

北タイにおける土壌の特性と水稻の収量

服部 共生・渡部 忠世

Ponpit PIYAPONGSE・川口 桂三郎

Soil characteristics and the paddy yield in northern Thailand

by

Tomoo HATTORI, Tadayo WATABE, Ponpit PIYAPONGSE

and Keizaburo KAWAGUCHI

I ま え が き

服部・古川・川口¹⁾はタイ国の水田土壌の粘土鉱物学的研究を行ない、タイ国水田土壌の粘土鉱物組成が地域性をもち、また水稻の聞き取り収量との間に比較的高い相関があることを明らかにした。このことは土壌の地域性と水稻収量の地域性との間に関連があることを示すものである。そしてこの関係をより深く追求するためには水稻収量が正確に調査されていることが前提条件となる。

たまたま1965年度に渡部²⁾は北タイにおいて Ping, Wang, Yom, Nan の各流域のいくつかの水田について水稻の収量*を正確に調査し、収量の地域性を明らかにした。また一毛作田と二毛作田とで土壌肥沃度が異なると推定し、収量の構成因子の分析からそれぞれに応じた増収の方策を提案している。この増収方策は土壌条件の精査によってさらに分化・改良されるはずである。一方これら地域は一部では施肥などの農業技術が進んでいるが、一般には無肥料栽培であるので土壌のもつ自然条件と水稻の収量との関係を求めるにははなはだ好適である。

1967年初め、服部は渡部とタイ国米穀局 Ponpit Piyapongse の案内により、渡部が収量、生育調査を行なった水田について土壌調査と試料採取とを行なった。そして現地調査と室内作業の両面から、この地域における土壌の地域性と水稻収量の地域性の関係を明らかにし、渡部が提案している増収対策を適応できる土壌区分を行なうに当たって考慮すべき土壌要因の抽出を試みた。

* 本稿において「水稻の収量」という場合、北タイの栽培稲は大部分がモチ米であり、単位面積当りの籾の収量をいう。

II 調査と調査方法および結果の概要

現地調査は1967年1月に行なわれた。調査地域の概況は川口ら³⁾の報告を参照されたい。

1. 土壌調査の概要

調査地点* の位置を図1に番号で示す。

土壌の現地調査は時間の制限のため土壌の表面から40cmまでとし、試料の採取は層位に応じ30cmまでの2～3層について行なった。40cm以下の断面はボーリングまたは調査地点近傍の溝の断面などから推定した。

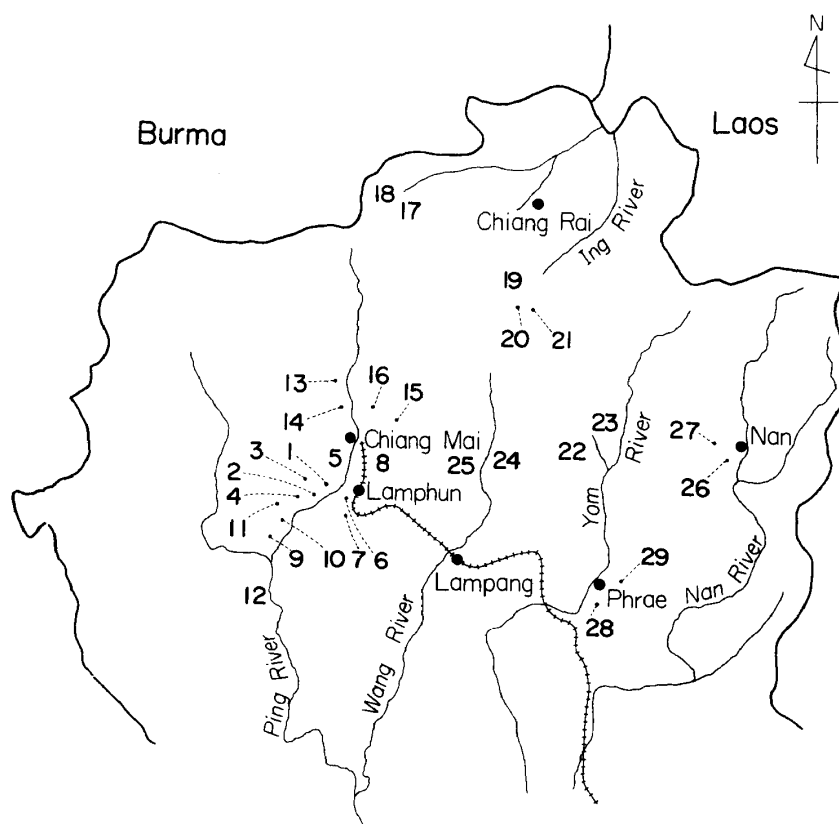


図1 試料採取地点

図上の番号に300を加えたものを土壌の一連番号とする。
たとえば8→308, 14→314。

* 調査地点は渡部によりつぎのような選定の手順と規準によってなされた。

- 1) 各 Changwat (省) の平均収量をえている Ban (村), 代表的な高収をあげている Ban, 代表的な低収地帯の Ban の選定が各 Changwat の Rice Agents によりなされ, そのうち交通と旅行上の制限から調査可能と思われる地点の地図上での選定が最初に行なわれた。
- 2) 各 Ban 内では(a) その Ban の平均的収量がえられるだろうと予想される水田, (b) 収穫適期の±5日くらいの水田, (c) 1枚の大きさが10a以上ある水田, (d) 1枚の水田に1品種が栽培されていること, (e) その耕作者と面談できること, (f) 病虫獣害などの著しくないこと。このような選定の手順と規準で実際に選定され調査されたのは34点であった。
- 3) しかし前記1)の選定において低収地帯が意識的にかくされていることが考えられ, 2)の規準においては必ずしも(a)～(f)の条件を満足していない場合もある。

T 301～T 329 の29地点について調査を行なった。このうちT 304は裏作の耕起を行なうためにかん水中であり、断面調査ができず、表層土のみの試料を採取した。本地点はT 303と水路をはさんで約 20 m の近傍で、地表面の高さが約 30 cm 高いのみであるので、断面形態は T-303に酷似するものと推定した。T 317, T 318 は正確な収量の調査が行なわれておらず、また T 306 の収量は旱魃の影響を強く受けており、平年作収量を把握できなかったので考察の際には除外した。

2. 生成論的土壌層位 (Genefical soil horizons) の決定

水田土壌化作用には種々の作用が考えられるが、断面形態に直接影響する作用の一つとして、作土の湛水の還元による鉄、マンガンの溶脱と、それらの下層への移動集積をあげることができる。しかし川口ら³⁾、久馬・川口⁴⁾ は東南アジアの水田土壌の調査から、前記のように鉄、マンガンの溶脱、集積の明瞭にみられる断面は比較的少なく、水田化の影響の弱い土壌形態を示す場合が多いという。今回の調査においても下層土を U.S.D.A. の *Soil Survey Manual*⁵⁾ や川口ら³⁾ の層位規準によれば C_g 層に判定されるものが多かったが、つぎに示すような層位 (Soil horizon) の命名を行ない、下層土の酸化還元の程度を示すことを試みた。

- A_p 作土層
- A_{12g} 作土下のグライ層
- B_g マトリックスの色調 10YR がより赤味をおびる場合および斑紋が富む (20%以上) 場合
- BC_g マトリックスの色調にかかわらず斑紋を含む (20～5%) 場合
- C_g マトリックスの色調にかかわらず斑紋のある (5%以下) 場合
- G C_g と同じであるが α - α' ジピリジル反応が+である場合

そしてこのように定めた層位の序列 (Horizon sequence) によって、その土壌の酸化還元状態をつぎのように定めた。すなわち作土層下に B_g 層があるものは酸化的、BC_g 層のあるものを中間的、C_g 層またはG層のある場合を還元的とした。

3. テラス面の決定および母材の新旧の判定

1965年度の渡部の調査地点を Chiang Mai 地区 Ping 河西岸の Mae Taung Irrigation Project の調査でえられた Vira Poomvises ら⁶⁾ の概念図 (図2) に当てはめて収量の解析を行なうとテラス面別にかなり明瞭な収量の差があることが推定された。今回の調査地点のテラス面の判定はできるだけ正確に行なった。テラス面の判定は高谷⁷⁾ がタイ中央平地の第四紀の地層の研究でえた考え方に準拠したもので北タイ各盆地にも適応できるとされている。その概念図は図3に示す。図2と図3との間に著しい相違はないが、氾らん原 (Floodplain) とテラス I (Vira Poomvises らの Semi-recent alluvium) および準平原面 (Peneplain) の取扱い方に差

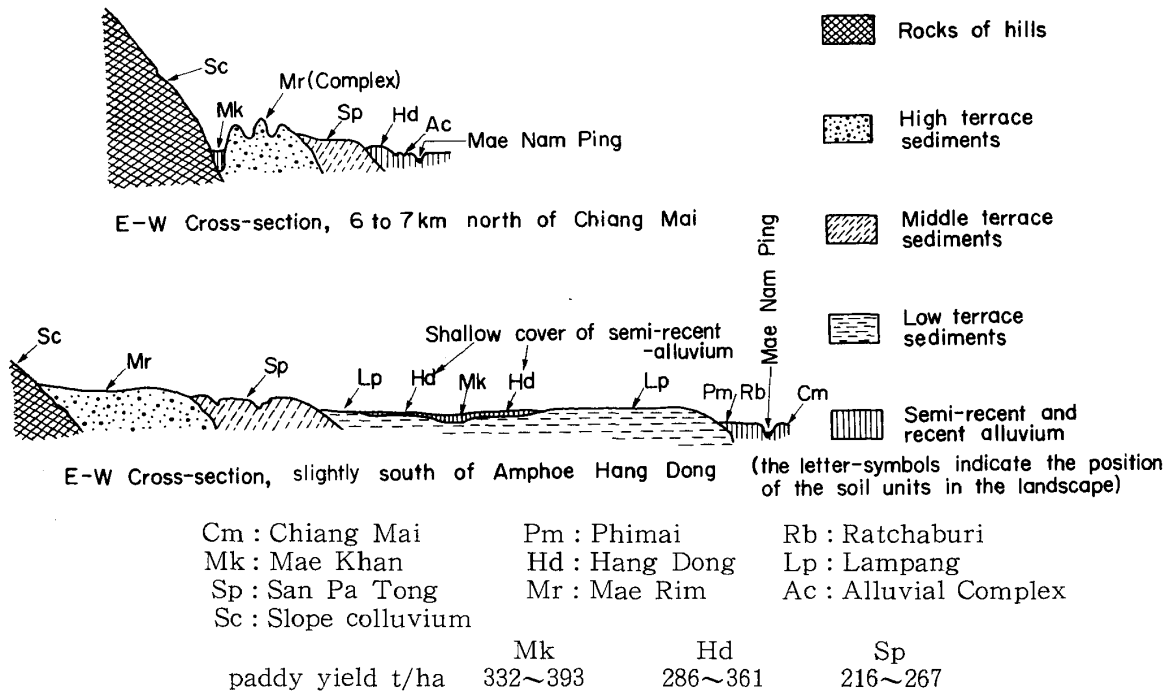
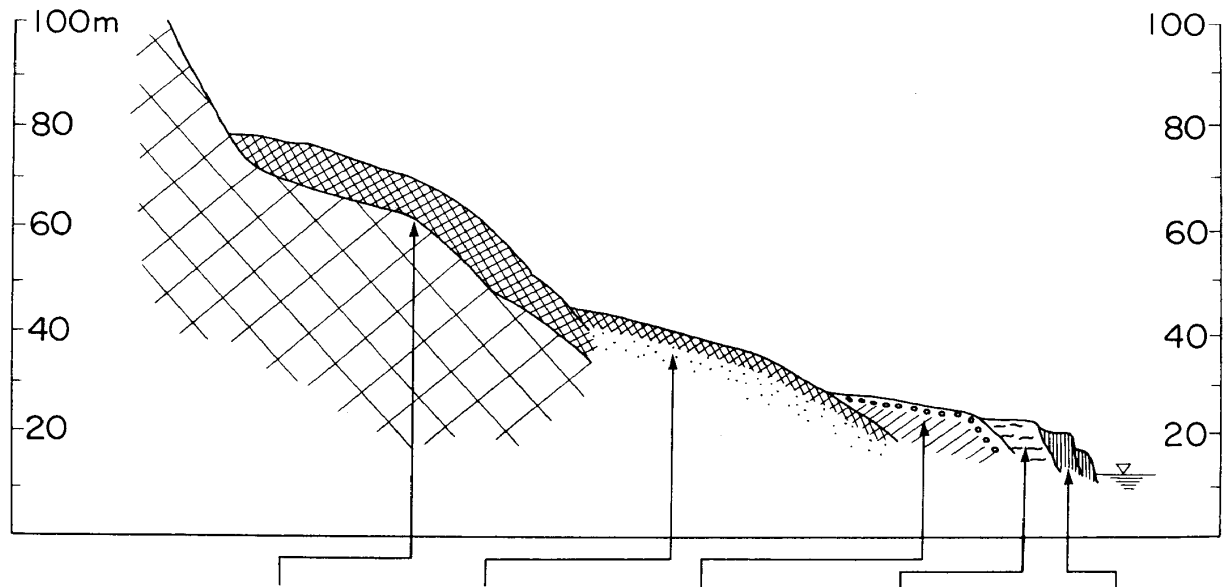


図2 Chiang Mai 盆地における第四紀堆積物の模式的横断面図(Vira Poomvises et al.⁶⁾による)
—地形区分と Soil series—

がある。図3には高谷によるテラス面の判別に利用される地形、植生、堆積物の特徴などとテラス別の水稻の平均収量をも示した。

T309, T310, T311は第四紀堆積面ではなく、より古い地層(年代未詳)の堆積物の浸蝕面上にありと考えられ、他の土壌とは母材の性格がやや異なることが推定されたが、テラス面としてはテラスⅢに相当するものと思われた。またT312, T323はそれぞれテラスⅡおよびⅢ上の土壌と思われるが、ゆるやかな傾斜面にあり、丘陵地に近く比較的新しい崩積性の堆積物の母材への混入があると考えられた。とくにT323は崩積物を主としているように思われた。T308, T315, T316はテラスⅡ面上の土壌であるが古い用水路または小河川の近くにあり表層の堆積物はテラスⅠと同一のものであろうがT316はその堆積物が厚いと判断したのでテラスⅠ面上のものとして取り扱った。

水田土壌はテラスⅠに位置する場合はもちろん、より高いテラス面にあってもテラス形成時の堆積物がそのまま土壌母材となる場合はまれで、常に新しい堆積物の供給を受けているものと思われる。このことに関しては別にくわしく論じたいと考えているが、ここでは堆積物の新旧をつぎのように規定した。すなわちテラスⅠの堆積物および崩積性の後脊地層の岩石風化物の堆積物を主としている場合を新しい堆積物とし、テラスⅡの堆積物を主とする場合およびテラスⅢの谷間平野にあるT327のように周囲のテラスⅢ堆積物の崩積物である場合をふるい堆積物とした。



Formation	Peneplain	Terrace III	Terrace II	Terrace I	Floodplain
Sediments	No young alluvium	Dominantly sandy	Dominantly clayey	Loamy	Dominantly sandy
Weathering feature	Thick hard laterite	Heavily weathered alluvium capped by thin laterite	Weathered alluvium with pisolitic concretion	Alluvium with concentration	Fresh alluvium with concentration
Topography	Undulating and rolling	Slightly undulating and undulating	Flat to slightly undulating	Flat	Flat and slightly undulating
Vegetation & land use	Forest (deciduous)	Forest (deciduous) and partly paddy	Paddy and village	Paddy	Paddy
Mean yield of rice surveyed		2.38 tons/ha	3.08 tons/ha	3.53 tons/ha	
Age	Lower Pleistocene	Middle Pleistocene	Upper Pleistocene	Holocene or Pleistocene	Holocene
Correlation with previous reports	High Terrace (in part)	Low Terrace (Upper part)	Low Terrace (Lower part)	Semi-Recent Terrace	Alluvial Plain

図3 タイ国における第四紀堆積物の模式的断面図（高谷²⁾による）

4. 透水性 (Permeability) の判定

透水性と土壌の酸化還元状態とはだいたいにおいて一致するが、下層土の土性、構造の発達程度、亀裂のはいり方、堅密度、地下水位の高さなどのいかんによって両者が一致しない場合もある。この調査においてはつぎの規準によって透水性を推定した。

- A. 普 通 i) A/B_g 型で斑紋に富む土壌（鉄、マンガンの集積が分離またはその傾向を示す）

表 1 調査地点, テラス面, 母材の新旧,

河川名	省 (Changwat)	郡 (Amphoe)	村 (Ban)	試料 番号	地形上 の位置	母材の 新旧	土 壌 層 序
Ping	Chiang Mai	San Pa Tong	Chang Kadras	T 301	I	新	A _p -A _{12g} -B _{g1} -B _{g2}
			Macham Rong	302	II	旧	A _p -C _g -G
			Ban Mai	303	I	新	A _p -BC _{g1} -BC _{g2}
			Ban Mai	304	I	新	T303 とほぼ同じ
		Hang Dong	San Down Kan Taih	305	II	旧	A _p -BC _g -C _g
	Lamphun	Pa Sang	Pah Chang	306	II の谷間	新	A _p -BC _{g1} -BC _{g2}
			Ban Cham	307	II	旧	A _p -B _{g1} -B _{g2}
	Chiang Mai	Saraphi	Chaisatan	308	II	旧	A _p -BC _g -C _g
		Chom Thong	Toong Marhk Noohm	309	III に相当	時代未詳の 古い堆積物	A _p -A _{12g} -C _{g1} -C _{g2} -G
			Chomtong	310	III に相当	時代未詳の 古い堆積物	A _p -C _{g1} -C _{g2} -(G)
			Hoisai	311	III に相当	時代未詳の 古い堆積物	A _p -C _g -G
		Hot	Hoi Phan	312	II	旧ただし 崩積性堆積 物の混入あり	A _p -BC _{g1} -BC _{g2}
		Mae Taeng	Dong Parm	313	I	新	A _p -A _{12g} -C _{g1} -C _{g2}
		Mae Rim	Mae Rim	314	I	新	A _p -B _{g1} -B _{g2} -C _g
		Doi Saket	Pohkin	315	II	旧	A _p -BC _{g1} -BC _{g2} -C _g
		San Sai	Hanpai	316	II	新	A _p -A _{12g} -B _{g1} -B _{g2}
Ing	Chiang Rai	Phan	Samukipah- bonglohng	319	I	新	A _p -B _{g1} -B _{g2}
			Pahgwang	320	I	新	A _p -BC _{g1} -BC _{g2}
			Pahgwang	321	I	新	A _p -C _g
Yom Wang	Lampang	Ngao	Hahngnean	322	I	新	A _p -B _{g1} -B _{g2}
			Hahngnean	323	III	崩積性堆 積物	A _p -B _g
		Chae Hom	Nohngnarng Sobehoke	324 325	I II	新 旧	A _p -A _{12g} -B _{g1} -B _{g2} A _p -C _{g1} -C _{g2}
Nan	Nan	Muang Nan	Chadee	326	II	旧	A _p -C _{g1} -C _{g2}
			Chaisatan	327	III の谷間	旧	A _p -B _g -C _g
Yom	Phrae	Sung Men Muang Phrae	Sung Men	328	I	新	A _p -BC _{g1} -BC _{g2}
			Padeang	329	I	新	A _p -BC _{g1} -BC _{g2}

服部ほか：北タイにおける土壌の特性と水稻の収量

土壌断面の特性, 水稻収量など

作 土 層	下 層	層	酸 化 元 態	透水性	そ の 他 の 断 面 の 特 徴	水 稻 作	収 量	
マトリックス の 色 調	土 性	斑紋の 多 少	土 性	還 状	性 態	一毛作二毛作の別	生育日数 (日)	tons/ha
10YR7/1	LiC	富 む	CL	Oxi	B	d	158	3.32
N4/	CL	あ り	CL	Red	D	d	158	2.86
7.5YR6/2	LiC	含 む	LiC	Med	C	s	169	3.42
	HC			Med		d	184	3.93
2.5Y7/2	CL	含 む	LiC	Med	A	s	146	3.61
2.5Y7/2	LiC	含 む	HC	Med Oxi	D	s	147	1.09
5Y4/2	CL	富 む	SCL	Oxi	B	s	170	3.06
10YR6/4	LiC	含 む	HC	Med	C	d	158	2.55
7.5Y5/2	SCL	あ り	SL	Red	D	d	157	2.16
7.5Y3/2	SCL	あ り	SCL	Red	D	d	170	2.63
N5/	SL	あ り	SL	Red	D	d	158	2.31
5Y7/2	LiC	含 む	CL	Med	D	s		3.26
N4/	HC	あ り	HC	Red	D	d	182	2.90
5Y4/2	LiC	富 む	CL	Oxi	A	d	174	3.49
2.5Y7/2	LiC	含 む	LiC	Med	B	s	185	3.63
7.5Y5/2	HC	富 む	HC	Oxi	A	d	168	3.89
5Y4/2	SiC	富 む	SiC	Oxi	A	d	154	3.52
5Y4/2	LiC	含 む	LiC	Med	C	s	207	3.36
5Y3.5/2	HC	あ り	HC	Red	D	s	150	1.50
10YR5/2	HC	富 む	HC	Oxi	C	s	149	3.96
10YR4/2	HC	富 む	HC	Oxi	B	d	155	4.55
2.5Y6/2	LiC	富 む	LiC	Oxi	A	d	160	4.47
2.5Y6/2	LiC	あ り	LiC	Red	D	s	147	2.63
2.5Y6/2	CL	あ り	CL	Red	D	s	180	2.20
10YR6/2	SiC	富 む	SiC	Oxi	D	s	178	2.99
2.5Y4/2	SiC	含 む	SiC	Med	B	d	176	3.44
10YR5/2	HC	富 む	HC	Med	A	d	153	5.07

表 2 作 土 の 分

	pH (H ₂ O)		T.C. %	T.N. %	C/N	Incubate		CEC meq/100g		Exchangeable meq/100g			
	A	B				NH ₄ -N mg/100g	化成率 %	A	B	Ca	Mg	K	Na
T301	4.80	5.55	1.44	0.110	13.1	9.3	8.4	10.2	14.2	8.0	2.1	0.27	0.26
2	5.80	6.40	1.03	0.093	11.1	8.4	9.0	7.9	8.7	5.1	1.5	0.22	0.32
3	5.50	6.10	1.65	0.159	10.5	7.0	4.4	13.3	16.4	10.7	2.4	0.21	0.35
4	4.90	6.60	2.38	0.214	11.1	19.4	9.0	13.3	19.7	10.4	2.2	0.32	0.25
5	5.70	6.50	1.14	0.100	11.4	4.0	4.0	11.6	13.2	8.8	2.2	0.18	0.34
6	4.40	5.00	1.92	0.136	14.1	8.7	6.4	7.4	12.2	4.4	2.3	0.27	0.38
7	4.60	4.75	0.76	0.077	9.9	5.9	7.7	5.7	9.0	3.6	1.7	0.18	0.32
8	4.85	5.10	1.41	0.142	9.9	8.6	6.1	12.5	17.1	9.3	2.5	0.13	0.34
9	4.40	5.15	0.90	0.075	12.0	6.2	8.3	7.8	12.2	6.7	0.7	0.25	0.17
10	4.85	5.60	0.67	0.059	11.4	1.9	3.2	8.9	10.7	7.1	1.0	0.14	0.23
11	4.95	5.60	0.73	0.069	10.6	5.6	7.1	3.6	5.6	3.2	0.6	0.18	0.27
12	5.20	5.65	1.30	0.116	11.1	9.4	8.1	6.2	10.4	3.3	1.8	0.23	0.43
13	4.50	6.40	2.79	0.226	12.4	25.0	11.1	12.4	20.6	9.5	2.1	0.37	0.30
14	4.55	6.10	1.53	0.120	12.3	8.6	7.2	7.3	12.1	5.6	1.6	0.42	0.17
15	4.75	5.40	1.17	0.111	10.6	5.7	5.2	6.2	11.2	3.2	1.6	0.13	0.19
16	5.05	6.45	1.48	0.125	11.8	11.8	9.4	13.2	17.9	9.5	3.1	0.19	0.27
19	4.20	6.70	1.34	0.124	10.8	14.3	11.5	7.5	11.7	6.1	1.3	0.22	0.21
20	4.65	5.30	1.42	0.140	10.1	4.8	3.4	8.6	11.9	6.6	0.9	0.13	0.16
21	4.30	5.00	1.93	0.214	9.0	3.9	1.8	12.9	20.4	11.0	2.2	0.18	0.24
22	5.05	5.80	1.51	0.141	10.7	7.3	5.6	16.3	18.9	12.1	3.5	0.19	0.23
23	5.40	6.50	2.07	0.206	10.1	5.6	2.7	14.9	17.7	11.6	3.2	0.34	0.20
24	4.75	5.50	1.20	0.116	10.4	6.9	5.9	8.3	12.9	5.3	2.3	0.35	0.16
25	4.95	6.40	1.23	0.128	9.6	10.4	8.1	7.6	10.0	4.1	2.5	0.21	0.16
26	4.70	5.20	0.88	0.095	9.3	4.5	4.8	5.3	8.1	6.3	2.0	0.06	0.16
27	5.20	6.30	1.36	0.129	10.6	8.3	6.4	8.8	12.8	3.5	1.0	0.12	0.25
28	5.65	6.40	2.44	0.216	11.3	8.0	3.7	19.6	23.6	15.4	4.6	0.37	0.91
29	6.70	7.65	1.88	0.201	9.3	4.2	2.1	20.7	21.1	17.3	3.2	0.18	0.36

服部ほか：北タイにおける土壌の特性と水稻の収量

析 結 果

P ₂ O ₅ mg/100g		SiO ₂ mg/100g	Free oxides %		Mechanical composition			Clay mineral composition			収 量 tons/ha
N/5 HCl	conc HCl	N/5 HOAc	Fe ₂ O ₃	MnO ₂	Sand	Silt	Clay	Kaol %	Ill %	その他の特徴	
17.7	87	10.4	1.66	0.059	46.0	26.0	28.0	50	25	Ver>Mt	3.32
7.3	33	15.1	0.70	0.036	53.0	25.0	22.0	55	25	Ver>Mt	2.86
20.6	118	20.9	1.86	0.075	35.3	31.2	33.5	55	25	Ver>Mt	3.42
4.0	130	20.4	2.53	0.071	19.0	32.0	49.0	60	20	Ver>Mt	3.93
0.8	35	17.9	1.01	0.032	44.0	31.5	24.5	45	20	Ver=Mt	3.61
9.6	80	6.4	2.37	0.024	33.3	34.7	32.0	50	30	Ver>Mt	1.09
1.1	35	5.5	0.93	0.016	56.5	23.5	20.0	45	25	Ver>Mt	3.06
2.1	85	19.6	2.83	0.048	28.3	30.7	41.0	50	20	Ver>Mt	2.55
0.8	30	7.8	0.74	0.015	66.0	10.5	23.8	45	15	Ver=Mt	2.16
1.8	40	7.0	0.62	0.032	64.0	9.0	19.0	40	15	Ver<Mt	2.67
2.4	45	10.4	0.50	0.145	80.0	12.0	8.0	50	10	Ver=Mt	2.31
1.1	50	6.3	0.93	0.012	36.3	37.7	26.0	50	30	Ver>Mt	3.26
6.3	137	10.4	3.10	0.024	9.0	45.5	46.0	55	30	Ver>Mt	2.90
5.3	72	9.6	1.40	0.016	45.5	28.5	26.0	65	15	Ver>Mt	3.49
1.7	75	7.0	2.56	0.028	38.8	31.7	29.5	60	15	Ver>Mt	3.63
0.2	72	17.8	3.08	0.020	16.5	39.0	44.5	60	15	Ver>Mt	3.89
2.8	72	10.0	1.67	0.016	18.9	47.6	33.5	45	20	Ver>MtChl含む	3.52
0.5	45	8.2	0.93	0.008	36.5	25.0	38.5	50	20	Ver>MtChl含む	3.36
0.1	43	10.0	2.45	0.020	1.5	25.5	73.0	55	20	Ver>MtChl含む	1.50
0	43	12.0	3.22	0.048	3.0	42.0	55.0	35	35	Ver>Mt	3.96
3.8	120	15.6	3.30	0.051	8.0	44.0	48.0	25	65	Ver>Mt	4.55
0.8	63	10.8	2.21	0.012	26.3	38.7	35.0	55	25	Ver>Mt	4.47
0.8	48	7.0	1.65	0.032	39.6	31.4	29.0	60	20	Ver>Mt	2.63
0.3	23	3.7	0.89	0.016	37.3	42.2	20.5	40	25	Ver=MtChl含む	2.20
0.8	66	11.9	2.21	0.036	9.0	51.0	40.0	55	20	Ver=MtChl含む	2.93
12.2	170	27.0	4.66	0.127	6.0	50.5	43.5	50	20	Ver<Mt	3.44
0.8	68	34.0	2.99	0.028	10.0	41.5	48.5	25	20	Ver>Mt	5.07

- ii) A/BC_g 型で斑紋がやや多く、下層土が壤土質または構造の発達
のよい土壌
- B. やや不良 i) A/B_g, A/BC_g, A/C_g 型で下層土が粗粒質の土壌
ii) A/B_g 型で下層土が粘土質であるが、亀裂が深くまで入ってい
る土壌
- C. 不良 下記の D の ii) と同じであるが、亀裂が大きく深くまで及んでい
る土壌
- D. 非常に不良 i) A/C_g であるがその下層に G 層がある土壌
ii) A/BC_g, A/C_g 型のうち下層が粘土質で堅密、亀裂がほとんど
入っていない土壌

5. 分析項目および分析法

分析は作土のみについて行なった。以下に分析項目とその方法を示す。分析法は別報³⁾を参
照されたい。

- 1) pH
- 2) 全炭素，全窒素：柳本製 CN コーダー
- 3) 交換性塩基，カチオン交換容量：松尾らの方法（川口ら³⁾）
- 4) 遊離鉄，マンガン：日光還元法による松尾らの方法（川口ら³⁾）
- 5) 風乾土湛水アンモニア生成量：風乾土湛水 40°C 2 週間のインキュベーションで生成さ
れるアンモニア態窒素の量
- 6) 有効性リン：N/5 塩酸可溶
- 7) 全リン：熱濃塩酸可溶
- 8) 有効ケイ酸：pH 4 酢酸—酢酸ナトリウム可溶
- 9) 粒度分布：比重計法
- 10) 粘土の鉱物組成：服部らの方法¹⁾
- 11) 砂の鉱物組成

以上のべたような土層序列，テラス面，土壤母材である堆積物の新旧，酸化還元状態，透水
性のほか，水系，収量などをまとめて表 1 に，また作土の分析結果を表 2 に示した。

III 論 議

表 1, 2 に示された結果を水稻の収量との関係について考察するとつぎの諸点を指摘できる。

1. 作土の化学的性質と水稻の収量

この調査地域のように施肥などの人為の加わることの少ない栽培下においては，土壤中に含
まれる作物栄養素の有効性——土壤の自然肥沃度*——が収量と高い相関をもつものといちお

* 土壤肥沃度には作物栄養素の供給力のみでなく，当然土壤の物理的，物理化学的性質も含まれるが，こ
こでは前者を意味するものとして用いた。

う予想される。そこでまず調査地点の収量と個々の化学的性質との間の相関を求めた。その結果は表 3 に示す。

この結果からも明らかなように、個々の化学的性質と収量との間に高い相関を示すものはない。土壌の自然肥沃度は作物栄養素の含有率によるのではなく、それらの組み合わせた形——つり合いのとれた供給力——で表わされると考えるほうがより妥当であるので、以上の結果は当然のことといえよう。しかしカチオン交換容量、交換性マグネシウム含量、有効ケイ酸と収量の間には 5% または 1% の危険率で正の相関があると認められ

た。北タイ土壌のように海成沖積の影響のない土壌においてはカチオン交換容量の大きいこと、交換性マグネシウムの多いこと、有効ケイ酸の多いことはいずれも粘土の若さすなわち土壌母材の風化度の低いことを示唆し、このような土壌において収量が高い傾向があると考えられる。

2. 一毛作田と二毛作田別にみた土壌の性質と水稻の収量

渡部²⁾ も一毛作田と二毛作田における収量の差異、収量におよぼす収量構成要因の相違を示し、その原因が二毛作田の裏作における敷ワラや施肥に基づく肥沃度の増加にあることを指摘している。

表 4 は一毛作田と二毛作田の作土について作物栄養素に関係のある性質の平均値と標準偏差を示したものである。この場合 T309～T311 はさきにも述べたように、母材的に他の土壌と性格を異にしているので、二毛作田ではあるが考察から除外した。

この表においても二毛作田が一毛作田より作物栄養的に肥沃な状態にあり、その結果として

表 3 収量と土壌の性質との相関

		n = 26
因	子	相関係数
pH (H ₂ O)		0.15
Total Carbon (T.C.)		0.33
Total Nitrogen (T.N.)		0.30
C/N ratio		0.12
NH ₄ -N 生成量		0.07
Exchangeable Ca		0.39
Mg		0.43*
K		0.31
CEC (A)		0.47*
P ₂ O ₅ (N/5 HCl)		0.12
P ₂ O ₅ (conc HCl)		0.32
SiO ₂ (HOAc)		0.53**
*0.05	**0.01	

表 4 二毛作、一毛作田別の土壌の性質と水稻の収量

		収 量 kg/10a	T.C. %	T.N. %	C/N	NH ₄ -N 生成量 mg/100g	conc HCl P ₂ O ₅ mg/100g	Exchangeable meq/100g Ca Mg K			HOAc SiO ₂ mg/100g
二毛作	av	358	1.74	0.158	11.1	10.9	98	9.4	2.5	0.29	16.6
n = 12	σ	76	0.18	0.015	1.0	5.3	34	1.2	0.3	0.03	7.6
一毛作	av	305	1.31	0.129	10.3	6.5	53	6.7	2.0	0.16	10.3
n = 11	σ	72	0.29	0.030	0.3	2.2	26	2.5	0.1	0.05	5.3

収量も高い傾向を示す。しかし二毛作田は12点中8点がテラスⅠに位置し、一毛作田は11点中7点がテラスⅡに位置していること、二毛作田、一毛作田とも収量の低いものは堆積物が古い場合が多いことから土壌の肥沃度は二毛作田と一毛作田という栽培様式の相違よりは、テラス面の新旧や母材である堆積物の新旧により強く規制されているものと考えた。

なお一毛作田、二毛作田別に個々の化学的性質と収量との相関を検討したが、一毛作田においてC/N比と収量との間に図4に示すような高い正の相関がえられた。この事実が何を意味するものかは今後の検討によらねばならないが、川口ら³⁾のタイ全域の土壌調査によれば、タイ国で最も低収地域であるコラート地域の水田土壌のC/N比がより収量の高い中央平地や北部タイの水田土壌に比べて低い値を示すことを考え合わせると興味深い。

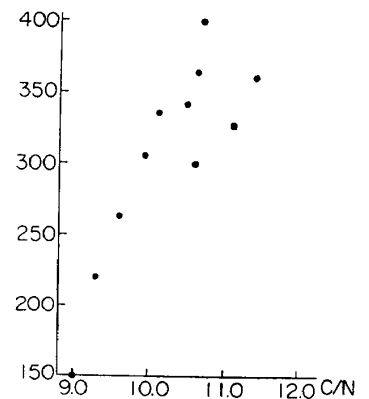


図4 一毛作田における水稲収量とC/Nの関係
 $r=0.84$ (0.01)

3. 母材の新旧別にみた土壌の化学的性質と水稲の収量

まず表5に示されるように、粘土の鉱物組成は各河川別にそれぞれ特徴があり、土壌の母材やその風化度に差異があると推定される。それゆえ調査地点全部について堆積物の新旧別に考察を加えることは意義があまりないと考えた。また各河川の流域別に考察を加えるにはPing河以外では各河川別の調査点数が少ないため、Ping河流域の15点〔表5の16点中1点(T306)は除く〕について、テラスおよび母材である堆積物の新旧別に土壌の諸性質と収量の関係をみた。その結果を表6に示す。またこの15点について分析項目ごとにテラス別の差の有意性を求めると表7のようになる。

以上の結果からは調査点数が十分多くなく、明確な推定は下しえないが、土壌の自然肥沃度はテラス面と母材である堆積物の新旧とにより区分でき、テラス面の新しい場合、母材である堆積物が新しいほど肥沃であり、それが水稲収量に影響をあたえていると理解しえよう。

4. 下層土の酸化還元状態からみた断面形態と作土の化学的性質と水稲の収量

下層土の酸化還元状態と水稲の収量をみると中間的ないしは酸化的な場合は還元的な場合より収量が高いことは明らかである。しかし作土の化学的性質には、下層土の酸化還元状態で区分した土壌群の間に、差異を認めることはできない。このことは下層土の酸化還元状態はここで測定したような作土の自然肥沃度には直接表われない因子で水稲の収量と関係していると考えられるべきであろう。

5. 透水性と水稲の収量

透水性は水稲の生育、収量に対して、水稲根への酸素の補給、還元条件下で生成される有害物質の除去などの面で密接な関係があるとともに土壌の諸性質に対する土壌生成的な影響を通

表 5 北タイにおける河川流域別にみた粘土鉱物組成の特徴

河 川 名	調査点数	粘 土 鉱 物 組 成				流 域 の 地 質 母 岩
		Kaolin %	Mt+Ver/Ill	そ の 他		
Ping	12	45 ~ 65	0.50~1.67	Ver>Mt	Paleozoic Shale, Sandstone, Lime Mesozoic Granite, Gneiss (Partly Tertiary) (Sediments)	
	4	40 ~ 50	1.50~4.00	Mt≥Ver		
Wang	2	55 ~ 60	0.80~1.00	Ver>Mt		
Yom	2	25 ~ 35	0.16~0.86	Ver>Mt	Paleozoic Shale, Sandstone, Lime Mesozoic Granite, Gneiss	
	2	25 ~ 50	1.50~1.40	Mt>Ver		
Nan	2	40 ~ 55	1.25~1.40	Ver=Mt	Chl	Mesozoic Sandstone, Shale (Korat series) (mafic)
Ing	3	45 ~ 55	1.25~1.75	Ver>Mt	Chl	

表 6 Ping 河流域における Terrace 別の土壌の性質と水稻の収量

	Clay %	CEC(A) meq/100g	Free Fe ₂ O ₃ %	T.C. %	T.N. %	NH ₄ -N 生成量 mg/100g	NH ₄ -N 化成率
T1 n=6	38	12.4	2.27	1.88	0.159	13.5	8.4
	26~49	10.2~13.3	1.40~3.10	1.44~2.79	0.110~0.226	7.0 ~ 20.0	4.4 ~ 11.1
T2 n=6	29	8.4	1.50	1.14	0.107	5.3	6.7
	20~41	5.7~12.5	0.70~2.83	0.76~1.41	0.077~0.142	4.0 ~ 9.4	4.0 ~ 9.0
T3 n=3	17	6.4	0.62	0.77	0.068	4.6	6.2
	8~24	3.6~ 8.9	0.50~0.74	0.67~0.92	0.059~0.075	1.9 ~ 6.2	3.2 ~ 8.3
Exchangeable meq/100g							
	Ca	Mg	K	conc HCl P ₂ O ₅ mg/100g	HOAc SiO ₂ mg/100g	収 量 kg/10a	
	8.9	2.3	0.30	103	16.0	349	
	5.6 ~ 10.7	1.6~3.1	0.21~0.42	72 ~ 137	9.6 ~ 20.9	290~393	
	5.6	1.9	0.18	52	11.6	316	
	3.2 ~ 9.3	1.5~2.5	0.13~0.23	33 ~ 85	5.5 ~ 19.6	255~363	
	5.7	0.8	0.19	38	8.4	238	
	3.2 ~ 7.1	0.6~1.0	0.14~0.25	30 ~ 45	7.0 ~ 10.4	216~267	

じて間接的にも重要である。一般にわが国では透水性のきわめて悪い水田においても巧みな栽培法によって玄米として5~6tons/ha 程度までの収量はあげうるが、それ以上の高収量をうるためには中庸な透水が必要であると考えられている。また低収量レベルにおいても中庸な透水(10~20 mm/日)のあるほうが透水のない場合や過大な透水のある場合にくらべて一般的にはより高い収量をあげうるとされている。

今回の調査においては現地での透水試験などを行っていないので透水性の良否を直接示す

ことはできないが、かりに透水性の程度を p. 97 に示したように定義し、この透水の程度と収量の関係を図示したのが図 5 である。

この図は透水のほとんどないと考えられる土壌はそれ以外の土壌にくらべて有意に低収であることを示している。

6. 断面形態、テラスおよび母材堆積物の新旧を加味した土壌区分と水稻の収量

以上の諸結果から土壌の収性と水稻の収量との関係を総括すると、最も収量に強く影響する因子は下層土の酸化還元状態一本調査での土壌層位の配列 (Horizon sequence) であり、つぎに強く影響する因子は作土の自然肥沃度と密接な関係のある母材の新旧であるといえる。この二つの因子の組合わせで調査地点の土壌区分を行ない収量との関係を示したのが表 8 である。

この表において、水稻の収量について下層土の酸化還元状態での区分、母材の新旧による区分間での差異をみると、前者においては、

酸化的≡中間的>還元的

後者においては、還元的な土壌を除いて、

新しい母材>古い母材

の有意の差が認められる。

水稻の生育の様相、収量は気象、土壌の相対的位置 (Physiography)、かんがい水の質と量などの外的要因と土壌の断面形態、透水性を含めた物理的条件、化学的、鉱物学的、微生物学的な性質など内的要因とに、品種、施肥、病虫害の防除などを含めた広義の栽培技術が組み合わさって決定される。それゆえ本論文における渡部の調査した水稻の収量も上記の諸因子の総合されたものとして取り扱われねばならない。しかし北タイという比較的外的要因が近似し、広義の栽培技術も中央平地やコラートとの比較においては類似しているとみなしうるとすれば、水稻収量の地域性は立地条件のうちの外的、内的土壌特性によるところが多いといえよう。そして今までのべてきた土壌の特性による区分内での収量の変異は渡部の指摘したような一毛作

表 7 Terrace (母材の新旧) 別の土壌の性質の差の有意性

項 目	I ~ II 間	I ~ III 間	II ~ III 間
収 量 tons/ha		*	*
T.C. %	*	*	
T.N. %	*	*	
NH ₄ -N 生成量 mg/100g	*	*	
NH ₄ -N 化成率 %			
P ₂ O ₅ (conc HCl)	*	*	
P ₂ O ₅ (N/5 HCl)			
Exchangeable Ca meq/100g	*	*	
Mg meq/100g		*	*
CEC (A) meq/100g	*	*	
Clay 含量 %	*	*	
SiO ₂ (HOAc) mg/100g			
Free Fe ₂ O ₃ %		*	

* 0.05

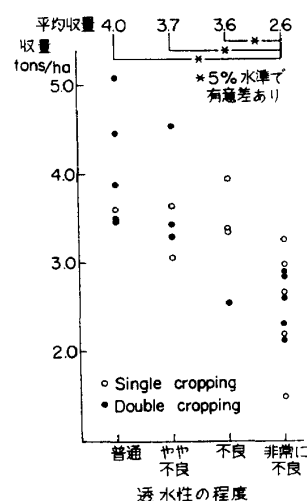


図 5 透水性と収量の関係

表 8 水田土壌の区分と水稻の収量

土 壌 型	酸化還元状態	平均収量 t/ha	水田の位置から 推定される母材 の 新 旧	土壌番号, ()内は収量 t/ha	平均収量
Low Humic Gley and Alluvial Soil	Reductive	2.40	Fresh (Terrace I)	T 313 (2.90) T 321 (1.50) T 326 (2.20)	2.20
			Old (Terrace II)	T 302 (2.86) T 325 (2.63)	2.75
			Old (Terrace III)	T 309 (2.16) T 310 (2.67) T 311 (2.31)	2.38
	Medium	3.59	Fresh (Terrace I)	T 303 (3.42) T 304 (3.93) T 320 (3.36) T 328 (3.44) T 329 (5.07)	3.84
			Old (Terrace II)	T 305 (3.61) T 308 (2.55) T 312 (3.26) T 315 (3.63)	3.26
	Oxidative	3.69	Fresh (Terrace I)	T 301 (3.32) T 316 (3.89) T 319 (3.52) T 324 (4.47) T 322 (3.96) T 323 (4.55)	3.95
			Old (Terrace II)	T 307 (3.06) T 327 (2.99)	3.03
			Fresh (Terrace I)	T 314 (3.49)	3.49
Aquorizem					

田、二毛作田における栽培技術の相違によるものであろう。とすれば、調査された水稻の収量はある地域の土地の生産力可能性の一つの指数とみなすことができる。このような意味で水稻の収量と土壌の特性との関係を考察したのであるが、ある生産力可能性をもつ土壌の特性を示すには土壌断面と母材の質および風化度での区分が有効なことを明らかにすることができたと考える。

山崎⁸⁾は富山県下の小地域の土壌区分と収量との関係を論じ、断面形態のつぎに重視すべき区分規準としてB層の厚さ、G₁層の厚さ、土性、作土の厚さをあげている。しかし東南アジアの水稻作のように自然肥沃度に負うところの多い場合には土壌断面形態について母材の収量に対する意義が大きいものと思われる。

なお熱帯モンスーン気候下の水田土壌において断面形成や土壌の諸性質に特徴的な役割をもつものに亀裂があると思われる。亀裂は乾期の強烈的な乾燥により生成され、土壌の酸化還元状態、透水性などに影響をもち、熱帯モンスーン気候下の水田土壌において見過ごすことのできない因子である。今後の重要な研究課題の一つであろう。

IV ま と め

北タイにおいて26点の水稻収量が正確に調査されている水田土壌について、現地調査と室内実験の両面から土壌の特性を解明し、水稻収量との関係を考察し、つぎの結果をえた。

- (1) 水稻収量は土壌のもつ個々の作物養分（自然肥沃度）と直接的な関係は認められなかった。
- (2) 水稻収量は下層土が酸化的で透水のある土壌において高い傾向があった。
- (3) 水稻収量は土壌が新しいテラス面に位置している場合、母材が新しい堆積物である場合に高く、その理由として新しい堆積物を母材とする土壌で自然肥沃度が高いことが指摘できた。
- (4) 一毛作田と二毛作田では水稻収量に差があり、土壌の肥沃度にも差が認められた。
- (5) 土壌断面形態と母材の新旧を加味して調査地点の土壌を区分すると、その区分は水稻収量の差を明らかに示しえた。

謝 辞

本報告は1967年1月、京都大学東南アジア研究センターから派遣され、現地調査を行ない、持ち帰った試料につき室内実験を行なった結果にもとづくものである。現地調査に際して多くの便宜を与えられたタイ国 NRC, タイ国農林省米穀局 Dr. Sala Dasananda, Dr. Bhakdi Lus-ananda, San Pathong Rice Experimental Station の Mr. Prachan Khantaprab, また東南アジア研究センターバンコク駐在の石井米雄教授、福井捷朗助手の諸氏に厚く感謝の意を表します。高谷好一助教授には調査の後半同行していただき、テラス面の判定に貴重な示唆および援助をいただいた。衷心より感謝の意を表します。終りに服部、渡部の今回の調査を支持して下さった京都府立大学小松明德農学部長、森田修二教授、原田賢之教授に厚く感謝します。

引 用 文 献

- 1) 服部共生・古川久雄・川口桂三郎「タイ国水田土壌の粘土鉱物に関する2, 3の考察」『東南アジア研究』第3巻第3号, 1965, p. 151.
- 2) Watabe, T. *Glutinous Rice in Northern Thailand*. Center for Southeast Asian Studies, Kyoto University, 1967.
- 3) Kawaguchi, K. and K. Kyuma. *Lowland Rice Soil in Thailand*. Center for Southeast Asian Studies, Kyoto University, (in printing).
- 4) Kyuma, K. and K. Kawaguchi. "Major Soils of Southeast Asia and the Classification of Soils under Rice Cultivation," 『東南アジア研究』第4巻第2号, 1966, p. 100.
- 5) Soil Survey Staff, U.S.D.A. *Soil Survey Manual*. U.S.D.A. Handbook No. 18, 1951.
- 6) Vira Poomvises, F.R. Moormann, Chalermthep Ratanaprayura and Sarot Montrakun. Miscellaneous Soil Reports of the Royal Irrigation Department, Department of Agriculture and Department of Rice, No. 14 Detailed Reconnaissance Soil Survey of the Mae Taeng Irrigation Project, 1963.
- 7) Takaya, Y. "Quaternary Outcrops in the Central Plain of Thailand," *Geology and Mineral Resources in Thailand and Malaya*. Center for Southeast Asian Studies, Kyoto University, (in preparation).
- 8) 山崎欣太「日本における水田土壌の生成学的分類に関する研究」『富山県農業試験場報告』特別1号, 1960, p. 1.