

### Ⅲ 作物栽培とかんがい排水

#### A かんがいに関する基礎的な調査

#### 1 カンボジアにおける水・土壌と生産力

海外技術協力事業団 安 尾 正 元

#### ま え が き

カンボジアにおいては、粗放な無肥料栽培が行なわれているので、農作物の生産におよぼす水および土壌などの自然条件の影響はきわめて顕著なものがある。

本報告においては、カンボジアにおける水および土壌の諸性質が作物の生育にどのような影響をあたえているかを明らかにしようとしたものである。

#### I 水 稻 生 育 と「水」

##### 1. 水稻収量におよぼす降雨量とその分布の影響

温帯に位置する日本の稲作が、主として気温および日照の順、不順に作況が支配されるのに対し熱帯に位置するカンボジアでは、むしろ、降雨量とその分布の状態が作況を決定する主因となっている。

同国農林統計から、各州において高い収量を示した3ヶ年と、低い収量を示した3ヶ年をとって、それぞれの月雨量の平均値を求め、これらの関係を示すと図-1の通りであって、豊作年は不作年より雨量が多いことがわかる。

この年降雨量と収量との関係について、さらに州別に年降雨量 100mm の増加に対する ha 当り収増収量を求めてみると図-2の関係が得られる。

Kompong Cham 州の15ヶ年についてみると、年降雨量 100mm の増加に対する ha 当り収増収量は 0.058ton の正の相関がある。また、この15年のうち降雨量の分布で著しく不規則な年の6ヶ年を除外して関係を求めると、収増収量は 0.912 ton と上昇するのである。これを群別Ⅱに示した。さらにこの6年の中で関係を求めると 0.079 ton の値が得られ、これを

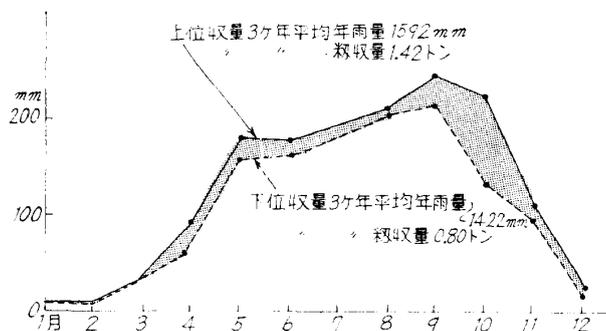


図-1 各州上位、下位収量3ヶ年における月雨量平均(白石)

群別Ⅲに示した。Takeo 州の12カ年, Stung Treng 州の19ケ年についての結果は、いずれもマイナスの関係を示したが、Takeo 州では、異常と思われる2ケ年を除くと +0.101ton と正の関係を示した。

2. カンボジアのかんがい水質

水稲の生育期間中にカンボジア各地のかんがい水の水質について簡易分析を実施した結果を表一1に示す。水質は稀薄であるといえる。

上記の平均値から、稲作期間中、かんがい水によって供給されると考えられる養分量を算出すると次のようである。稲作期間を100日として1日13mmをかんがいするとすれば、かんがい水の総量はha 当り 14,000 ton となり、これから ha 当り養分供給量を計算すると、ha 当り加里 18.1kg, 珪酸 238kg が天然に供給されることになる。したがって、砂質土壌地帯の一部を除いては、現行の茎葉を残し、穂先だけを刈る水稲栽培に対しては、加里肥料、珪酸などの施用効果が顕著には現われ難い場合もあると考えてよいのではなかろうか。

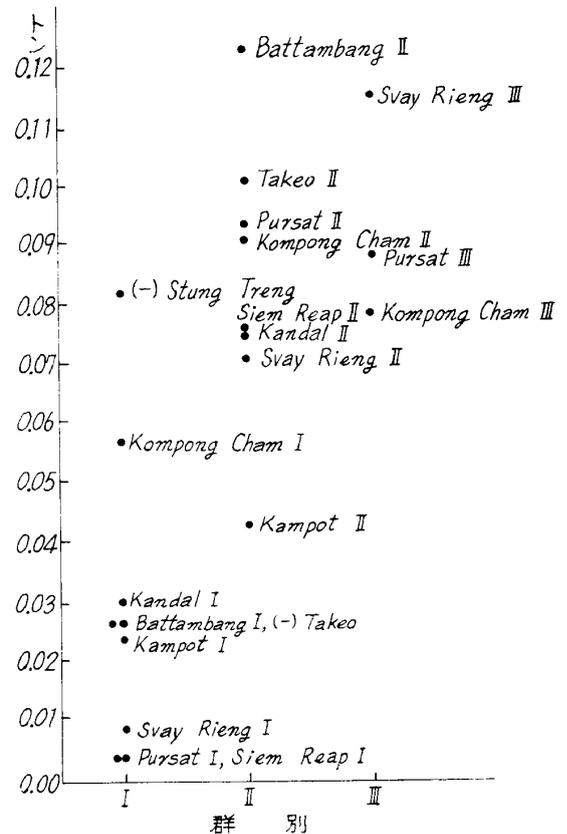


図-2 降雨量 100mm あたり ha 当り増収量(白石)

表-1 水 質 分 析 値

場 所	項 目	pH	K <sub>2</sub> O	SiO <sub>2</sub>	アルカリ度	採取月日
13カ所の平均値		6.4	1.3	17	35	7~10月
日本の203例平均値		6.9	1.8	18	35	
Mekong 河本流 Kompong-Cham		7.3	1.2	24	62	11月21日
Mekong 河本流 Samrong-Thom		7.0	1.2	14	46	11月21日
Barai Occidental		6.0	0.8	10	10	11月23日

3. 水稲の生育におよぼすたん水の効果

カンボジアの各地で、水稲の生育状況を観察すると、一定の傾向を認めることができる。す

なわち、水稲の生育不良な水田ではかんがい水が不足し、高所にあつてたびたび地表面が露出している場合が多い。一方、生育良好な水田は、かんがい水が十分に供給される位置にあつて、土壌の還元が早くから進み、土色は暗灰色に変化している。このような土壌では、水稲の生育に必要な水が供給されるばかりでなく、かんがい水にともなつて供給される養分や新鮮泥土の客入、さらには藻類の旺盛な繁殖や細菌類の活発な活動、これに伴う窒素、燐酸などの潜在地力の発現効果を期待できる。したがつて、土壌の還元が進み、土色が暗灰色を呈する土壌ほど、より多量の養分を水稲に供給していることがわかる。これに反して、かんがい水が不足して、しばしば地表面が露出するような水田では、窒素および燐酸などの欠乏を招来することになる。観察例を表-2に示した。

表-2 水稲の生育程度と土壌の性質（9月）

項 目 場 所	生 育 状 況	土 色 (原土)	有 効 態 燐 酸
Battambang 育 種 試 験 場	極 め て 良 好	5GY 5/2 暗灰色	20mg/100g
	同 上	5YR 5/2 同 上	10
	普 通	10YR 6/2 暗褐色	5
隣 接 農 家	極 め て 良 好	5GY 5/2 暗灰色	20
	普 通	10YR 6/4 褐 色	2
篤 農 家 圃 場	極 め て 良 好	5Y 5/2 暗灰色	25
	普 通	10YR 7/4 褐 色	1

土色が灰色の還元色を示し、かつ有効態燐酸含量の高い土壌が水稲の生育も良好であることがわかる。このためには、農地の基盤を整備して、かんがい水を充分にとり入れることと、堆厩肥の増投、緑肥作物の導入などによって積極的に土壌の還元を進める手段をとることが必要であらう。もちろん、土壌の還元効果がオーバーになるときは、還元障害による根腐れや、窒素過多による倒伏などの有害な作用の出てくることも予想されるが、カンボジアの現状は、むしろ還元障害発現以前の段階にあるといえる。2m 以上も伸長して大量の茎葉を形成する浮稲の連年栽培も 2m に達する氾濫水による上述のような肥沃化の効果があつて、始めて可能といえるのである。

このたん水による土壌還元促進の効果は次のポット

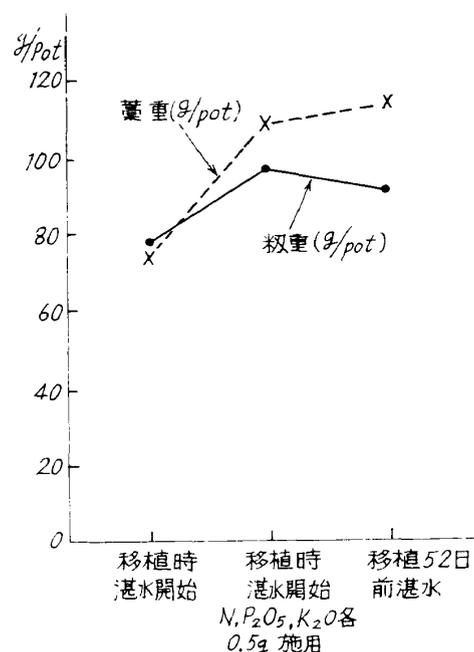


図-3 たん水時期が水稲の収量におよぼす効果

試験によっても確認される(図-3)。 移植52日前たん水ポットの土壌は、移植時にはすでに土壌の還元が進み灰色を呈していた。たん水による土壌の還元にともなって、多量の養分が有効化してくることが推定される。

## II 水稻畑作物生育と「土壌」

### 1. 水稻畑作物に対する施肥のレスポンス

カンボジアの穀倉地帯といわれる Battambang 州に設置されたカンボジア、日本友好農業センター用地内において実施した肥料試験の結果を図-4 に示した。

リン酸単用区は移植直後の生育は比較的良好であったが、その後窒素欠乏を惹起し、最後の収量も 2,360kg/ha と低かった。窒素単用区は初期に激しいリン酸欠乏症を呈したが、9月下旬頃より土壌の還元化が進むにつれて、生育が急速に促進され、2,984kg/ha の籾収量をあげることができた。

このように、水稻はかんがい水による養分の供給や、土壌の潜在地力の活用が可能であるが、畑作では、このような好影響は全く期待できないから、畑作における施肥レスポンスはいつそう明確に現われ、とくにリン酸欠乏は決定的な障害となる。

前記水稻と同じ圃場で実施したトウモロコシ、棉、キャッサバ、緑豆、クロタラリヤなど10畑作物の肥料試験の結果を平均して示すと図-5の通りである。

この圃場の有効態リン酸 (Truog 法) は 1mg/100g soil, 置換性加里は 0.1m.e, 置換性石灰は 5m.e, 石灰飽和度33%, pH は 4.7 (H<sub>2</sub>O), 4.2 (KCl) であるが、畑作物に対しては、リン酸の施用がきわめて有効であり、同様加里の施用効果も大きい。土壌反応矯正剤としての石灰施用の効果は荳科作物である緑豆、クロタラリヤなどに対しては、三要素区の収量指数 100 に対して石灰施用区 109 という増収を示したが、田菁など禾本科牧草には効果はなく、トウモロコシに対しては逆の減収効果を示した。この種の粘土質土壌では、土壌が固結あるいは過湿状態である場合が多いために、土壌と十分に混和することが難しく、熱帯作物に対する石灰の施用効果

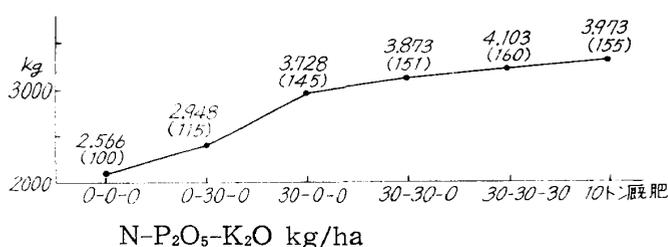


図-4 水稻の施肥に対するレスポンス

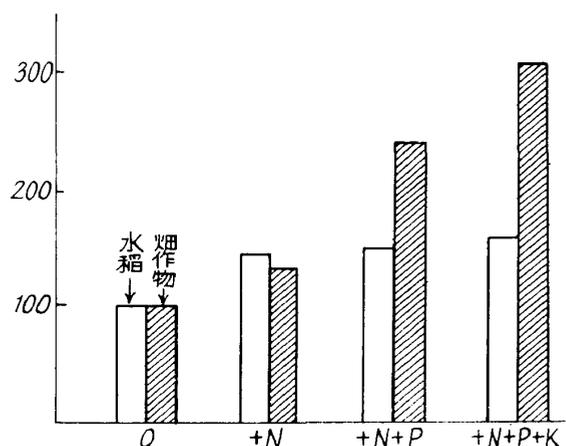


図-5 畑作物の施肥に対するレスポンス

については、作物の特性や土壌の性質に応じた慎重な検討が必要であろう。

## 2. 主要農耕地の土壌型

カンボジアはアメリカの方式による土壌調査を実施しているが、その分類および命名法については、われわれにとって理解し難い点が少なくない。日本の専門家が海外の土壌調査を統一的に実施するために、熱帯土壌の調査方法を確立しておく必要がある。

カンボジアの土壌については、わが国の佐伯などによる化学分析を主とした報告があるが、本報告においては、筆者が便宜的に行なった土壌区分を基礎にして土壌と生産力因子との関係を述べることにする。

### (1) 低地沖積土壌

(i) Mekong 河浸水土壌 Mekong 河または Tonle Sap の雨季の増水にともなって浸水を蒙り、新鮮な泥土の供給を毎年受ける沖積土壌で、浸水の前後の期間を利用して、トウモロコシ、タバコ、緑豆、落花生、甘藷などの畑作物が栽培され、カンボジアにおける畑作の宝庫といわれる。一部に浮稲や沼の貯水を利用した乾季稲の栽培が行なわれている。

(ii) 砂質沖積土壌 中生代の砂岩に由来する砂質の沖積土壌であって、やや高所に位置する所では、雨季に可動化した鉄が、乾季の乾燥により固結し、地表下 40~50cm 位の所に地下水ラテライトの盤層を形成しているところもある。比較的保水性が良いために乾季の始めに一部で西瓜栽培が行なわれている。カンボジア水田全面積約 230 万 ha をのうち、約 2/3 を占めている。

(iii) 粘土質沖積土壌 Tonle Sap の湖成沖積の粘土質土壌であって、水田全面積の約 1/3 を占めている。

### (2) 台地残積土壌

(i) 玄武岩起源赤色土壌 第 4 紀の玄武岩熔岩の風化した台地土壌で、Terre-Rouge といわれている。風化生成物である遊離鉄が膠結剤として団粒を形成し、通気、通水、保水性などの物理的性質が良

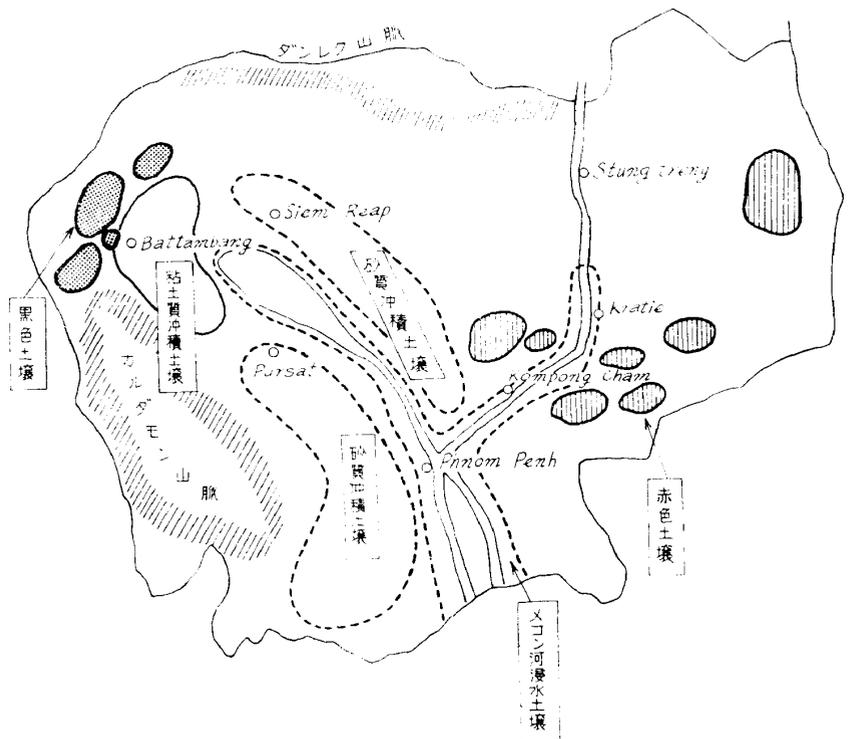


図-6 カンボジアの主要農耕地分布図

好であるために、ゴム、コーヒー、コシヨウ、パイナップル、バナナ園としての企業栽培のほかに、トウモロコシ、棉、荳類などあらゆる畑作物の適地として利用されている。現在、56,143ha がゴム園として、350ha がコーヒー園として利用されている。

(ii) 石灰岩起源黒色土壌 古生層の軟質石灰岩が風化してできた黒色のレンジナ土壌である。有機物は石灰と結合して集積し、やや炭素含量が高い。かつその腐植化度も進んでいるために、熱帯としては特異な黒色土壌を生成し、土壌反応もアルカリないし中性である。腐植を膠結剤とする団粒が形成され、粘土鉱物が2:1型のモンモリロナイトであり、通水、保水性が高く、最近、棉作適地として急速に開発が進んでいる。その分布は古生層の石灰岩残丘に限定され、現在約 30,000ha が開墾されている。

### (3) その他

上記の5土壌型のほかに、砂岩の台地上に局所的ではあるが谷底平野が開析されている。この種の土壌は、ほとんど水田として利用されている。

Mekong 左岸の南ベトナム国境付近から南ベトナムにかけて、Jonc 平原という広大な低湿地が分布し、この土壌には硫酸塩が集積しており、乾燥すると酸性化してくる。この地帯の開発計画がなされ、そのための農事試験場が設置されている。

## III 土 壤 生 産 力

### 1. 生産力指数

各土壌型の若干の土壌について、水稻、トウモロコシ、棉などのポット栽培を行ない、その生育および収量の程度を、粘土質沖積土壌の場合を100として表示すると図-7の通りである。Mekong 浸水、赤色土、黒色土などでは、供試土壌の間の生産力の差が大きい。

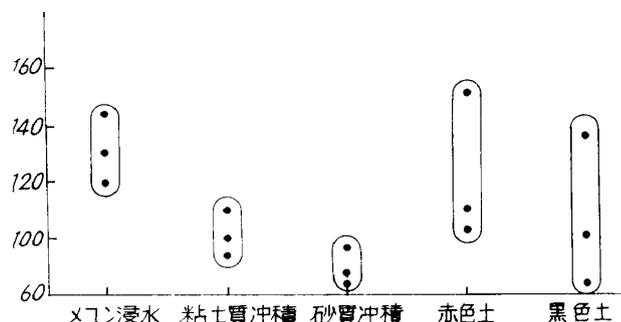


図-7 各土壌型の生産力指数

### 2. 生産力の構成要因についての検討

そこで、これら各土壌型について、その生産力を構成していると考えられる諸要因について検討を加えた結果は次の通りである。

#### (1) 機 械 的 組 成

各土壌型の代表土壌の機械的組成を表-3に示した。いずれの土壌も使用した分散剤ヘキサメタリン酸ソーダで良く分散し、砂質土壌を除いては粘土部分が極めて多く、light clay、ないし heavy clay の土性を示す。

表-3 代表土壌の機械的組成

土壌型	粗砂 2~0.2mm	細砂 0.2~0.02mm	シルト 0.02~0.002mm	粘土 <0.002mm	土性	一次鉱物の重鉱物割合
メコン浸水	9.3	22.6	42.8	25.3	Light Clay	0.28%
砂質沖積	40.4	46.7	12.9	0	Sand	0.25
粘土質沖積	5.5	22.7	32.8	38.9	Light Clay	0.28
赤色土壌	6.3	9.8	15.4	68.5	Heavy Clay	1.9~5.0
黒色土壌	5.9	13.5	13.7	67.0	Heavy Clay	2.2

(2) 一次鉱物組成

細砂以上の粒子について一次鉱物の組成を検討すると、各土壌型ともに、比重2.9以上の重鉱物の割合は表-3に示したように僅かである。また重鉱物は磁鉄鉱が、軽鉱物は石英がそれぞれ大部分を占めているから、養分の供給源としての一次鉱物の役割はそれ程大きくないものと考えられる。

(3) 粘土鉱物

各土壌の粘土部分のX線回折図を図-8に示した。示差熱曲線の結果とも併せ考察すると次のような粘土鉱物組成を同定することができた。

- a メコン浸水土壌, イライト, カオリナイトを主とし, バーミキュライトを含む。日本でも稀なほど, 若い膨潤性のある粘土である。
- b 砂質沖積土壌, カオリンである。
- c 粘土質沖積土壌, カオリナイトを主とし, バーミキュライト, イライトを含む。
- d 赤色土壌, 結晶化の進んだ典型的なカオリンの曲線を描く。この他に, 遊離の鉄やアルミの酸化物が相当量存在する。
- e 黒色土壌, 2:1型鉱物であるモンモリロナイトは湿潤時には水分を結晶格子間に取り入れて膨潤し, 乾燥時には水分を失って収縮する特異性を示し, 保水力が大きい。

(4) 各土壌型の保水力

代表土壌の水分-pF曲線を図-9に示した。

赤色土壌ととくに黒色土壌の保水力は大きいといえる。赤色土はその遊離

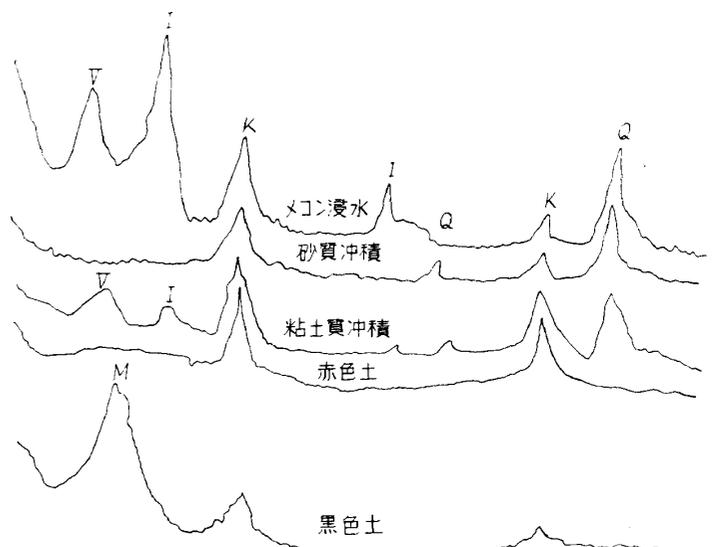


図-8 代表土壌粘土のX線回折

鉄、アルミが、黒色土ではその構成粘土鉱物のモンモリロナイトが保水の機能を演じている。しかし、これらの土壌においても、乾季の絶頂時における普通作物の栽培は水分の不足のために不可能であり、コーヒー園でもこの時期には早魃のために葉が萎凋枯死するほどである。なお赤色土は数mという厚い土層をもつが、黒色土では一部を除いて、数10cmで石灰岩層に達し土層が浅い。

(5) 易耕性

赤色土壌は遊離  $R_2O_3$  が、黒色土壌は腐植が団粒形成剤として作用しているために、これら両土壌では、団粒構造が発達し、耕耘の障害は比較的少ない。しかし粘土質沖積土壌では構造の発達が弱く、降雨量が適量をこえると、車輪が空転し、乾季には逆に固結して耕耘が著しく困難となる。Mekong 浸水土壌はシルト部分や砂の部分が多く、比較的耕うんは容易である。特にこの土壌では角柱状構造がよく発達し、みみずによって形成された団粒も多く見られる。

砂質土壌では、田植時に手が痛むために、田植用の木製の棒を用いる場合がある。

(6) 各土壌型の化学的諸性質

各項目についての分析値を各土壌型別にプロットすると図-10~16の通りであって、土壌型ごとに特徴が認められる。

(i) 土壌反応と石灰飽和度 pH(KCl)  
5.0以下を酸性土壌とすれば、調査土壌は粘土質沖積土壌を除いて、土壌反応はそれほど低くない。粘土質土壌でも、石灰の施

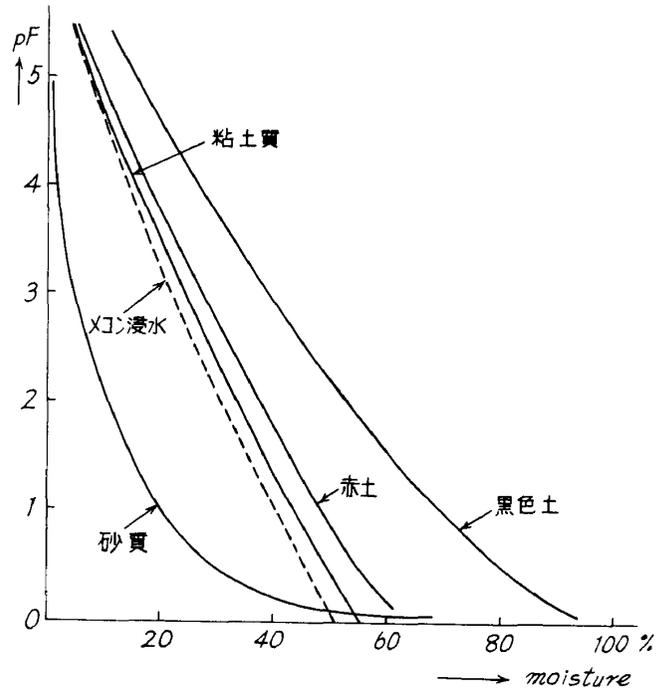


図-9 水分—pF 曲線

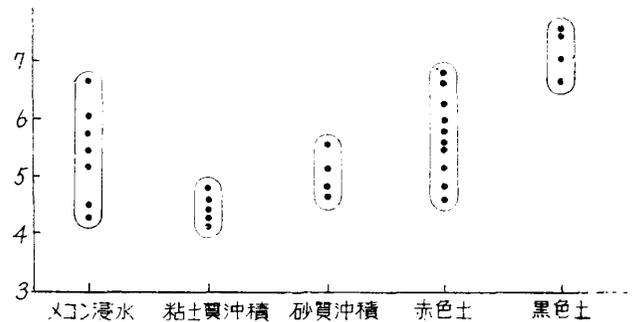


図10 pH(KCl)

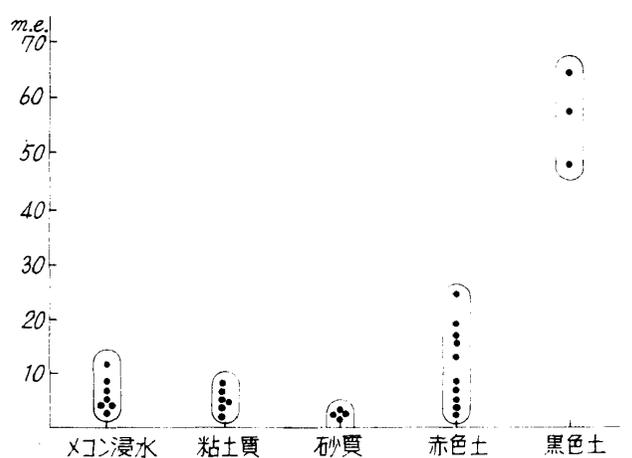


図11 置換性石灰

用効果は荳科作物を除いて顕著ではない。  
(図-10)

置換性石灰と塩基置換容量は図-11、12の通りであって、これから石灰飽和度を求めると、図-13の通りである。飽和度30%以下を酸性障害の出る土壤とすれば、いずれの土壤もほぼ30%以上で、酸性反応が決定的な障害となっている場合は意外に少ないと考えられる。半年間にわたる灼熱の乾季が土壤の強酸性化に対するブレーキになっているものと考えられよう。

(ii) 窒素成分 全炭素含量は黒色土壤の3~6%という含量を例外として一般に低い。炭素率も黒色土壤に高い。これは黒色土壤においては、有機物が土壤中の石灰と結合して、微生物による分解作用に耐えて集積し、そこで重合、縮合して腐植化の進んだ腐植を形成するからである。

図-14の有効態窒素は、原土の硝酸態窒素に、乾土をたん水して30日間30°Cに保温して生成したアンモニア態窒素を加えたものである。

赤色土と黒色土にこの値が高いが、これらの土壤では、開畑当初に多量の窒素が有効化してくることを示している。

現地でも赤色土は開墾後3年たつと生産力は急激に減少し、棉花収量も半減するほどであり、1年性作物では数年に1回の休閑を余儀なくされるという。このために政府は対策の一つとして、多年性のゴムの個人栽培を奨励し、ゴムが成木に達するまでの間を利用して、間作として普通作物の導入を指導している。

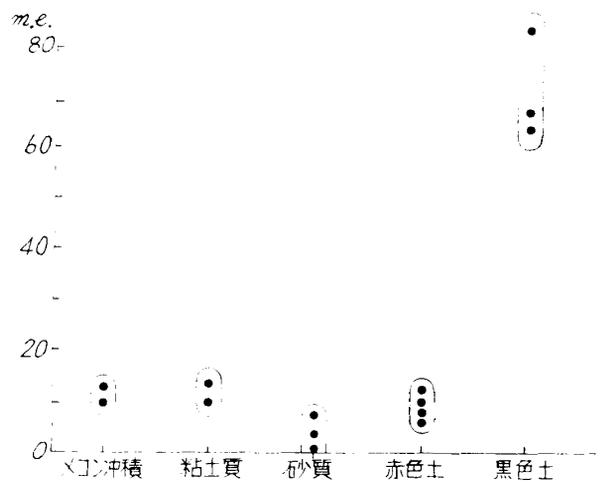


図-12 塩基置換容量

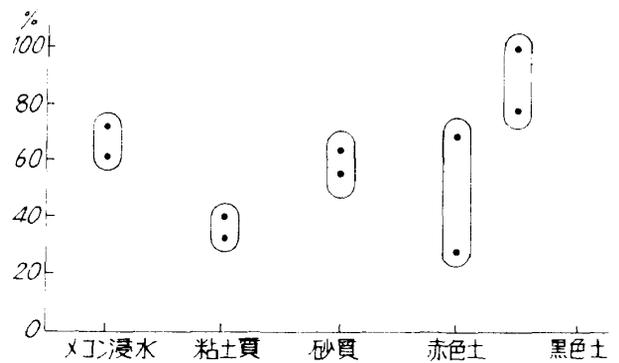


図-13 石灰飽和度

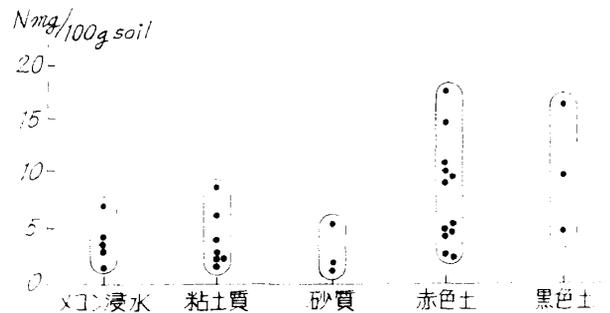


図-14 有効態窒素

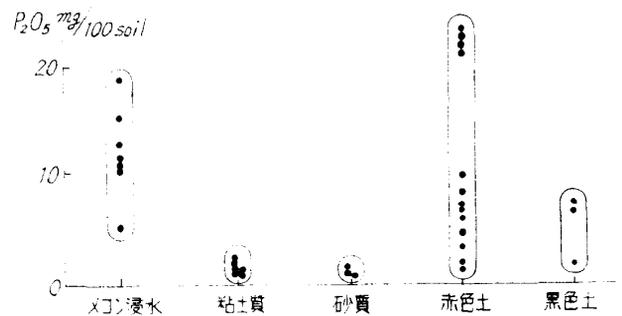


図-15 有効態磷酸 (Truog 法)

トウモロコシを 通年無施肥で栽培している Mekong 浸水土壤も 図-14の結果から特に窒素供給力が高いとは言えない。

(iii) 磷酸成分 各土壤型の生産力は、土壤の有効態磷酸含量ともっとも密接な関連がある。とくに、畑作においては、磷酸欠乏が決定的な障害因子となっている。

図-15において、有効態磷酸の必要含量の

限界を 3mg とすると、粘土質および砂質土壤はいずれもこの限界以下であって、これらの土壤型における普通畑作物の栽培にあたっては、磷酸成分を含む何らかの施肥が不可欠である。一方 Mekong 河浸水地域のトウモロコシの作付地帯では、比較的有效態磷酸に富んでいるから、窒素肥料の単用だけで相当の増収効果が得られよう。現在、カンボジア国内に賦存する燐鉱石を磷酸肥料として利用する試みがなされているが、Mekong 河隣接地域では、有効態磷酸含量の高い Mekong 沈泥を客土として利用する方法も一考に値しよう。

(iv) 加里成分 置換性加里含量の必要限界を 0.25m.e. とすると、粘土質、砂質土壤および Mekong 浸水土壤の多くが必要量以下であり、これが、前記のように、粘土質土壤における畑作物に加里施用の効果が顕著に現われた原因であろう。赤色土、黒色土は他の成分と同様に同一土壤型の中で各土壤ごとの差異が大きい。

### 3. 各土壤型の生産力とその構成因子との関係

前節Ⅲにおいて、各土壤型の生産力およびその構成因子について比較検討を加えた。その結果、各土壤型の生産力的な諸特徴については、各土壤の物理的、化学的性質から説明することができた。

5土壤型のなかでは Mekong 河浸水土壤と赤色土および黒色土の3土壤型が、他の粘土質および砂質の2土壤型よりは一般に生産力が高い。Phnom Penh 下流で、Mekong 河の洪水を利用したお泥かんがい (colmatage) が行なわれているのも、Mekong 河浸水土壤の高い地力に注目した結果である。しかし、赤色土、黒色土の2土壤型では、各土壤型の中で生産力の高低差が著しく、生産力の低い退化土壤も存在する。化学的な諸性質を示す分析値においても、この両土壤型では、土壤型内での分析値のふれが大きい。これは両土壤型に属する土壤が、それぞれ母岩である玄武岩質熔岩や、石灰岩から、土壤が生成し発展さらに退化する諸段階のいずれかに属し、開墾後の作付回数が土壤ごとに異なるためであって、このために、同じ土壤型に属してはいても、その生産力に著しい差を生ずることになるのである。

砂質沖積土壤は養分の保持力が低く、従って生産力も低い。ここでは、あらゆる地力増強対策がとられる必要がある。

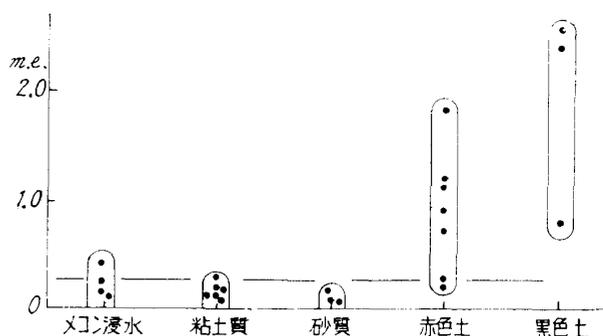


図-16 置換性加里