

蛇紋岩由来の暗赤色土の性質、生成並びに分類に関する研究 第3報
遊離酸化物、粒径組成、風化度及び粘土鉱物組成について

森田佳行⁽¹⁾、田中永晴⁽²⁾

MORITA, Yoshiyuki and TANAKA, Nagaharu: Genesis and Classification
of Dark Red Soil derived from Serpentinite III
On free oxides, particle size distribution, weathering
and clay mineral composition

要 旨：林野土壤分類では土壤群として暗赤色土が設定されている。この土壤群には亜群として塩基系暗赤色土、非塩基系暗赤色土及び火山系暗赤色土が設定されているが、おのおのの生成条件や生成作用は十分に解明されていない。筆者らは超塩基性岩である蛇紋岩由来の暗赤色土の性質、生成条件を調べ、分類学的位置づけを明確にするための研究を進めている。第1報において蛇紋岩由来の暗赤色土とその周辺に分布する赤色土について、それぞれの断面形態、一般化学的性質及び無機化学組成を比較検討した。また、暗色を呈する原因についても検討を加えた。本報では第1報と同じ土壌断面試料を用い、粒径組成、粘土鉱物の組成及び遊離酸化物を調べ、粘土の機械的移動、風化度指標等を比較し、土壌の生成過程、生成の方向、進行の程度を検討した。得られた結果は次のとおりである。①暗赤色土は粘土含有量が多く、下層ほど著しかった。また、Mehra-Jackson法で抽出された鉄及びクローム含有量が多かった。②暗赤色土と安定面の赤色土の表層は細粘土含有量が少なく、下部に多い層があり、粘土が機械的に移動する傾向が認められた。細粘土の断面内分布傾向と Mehra-Jackson法で抽出される鉄、アルミニウム、クロームの断面内分布の傾向はかなり類似していた。これらの遊離酸化物も断面内で細粘土と同じ動きをするものと考えられた。③暗赤色土は風化が進んでおり、風化度はほぼ赤色土の範囲であるが、赤色土よりはやや低い傾向が認められ、このことは母岩に塩基含有量が多いため風化が遅れているものと推測された。緑色片岩由来の赤色土は暗赤色土と同様の傾向を示した。④暗赤色土はクロライトを含み、1:1型粘土鉱物含有量が少ない点で赤色土とは区分された。これは母岩である蛇紋岩の塩基含有量が多いためと推定された。以上の結果より、暗赤色土は赤色土と同様に更新世の高温な気候下で生成された土壌で、その生成には母岩が超塩基性であるという特性が強く影響していると予想された。

1 は じ め に

蛇紋岩由来の暗赤色土に関する研究はこれまでほとんど行われていなかったために、分類学的位置づけはもとより、性質や生成条件についても不明な点が多かった(林野土壤の分類, 1976)。筆者らは愛知県東三河地域の暗赤色土と、その周辺に分布する形態的に似た赤色土とを比較検討してきた。その結果、暗赤色土は母材である蛇紋岩の性質に由来し、pHが高く、陽イオン含有量、特に置換性マグネシウムが極めて多く、また、陽イオン交換容量は下層で大きくなる特徴を示した。珪素含有量は少なく、鉄、クローム、ニッケル、マンガンなどの重金属を多量に含み、マグネシウムの含有量は極めて多いことも分かった。暗赤色土地域は植物の生育が悪く、重金属含有量の多いことが生育阻害の原因と考えた

(森田ら, 1986)。次いで、土色について検討した結果、赤色は粒径の小さい粘土に含まれる多量の鉄によるものと推測され、さらに、暗色は主にクローム鉄鉱系の磁性鉱物によることが明らかになった。こうしたことから、暗赤色土の大きな特徴は、クローム鉄鉱系の磁性鉱物を多量に含むことであることが分かった(森田ら, 1987 a)。また、高知県下の蛇紋岩由来の暗赤色土と同じ母岩から生成された非暗赤色土とを比較検討した(森田ら, 1987 b)。その結果、我が国の現気候下で変化しやすい一般化学的性質及び陽イオン含有量は両土壌とも類似した値を示す一方で、現気候下では容易に変化しにくい粘土の量、質、鉄の量及びこれらの断面内分布は両土壌で異なる傾向を示すことが分かった。以上のことから暗赤色土はレシベーションを受けた可能性が高く、強い風化を受けた土壌と考えられた。

本報告では未解決の部分として理学的性質の中で最も基本的な性質であり、かつ、透水性や通気性を支配している粒径組成について検討するとともに、暗赤色土が粘土移動した可能性が高いので、粘土や遊離酸化鉄の移動・集積について検討した。粘土移動の検討には、現在まで林野土壌では分析されていなかった細粘土を定量することとした。さらに、土壌の分類学的位置付けを決定するためには、土壌の生成過程、生成の方向、進行の程度などを明らかにする必要がある。これらの研究を行うために、最も重要視されている遊離酸化物の量・質、風化度指標、並びに粘土鉱物組成について検討を加えることとした。

2 土壌試料及び分析方法

供試土壌はいずれも1報(森田ら, 1986)で用いた試料と同じものとしたが、その土壌の概略をTable 1に示した。

土壌の分析のうち、粒径組成は国有林林野土壌調査方法書(林野庁, 1955)によって行い、細粘土は畑土壌分析方法(農水協会, 1957)に従い沈降法で定量した。遊離酸化物はTamm法(TAMM, O., 1922)とMehra-Jackson法(MEHRA, O.P., 1960)(以下M-J法と記す)に準じて3回抽出し、原子吸光光度法によって鉄、アルミニウム(以下Alとする)、クローム(以下Crとする)を定量した。

土壌の風化度は遊離酸化鉄、全鉄、粘土及び陽イオン交換容量(以下CECと略記する)から下記のようにして算出した。

① 鉄の活性度, Tamm鉄/M-J鉄: SCHWERTMANN, V, (1964)の提唱するもので、遊離鉄の老化または結晶化が進むほど小さくなるといわれている。

② 鉄の結晶化指数, (M-J鉄-Tamm鉄)/全鉄: 永塚(1975)が提唱したもので、結晶化した鉄(ゲータイト、ヘマタイトなど)の全鉄に対する割合を表し、結晶化が進めば大きくなる。

③ 鉄の遊離度, M-J鉄/全鉄: 従来から行われていたが、三土(1985)が遊離度と命名したもので、全鉄のうち風化で遊離した鉄の割合を示し、風化が進んだ土壌で大きくなる。

④ CEC/粘土量 $\times 100$: JACKSON, M.L (1964)が粘土鉱物の風化はカオリナイト化が進むにしたがって、CECが低下する方向に向かうと考え、粘土重量当たりのCECを風化度の指標とした。従って風化が進めばこの値は小さくなる。

Table 1. 供試土壌の概略
General Description of Site

断面 番号 Profile No.	土 壤 型 Type of soil	母 岩 Parent material 地 形 Topography	層位 Horizon	層厚 Thickness (cm)	土 色 Color
1	eDR _{D(d)} -mg マグネシウムを主とする適潤性 塩基系 暗赤色土 (偏乾亜型) Moderately moist eutric dark red soil (drier sub- type) (Mg-type)	蛇紋岩 Serpentinite 斜面下部 Lower part of slope	A ₁	12	5YR3/2
			A ₂	13	3.75YR3/3
			B ₁	14	2.5YR3/3
			B ₂	15	3.75YR3/3
2	(Er)~dDR _c 受蝕土的弱乾性 塩基系暗赤色土 (Eroded)~weakly dried dystric dark red soil	蛇紋岩 Serpentinite 斜面上部 緩斜面 Upper part of gentle slope	A	15	5YR3/6
			A-B	15	"
			B ₁	20	5YR4/6
B ₂	20~30	5YR4/8			
3	(Er)~R _A 受蝕土的 乾性赤色土 (細粒状構造型) (Eroded)~dry red soil (loose granular structure type)	黒色片岩 Black coloured- schist 尾根突出部 Convex ridge	(A)	5	5YR4/6
			B ₁	15	2.5YR4.5/8
			B ₂	20	"
			B ₃	30 ⁺	"
4	R _{D(d)} 適潤性赤色土 (偏乾亜型) Moderately moist red soil (drier subtype)	古成層 珪岩質岩石 Palaesozoric quartzite rocks 山頂平坦面 Flat ridge	A	10	7.5YR4/3
			B ₁	15	5YR4.5/8
			B ₂	25	5YR5/8
			C ₁	15	2.5YR4/8
			C ₂	15 ⁺	2.5YR5/8
5	R _A 乾性赤色土 (細粒状構造型) Dry red soil (loose granular structure type)	緑色片岩 Green colour- red schist 尾根筋肩 Seepage slope	A	5~8	7.5YR4/6
			B ₁	12~15	7.5YR5/6
			B ₂	20	"
			C ₁	20	5YR5/8
			C ₂	30 ⁺	5YR6/8

粘土鉱物の測定は X 線回析法によったが、粘土処理法、同定法は下田 (1985)、加藤 (1962 a)、永塚 (1967) の文献を参考にした。粘土鉱物の同定は主にマグネシウム (以下 Mg とする) 粘土の X 線回析像による特徴ピークにより判定した。しかし、特徴ピークだけでは判定できない鉱物については下記のように同定した。すなわち、各土壌とも 14Å 附近に鋭いピークが認められ、この 14Å ピークがカリ飽和粘土では変位せず、350°C 加熱処理で 10Å に変位するものを Al-バーミキュライトとした。さらに 550°C に加熱処理しても 14Å が変位しないものをクロライトとした。クロライトは 7Å 付近に (002) 線をもっている。一般的には (002) 線は (001) 線より低い、クロライトの場合は (002) 線の方が高いという特徴がある。しかし、この 7Å と 1:1 型粘土鉱物の 7Å 線が判別しにくかった。クロライトは塩酸に可溶であり、1:1 型粘土鉱物は不溶であることから、塩酸処理後残存する 7Å ピー

クを1:1型粘土鉱物として区別し同定した。同定された粘土鉱物の量は、Mg 粘土の X 線回折像のピークの高さから半定量的に判定した。X 線回折装置は理学電気ロータフレックス RU-200 を用いた。測定条件は Time const (SEC) : 2°, RANGE : 100×4, PRESET : 1×2, MODE : 電力 35 kw, 20 mA である。

3 結果と考察

3.1 粒径組成

Table 2 に粒径組成と土性とを示した。暗赤色土の表層は粘土含有量の比較的少ない軽埴土であったが、下層は粘土含有量が多く重埴土であった。一方、赤色土のほとんどの層位は粘土含有量が少なく軽埴土であった。その他暗赤色土は細砂が少なく、赤色土では多い傾向がみられた。

Table 2. 粒径組成 (細土 乾重当たり%)
Mechanical Composition of Soils (Percent on dry basis)

断面番号 Profile No. 土 壤 型 Type of soil	層位 Horizon	粗砂	細砂	微砂	粘土	細粘土	細粘土	土性 Texture
		2~ 0.2 mm	0.2~ 0.02 mm	0.02~ 0.002 mm	2 μ>	0.5 μ>	0.2 μ>	
1 eDR _{D(d)} -mg	A ₁	24.1	16.7	29.0	30.2	21.6	18.8	LC
	A ₂	30.1	9.4	20.7	39.8	31.6	25.8	"
	B ₁	19.8	6.2	19.2	54.8	44.8	33.8	HC
	B ₂	19.0	7.9	17.6	55.5	44.1	37.6	"
2 (Er)~dDR _c	A ₁	26.2	15.2	24.3	34.3	23.7	15.7	LC
	A-B	17.6	12.5	26.5	43.4	30.7	23.4	"
	B ₁	11.6	9.3	24.5	54.6	37.9	29.8	HC
	B ₂	5.9	10.3	24.6	59.2	43.9	29.1	"
3 (Er)~R _A	(A)	24.4	21.2	27.2	27.2	15.8	14.7	LC
	B ₁	23.4	25.5	24.4	26.7	17.4	14.8	"
	B ₂	32.1	25.7	19.7	22.5	15.7	12.9	SCL
	B ₃	27.6	21.1	17.9	33.4	21.9	18.5	LC
4 R _{D(d)}	A	8.6	30.5	28.1	32.8	20.1	20.0	LC
	B ₁	4.9	24.3	28.7	42.1	30.9	26.1	"
	B ₂	4.6	20.1	25.0	50.3	39.0	35.7	HC
	C ₁	7.5	32.2	31.5	28.8	25.0	18.5	LC
	C ₂	6.0	43.9	29.4	20.7	15.8	15.3	CL
5 R _A	A	26.2	19.6	25.1	29.1	17.1	16.8	LC
	B ₁	26.2	19.3	24.5	30.0	14.8	14.8	"
	B ₂	23.6	20.5	23.6	32.2	17.8	13.3	"
	C ₁	17.4	26.8	24.5	31.3	18.3	16.3	"
	C ₂	20.9	30.7	20.9	27.5	19.7	12.9	"

LC : 軽埴土, HC : 重埴土, SCL : 砂質埴壤土, CL : 埴質壤土
Light clay Heavy clay Sandy clay Clay loam

暗赤色土の下層が赤色土より粘土量が多い原因としては、暗赤色土の方が風化が進んでおり、蛇紋岩土壌は粘土化が進みやすく、下層に粘土が移動・集積したことなどが考えられる。これらの原因究明は後に検討する。また、暗赤色土は下層に粘土含有量が多いために、土壌の通気性、透水性などの物理的性質の不良さが示唆され、このことが植物生育にとって不都合な一因になっている可能性が考えられた。

3.2 遊離酸化物

3.2.1 Tamm 法抽出鉄, M-J 法抽出鉄, 及び全鉄との相互関係

Tamm 法で抽出される鉄は、易溶性鉄、腐植と結合した鉄、及び非晶質含水酸化鉄、結晶性加水酸化鉄の一部である。一方、M-J 法では上記の鉄化合物以外に、より脱水化の進んだ結晶性の酸化鉄の大部分が抽出される。従って、一般的にはTamm 法抽出鉄をもって非晶質遊離鉄と考え、M-J 法抽出鉄と Tamm 法抽出鉄との差を結晶質遊離鉄の大部分とみなしている（永塚, 1975）。

そこで、これらの鉄が暗赤色土・赤色土間においていかなる相互関係にあるかを検討した。

Fig. 1 に Tamm 法抽出鉄と M-J 法抽出鉄との関係を示した。図にみられるように両者の間には

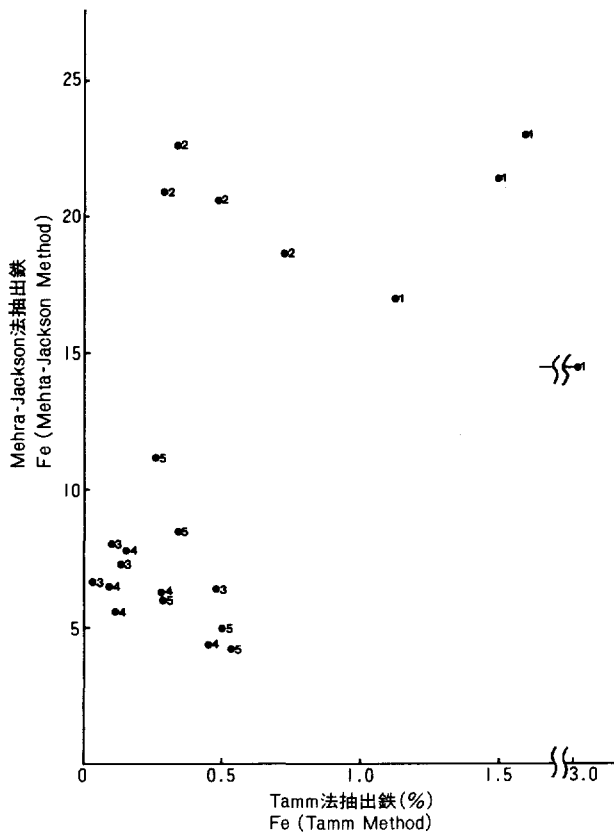


Fig. 1. Tamm 法抽出鉄と Mehra-Jackson 法抽出鉄との関係

Correlation between Tamm's soluble iron and Mehra-Jackson's iron

note: 図中の数字は断面番号

Numbers in figure represent soil profile (No.)

ほとんど相関関係は認められないが、両法で抽出される鉄含有量の少ない赤色土グループと両含有量の多い暗赤色土とを明瞭に区別することができた。また、暗赤色土の中で塩基系暗赤色土 (No. 1 土壌) は、M-J 法抽出鉄、Tamm 法抽出鉄ともに多かった。しかし、非塩基系暗赤色土 (No. 2 土壌) は、M-J 法抽出鉄は多いが Tamm 法抽出鉄は少なく、両者は異なる傾向を示した。Tamm 法抽出鉄の少ないことは含水酸化鉄及び、加水酸化鉄の脱水化が進んだことを示すもので、非塩基系暗赤色土のように塩基の洗脱が進んだ土壌は、鉄の脱水化も進むものと考えられた。

1 報 (森田ら, 1986) で示したように、暗赤色土の鉄含量が多いのは、母岩である蛇紋岩の鉄含量が多く、かつ、蛇紋岩が暗赤色土化するときの風化作用は多量の陽イオンが洗脱されるので、洗脱を受けにくい鉄が相対的に増加するためである。このように増加した全鉄と、M-J 法抽出鉄との関係を検討すると、Fig. 2 のように全鉄の多い土壌は M-J 法抽出鉄も多く、両者の間に高い相関関係のあることが分かった。従って、両鉄とも含有量の多い暗赤色土と少ない赤色土を明瞭に区別することができた。赤色土の中では No. 5 土壌が全鉄含有量が多く、かつ、表層から下層に向かって、規則的に全鉄、M-J 法抽出鉄ともに多くなる傾向が認められた。全鉄含有量が多いのは暗赤色土と同様に母材に鉄の多い

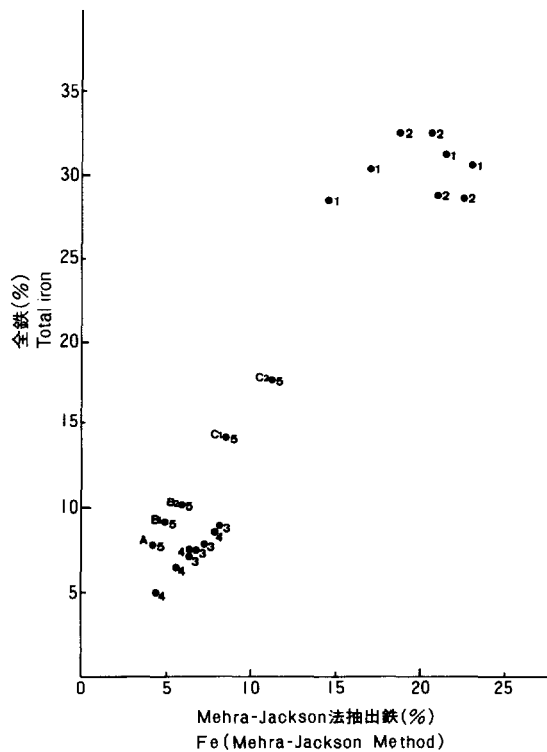


Fig. 2. 全鉄と Mehra-Jackson 法抽出鉄との関係
Correlation between Mehra-Jackson's soluble iron and Total iron
note : 図中の数字は断面番号
Numbers in figure represent soil profile (No.)

性質を受けついだためと考えられた。規則的に下層増の傾向を示す原因は、赤色土化作用は陽イオンが洗脱され、鉄、Alが増加する作用なので、風化作用を強く受ける表層の方が鉄含有量が多くなると考えられる。現気候下においては、No. 5 土壌がおかれている位置が斜面上部尾根であったために、水分環境から、表層は酸性有機成分の影響で酸性化が進み、鉄が流亡し、下層で鉄が増加する傾向を示したのではないかと推測された。

3.2.2 遊離酸化物含有量

Table 3 に遊離酸化物と全鉄・Al 含有量を示した。暗赤色土は M-J 法抽出 Cr の含有量が多かった。これは鉄の場合と同様に母岩に Cr 含有量が多いことに由来していると推測された。Tamm 法抽出 Al の含有量は各土壌間にはほとんど差がみられないが、M-J 法抽出 Al の含有量は非塩基系暗赤

Table 3. 遊離酸化物と全体の鉄・アルミニウム (細土・乾土当たり%)
Iron and Aluminum Extracted by Tamm's, Mehra-Jackson's and Total Methods
(Percent on dry basis)

断面番号 Profile No. 土壌型 Type of soil	層位 Horizon	Tamm 法抽出 Tamm Methods		M-J 法抽出 Mehra-Jackson Methods			* 全体 Total	
		Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃
1 eDR _{D(d)} -mg	A ₁	3.03	0.60	14.54	1.18	0.22	28.50	7.16
	A ₂	1.13	0.64	17.06	1.88	0.29	30.42	10.77
	B ₁	1.51	0.73	21.42	2.77	0.40	31.26	13.93
	B ₂	1.60	0.74	23.04	2.94	0.46	30.69	12.61
2 (Er)~dDR _c	A	0.73	0.66	18.77	3.14	0.36	32.58	13.81
	A-B	0.49	0.68	20.69	3.77	0.39	32.54	14.61
	B ₁	0.29	0.78	21.00	4.41	0.41	28.83	21.03
	B ₂	0.34	0.94	22.62	7.25	0.44	28.62	20.80
3 (Er)~R _A	(A)	0.48	0.45	6.39	1.72	0.07	7.01	20.81
	B ₁	0.14	0.33	7.32	1.75	0.11	7.86	20.70
	B ₂	0.03	0.28	6.79	1.66	0.09	7.44	16.75
	B ₃	0.10	0.46	8.11	2.16	0.12	8.92	20.57
4 R _{D(d)}	A	0.45	0.78	4.40	1.69	0.07	4.91	11.07
	B ₁	0.28	0.51	6.32	2.29	0.09	7.05	17.92
	B ₂	0.15	0.69	7.89	3.05	0.11	8.53	22.25
	C ₁	0.09	0.39	6.53	1.55	0.10	7.50	19.25
	C ₂	0.11	0.47	5.60	1.08	0.08	6.41	16.30
5 R _A	A	0.53	0.54	4.25	1.36	0.07	7.78	18.52
	B ₁	0.50	0.72	5.00	1.47	0.09	9.29	19.79
	B ₂	0.28	0.67	6.05	1.80	0.08	10.13	21.13
	C ₁	0.34	0.65	8.58	2.09	0.12	14.05	19.48
	C ₂	0.26	0.94	11.23	2.90	0.14	17.69	18.30

* 全体の鉄・アルミニウムは1報 (森田ら1986) の値である
Total Fe & Al refers to Morita (1986)

色土の No. 2 土壌には多く、特に B₂ 層では多かった。Al の抽出力は M-J 法よりも Tamm 法の方が強いが、鉄に被覆されている Al の場合には M-J 法抽出の方が強いといわれている (河田, 1975)。全土壌とも M-J 法抽出 Al の含有量が多いことから、鉄に被覆されている Al の多いことを示しており、非塩基系の暗赤色土はこの傾向の強い土壌であることが分かった。

3.3 粘土及び遊離酸化物の移動

我が国では粘土の機械的移動についての研究が少ない。少ない理由はこの方面の研究を進めるのが遅かったことと、我が国に粘土移動が行われた土壌の少ないことがあげられる。数少ないデータの中で粘土移動が行われた土壌として認められるものに、古い時代の安定面の赤・黄色土、南西諸島のフェイチャ、疑似グライなどがあげられる (三土, 1985)。これらは低地・丘陵地の土壌で、山地の土壌は含まれていない。山地斜面では侵食が激しく、しかも、侵食量に算入されない斜面に沿った匍行移動が広く起きているため、粘土移動の判定が難しい。また、粘土移動の判定には、通常細粘土の断面内分布が用いられているが、我が国では細粘土の粒径の大きさの規定が明確ではなく、 $0.5\mu\sim 0.2\mu$ 以下といったように大きさが漠然として用いられている。本報告では今後細粘土の粒径の規定を検討するため、 0.5μ 以下と 0.2μ 以下の細粘土を定量した。その結果、 0.5μ 以下の細粘土は、遊離酸化物の断面内分布の傾向とよく似ていたが、これに対して 0.2μ 以下の細粘土では、若干劣っていた。しかし、粘土移動・集積については 0.2μ 以下の細粘土が若干明瞭であった。従って、これらのデータからはどちらの粒径を用いた方がよいのか判定はできなかった。今後は研究の方法、目的に合わせて細粘土の粒径基準を選んだ方がよいのではないかと考えられた。Fig. 3 に 0.5μ 以下の細粘土と遊離酸化物の断面内分布を示した。No. 4 土壌の細粘土の断面内分布は、A 層で少なく下層に向かって多くなり、B₂ 層で最大値を示し、A 層から粘土が移動し B₂ 層に集積した傾向が認められた。No. 4 土壌の採取地は山頂平坦面である。山地の赤色土も安定面では粘土移動するものと判断された。また、暗赤色土は 2 断面とも A 層で少なく、下層に向かって急激に増加しており、粘土が下層に移動したことがうかがわれた。しかし、B₂ 層より下の層では岩石が多くて試料を採取することができなかったため、B₂ 層が細粘土量の最大値をもつ集積層であるということは断定できなかった。

粘土の機械的移動・集積の過程は、粘土粒子の分散・移動・沈積という三つの過程からなっている。従って、移動集積を可能にするためには、まず粒子が分散しなければならない。炭酸塩岩石から生成した土壌の中には粘土移動をする土壌がある。この粘土移動は表土から脱石灰するときに起こるが、そのときの pH は 6.5~5 といわれている (SCHEFFER, F., 1979)。(注: 脱石灰時にはカルシウムイオンが減少し、それに伴ってゼータ・ポテンシャルが増大し、粘土が分散する。また、pH が 5 以下になると鉄・Al が溶出して鉱物を膠着し分散しなくなる。) 炭酸塩由来の土壌と同様に、暗赤色土の場合は脱苦土するときに粘土が分散・移動し、交換性陽イオン含有量が多く、しかも下層に集積した可能性もあり、暗赤色土は粘土移動を起こしやすい土壌ではないかと考えられた。しかし、この点に関しては今後、事例を増やし、研究を進めて行く必要がある。Fig. 3 にみられるとおり 0.5μ 以下の細粘土の断面内分布の傾向と M-J 法で抽出される遊離酸化物の分布の傾向とがよく類似していた。類似点は Al が多く、次いで鉄が多かった。Cr は含有量の多い暗赤色土ではよく類似していた。これらの遊離酸化物も

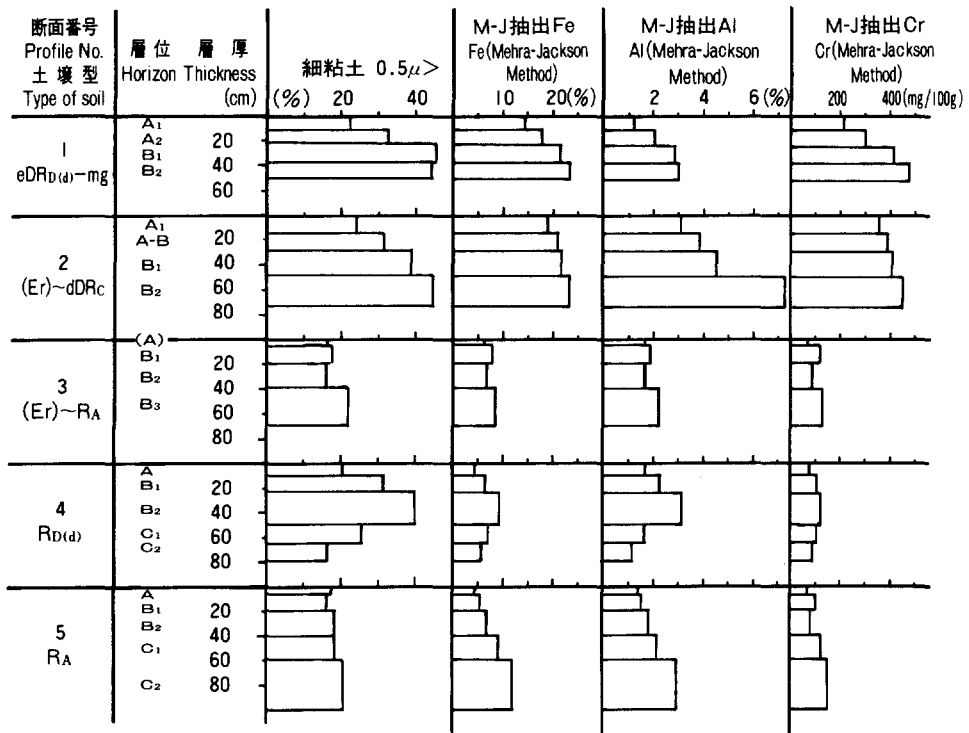


Fig. 3. 細粘土及び遊離酸化物の断面内分布
Distribution of Free oxides and micro clay in the soil profiles

細粘土と同じ動きをするものと考えられた。

我が国では粘土移動した土壌の性質を調べた報告が少ない。しかし、粘土移動があった土壌の性質については以下のことが考えられる。すなわち、下層に粘土や遊離酸化物の多い層があることは、その層で充填圧密を引き起こし、植物にとっては酸素欠乏を起こす可能性があるほか、内部排水が悪いために水は地表しか流れないので、湿潤時に粘土の少ない表層は容易に泥状化し、傾斜した位置では強度に侵食される可能性がある。1報 (森田ら, 1986) で示したように斜面上部の No. 2 土壌では、細粘土含有量の多い B 層上部から削り取られるような激しい侵食を起こした事例もみられる。

本報告で粘土移動があった土壌ではないかと考えられた土壌でも、Soil Taxonomy (1975) の粘土移動した土壌の規定に不足し、適合しない点があった。たとえ規定には不足していても上記のような事例があることから、粘土移動は土壌の性質の中で重要な現象の一つと考えられる。

3.4 土壌の風化度

土壌は生成年代や緯度の違い、または母岩の相違によって風化の程度を異にするものと考えられている。風化度に関する研究は世界的にみても古くから行われており、種々の方法が提案されている (JACKSON, M.L., 1964; SEHWERTMANN, 1964)。我が国でもこれらを参考にして、活性度指数、結晶化指数をもって褐色森林土、黄褐色森林土、赤色土をある程度定量的に識別することができることを見

い出した永塚 (1975) の報告や、鉄の遊離度、結晶化指数及び CEC/粘土比が、異なった土壌群を比較的よく区分することができることを認めた三土 (1985) の報告などがある。本報告ではこれらの研究と比較しながら、山地の暗赤色土、赤色土がいかなる風化度をもっているかについて検討し、その結果を Table 4 に示した。

① 鉄の活性度 (Tamm 鉄/M-J 鉄) : ほとんどの土壌が 0.1 かそれ以下の値で活性度の小さい土壌であることが分かった。これらは永塚 (1975) が黄褐色森林土及び赤色土と褐色森林土が 0.4 で区分されるとした値と比較するとかなり小さかったが、三土 (1985) の赤色土の値に似ていた。なお、暗赤色土と赤色土の間には差が認められなかった。

Table 4. 暗赤色土と赤色土の風化度指標
Comparison of Weathering Indices between Dark Red Soil and Red Soil

断面番号 Profile No. 土 壤 型 Type of Soil	層位 Horizon	鉄の活性度 Activity ratio	鉄の結晶化指数 Cristallinity ratio	鉄の遊離度 Deliviation ratio	CEC 粘土 ×100
		Tamm鉄 M-J鉄	M-J鉄-Tamm鉄 全鉄	M-J鉄 全鉄	
1 eDR _{D(d)} -mg	A ₁	0.21	0.40	0.51	65.9
	A ₂	0.07	0.52	0.56	55.1
	B ₁	0.07	0.64	0.69	44.9
	B ₂	0.07	0.70	0.75	58.4
2 (Er)~dDR _c	A ₁	0.04	0.55	0.58	81.9
	A-B	0.02	0.62	0.64	42.8
	B ₁	0.01	0.72	0.73	48.9
	B ₂	0.02	0.78	0.79	84.3
3 (Er)~R _A	(A)	0.08	0.84	0.91	84.1
	B ₁	0.02	0.91	0.93	35.5
	B ₂	0.004	0.91	0.91	38.2
	B ₃	0.01	0.90	0.91	32.9
4 R _{D(d)}	A ₁	0.10	0.80	0.90	76.2
	B ₁	0.04	0.86	0.90	38.5
	B ₂	0.02	0.91	0.92	39.8
	C ₁	0.01	0.86	0.87	53.1
	C ₂	0.02	0.86	0.87	75.8
5 R _A	A	0.12	0.48	0.55	92.2
	B ₁	0.10	0.48	0.54	63.2
	B ₂	0.05	0.57	0.60	66.2
	C ₁	0.04	0.59	0.61	63.9
	C ₂	0.02	0.62	0.63	98.5

note) Tamm 鉄 : Tamm 法抽出鉄 (Fe₂O₃ : %) Fe (Tamm Method) M-J 法 : Mehra-Jackson 法抽出鉄 (Fe₂O₃ : %) Fe (Mehra-Jackson Method)
 全鉄 : Total-Fe 粘土 : Clay
 CEC : 塩基交換容量 (me/100g) Cation-Exchange Capacity

② 鉄の結晶化指数（(M-J 鉄-Tamm 鉄)/全鉄）：ほとんどの土壤が0.5以上で、結晶化の進んだ土壤と考えられた。その中で、0.5~0.8の範囲の比較的小さい値を示す暗赤色土及び結晶片岩由来の赤色土のグループと、0.87以上の値を示す上記以外の赤色土のグループに区分することができた。小さい値を示す前者のグループは結晶化の進み具合のやや弱い土壤と考えられた。永塚（1975）のいう黄褐色森林土と本報告で扱った暗赤色土は、断面形態からは同一レベルの土壤と考えられるが、永塚が赤色土と黄褐色森林土の区分を0.5としたことと比較すると、本報告の土壤の方がわずかに大きい値を示した。しかし、三土（1985）の沖縄の赤黄色土と本報告の赤色土との値はよく似ていた。

③ 鉄の遊離度（M-J 鉄/全鉄）：全土壤ともB層より下層は0.6以上の値を示し、遊離度の高い土壤であることが分かった。これらの結果は三土（1985）の赤黄色土の値とよく似ていた。また、遊離度が0.8より小さいNo. 1, 2, 5土壤のグループと0.8より大きいNo. 3, 4土壤のグループに区分された。このグループ分けの傾向は結晶化指数の場合と同様であった。

④ CEC/粘土×100：表層は、粘土鉱物以外に腐植がCECに寄与するので大きな値を示し、下層にCECが特異的に大きな値を示す層のある土壤などがあり、ばらつきが大きく、風化度の指標としては不適當と考えられた。三土（1985）の報告では赤黄色土のB層の値は20~30の範囲にあり、風化度の指標になり得るとしたのと比べると異なる傾向を示した。この原因が山地の土壤の特徴なのか、また、他の原因によるものかどうかは今後の研究に待ちたい。

以上四つの風化度で、東三河地域の赤色土や暗赤色土が判別できるかどうかについて検討したが、CEC/粘土比以外は風化度の指標になり得ることが分かった。

検討した暗赤色土、赤色土はともに風化度が高く、古土壤とみなされている我が国の赤色土の風化度に相当した。このことから暗赤色土も赤色土と同様に、更新世の高温な古気候を経験して生成した土壤ではないかと推測された。これらの風化度をさらに詳細にみれば、わずかな差ではあるが、結晶化指数と遊離度が小さい暗赤色土と緑色片岩由来の赤色土グループと、それよりやや風化度の高い赤色土のグループに区別された。暗赤色土が風化度が低いのは、母材である蛇紋岩にMgが極めて多いために酸性化しにくいからではないかと推察された。

緑色片岩由来の赤色土の風化度は、常に暗赤色土と同じグループに入った。この原因について次のことが考えられる。すなわち、緑色片岩の主成分である緑泥石は、雲母、輝石、角閃石等が動力・熱水作用で変質するときに多くは生成する（地学辞典、1970）、従って、一度、熱、圧力によって化学変化を受けているので、化学的に風化抵抗が強いといわれており（佐伯、1950）、風化抵抗性が強いことが風化度の低い原因の一つと考えられる。また、緑泥石は蛇紋岩ほどではないが、Mg含有量の高いことも一因と考えられた。

3.5 粘土鉱物

Fig. 4~8にMg粘土、定方位試料のX線回析像を示した。Fig. 4, Fig. 5は暗赤色土の回析像であるが、Fig. 8に比べるとピークが低かった。暗赤色土からクエン酸で遊離酸化物を除去して、X線解析するとピークは高くなった。これは暗赤色土に遊離酸化物が多いために、相対的にピークが低く現れていることを示すもので、遊離酸化物がより多い下層土はこの傾向が極めて強かった。

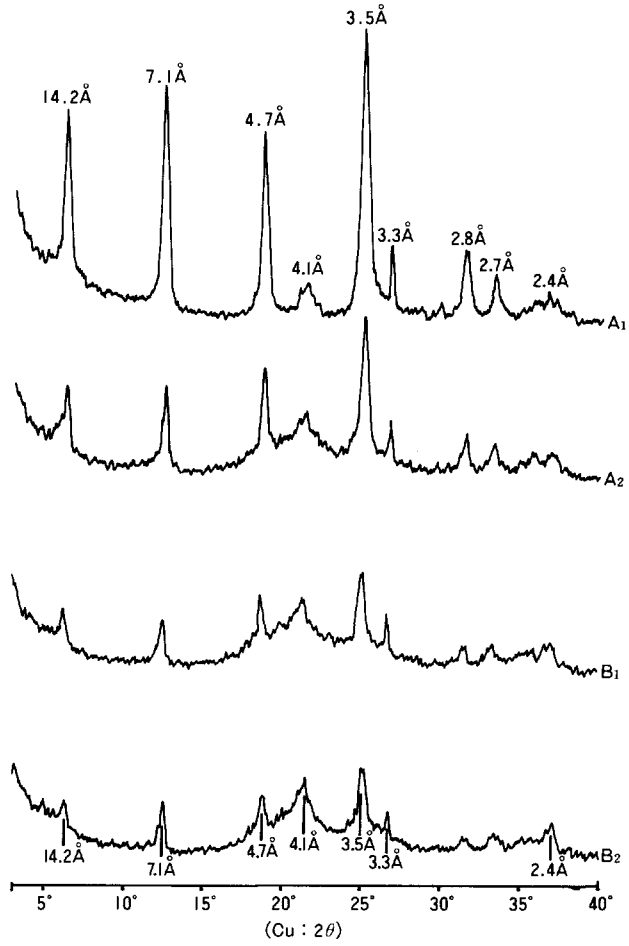


Fig. 4. No. 1 土壤 Mg 粘土の X 線回折像
X ray diffraction curve of clay fraction (Mg clay) in soil No. 1

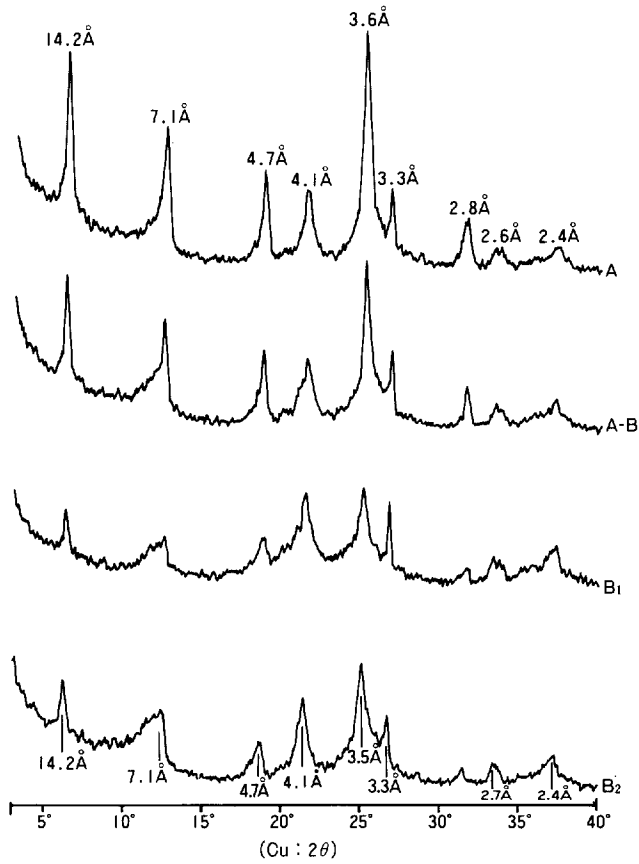


Fig. 5. No. 2 土壤 Mg 粘土の X 線回折像
X ray diffraction curve of clay fraction (Mg clay) in soil No. 2

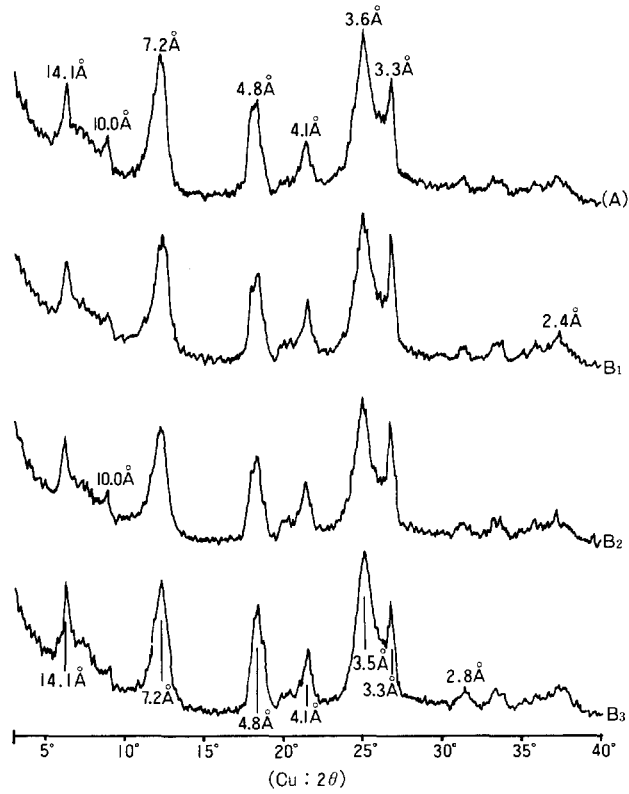


Fig. 6. No. 3 土壤 Mg 粘土の X 線回折像
X ray diffraction curve of clay fraction (Mg clay) in soil No. 3

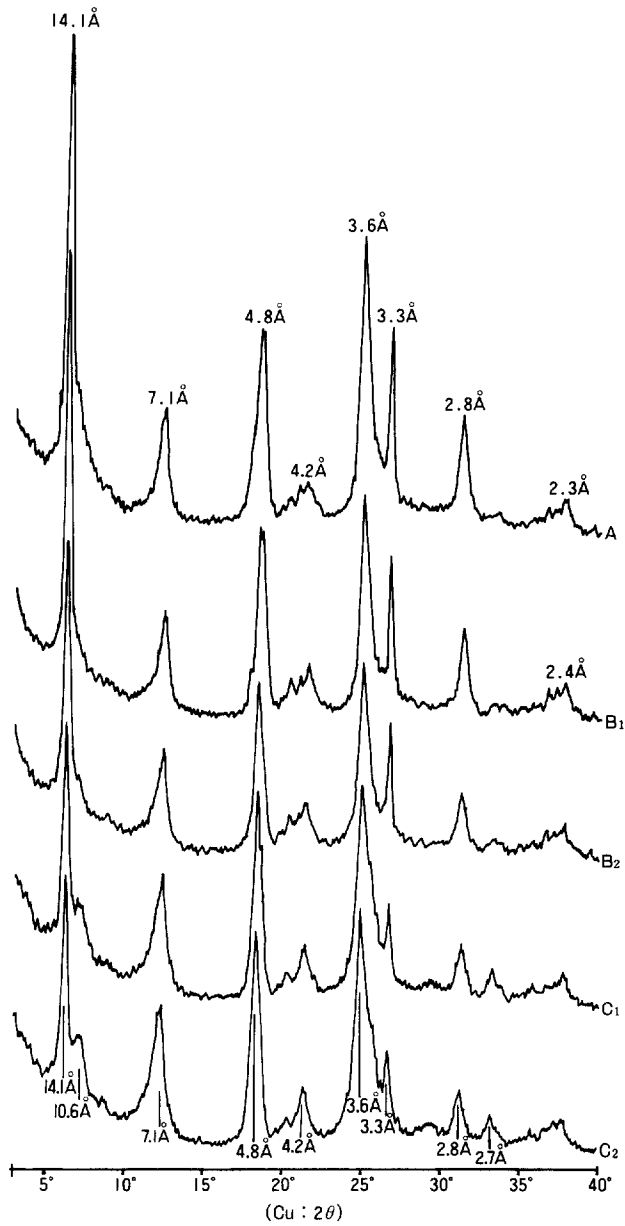


Fig. 7. No. 4 土壤 Mg 粘土の X 線回折像
X ray diffraction curve of clay fraction (Mg clay) in soil No. 4

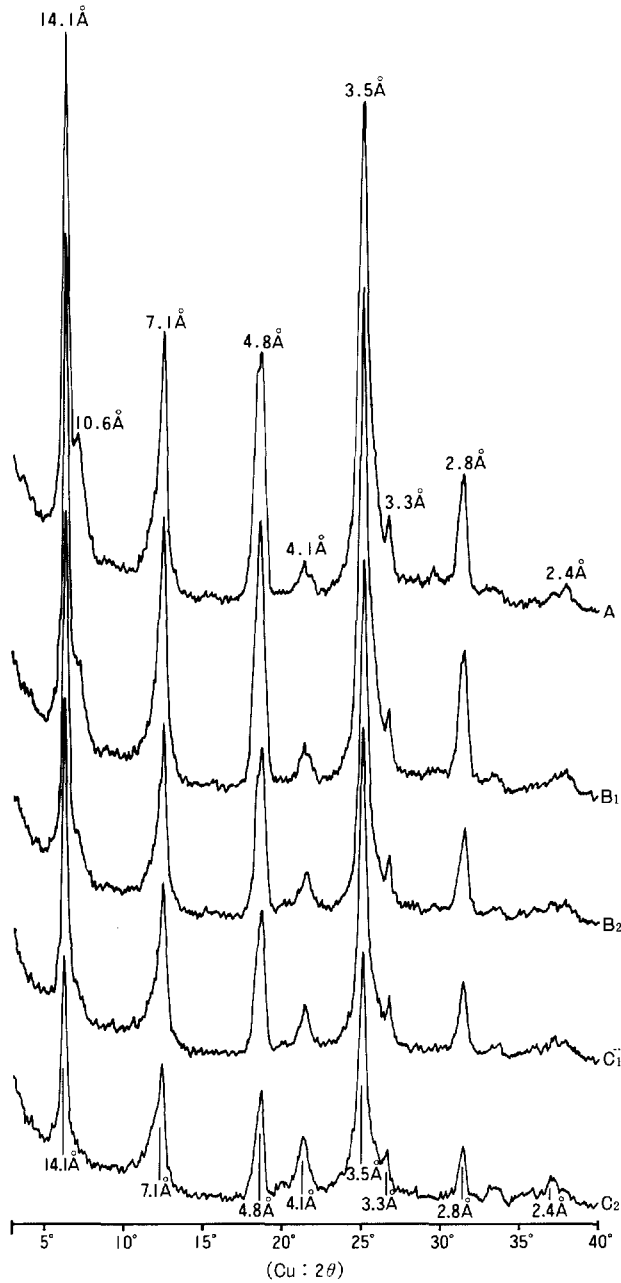


Fig. 8. No. 5 土壤 Mg 粘土の X 線回折像
X ray diffraction curve of clay fraction (Mg clay) in soil No. 5

Table 5 に粘土鉱物組成表を示した。表にみられるように、暗赤色土のほとんどの層位はクロライト含有量が多く、1:1 型鉱物含有量が少なかった。また、暗赤色土にはその他の鉱物として、ギブサイト、ゲータイト、ヘマタイトなどの結晶性の鉄・Al 鉱物及び、石英が含まれていた。一方、赤色土

Table 5. 粘土鉱物組成
Clay Mineral Composition

断面番号 Profile No. 土壌型 Type of soil	層位 Horizon	パーミキュ ライト Vermiculite	Al-パーミキュ ライト Vermiculite (Al-type)	雲母 Mica	クロライト Chlorite	カオリナイト 系鉱物 Kaolin minerals	ギブサイト Gibbsite	針鉄鉱 Goelhite	赤鉄鉱 Hematite	石英 Quartz
1 eDR _{D(d)} -mg	A ₁	-	-	-	+	+	+	+	+	+
	A ₂	-	-	-	+	+	+	+	+	+
	B ₁	-	-	-	+	+	+	±	±	+
	B ₂	-	-	-	±	±	±	+	±	±
2 (Er)~dDR _c	A	-	-	-	+	-	+	+	±	+
	A-B	-	-	-	+	-	+	+	±	+
	B ₁	-	-	-	±	+	±	+	±	+
	B ₂	-	-	-	±	+	±	+	±	+
3 (Er)~R _A	(A)	-	+	+	-	+	+	+	±	+
	B ₁	-	+	±	-	+	+	+	±	+
	B ₂	-	+	±	-	+	+	+	±	+
	B ₃	-	+	±	-	+	+	+	±	+
4 R _{D(d)}	A	+	+	-	-	+	+	+	±	+
	B ₁	-	+	-	-	+	+	+	±	+
	B ₂	±	+	±	-	+	+	+	±	+
	C ₁	+	+	±	-	+	+	+	+	+
	C ₂	-	+	±	-	+	+	+	+	+
5 R _A	A	-	+	±	-	+	+	+	±	±
	B ₁	-	+	±	-	+	+	+	±	±
	B ₂	-	+	±	-	+	+	+	±	±
	C ₁	-	+	-	-	+	+	+	±	±
	C ₂	±	+	-	-	+	+	+	±	±

相対強度： -認められない ±痕跡 +弱度 ++中度 +++強度 +++すこぶる強度
 Intensity: Negligible Identifiable Weak reflection Moderate reflection Strong reflection Notable strong reflection

はクロライトを含まず、1:1型鉱物と Al-パーミキュライトを主とする層位が多く、この点で暗赤色土と明確に区分できた。赤色土のその他の鉱物としては、ほとんどの層位にマイカを含み、No. 4, 5の土壌ではギブサイト含有量が多く、パーミキュライトを含む層位も認められた。

蛇紋岩土壌は風化が進むにしたがってアンチゴライト→膨張性 14Å 鉱物となり、さらに酸性化が進めば層間に Al が侵入し、不規則混層型鉱物(クロライト/Al-パーミキュライト)クロライト→1:1型鉱物と進行すると考えられている(加藤, 1962 b)。本報告の暗赤色土の粘土鉱物組成はクロライト含有量が多く、1:1型粘土鉱物含有量が少なかった。このことは1:1型鉱物をつくりやすい鉱物が母岩に少ない条件と、風化度で検討した場合と同様に、母岩に塩基含有量が多いので酸性化しにくく、クロライトの段階にとどまっている可能性が高く、このことが蛇紋岩由来の暗赤色土の特徴の一つと考えられた。一方、赤色土は1:1型粘土鉱物を多く含んでいるので、かなり風化が進んだ土壌であると考えられた。また、反対に風化の初期に現れる 14Å 鉱物を若干含んでいる土層も認められた。

4 お わ り に

この報告は第1報(森田ら, 1986)に引き続き、東三河地域の蛇紋岩由来の暗赤色土の性質及び生成条件を調べるために、周囲の赤色土と比較しながら検討したものである。現在までの報告(森田ら, 1986; 1987 a, b)と、本報告とで東三河地域の暗赤色土の性質をかなり明らかにすることができた。今後、これらの結果の普遍性について検討を加えるとともに、生成条件についても研究を深め、蛇紋岩由来の暗赤色土の分類学的位置付けを明確にして行く予定である。

参 考 文 献

- JACKSON, M.L.: Chemical Composition of Soils; in Chemistry of the Soil, ed. F.E. BEAR, Reinhold Pub. Corp., 71-144 (1964)
- 加藤芳郎: 静岡県三方原および東縁段丘群の土壌(第2報)定方位試料による粘土の X 線回折, 日土肥誌, 33 (3), 149~152 (1962 a)
- 加藤芳郎: 同上(第3報)粘土鉱物組成と風化過程, 日土肥誌, 33 (5), 247~249 (1962 b)
- 河田 弘, 西田豊昭: 森林土壌の遊離酸化物について, 林試研報, 275, 1~22 (1975)
- 三土正則: 土壌の風化の程度と質に関する分類学的指標, 日土肥誌, 56 (3), 181~188 (1985)
- MEHRA, O.P. and JACKSON, M.L.: Iron oxide removal from soils and clay by dithionite system buffered with bicarbonate, 7th Natl. Conf. on clay minerals, 317-327 (1960)
- 森田佳行, 大角泰夫, 夏目太猪介: 蛇紋岩由来の暗赤色土の性質, 生成ならびに分類に関する研究 第1報 東三河地域の蛇紋岩由来の暗赤色土と周辺部の赤色土との性状の違い, 林試研報, 341, 27~46 (1986)
- 森田佳行: 蛇紋岩由来の暗赤色土の暗赤色の原因ペドロジスト, 31 (1), 14~25 (1987 a)
- 森田佳行, 酒井正治, 岩川雄幸: 蛇紋岩由来の暗赤色土の性質, 生成ならびに分類に関する研究(II) 高知県下の蛇紋岩由来の暗赤色土と非暗赤色土との違い, 98 回日林論, 207~209 (1987 b)
- 永塚鎮男: 西南日本の黄褐色森林土および赤色土の生成と分類に関する研究, 農技研報, B 26, 133~257 (1975)

- 農林水産技術会議畑土壌協議会：畑土壌分析法 資料第2号, 1~62 (1957)
- 農業技術研究所 化学部土壌第3科土性第1研究室：昭和56年度研究成績, 6~12 (1982)
- 林業試験場土壌部：林野土壌の分類 (1975), 林試研報, 280, 1~28 (1976)
- 林野庁・林業試験場：国有林林野土壌調査方法書, 1~42 (1955)
- 佐伯秀章：農林地質学, 朝倉書店, 102~103 (1950)
- SCHEFFER, F. and SCHACHTSCHABEL, P. : Lehrbuch der Bodenkunde (1976) 佐々木清一, 長谷川寿喜訳, 博友社, p. 328 (1979)
- SCHWERTMANN, U. : Differentierung der Eisenoxide des Bodens durch Extraktion mit Ammonium-Oxalat-Lösung., Z. Pflanzenern. Dung. Bodenkd., 105, 194-202 (1964)
- Soil Survey Staff: *Soil Taxonomy*. U.S. Department of Agriculture Agric. Handbook, 436, (1975)
- 下田 右：粘土鉱物研究法, 創造社, 243 pp. (1985)
- TAMM, O. : Eine Methode zur Bestimmung der anorganischen Komponenten des Gelkomplexes in Boden, Meddel. Stat. Skogstorsoksgust, 19, 385-404 (1922)
- 地学団体研究会：地学辞典, 平凡社, 1163~1164 (1970)

Genesis and Classification of Dark Red Soil derived from Serpentinite III
On free oxides, particle size distribution, weathering
and clay mineral composition

MORITA, Yoshiyuki⁽¹⁾ and TANAKA, Nagaharu⁽²⁾

Summary

We are continuing our studies into the nature, formative process and classification of Dark Red Soil derived from Serpentinite. In a previous paper, morphological features, chemical properties and mineral composition of Dark Red Soil in the eastern Mikawa District, Aichi Prefecture, and Red Soil distributed in the neighboring area, are discussed. In this report, particle size distribution, lessivage, weathering and clay mineral composition of these soils are discussed.

The results obtained are summarized as follows:

1) The clay contents and the contents of Fe and Cr extracted by Mehra-Jackson method of Dark Red Soil were very high, and the clay contents in lower part of profiles were distinguished.

2) There was evidence of lessivage. Fine clay contents of the surface horizon of Dark Red Soil and Red Soil on gentle slope were low, and the lower part of the profiles was high. Distribution patterns of Fe, Al and Cr were similar to that of the fine clay contents. Therefore, it's considered that movement of these free oxides is same as movement of fine clay.

3) Dark Red Soil weathered very well. But weathering of Dark Red Soil was still rather lower than that of Red Soil. It was considered that this tendency indicated slow weathering of Dark Red Soil, because the cation contents of parent material of Dark Red Soil are higher than that of Red Soil. Weathering of Red Soil derived from greenschist has the same tendency as Dark Red Soil.

4) Dark Red Soil was distinguished from Red Soil because Dark Red Soil contained chlorite and few 1:1 type clay minerals.