

# 東南アジアの水田土壌に関する調査研究(予報)

川 口 桂 三 郎

## 1. はじめに

この調査・研究は東南アジア諸国（一部の南アジア諸国を含む）における水稲の生産性の向上に直接寄与することを目的としている。そのため一応東南アジアの水田土壌について土壌地理学的な研究も行なうが、それはあくまでも最終の目的を達成するための前提である。土壌学にペドロロジー（Pedology, 本稿では自然体としての土壌を研究する分野と規定する、表層地質学の一部とみてもよい）とエダホロジー（Edaphology, 本稿では作物栽培の立地として土壌をみる分野と規定する）があるとすれば本研究の比重は後者に大きく傾いている。

さて、この種の研究の実施に当たっては当然現地調査費の調達が問題となるが、幸い1963～64の両年度は京都大学東南アジア研究センターにより、1965～69年の5か年は国際稲作研究所（IRRI, マニラ近郊所在）によって支援されることになった。しかし、なお方法を講じてさらに継続して現地調査を行なう予定である。

なお、日本における水田土壌の研究は国際的水準をはるかに抜き、表題の如き調査・研究は当然日本人研究者によって行なわれるべきものである。東南アジアの水稲栽培に対する技術援助はわが国の関係機関を通じて適宜行なわれているが、水田土壌に関する組織的な基礎研究はいまだほとんど行なわれていず、わが国の第一線研究者による開拓が国際的にも望まれている。

本稿は、主としてこの調査・研究に対する著者の態度について述べ、調査の結果は研究論文として別に発表したい。

## 2. 土壌型あるいは土壌種としての水田土壌

われわれの研究対象は現に水稲が栽培されている土壌であり、この点については少しの疑義もない。しかし、水田土壌という概念によって規定される土壌型あるいは土壌種を認めるべきか否かについては欧米の学者の間には多くの論議がある。そしてこれらの論議を通じて彼等の水田土壌に対する認識の程度をうかがうことができる。

たとえば F. A. O. の Soil specialist としてタイ、マラヤの土壌調査に従事している Dr. F. R. Moormann の見解もその代表的な一例である。氏の著書“Major Soils of South-East Asia, 1962”<sup>1)</sup> の中から引用すると次のようである。“The name “paddy soils” is commonly used

for soils on which rice is grown under submerged conditions. As such, this name does not cover a specific group of soils. However, since artificial flooding causes some changes in the soil, paddy soils have certain definite features in common. It is in this sense that the term is used here.”

この見解に従うと水田土壤があるならば小麦土壤もトモロコシ土壤もゴム園土壤も存在することとなり、作物の種類や樹木の種類の数だけの土壤があることになるというわけである。この見解はもとより地質・鉱物学に重点のおかれた土壤学——あるいは前述のペドロロジー——の立場から生まれたものであろう。ペドロロジーの立場にたつ土壤学は別に大きな価値をもつが作物の生産性の向上には直接には大して役だたぬものである。しかし、上記の見解はペドロロジーの立場からみても大きな誤りを犯している。すなわち、土壤に与えるたん（湛）水の影響の過小評価である。おそらくこの種の考えは実際に水稻を栽培した経験のない欧米の学者達の頭の中で観念的に生まれたものであろう。北方の寒冷湿潤地の代表的土壤であるポドソール (podsol) が無層理の堆積物のうえに生成する場合ポドソール化しつつあると辛うじて認めうる土壤断面形態（層の分化）を持つまでには少なくとも100年を経過し、成熟した形態をとるには約1000年以上を要するとされている。一方わが国の開拓地や干拓地では、水稻作付後4～5年で、水田土壤として認識する以外に他の如何なる土壤にも類型を求めえない土壤——すなわち水田土壤の生成が始まっている。ペドロロジーの立場からも水田土壤の生成の速さはポドソールに比べ一桁も二桁も大きい。また水稻作を止め畑作に転換しても水田土壤として獲得された形質は永く残る。それはあたかもポドソールを畑地として利用してもポドソールの特徴は相当の期間残存するのと同様である。ポドソールを畑地として集約的な栽培を行なった場合40～50年にしてポドソールの特徴が失われるという理由でポドソールを独立した土壤型と認めようとしないうペドロジストが一人でもいるだろうか。

要するにペドロロジーの立場からも水田土壤はポドソールやチエルノーゼム (Chernozem, 比較的乾燥した気候下に生成する草原土壤の一種) と同様にれっきとした独立した型の土壤と考えるべきである。

### 3. 畑作土壤の場合

水田土壤は独立した土壤型と認めるべきであるが、小麦土壤やトモロコシ土壤を認める必要はない。小麦やトモロコシの栽培によって、その土壤が他の畑作物の栽培をうけた場合に比べて異なった形質を獲得する速さはきわめて遅く、かつ畑作物は水稻に比べて同一土壤における栽培の永続性を欠いており、ペドロロジーの立場からはもとより、エダホロジーの立場からも畑作物の種類毎に独立した土壤型を認めることはできない。ついでに付記するならばゴム園土壤は茶園土壤、桑園土壤などとともに、それぞれの作物の栽培によって土壤におこる変化の

速さが水田と一般の畑作との中間に位置し、変化の方向も一般の畑作と異なり樹園地土壌として共通した特徴をもっている。したがって、エダホロジの立場からは畑土壌とは異なった土壌型とする方が合理的である。以上をとりまとめると第1表のようである。

第1表 作物の種類別による土壌の型の認識

作物の種類	ペドロジの立場から	エダホロジの立場から
水 稲	+	+
永年性樹園作物	-	+
一般畑作物	-	-

- + 独立した土壌の型と認める（たとえば茶園土壌、水田土壌などの如く）
- 同上認めず（小麦土壌などを認めず）

#### 4. 水田土壌の分類

東南アジアの各地に分布する水田土壌の土壌型を同定し、相互のコレレーション (correlation) を求めることは、稲作技術の浸透、交流のために不可欠である。このため水田の土壌型の認定と分類法の確立が要求される。

しかし、現在国際的にも、国内的にも、統一され、多くの土壌学者に承認されている分類法はいまだできあがっていない。

一般に、従来農耕地の土壌を認識するに際して、人為の加わっていない土壌——森林ないし草原の土壌——に対して適用されるべき方法がそのまま用いられてきた。これはソ連やアメリカ合衆国などのような広大な地形の広がりをもつ国を中心として発達したペドロジの影響であり、止むをえないところともいえる。この反省として、米国に於ては全く新しい土壌分類法として1960年の国際土壌学会を機会に Soil Classification, a comprehensive system, (7th approximation)<sup>5)</sup> が発表され、農耕地土壌に対する配慮が重視された。

しかし、農耕地土壌の認識に対するペドロジの影響は容易に抜けきれない。水田の土壌分類方式についても種々の提案はあるが、そのほとんどは土壌の母材、堆積状態などの土壌がもつ先天的性質と水稻の栽培がその結果として土壌に与えた形質の特徴との組合せによって分類されており、水稻栽培時の土壌状態が分類上に占める比重はきわめて軽い。

非作付期の土壌状態と作付期のそれとが著しくは変わらない畑作土壌を対象として育った欧米の土壌学者が、非作付期の土壌についてえられる情報がそのまま作付期の土壌に通じるものであるとしているのもあながち不思議ではない。このことから、おそらくは無意識に「作物が栽培されている」土壌の認識・分類に非作付期の土壌状態をもってすることに疑義を起さず、これがひいては水田土壌の存在を否定しようとする誤りさえも犯さしめるのであろう。

わが国の土壌学者の多くもまた同じ誤りにおち入っていたといえよう。この意味において、富山県農業試験場長山崎欣多が非作付期の土壌状態と作付期の土壌状態との対比を研究し、非作付期の土壌状態から作付期のそれを推定する方法の研究に務め、推定される作付期の土壌状態を分類上重視したのは一つの卓見であり、本調査・研究においても貴重な参考としている。

乾期と雨期の交替が明瞭であり、かつ乾期の気温がなおきわめて高温であるタイ国の多くの水田において水稲収穫後の乾期の初期において土壌の乾燥に伴う土壌成分の移動がはげしい。したがって、非作付期の土壌状態から作付期のそれを推定することの困難さは、わが国土壌におけるよりもタイ国土壌において一層甚だしいといえよう。

たとえば土壌T-9(研究室番号, Sakon Nakhon の稲作試験地付近)は調査時において土壌の表層に可溶性塩類の集積があり、典型的な塩成土壌の様相を呈している。しかし、本土壌には下層に不透水層と推定される土層があり、表層の塩類はこの不透水層までの全土層に分布していたものが土壌の乾燥過程に伴って上昇し、表層に集積したものと考えられる。水稲作付時の土壌中の塩類濃度や組成は調査時のそれとは甚だしく異なっているはずであり、調査時の塩類をいかに精査しても水稲の生育に対する直接の影響を適確に推定することは困難である。

われわれの調査もその進捗に伴って多くの新知見がえられ、多数の報告が生まれるであろうが、真に直接水稲の増産に貢献しうる業績を出すためには現地にあつて、水稲の生育過程に密着した研究を行なう必要性がますます高まってくるものと予想される。

## 5. タイ国水田の天然養分供給量

わが国の稲作においては窒素の供給がもつとも重要である。もとより火山灰水田におけるリン酸、カリその他の塩基の肥効の著しい水田の存在など、窒素以外の要素の重要性も高いが、ひっきょうするところ稲作技術の中心は窒素をいかに合理的に水稲に吸収さすかにつきるといっ

第2表 施肥による玄米の増収(タイ国, 1958~9)

地 域	試験年次	試験点数	無肥料区 の 収 量 kg/ha	施肥要素(下記の数字は無肥料区 に対する増収量) kg/ha					L.S.D.
				N	P	K	NP	NPK	
北 部	1958	11	2328	614	703	282	887	967	156
	1959	9	2397	327	266	220	704	630	268
中 央 部	1958	35	1850	666	505	299	1097	1154	101
	1959	53	1774	447	423	321	806	887	120
東 北 部	1958	15	1452	376	403	183	1019	1437	131
	1959	38	1137	299	356	174	787	1160	191

- 注 1. 肥料の施用量は1958年度はN, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>Oとしてそれぞれ75kg/haを硫酸、過リン酸石灰、塩化カリで施用。1959年度は同じく37.5kg/haずつ。  
2. 肥料は全量基肥として施用。

第 3 表 窒素の施用量と玄米の増収 (タイ国, 1960~1)

地 域	試験年次	試験点数	無肥料区 の 収 量 kg/ha	施肥要素と窒素の施用量 (数字は無肥料 区に対する増収量) kg/ha							L.S.D.
				N <sub>1</sub>	P	N <sub>1</sub> P	N <sub>2</sub> P	N <sub>3</sub> P	N <sub>4</sub> P	N <sub>4</sub> PK	
北 部	1960	7	2751	223	333	455	643	692	747	985	186
	1961	16	2556	340	528	575	633	692	798	835	220
中 央 部	1960	31	1735	269	427	662	797	847	1020	1114	170
	1961	57	1974	325	386	640	745	818	937	878	127
東 北 部	1960	32	1167	167	310	540	672	769	908	1089	125
	1961	31	1238	230	425	703	840	1015	1035	1335	79
南 部	1960	7	2466	121	251	408	666	786	663	794	183
	1961	6	1678	376	727	1232	1295	1280	1265	1182	69

- 注 1. 肥料の施用量は P, K それぞれ P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O として 25.0kg/ha を過リン酸石灰, 塩化カリで施用。  
 2. N<sub>1</sub> は N として 12.5kg/ha を硫酸で施用, N<sub>2</sub>, N<sub>3</sub>, N<sub>4</sub> はそれぞれ N として 25, 37.5, 50kg/ha である。

ても過言ではない。

さて、第 2 表および第 3 表は、1958~1961年にわたり、タイ国において全国的に、農家の圃場について行なわれた肥料試験<sup>7)</sup> (Simple fertilizer trials) の結果である。この試験は点数も多く信頼するに足ると考えられるが、その結果は既往の試験成績とほぼ一致している。

1) タイ国 (一般には熱帯の水田について) の水田ではリン酸肥料の施用効果はきわめて著しい。ただし、これは一般に信じられている如く熱帯水田の特徴とは考え難い。わが国の水田といえども無リン酸栽培を続ければ、当然のことながらリン酸施用の効果が顕著にあらわれてくる。施用リン酸の固定機構、リン砒石粉の肥効発現機構などが熱帯水田におけるリン酸に関する当面の主要研究課題である。

2) これらの試験結果からみると窒素の肥効はリン酸とほぼ同程度と考えられるが、タイ国の如くたん水前の土壤の乾燥がはげしく、たん水後高温である場合は後述のとおり土壤窒素のアンモニヤ化成の速度が大きく、本試験では施肥窒素が硫酸で全量基肥であることと相まって、生育初期の窒素の供給の過多と生育後期の肥切れを助長しているはずであり、追肥が行なわれまた合理的な施肥が進むに伴い、窒素の重要性は漸次リン酸のそれを凌駕してゆくであろう。

3) カリの肥効は東北部 (コラート台地) の水田において顕著であるが、風化がはげしく、表層からの洗脱の極度に進んでいる本地域の土壤では単にカリのみでなく、経済性を考えぬならば、石灰、マグネシウム、ケイ酸などの施用効果もまたきわめて著しいであろう。

## 6. 熱帯水田における土壤窒素の有効化の機構

熱帯水田における収量の制限因子が窒素にあるかリン酸にあるかは今日大いに論議の対象と

なるところである。現在両者にほぼ等しい比重が置かれているが、次の二つの理由によって漸次窒素の比重が高まってゆくものと考えられる。

1) 少なくともタイ国の大部分の水田に関するかぎり、たん水後有効化すべき土壤リン酸の大部分はたん水後の比較的初期に有効化し尽しているはずであり、一方水稻の収量には生育の初期に吸収されたリン酸が有効であり、生育の後期に吸収されたリン酸は収量の増加には貢献しない。いいかえれば、土壤リン酸は水稻によりもっとも能率よく利用されており、無リン酸栽培であるかぎりは土壤の処理方法、栽培法などの改良によって土壤リン酸の効率を現在以上に高めることは困難である。一方窒素は雨期に入った直後の降水の状況により、土壤がたん水するに至らぬ程度の水分を持つ状態が継続するならば、硝酸態窒素の生成が無視できぬ量となり、たん水後の損失をまねくこととなる。また、土壤が乾燥状態から短時日の間にたん水状態に移ればアンモニア態窒素の生成が速く、水稻生育の初期に多く吸収されるが、これはリン酸の場合とは異なって収量の維持に対して好ましくない。いずれにせよ、窒素に関しては後に再び述べるが、条件のいかんにより有効態となりうる可能性のある窒素はほとんどすべて現実に有効態となるが、水稻によるその利用は必ずしも能率的でなく、多くの改善の方途があるはずである。

2) 将来施肥量の増加に伴い、施用リン酸の大部分は土壤中に難溶性化合物となって蓄積され、難溶性ではあるが蓄積量の増加により漸次水稻に対するリン酸の供給源として作用し、したがって逆比例的に施肥リン酸の肥効は低下してゆく。

これに対し土壤中における窒素のサイクルは、高温下において酸化と還元を繰り返えず熱帯水田においては、温帯土壤についての知見からする類推をはるかに越えた迅速なものと考えられ、また窒素が土壤中に多く蓄積されることはない。そのため土壤中におけるリン酸の富化、塩基状態の改善などに伴い施肥窒素の肥効はいよいよ増大するであろう。

以上の考察の下に、熱帯水田における土壤窒素の有効化の機構を解明し、有効化の過程を明らかにすることは、土壤学の立場より熱帯稲作の増収にもっとも貢献しうる課題であると考えられる。当然われわれの調査・研究においてもこの課題を重視し、また水田土壤の区分にも土壤窒素の挙動の如何を大きくとり入れることになるだろう。

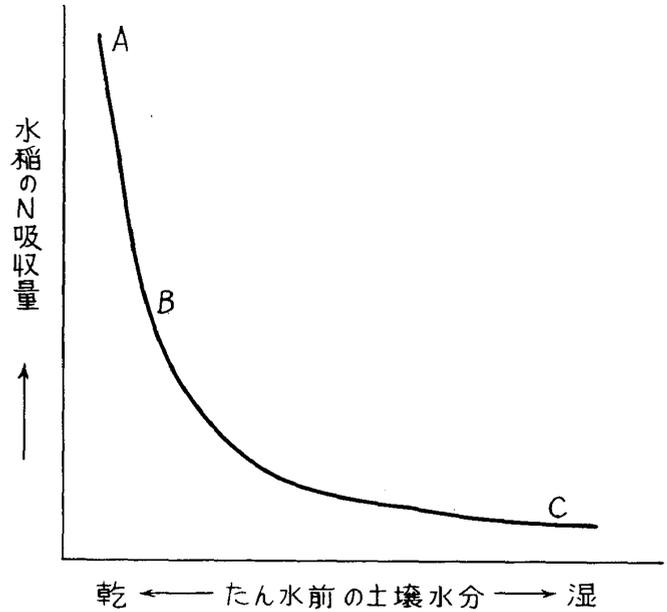
次に、土壤に畑地状態であるよりも水田状態とした方が有効態窒素の生成量が多い。したがって、同じ土壤に畑作物を植えるよりも水田状態として稲を植えた方が作物による窒素の吸収量(収奪量)が多いのが普通である。一方、同じ土壤で畑作を続けた場合と水稻作を続けた場合とを比べると、一般に前者の方が土壤はより瘠薄化している。この一見矛盾した現象も、

1) たん水下における藻菌類(Algae)、光合成細菌などによる分子状窒素の固定、2) 畑地における硝酸態窒素の生成とその易流亡性、3) たん水下における嫌気性細菌による土壤有機物および微生物体タンパクからのより強力なアンモニア化成作用、などによって理解される。こ

これらの現象は熱帯水田においてはそのインテンシティーが著しく高い。

**熱帯水田土壌のアンモニヤ化成作用（乾期の明瞭な場合）** 湿潤な状態にある土壌をそのままたん水するよりも、たん水前に一たん乾かした方が、たん水後のアンモニヤ態窒素の生成量の多いことは今日では乾土効果として周知されている。

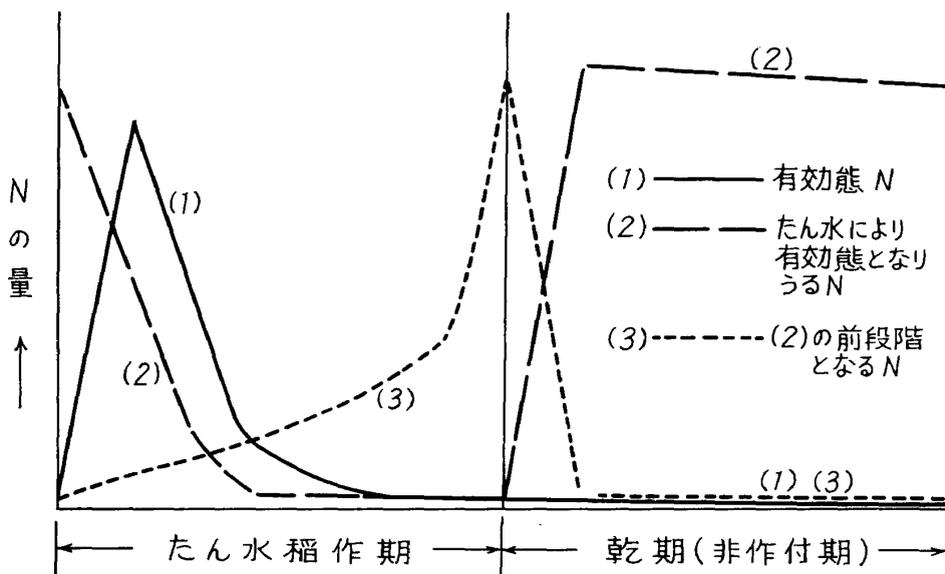
第1図は著者<sup>8)</sup>がかって求めたたん水前の土壌水分とたん水移植後の水稲による窒素吸収量との関係を模式化したものである。たん水前の土壌水分が減少し、風乾近くなると僅かの水分の減少によって、たん水後の水稲による窒素吸収量は冪指數的に増加する。



第1図 たん水前の土壌水分と水稲の窒素吸収量

日本の乾田においてはたん水前の土壌水分は年によって変動し、たん水後の有効態窒素の生成量は図のBCの間を變動しているということが出来る。一方タイ国の多くの水田の土壌は乾期において極度に乾燥するため、乾土効果は年々極限に近く發揮され、図のA付近にあることとなる。そして条件によっては有効態となるべき潜在的な窒素の供給力をあとに残すことが少ない。

次に、たん水後の土壌温度も土壌からの有効窒素の生成量に大きな影響をもち、温度の高い



第2図 熱帯水田（一毛作）における窒素の形態の推移

ほど生成量が多いが、大部分のタイ国の水田においてはたん水の直前、直後の頃に最も高温である。

土壤中に存在する潜在的な窒素から有効態窒素として解放されてくる量は、当該土壤中の窒素の形態など土壤のもつ固有の性質の他には、上記のたん水前の乾燥度とたん水後の土壤温度の二つが支配的な因子である。熱帯の水田で、明瞭な乾期のある場合は、この2因子はともにたん水後の有効態窒素の急速な生成をきたす如くに作用する。一方たん水・稲作中に微生物による窒素固定作用や刈取後残存することになる稲株の生長が行なわれ次期稲作に対する有効窒素の供給源となる。これらの関係を第2図の如くに示すことができよう。

図の(1), (2), (3)の各曲線の形は土壤の種類と外圍の条件により変異する。曲線(3)は窒素を



第3図 1963年度の調査地点

固定した微生物体、稲刈取後刈株として圃場に残る部分などであり、極度の脱水により(2)として示される形態に変わる。曲線(1)に示すとおり、有効態窒素の生成はたん水後の早期に傾きすぎており、曲線の傾きを緩やかにする土壤管理が熱帯稲作の有効な改良法の一つであろう。灌漑水による窒素の供給はわが国の水田と同様にタイ国水田においては特に問題とすべき量ではない<sup>9)</sup>。一般の稲作の改良に対してもまた水稻の二毛作や水稻と畑作との二毛作を導入する場合にもこれらの曲線の変化をみきわめ、土壤中における有効態窒素の生成を水稻の作物生理的な窒素要求に適合させなければならない。

今回の調査においても、

できれば調査土壌毎にこれらの曲線の型をきめてゆきたい。

## 7. 1963年度の調査経過

1963年度の調査は東南アジア研究センター自然環境班の研究の一部として行なわれたものである。著者が1964年2月中旬 Bangkok central plain の一部の土壌をみた他は、大学院学生齊藤万之助（11月中旬～2月上旬）、古川久雄（11月中旬～3月上旬）の両君により、第3図のように南部タイを除く全領域にわたり、代表的な水田土壌はほとんどすべて直接土壌断面(profile)を精査することができた。元来土壌調査は責任者が直接全地域を精査すべきであるが、本年度は止むをえぬ都合によりこのような方法をとった。調査地の選定は予備的に主として R. T. Pendleton & Sarot Montrakun<sup>10)</sup>, F. R. Moormann, Sarot Montrakun & Samarn Panichapong<sup>11)</sup>らの文献によった。また現地における調査は常法のとおりであるが、調査時の観察からたん水・作付期の土壌状態を推定するように務めた。しかし、このことは日本の水田土壌の場合に比べ著しく困難であり、非作付期における調査結果の価値は冷静に判断されねばならない。

## 謝 辞

当初この調査・研究の意義を十分認めながらも、予想される多くの困難のため容易に着手にふみきれなかった著者に対し、好意ある御勧奨を下された当時の研究センター所長奥田東、自然科学部門副主任四手井綱英、研究センター幹事本岡武の三氏に対し、深く感謝いたします。

また、奥田、本岡両氏と岩村忍現所長からは国際稲作研究所からの現地調査費の交付について御援助をうけました。この機会をかりて厚く御礼申し上げます。

1963年度の現地調査は、多数のタイ国側各位の御好意をえてはじめて可能であったもので、下に御芳名をしるし深甚の謝意を表します。

Dr. Buncherd Balankula	Director General, Land Development Department
Mr. Chareon Suwanaset	Chief of Land Classification Division, do.
Mr. Anunt Komes	Chief of Soil and Water Conservation and Management Division, do.
Dr. Sala Dasananda	Director General, Rice Department
Mr. Sarot Montrakun	Technical Division, do.
Mr. Suvit Pushpavesa	Chief of Phimai Rice Experimental Station
Mr. Sanan Intratot	Chief of Pitsanulok Rice Experimental Station
Mr. Prachan Khan Taprab	Chief of Chiang Mai Rice Experimental Station
M. L. Xujat Khambhu	Director General, Royal Irrigation Department

Dr. Pote Punyatip	Chief of Planning Division, do.
Guides	
Mr. Surachit Chaisiri	Soil and Water Conservation and Management Division
Mr. Itdhipol Kamolrut	do.
Mr. Song	Royal Irrigation Department
Mr. Vil	do.

### 参 考 文 献

1. R. Dudal and F. R. Moormann: Major Soils of South-East Asia. 1962.
2. O. Tamm: Medd. Skogsförsöksanst 17 49, 1920.
3. A. Muir: Forestry 8 25, 1934.
4. R. F. Chandler: Proc. Soil Sci. Soc. Amer. 7 454, 1943.
5. Soil Survey Staff, USDA: Soil Classification, a comprehensive system, 7th approximation, 1960.
6. 山崎欣多: 富山県農業試験場特別報告, 1962.
7. Bhakdi Lusanandal, Anunt Komes & Sombhot Suwanwaong: Simple fertilizer trials on rice in cultivators' fields in Thailand. (mimeographed paper, Technical Division, Rice Department, Bangkok, Thailand), 1963.
8. 川口桂三郎: 水田状態土壤中における還元現象に関する研究 1945
9. 小林純: 東南アジア諸国の河川の化学的研究; タイ国の水質について, 『農学研究』 46 63, 1958.
10. R. L. Pendleton & Sarot Montrakun: The Soils of Thailand, Dept. of Rice, Ministry of Agriculture, Bangkok, Thailand, 1960.
11. F. R. Moormann, Sarot Montrakun & Samarn Panichapong: A Key to the Soil Survey of North-Eastern Thailand, No. 9 of Miscellaneous Soil Reports of the Dept. of Agri., Dept. of Rice & the Royal Irrigation Dept., Bangkok, 1962.