場*	10.12	—	6.22	3.50	38

* 表1の注と同じ

日本土壌は 30°C, 他は 40°C で湛水 2 週目の結果

1) タイ中央部, カンボジア (バットバン付近のみ) など大陸部の大沖積地の水田土壌は有機物含量が低い。しかし温帯にある日本の水田土壌に比べ, 沼沢性土壌, 泥炭質土壌, 腐植質火山灰土を除くと, 非常に大きな差があるわけではない。タイ中央部, カンボジア (バットバン付近) の土壌は明瞭な乾期を有するという気候下での水田耕作という条件下で平衡に達していると考えられる。これに対してマラヤ西部の土壌は沼沢性, 泥炭質なものを除いてもなおタイ中央部の土壌に比べ有機物含量が高いが, これは, (1)気候的に明瞭な乾期を欠き, (2)水田化以降の年代が若く, 多少とも水田化以前のジャングルの有機物の影響が残っている場合があること, (3)一部の地域 (ケダー州南部, プロビンス・ウェレズレーなど) で稲の刈株, 雑草を焼かず鋤込む慣習のあることなどによると考える。

2) タイ・コラート, セイロン・ドライゾーンの土壌の有機物含量はさらに低いがこれは気候的因子の他に土性が砂質であることも関係しているだろう。

3) 粘土の量に対する有機炭素の比をみるとタイ中央部, カンボジアが最も低い。セイロン・ドライゾーンはそれほど低くはないが, セイロンのウエットゾーンとの間の差は高度に有意である。

タイ中央部とタイ北部, タイ中央部とマラヤ土壌との間は粘土含量40%以上だけで比較しても有意である。またタイ北部土壌だけについて粘土40%以上のものと40%以下のもので比較すると有意差はない。

表3 土壌有機物の特性値

地域	特性値	fH*	fHa*	fFa*	ΔlogK*		
					平均値	σ	n
タイ	中央平地	49	35	71	0.64	0.025	8
	北部	75	64	86	0.70	0.010	2
	東北部(コラート)	60	42	78	0.65	0.025	2
マラヤ	西側	74	72	85	0.72	0.052	6
	東側	89	85	91	0.79	0.075	4
	腐植質土壌	96	96	92	0.81	0.042	4
日本		68	56	81	0.78	0.080	3

* fH : 全腐植に対する遊離腐植のパーセント
 fHa : 全腐植酸に対する遊離型腐植酸のパーセント
 fFa : 全フルボ酸に対する遊離型フルボ酸のパーセント
 Δlog K : 腐植酸溶液の600mμ と 400mμ における吸光度の差。腐植化の進むほどこの値は小さくなるといわれる。

4) 予備的にタイ中央部, コラート, マラヤ土壌の有機物の特性をみた結果は表3のとおりで, タイ中央部, コラート土壌の有機物の腐植化が進んでいることが推察される。

5) 大陸部の大沖積土壌はその他の土壌に比べて湛水後の NH₄-N の生成量も全窒素に対する生成パーセント(アンモニア化成率とよぶ)も明らかに低い。

6) 全窒素に対する酸加水分解性窒素のパーセントと湛水後の NH₄-N 生成パーセントとの間には高い相関がある。

7) NH₄-N の生成量, アンモニア化成率は有機物の特性の他, 土壌の他の性質の影響をうけることはいうまでもない。湛水後の還元状態の発達が弱い場合はアンモニア化成率は低い。還元状態発達の目安として湛水後の pH の上昇をとると表4の関係がえられる。pH の上昇が少ない(還元状態の発達の弱い)原因としては, 有機物の特性の他に極端な酸性, 極端なリン酸欠乏, 遊離鉄の高含量その他未知の因子がある。各地に存在する酸性硫酸塩土壌においてはリン酸, マンガンなどの不足とともにNの供給過少に注意すべきであろう。

表4 pHの上昇とアンモニア化成率

	pHの上昇	NH ₄ -N 化成率	σ	n
タイ中央平地	大*	4.90%	2.06	25
	小	2.70	1.57	14
全マラヤ	大	8.31	3.00	23
	小	3.97	1.90	18

* 風乾土の pH が4または3台で湛水後の pH が6.0 以上になるもの, および風乾土の pH が5台で湛水後6.5 以上になるものをいう。塩類土は pH 上昇小の方に含まれている。

8) マラヤ西側, セイロン・ウエットゾーンにはNの供給過多と考えられる土壌が少なくない。

9) マラヤ東側, セイロン・ウエットゾーンの土壌はアンモニア化成率が高い。これらの土壌

は、すべてカオリン質である。しかしカオリン質であることと $\text{NH}_4\text{-N}$ 化成率とは直接の相関関係はないと考えられる。粘土鉱物組成に変異のあるマラヤ西側土壤、セイロン・ドライゾーンの各土壤について吟味すると $\text{NH}_4\text{-N}$ 化成率と粘土鉱物組成との間に相関関係はない。

これらの地域で、きわめて近い将来に多量のN肥料が普遍的に使用されることは期待しにくく、土壤から供給されるNに対する依存度の高い状態が続くであろう。このため前作の刈株中のNの有効度や窒素固定作用に対しては十分な注意が払われねばならぬ。小林達治の予備調査によるとタイ、マラヤ水田においてN固定能のある *algae, heterotrophic nitrogen fixers*(both *aerobes and anaerobes*), *photosynthetic bacteria* は広く分布している。

なおNの供給力の大小は直接水稻の収量に結びつけて考えるべきではない。それぞれの条件に適した稲作法がとられるべきであるということである。

2. 可給態リン酸

可給態リン酸は日本の慣行法である 0.2 N HCl 浸出法と B ray—Kurz B 法で測定しているが両者の間の相関はきわめて高い。0.2 N HCl 可容量によるクラス分けの値を表5に示す。表に示すとおり可給態リン酸の量には非常に明らかな地域性がある。まず大陸の大沖積土壤には非常に少ない。タイ東部のコラート台地の土壤はさらに少なく、ことにコラート東南の Chi 川流域土壤はきわめて少ない。これらは全リン酸含量についても同様である。大陸部およびマ

表5 作土の 0.2N 塩酸可溶リン酸量 (クラス別土壤点数)

ク ラ ス →	各 ク ラ ス の 土 壤 点 数						総点数
	A	B	C	D	E	F	
各 ク ラ ス の $\text{P}_2\text{O}_5\text{mg}/100\text{g}$ →	>30	29.9-10.0	9.9-5.0	4.9-3.0	2.9-1.0	<0.9	
タ イ 中 央 部	5	4	2	4	18	10	43
北 部	1	8	5	3	12	15	44
東北部(コラート)	0	0	2	3	9	18	32
マ ラ ヤ 西 側	1	4	2	2	5	3	17
東 側	0	0	1	0	2	7	10
沼 沢, 泥炭質	1	4	6	1	2	0	14
セイロン ド ラ イ ズ ー ン	1	3	4	4	3	3	18
中間~ウェットゾーン	0	1	3	3	3	2	12
沼 沢, 泥炭質	0	0	1	0	2	0	3
カンボジア (バットバン付近)	0	0	0	0	1	15	16
フィリピン (マニラ付近)	0	0	0	0	2	4	6
東 パ キ ス タ ン	17	11	4	9	10	2	53
日 本*	36	12	1	0	1	0	50

* 秋田, 新潟, 長野, 岐阜および岡山の各県下の水田土壤について

マラヤ西側土壌の海成沖積と考えられる土壌中には時にきわめてリン酸含量の高いものがある。これらの土壌では下層土のリン酸含量のほうがしばしば作土のリン酸含量よりも高い。

東パキスタンのガンジス，ブラマプトラの沖積土壌の可給態リン酸の量はきわめて高い。日本の水田でこの値が高いのは施肥の結果である。

なお水田土壌のリン酸供給力を示すためには，土壌中の全リン酸量，湛水下における可溶性リン酸量をも提示すべきである。しかしながら東南アジア諸地域におけるリン酸含量の著しい地域性，甚だしい欠乏土壌の存在などを理解するには表5の成績だけで十分であろう。

3. カリその他の塩基類

タイ・コラート地方，セイロンのウエットゾーンには置換性カリ含量の甚だしく低い土壌が存在する。他の地域では置換性カリの含量は高く，カリの施肥はさし当たって重要な問題とならないであろう。

海成沖積土中にはしばしばカリ含量の高い土壌がある。一方 Aquorizem では作土のカリ含量は鉄，易溶性ケイ酸とともに低い。

圃場で認めうる含カリ鉱物の量，粘土中のイライト含量と置換性カリの量との間の相関はない。

石灰，マグネシウムの欠乏土壌もタイ・コラート，セイロン・ウエットゾーンを除くと他にはない。一方泥灰岩由来のグルムゾル (grumusol) やガンジス流域の石灰質土壌においては水稻の高収量は得られていない。

4. 粘土鉱物組成その他

Ca-粘土，Ca-粘土のグリセロール処理，K-粘土，K-粘土の 300°C 加熱の4処理の試料についてのX線回折図からカオリン型鉱物，イライト，モンモリロナイト，バーミキュライトの相対量の概略の相対比を求め表6のごときクラス分けを行なった。この結果，その他から次のことが結論できる。

1) 粘土鉱物組成の地域的特性はきわめて明らかで

表6 作土の粘土鉱物組成によるクラス分け

クラス	粘 土 鉱 物 組 成		
	カオリン類	イライト	そ の 他
A	<35	<15	モンモリロナイト多し
B	<35	>20	バーミキュライト多し
C	40-55	<10	モンモリロナイト多し
D	40-55	>15	バーミキュライト多し
E	>60		
F	>80		

	A	B	C	D	E	F
タイ 中 央 部	2	3	0	16	2	0
北 部	0	3	1	20	5	0
東北部(コラート)	0	0	4	0	4	2
マラヤ 西 側	12	0	9	0	5	3
東 側	0	0	0	0	3	9
セイロン ドライゾーン	3	3	5	2	4	1
中間~ウエットゾーン	0	0	1	1	1	12

ある。

2) イライト含量はバーミキュライト含量と平行的であり、モンモリロナイト含量と逆平行的である。

3) タイ中央平地の土壤はマラヤ土壤に比べてイライト含量が高い。またタイ中央平地の土壤は同じ河川の上流部に位置するタイ北部の土壤と酷似した粘土鉱物組成をもつ。

4) マラヤの東海岸土壤、セイロン・ウェットゾーン土壤、タイ・コラートの南部の土壤は著しくカオリン質である。

5) 下層土と作土の粘土鉱物組成は地質的に母材が同じと考えられる場合は酷似しており、地質的な母材が違ふと考えられる場合もそれほど大きな差異はない。

6) タイ北部の塩基性岩に由来するごく一部の土壤を除けばタイ、マラヤ、セイロン土壤にはクロライトは認められなかった。ビルマのイラワジデルタ土壤ではクロライトの存在が報告されている。

7) 遊離酸化鉄の形態として日本の水田に普遍的に存在するレピドクロサイト (lepidocrocite) が分析した限りではみつかっていない。

8) 作土土壤の CEC は下層土に比べ、粘土含量、粘土鉱物組成、有機物含量より予想される値よりも低い場合が多い。

5. 可給態ケイ酸

可溶性ケイ酸の量は土壤生成論的にも立地学的にも有用な指標である。作土中の可給態ケイ酸の量を表7に示す。

タイ中央部やカンボジアの若い沖積土壤にはケイ酸の非常に少ない土壤はみあたらない。タイ中央部の非常に少ない3点

表7 作土中の有効ケイ酸含量

	平均値 mg/100g	σ	点数
タイ 中央部	13.2	8.0	34(3)*
北	12.6	8.5	44(3)
東北部(コラート)	4.4	6.8	26(19)
マラヤ	10.4	8.6	41(5)
セイロン	21.4	20.2	33(3)
カンボジア(バタンバン付近)	18.9	3.9	16(0)
フィリピン(マニラ付近)	42.0	18.9	6(0)
日本における限界値**	10.5-13.0		

* カッコ内の数字は有効ケイ酸の含量の特に低い (<3.9 mg) 土壤の点数を示す。

** 有効ケイ酸含量がこの値より低い土壤においてはケイ酸施肥の増収効果があるとされている。

の土壤のうち1点はカオリン質の母材の堆積土壤であり、他の2点は中央部西南端のアルカリ退化土壤 (Solonetz-solodized soils) でともに局地的なものである。カンボジアの土壤などはプリンサイトの多いものでも易溶性ケイ酸には富んでいる。かつ易溶性ケイ酸含量の変異が小さいがこれは氾らん水による供給が大きな原因をなしているのでは

表8 鉄とマンガンの欠乏土壌

	土 壤 点 数					
	Fe ₂ O ₃			MnO		
	総点数	欠乏	甚だしい欠乏	総点数	欠乏	甚だしい欠乏
タイ 中央部 北 部 東北部(コラート)	43	10	2	20	4	1
	44	13	0	11	2	0
	32	24	22	17	8	6
マラヤ 西側 東側 沼沢, 泥炭質	17	11	7	17	14	11
	10	3	2	10	6	2
	14	9	6	14	8	6
セイロン ドライゾーン 中間~ウェットゾーン 沼沢, 泥炭質	15	4	3	15	1	0
	12	6	2	12	7	3
	3	1	1	3	2	1
カンボジア (バットバン付近)	16	0	0	16	0	0
フィリピン (マニラ付近)	6	0	0	6	0	0

注 1) 鉄欠乏……遊離酸化鉄<1.0%
鉄甚だしい欠乏……同上 <0.5%
マンガン欠乏……易還元態 MnO <2.5mg/100g
マンガン甚だしい欠乏……同上 <1.0mg/100g

注 2) 欠乏土壌の点数中には甚だしい欠乏土壌点数を含む

ろう。

マラヤ, セイロン土壌は平均値は低くはないが変異が大きく, ケイ酸欠乏土壌が散在する。タイ・コラート土壌の易溶性ケイ酸の欠乏はきわめて著しい。特にコラート南部の土壌は少ない。

フィリピンのマニラ周辺部の土壌はケイ酸に富み, そこではケイ酸施用の増収効果が明らかでなく, セイロンの欠乏土壌では効果が認められる。

6. 鉄, マンガンの欠乏土壌

東南アジア各地域における水田土壌の地質学的ならびに土壌生成論的な成因より考えて, 半島島嶼部の土壌に鉄, マンガンの不足土壌の存在が予想される。表8に示されるごとくこの両成分の不足はマラヤ, セイロン土壌にその分布が広い。タイ中央平地における鉄, マンガン不足土壌はケイ酸の場合と同様に局地的なカオリン質土壌とアルカリ退化土壌 (Solonetz-solodized soils) である。これらを除きタイ中央平地, カンボジア, フィリピン (マニラ周辺) 土壌中には鉄, マンガンの欠乏はない。タイ・コラート土壌はリン酸, ケイ酸とともに鉄, マンガンにも極度に欠乏している。個々の土壌における遊離酸化鉄含量と易還元性 MnO の量との間には, 沼沢性およびグライ土壌を除き, きわめて高い相関がある。なおここでいう鉄不足とは水田の作土で普遍的に生成する硫化水素を不溶解化し, 根を保護するのに不足するという意味である。表に示した鉄不足土壌には湛水下の稲作期に硫化水素臭を認めたものが多い。マンガ

ン不足とは水稻が栄養的にマンガンに不足するであろうと予想されることをいう。

IV 東南アジアの米の増産に寄与しうると考えられる研究 課題（主として土壌・肥料学の立場から）

一般的問題

1. 東南アジア諸国の水田土壌，かんがい水質の基礎調査

本調査の必要性については説明を要しないだろう。土壌調査自体はマラヤ，タイ，東パキスタン，フィリピンではFAOの協力，あるいは特別プロジェクトとして現在活発に行なわれている。カンボジア，ビルマ，セイロン，インドネシア，南ベトナムでは1959～1962年以後停滞を続けている。

2. 高温下における水田土壌生成作用，土壌成分の変化の様相

高温とたとえ短期間といえども乾期のある場合の強度の乾燥が土壌成分の変化，行動に対し温帯土壌の場合とは著しく異なった影響を与えている。温帯土壌を対象として組み立てられた日本の水田土壌化学を基礎とした熱帯水田土壌化学を早急に体系づけねばならない。

3. 熱帯稲の栄養特性，品種特性と施肥法

説明を要しないと考える。

4. 微生物による窒素固定作用と固定の促進条件

熱帯稲に対する窒素の天然供給の重要性と温帯に比べてはるかに高い微生物活性よりみて本研究の重要性はきわめて高い。このことは小林達治の予備調査によっても裏づけられている。

5. シルティング²⁾（沈泥作用）の定量的研究

河川の氾らんによるシルティングの範囲，量，水稻養分供給量を定量すべきであって，これによりダム，堤防の建設による地力の変化も予測できる。

次に以下6～11に述べる各項は日本人技術者にとって全く経験がないかまたは経験の乏しい土壌における稲作で，土壌，植物栄養，作物の各専門家の協力によって改善がなされねばならない。

6. 塩類，アルカリ土壌での稲作

この種の土壌はビルマ，タイ，セイロン，南北ベトナムなどに分布し，いずれも現在ははなはだしく低収である。

7. 石灰質土壌での稲作

東南アジアの石灰質水田土壌には次の3種がある。

2) 東南アジアのデルタ土壌が年々のシルティングにより肥沃度を保っているというかなり根強い迷信がある。シルティングのおこる範囲は一般に考えられているよりも，はるかに狭く，またもっとも欠乏しやすい窒素，リン酸の補給はシルティングからはほとんど期待できない。

1) サンゴショウ土壌：フィリピンなどに散在する。

2) グルムゾル (grumusol) に属する石灰質土壌：カンボジア，タイ，セイロン，インドネシア，ベトナムなどにあり，石灰岩または泥灰岩風化物に由来している。石灰質，きわめて重粘かつ粘土はモンモリン型で膨脹性が著しく，透水は不良である。

3) 沖積性石灰質土壌：ガンジス河沖積土壌が典型的なものである。土性はシルト質であり，二次的に生成した炭酸カルシウムの沈殿が土壌の全層に分布している。

以上の石灰質土壌における多収技術は現在みあたらず，現地における試験とともに日本国内において基礎的な研究を行なうことが望ましい。

8. ラトゾル (ラテライト) 的土壌での稲作

塩基に欠乏し，鉄に富んだこの種の土壌での稲作に対しても現地における試験とともに日本国内における研究が必要である。

9. 重粘土壌 (透水のない土壌) での稲作

10. 特定要素の極端な欠乏土壌での稲作

以上両者はともに日本における経験の乏しい土壌である。特に後者は，リン酸，ケイ酸，鉄，マンガンなどのうち一，二の成分が温帯土壌では起こりえぬ程度にまで極度に欠乏した土壌が少なくなく，これら成分の有効度 (availability) やその変化について土壌化学的および植物栄養学的研究が必要である。

11. 酸性硫酸塩土壌での稲作

この種の土壌はわが国にも小規模に存在するので，その経験を活用することができる。

次は再び一般的な問題に戻る。

12. 現地における高収水田の解析

タイ北部の一部，マラヤのタンジョン・カラン，マニラ近郊のロスバニヨス (IRRI 所在地) など現地における定評ある高収水田の解析をし，稲作改良の实在するいくつかの目標を設定する。

13. 熱帯火山灰土壌の生成論的研究と肥沃度

わが国の火山灰土壌とことなり，熱帯の火山灰土壌は一般にきわめて肥沃であるが，その火山灰土壌の風化過程と肥沃度の解明を行なう。

14. 乾期 (高温下における) の土壌に及ぼす影響

15. 二毛作化と地力の変化

この両者は互いに関連するところが多い。土壌有機物の形態の変化，窒素固定，窒素の有効度の変化，その他の無機成分の消長などを中心として地力の変動を明確にとらえておかねばならない。

16. 土壌，肥料，かんがい水，作物の刈株，水稻体を通じた窒素のサイクル

代表的な地点についてこのような窒素のサイクルを明らかにし、窒素のバランスシートを求めておくことはきわめて有用である。

17. 稲刈株の処理法

現在行なわれているところの(1)焼却、(2)すき込み、(3)搬出などが当該地において果たして最も合理的なものであるかを検討する。刈株は量的にもっとも重要な植物養分の供給源であり、その処理法の研究は一見はなほ地味ではあるが、研究の価値は非常に高い。

その他下記の諸問題が重要と考えられる。

18. 熱帯稲作における緑肥、有機物の意義

19. 現地産肥料資材の利用

20. 土壤に起因する水稻の生理障害

V お わ り に

土壤ないし肥料という狭い分野に限っても日本人による研究が期待される課題ははなはだ多い。その一部は日本国内に研究の本拠をおくほうがよいものもあるが、大部分の研究課題は現地において長期間の滞在を必要とするだろう。そして現地における試験・研究の遂行にあたっての最大の難点の一つは日本の農学教育において真のアグロノミスト(agronomist)の養成がなされていないことである。今日までに少数の秀れた人達は長い経験と努力とによって第一級のアグロノミストとなり、敬服すべき成果を挙げているが、その反面アグロノミストとしての素養に乏しいため十分な結果を収めることのできなかつた現地派遣者の数ははるかに多かつたはずである。大学院修了時において基礎的な研究者としての養成がなされていることは当然必要であるが、他方において少なくとも育種、作物、土壤、肥料、病理、昆虫、かんがい等の分野にわたってそれぞれの専門家と同じ言葉で話しうる程度のアグロノミストの養成もまた東南アジアの農業技術援助に際し、早急に解決されねばならぬ問題であろう。