

カンボジアの水田土壌作土の粘土鉱物 組成と土壌の風化の程度

服部 共生*・久馬 一剛**・川口桂三郎***

古川 久雄***

The Clay Mineral Composition of Cambodian Paddy Soils in Relation to Their Weathering History

by

Tomoo HATTORI, Kazutake KYUMA, Keizaburo KAWAGUCHI
and Hisao FURUKAWA

The clay mineralogy of the surface horizon sample of 16 paddy soils from Cambodia was studied in relation to weathering features, such as pisolitic iron concretions and sand separations in the soil profile. The occurrence of these weathering features generally agreed with the geomorphological setting of soil sampling sites. Results indicated that the clay mineral composition reflects the weathering history of a soil in such a way that the relative content of kaolin minerals increases while the illite content and other 2:1 type clay mineral species decrease as the soil material is more highly weathered. It was also shown that recent Mekong sediments contain quite a high amount of illite, while recent lacustrine sediments around the Tonle Sap Lake are characterized by a higher content of montmorillonite and vermiculite relative to the illite content. Soil developed in acidic swamp conditions contains a fairly high amount of 2:1 type minerals, which consist almost exclusively of aluminium interlayered vermiculite. Montmorillonite is the dominant clay mineral species in grumusolic soil developed residually on a basalt plateau.

は し が き

われわれは数年来東南アジアの水田土壌の現地調査を行なっているが、そのさいしばしば土壌の断面中に、わが国の水田にも認められる鉄、マンガンの結核、斑紋とともにピゾリス様 (Pisolitic) 結核の存在を見出し、また表層近くにサンド・セパレーション (Sand Separation)

* 京都府立大学農学部

** 京都大学東南アジア研究センター

*** 京都大学農学部

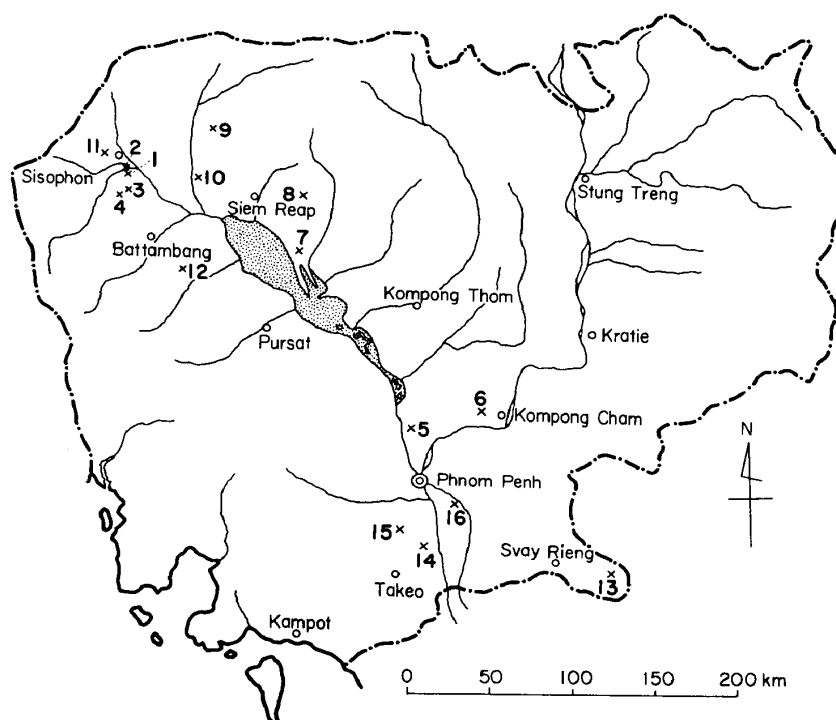


図1 Sampling Sites in Cambodia
Feb. 1966 and Feb. 1967

と呼ばれる現象のあることが認められた。そしてこれらの現象は明らかに地形、景観などに関係がある。高谷は鉄、マンガンの結核を識別の鍵として用いて、タイ中央平野やカンボジアのメコン平野の第四紀堆積物の層位 (Stratigraphy) を明らかにし、それと地形発達との関係、景観の相違などについて述べている。^{1,2,3)} この調査研究の基礎は堆積物中に見られる鉄、マンガンの結核が地表風化により形成されたものと考えることにある。

著者らは1966年2月および1967年2月にカンボジアの水田土壌を調査する機会をえて、試料を採取した。そのさい、土壌断面に鉄、マンガンの結核の極めて多い場合や、Sand Separation が著しく発達している場合のあることを知り、これらが土壌の受けてきた風化の履歴を表わすものと考えた。もとよりこれらの現象の発現機構が明らかでなければ、風化の程度の指標となりうるか否かを決定することはできないであろう。しかしタイ国チャオプラヤ流域の堆積物について、鉄、マンガンの結核を鍵とした区分と、区分された堆積物中の粘土の鉱物組成——特にカオリン含量——との対応が明らかにされている⁴⁾ ことを考えると、上記二つの現象を土壌の風化の程度の指標とすることの妥当性が予想される。そこでこれらの現象の発現の程度を異にするカンボジアの水田土壌について、粘土の鉱物組成とこれらの現象との関係を検討したのが本報告である。いいかえれば、現地調査で明らかにされる地形、母材、景観および断面に見られる鉄、マンガンの結核の現われ方や Sand Separation の程度が土壌中での風化産物である粘土にどのような意味をもつかを明らかにしようとするものである。

I 調査地点とその付近の地形、景観および土壌母材

カンボジアの稲作およびその環境などについては別に報告される予定なので、ここでは省略するが、調査地点16点はそれらの地理的位置よりみて、土壌生成因子としての気候条件はほぼ等しいと判断される。

調査地点は図1に概略の位置を示したが、メコン河の河成沖積地または段丘上のもの4点、トンレサップ湖の湖成沖積地のうちメコン河に近い地点で1点、北側で4点、西および南側で6点、玄武岩台地上のもの1点である。

表1に調査地点の位置、その付近の地形、景観および土壌の母材を示した。くわしい地形図が利用出来ず標高が明らかでないので比高を次の規準で表わした。また C. D. Crocker⁹⁾ により行なわれた土壌概査での大土壌群名を参考のため表示した。

この表において、比高、景観より新期、中期または古期沖積物を母材とするものに細分したが、本地域の地形発達史が明らかでないので推定にすぎない。

比高の区分	説 明
低	水系に近く、増水期にはかなりな水深となり直播で稲が栽培されている地点
やや高	水系に近く、増水期にはメコン河やトンレサップ湖の水位の周辺部にあたる地点
高	前項よりさらに水系よりはなれる地点
さらに高	前項よりさらに高い地点

II 調査土壌の断面における風化の特徴と作土の粘土鉱物組成

調査した土壌の断面記載や土壌の諸性質は東南アジアの水田土壌の肥沃度に関する比較研究として報告される予定であるので、ここでは断面記載から Sand Separation や鉄、マンガンの結核の現われ方を下記のように整理して区分し、その区分の組合せで風化の程度を図2のように推定した。

この区分に調査土壌を当てはめると次のようで、その結果は表2の中に記載したとおりである。

表2にはすでに報告した方法⁹⁾ で決定した粘土鉱物組成、表1の地形、景観などおよび鉄、マンガンの結核の現われ方から判定されるテラス番号などを堆積母材別に区分して表示した。テラス番号は高谷に従うもので0は氾濫原 (Flood Plain)、I、II、IIIはそれぞれテラス (Formation) I、II、IIIである。なおI～IIあるいはII～IIIとしたものはそれぞれ中間的な

表 1 調査地点の位置, 地形, その付近の景観と土壌母材

土壌 番号	位 置	比 高	地 形	景 観 ・ 植 生 など	土 壌 母 材	大 土 壌 群
Ca 1	Mongkol Borey 河の右岸, Koy Meng, Mongkol Borey, Battambang	低	ほぼ平坦な低地	広大な水田地帯, 水稻直播栽培地帯	トンレサップ 湖成堆積物(新)	Lacustrine alluvial soil
2	Mongkol Borey 河の左岸, Koy Meng, Mongkol Borey, Battambang	低	ほぼ平坦な低地	〃	〃 (新)	〃
3	Centre Technique Agricole, Field No. 3, Toul Samrong, Battambang	高	非常にゆるやかな斜面	立木およびターマイトの多い水田地帯	〃 (中)	Brown hydromorphic
4	Centre Technique Agricole, Field No. 11, Toul Samrong, Battambang	高	非常にゆるやかな斜面	〃	〃 (中)	〃
5	Kompong Luong フェリーから国道ぞい 5km 北, 道路より 200m 北, Kompong Cham	やや高	ほぼ平坦	湿地草原に囲まれた水田地帯	〃 (中)	Lacustrine alluvial soil
6	Khum Khvav, Kompong Cham (Kompong Cham へ 16km)	高	ゆるやかな波状台地	パルメラヤシ, 立木の多い水田地帯, ターマイトあり	玄武岩	Regur (Basaltic)
7	Thal Dach, Siem Reap	低	非常にゆるやかな波状斜面を示す低地	広大な水田地帯, 南約50mに fresh water mangrove swamp あり, 水稻直播栽培地帯	トンレサップ 湖成堆積物(中)	Lacustrine alluvial soil
8	Bat Meas, Khum Samrong, Srok Sot Nikum, Siem Reap	高	ほぼ平坦	パルメラヤシ, 小森林に囲まれた水田地帯, ターマイトあり	〃 (中)	Gray hydromorphic
9	Kralanh 交点から Samrong への道路を 25 km 北, 道路より 50m 西, Siem Reap	さらに高	ほぼ平坦台地状	ブッシュに囲まれた水田地帯	〃 (旧)	Cultural hydromorphic
10	Kralanh の西 1km Stung Srey 橋の東 200m, 道路より 60m 南, Siem Reap	高	非常にゆるやかな斜面	パルメラヤシ, 小森林に囲まれた水田地帯, ターマイトあり	〃 (中)	alluvial soil
11	Poipet への道路ぞい Mongkol Borey の西約18km, 道路より100m北, Battambang	さらに高	ほぼ平坦台地状	広大な水田地帯, わずかにブッシュあり	〃 (旧)	Plinthite Podsol
12	Pursat への道路を Battambang から 28 km 南東, 道路の南西150m, Battambang	高	非常にゆるやかな斜面	立木およびターマイトの多い水田地帯	〃 (中)	Brown hydromorphic
13	Phum Prey Koki, Khum Churn Mtes, Sork Svay Teap, Svay Rieng	高	ほぼ平坦	広大な水田地帯, 自然植生として Melaleuca Leucodendron 林	メコン河成堆積物 (中)	Alumisol
14	Ponsaing, Sork Prey Krabas, Takeo	やや高	ほぼ平坦	広大な水田地帯, わずかにパルメラヤシが点在	〃 (中)	alluvial soil
15	Chambak の北 1km, 道路の西 100m, Takeo	高	ほぼ平坦	パルメラヤシ, 小森林に囲まれた水田地帯, ターマイトあり	〃 (旧)	Cultural hydromorphic
16	Khum Bomteay Dek, Sork Kian Svay, Kandal	やや高	自然堤防中のわずかな波状を呈する低地	果樹園, 蔬菜園, 水田	〃 (新)	Brown alluvial soil

図2 風化の強弱の区分

Sand Separation 鉄、マンガン の結核による 区分	a	b	c	d
A	弱			
B				
C		中		強
D				

Sand Separation の現われ方の区分

記 号	説 明
A	Sand Separation が認められないもの
B	わずかに (few) あるいは割れ目に沿って Sand Separation が認められるか、非常に薄い Sand Separation の層が認められるもの
C	かなり (common) Sand Separation が認められるもの
D	Sand Separation が強度に進行して砂質部分と粘土質部分が不均一な混合層をなしているもの

鉄、マンガンの結核の現われ方の区分

記 号	説 明
a	全層を通じて結核の認められないもの
b	表層には結核を認めないが、下層に i) Pisolitic な結核を認めるもの ii) 発達のためよくない結核を認めるもの iii) マンガンの硬い結核を認めるもの
c	全層を通じて Pisolitic な結核を認めるもの 表層にわずか、下層に多量の Pisolitic な結核を認めるもの 全層を通じてマンガンの硬い結核を認めるもの
d	下層にラテライト塊を認めるもの

風化の程度	区 分 の 組 合 せ	土 壌 番 号
弱	A—a, A—b, B—a	Ca 7, Ca 16, Ca 1, Ca 2, Ca 8
中	A—c B—b, B—c, C—b, C—c,	Ca 6, Ca 13, Ca 3, Ca 4, Ca 12, Ca 14, Ca 10, Ca 5
強	D—b, D—d	Ca 9, Ca 15, Ca 11

(注) A—d, B—d, C—a, C—d, D—a, D—c に該当するものは調査土壌中にはなかった。

性格をもつものである。Ca 5 は位置的にはトンレサップ中期湖成堆積物を母材とするが、メコン河に近く堆積物自身の質はメコン河沖積地帯に類似すると考えた。また Ca 11 は、その位置はタイ国へもつながる面上にあり、この面の形成が明らかでないが、いちおうトンレサップ南あるいは西側に属する古期湖成堆積物を母材としているものとして取り扱った。

表 2 において、断面での風化の特徴としてとらえた Sand Separation や鉄、マンガンの結核の現われ方に、トンレサップの西および南側（土壌番号 Ca 3, 4 および 12）と北側（土壌番号 Ca 8, 9, 10）で明らかな差異がある。すなわち北側では Sand Separation が強く現われていても結核はほとんど認められず、反対に南および西側では結核が表層から存在している場合でも Sand Separation の現われ方は弱い。このことはトンレサップの北側では土壌が中生代のコラート系の砂岩風化物を母材としており、砂質であるのに反し、南および西側では後背山地の中性ないし塩基性岩の風化物を母材として土壌が粘土質であるためであろう。

テラス番号は番号の大きいほど、風化を受けた期間は長いと考えられるので、風化の指標となりうるであろう。結核の断面での現われ方で判定したテラス番号と地形、景観、比高などから推定したものが一致するケースが多いが、Ca 8, 13 では一致しない。これは鉄、マンガンの結核の現われ方が風化の程度を指標しえないためか、あるいは他に原因があるものと思われる。Ca 13 は比高、地理的位置から推定したテラス面は比較的古いと思われるが、結核の現われ方は弱く〔b〕である。これは本土壌が Aluminisol と呼ばれる酸性硫酸塩土的土壌であって、このような土壌の生成環境（スワンプ的）が風化の程度を弱めるためであろう。また Ca 8 は景観、比高、地理的位置からはテラスⅡを形成する堆積物を母材とすると思われる。しかしこの土壌は約 60cm 付近から土性的に不連続であって、表層の堆積物が下層の堆積物を不整合におおっていると考えられることより、表層の堆積物は風化の程度は弱く、テラスⅡの面の凹地に比較的新しい時期に堆積したものでであろう。（このことに関してはよりくわしい検討を要する。）

カンボジアの土壌の粘土鉱物組成については安尾により報告されており⁷⁾、ほぼ本報告と一致している。

粘土鉱物組成と母材や風化の程度との関連は点数が十分多くなく明確にはいえないかもしれないが、筆者らは今回の調査資料からつぎのような傾向が認められると結論したい。

地域的（母材の相違）な粘土鉱物組成の差異については、

1. メコン沖積地の土壌ではカオリン含量は異なるがイライトが多く、それより風化により生成されたとと思われるバーミキュライト^{*}、イライト-バーミキュライト不規則混層鉱物が優勢である。

2. トンレサップ周辺の試料ではカオリン含量は異なるが、2:1 型鉱物の中ではイライト

^{*} ここでバーミキュライトというのは大部分二八面体型のものと思われるが、くわしい検討は行っていない。

表 2 調査水田土壌作土の粘土鉱物組成と土壌断面に認められる風化の特徴

土壌 番号	粘 土 鉱 物 組 成							断面における風化の 特徴		風化の 程 度	土壌の位 置するテ ラス番号	備 考
	カオリン鉱物 %	イライト %	イライトを除く 2 : 1 型鉱物					Sand Separation	鉄, マンガ ンの結核			
			%	モンモリ ロナイト	バーミキ ュライト	Al-inter- layered	混 層 鉱 物					
Ca 16	40	30	30	+	++	+		A	a	弱	0	メコン河堆積 物を母材とす る
5	55	15	30	+	++			C	c	中	I ~ II	
14	60	10	30	+	++			B	c	中	I ~ II	
15	85		15	+	+	+		D	b	強	II	
13	60		40			+++		B	b	中	I ~ II	
Ca 8	35	15	45	+	++		++	B	a	弱	I	トンレサップ 北側のカラー ト系砂岩の風 化堆積物を母 材とする
7	50	5	45	++	++			A	a	弱	I	
10	65	5	30	+	+	+		C	b	中	II	
9	85		15	+++				D	c	強	II ~ III	
Ca 1	45	5	50	++	++	±	+	A	b	弱	I	トンレサップ 南側の中性~ 塩基性岩の風 化堆積物を母 材とする
2	45	5	50	++	++	±	+	A	b	弱	I	
4	65	5	30	+	++	±	+	B	c	中	II	
12	70	5	25	+	++	±	+	B	c	中	II	
3	75		25	++	++	±	+	B	c	中	II	
11	90		10	+++		±		D	d	強	III	
Ca 6	30		70	+++	+		±	A	c	中	II	玄武岩風化物

±ごくわずかにあり；+あり；++含む；+++富む

取部ほか：カンボジアの水田土壌作土の粘土鉱物組成と土壌の風化の程度

に乏しく、モンモリロナイトグループとバーミキュライトがほぼ等しい割合を占めるが、14~15Å-10Å 混層鉱物を考慮すると、北側でバーミキュライトが、南側でモンモリロナイトグループが多いようである。

3. 玄武岩台地上の Regur (Grumusols) ではモンモリロナイトグループを主成分とする。

風化の程度との関連においては、

4. Grumusols を除く他の土壌では、風化の程度が弱のときはカオリン含量が35~50%、中のときには55~75%、強のときには85%以上となる。

5. メコン河沖積地帯においては、風化の程度の進行とともにカオリン含量の増加のみでなく、イライトから14Å 鉱物への変化および14Å 鉱物からカオリンへの変化または14Å 鉱物の破壊がうかがえる。すなわち母材が新鮮な Ca 16 では14Å 鉱物/イライトの比が1であるのに、やや風化の進んだ Ca 14 ではその比が3になりカオリン含量を増し、さらに風化の進んだ Ca 15 ではイライトは消失し、14Å 鉱物の減少を示している。このCa 16-Ca 14-Ca 15 の土壌はメコン河からの距離、比高、テラス面も一つの序列をなしている。

一方、Ca 13 はさきにも述べたように酸性硫酸塩土壌とされている土壌であって、他の土壌と生成過程を異にしているためか、同じ風化程度と思われる Ca 14 とカオリン含量は等しいが、イライトが消失し、残りはすべて Al-interlayered バーミキュライトになっている。

6. その他の土壌については風化の程度とカオリン含量以外の粘土鉱物組成の特徴との関係は認められない。

III 論 議

粘土は岩石や堆積物の風化産物と考えられている。一方、今まで述べたように類似した母材の地域内では作土の粘土鉱物組成が土壌断面にみられる鉄、マンガンの結核や Sand Separation の現われ方で区分した風化の程度とかなり明瞭な関係があること、そして風化の程度が地形面との対応を示すことを明らかにしてきた。これらのことは土壌断面にみられる鉄、マンガンの結核や Sand Separation が風化の結果発現したものであること、および土壌調査において調査地点の地形発達史をふまえた地形区分が重要であることを示唆するものであろう。

北タイにおける調査において、テラス面の相違は粘土鉱物組成に反映していなかったが⁹⁾、これは北タイの地質が比較的複雑なため母材の均一性がないこと、および標高差が比較的大きいため地形面の発達や保存が不良であることによるものと思われる。しかし土壌の肥沃度とテラス面の区分とは明らかな対応を示した。またフィリピンにおける水稻の施肥試験によると、テラス面を異にする土壌において肥料のレスポンスに差異があること⁹⁾ から考えると、地形区分——土壌断面における鉄、マンガンの結核や Sand Separation の現われ方による区分——は

土壌肥沃度の研究においても大きな意味をもつものといえよう。

しかし風化の特徴としてとらえた鉄，マンガンの結核や Sand Separation の発現は土壌母材によって異なることが本研究からも明らかである。それゆえ，土壌断面に現われる風化の特徴は地域により異なり，それぞれの地域内の母材に応じたものと思われる。

ま と め

本報告においてはカンボジアの水田土壌の作土の粘土鉱物組成と土壌断面にみられる風化の特徴——鉄，マンガンの結核と Sand Separation——の現われ方や景観，土壌母材などとの関係を明らかにした。ここで取り上げた風化の特徴は比較的均一の母材の地帯で，地形の安定した地域であれば，土壌の受けた風化の程度をよく示した。これらの特徴による地形区分の有効性を論じた。

参 考 文 献

- 1) Alekseev, M. N. and Y. Takaya. 1967. "An Outline of the Upper Cenozoic Deposits in the Chao Phraya Basin, Central Thailand," 『東南アジア研究』第5巻第2号, pp. 106-124. 京都大学.
- 2) Takaya, Y. 1967. "Observations on some Pleistocene outcrops in Cambodia," 『東南アジア研究』第5巻第3号, pp. 122-137. 京都大学.
- 3) Takaya, Y. 1968. "Quaternary Outcrops in the Central Plain of Thailand," *Geology and Mineral Resources in Thailand and Malaya*, pp. 7-68. Kyoto University.
- 4) Hattori, T. 1969. "Mineral composition of clay fractions in some Quaternary deposits in the Chao Phraya Basin, central Thailand," 『東南アジア研究』第6巻第4号, pp. 241-246. 京都大学.
- 5) Crocker, C. D. 1962. "Exploratory Survey of the Soils of Cambodia," Phnom Penh: Royal Cambodian Government Soil Commission and USAID Joint Publication. (mimeographed)
- 6) 服部共生・古川久雄・川口桂三郎 1965. 「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, pp. 151-160. 京都大学.
- 7) 安尾正元 1966. 「カンボジアにおける水・土壌と生産力」『東南アジア研究』第3巻第4号, pp. 85-94, 京都大学.
- 8) 服部共生・渡部忠世・Ponpit Piyapongse・川口桂三郎 1968. 「北タイにおける土壌の特性と水稻の収量」『東南アジア研究』第6巻第2号, pp. 93-108. 京都大学.
- 9) "The Fertilizer Response of Rice in the Philippines," (an interim report), UNDP Soil Fertility Survey and Research Project, 1969. (mimeographed)