

熱帯の土壌 (II-2)

八木久義*・山家富美子**

赤色土 (2) 各種赤色土の風化系列上の位置関係

1. はじめに

熱帯地域に分布する赤色土は一般に強粘土質で特徴的な土色を呈するなど、その外面的特徴が良く似ている。しかし、内面的特に基本的な性質が異なるため、米国の Soil Taxonomy では Oxisol, Ultisol, Alfisol などに、また FAO/UNESCO の世界土壌図では Ferralsol, Acrisol, Nitosol, Luvisol などに分類されていることは、前稿でも触れたとおりである。それらの熱帯の赤色土の分類方法についてはいろいろな本に詳しいが、その説明にはかなりの新造語や専門語が使われているため、特に初めての人にとっては大変取り付き難いきらいがあることが指摘されている。

本稿では、熱帯の赤色土の鉱物の風化系列や分類された各種赤色土の風化系列上の位置関係の概略について検討を加えてみた。それらの土壌の理解の一助となれば幸いである。

2. 熱帯の赤色土の分類基準

米国の Soil Taxonomy や FAO/UNESCO の世界土壌図の方式による熱帯の赤色土の分類基準の概要は、表-1 のとおりである。

このように熱帯の赤色土の分類基準では、いずれの方式でも B 層での粘土集積層

表-1 熱帯の赤色土の分類基準の概要

分類法および土壌	粘土集積層	易風化鉱物	塩基置換容量	塩基飽和度
Soil Taxonomy (U.S.A.)			(m. e./100 g soil)	(%)
Oxisol	なし	なし	16 m. e. 以下	一般に低い
Ultisol	あり	乏しい	一般に小さい	35%以下
Alfisol	あり	あり	一般に大きい	35%以上
Soil Map of the World (FAO/UNESCO)				
Ferralsol	なし	なし	16 m. e. 以下	一般に低い
Acrisol	あり	乏しい	一般に小さい	50%以下
Nitosol	一般に厚い	あり	一般に小さい	随意
Luvisol	あり	あり	一般に大きい	50%以上

YAGI, Hisayoshi & YAMBE, Fumiko: Soils in the Tropics (II-2) Red Soils (2) Their Relative Positions in the weathering sequence

* 東京大学農学部, ** 農林水産省森林総合研究所森林環境部

の発達の有無や、長石、角閃石、輝石、橄欖石類などの易風化鉱物の風化分解による消耗の程度、塩基置換容量（cation exchange capacity, 以下 CEC と呼ぶ、土壌が Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ , K^+ などの陽イオンを置換保持する容量）の大小、塩基飽和度（全置換性陽イオンの CEC に対する飽和度）の高低などが、その根幹をなしている。

土壌中で実際に進行しているいろいろな作用のうちこれらに関わる主なものとしては、岩石を構成している一次鉱物の風化分解に由来する置換性陽イオンの生成や流亡作用、粘土鉱物（モンモリロナイト、ヴァーミキュライト、ハロイサイト、カオリナイトなど）の生成や移動集積および変質分解作用、および遊離酸化物（Al や Fe の酸化物など）の生成や集積作用などであり、いずれも土壌の出発物質である岩石の一連の風化過程の一部をなすものである。

3. 赤色土における鉱物の風化系列

土壌の出発物質である岩石は当然のことながら地殻に由来する。地殻を構成する主な元素の平均的な重量および体積に占める割合は表-2のとおりである。

それによると、地殻の主たる構成元素は O, Si, Al, Fe, Ca, Mg, Na, K であり、それら 8 元素の重量構成比の合計が 98.59% に達するところから、地殻ひいては地殻を構成する岩石はほとんどこれら 8 元素からなるといっても過言ではない。

地表における岩石の風化に伴うこれらの元素の動きやすさの順序は、表-3のとおりである。

まず岩石中にわずかに含まれている Cl や SO_4 が洗脱され、次いで Ca, Mg, Na, K などの塩基類が溶出する。やがて Si も徐々にではあるが流亡し、最終的には最も水に溶け難い Fe と Al が酸化物として残留する。

これは岩石を構成する主な元素の流亡傾向の面からのみみた極く簡単な風化過程の一断面であり、実際には、構成元素の流亡に伴っ

表-2 地殻を構成する主な元素 (MASON, 1966)

元素	重量%	体積%
O	46.60	93.77
Si	27.72	0.86
Al	8.13	0.47
Fe	5.00	0.43
Ca	3.63	1.03
Mg	2.09	0.29
Na	2.83	1.32
K	2.59	1.83

表-3 岩石成分の動きやすさの区分 (岩石中の成分と河川の水の成分との比較による)(POLYNOV, 1944)

動きやすさの順序	成分	動きやすさの比
I	塩素	100
	硫酸	60
II	カルシウム	3.0
	ナトリウム	2.5
	マグネシウム	1.3
	カリウム	1.3
III	珪酸 (珪酸塩中)	0.2
IV	酸化鉄	0.04
	アルミナ	0.02

表-4 主な粘土鉱物の陽イオン交換容量 (吉永, 1976)

種 類	CEC (m. e. /100 g)
カオリナイト (1:1型)	3~ 15
ハロイサイト (1:1型)	10~ 40
モンモリロナイト (2:1型)	80~150
パーミキュライト (2:1型)	100~150

CEC: cation exchange capacity

いろいろな新しい鉱物 (岩石を構成する一次鉱物に対して, それらの鉱物を一括して二次鉱物という) が生成され, それらが風化の進行に応じてさらに他の鉱物に変質するなど, その過程は非常に複雑である。また, その進行速度は極めて緩慢で, 岩石が風化作用により最終的に Fe や Al の酸化物になるまでには地質学的な長時間を要するといわれている。

熱帯地方の温暖湿潤な環境条件下では, 岩石の風化により溶出した Cl^- や SO_4^{2-} などの塩類は浸透水に伴って速やかに流亡するが, 遊離した塩基類の一部は置換性陽イオンとして土壤中に保持される。風化の進行に伴い珪酸の一部が流亡すると層状アルミノ珪酸塩, 即ち, 粘土鉱物と呼ばれる非常に微細な (2 ミクロン以下の) 結晶質鉱物が生成される。

この粘土鉱物の結晶構造の基本的な単位は, 珪酸四面体が平面的 (二次元的) に結合してできた珪酸四面体層格子, いわゆる珪酸シートと, アルミナ八面体が平面的に結合してできたアルミナ八面体層格子, いわゆるギブサイトシートからなる。粘土鉱物のうち最も一般的なものは, ギブサイトシートが2層の珪酸シートにサンドイッチ状に挟まれた3層構造, いわゆる2:1型のもの (例えばモンモリロナイト) と, ギブサイトシートと珪酸シートが結合した2層構造, いわゆる1:1型のもの (例えばカオリナイトやハロイサイト) であり, 後者は前者から珪酸シートが1層失われた構造をしている。一般に, 塩基類に富む環境下では2:1型の粘土鉱物が生成され, 風化が進行し, 塩基類に乏しくなった環境下では1:1型の粘土鉱物が生成されるといわれている。

これらの粘土鉱物は通常電気的にマイナスに帯電しており, 陽イオンを置換保持する能力を有する特徴がある。一般に2:1型の粘土鉱物では, 層格子内の一部の Si^{4+} や Al^{3+} がそれぞれ Al^{3+} や Fe^{2+} に交代しているため粘土鉱物全体にかなり多量のマイナスの電荷が生じ, 従って, 陽イオンを置換保持する能力も大きい, 1:1型のものでは, そのような層格子内での元素の交代がないため, 陽イオンの置換はもっぱら層格子の破壊端の Al や Si の露出した電荷にのみよるため, 置換容量が概して小さい。主な粘土鉱物の陽イオン置換能力の大きさは, 表-4 に示したとおりである。

そして, さらに風化が進行し遂には粘土鉱物から珪酸が流亡すると, 最終的に Al や Fe の酸化物, 即ち, 遊離酸化物が相対的に富化されて集積する。それら Fe や

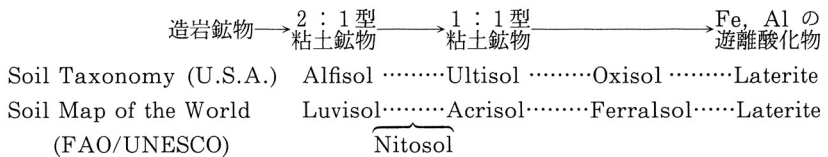
Al の遊離酸化物の脱水結晶化については前稿で述べたとおりである。

以上の様な赤色土における鉱物の風化の進行過程を簡単な図式に表すと、
 岩石(一次鉱物)→2:1型粘土鉱物→1:1型粘土鉱物→Fe や Al の遊離酸化物
 となる。

4. 各種赤色土の風化系列上の位置関係

U.S. Soil Taxonomy や FAO/UNESCO 方式により分類された各種熱帯赤色土を上述の鉱物の風化過程に当てはめてみると、先ず、Soil Taxonomy 方式による Alfisol は、粘土集積層が発達しており塩基飽和度も 35% 以上であるから、岩石の風化による粘土鉱物の生成は進行しているが、塩基類の流亡はそれ程進んでいない段階、即ち、2:1型や1:1型の粘土鉱物が優占する段階に相当すると思われる。Ultisol では、粘土集積層は発達しているが、塩基飽和度が 35% 以下であるから、風化の進行とともにかなり塩基類の流亡が進んでいる段階、即ち、1:1型の粘土鉱物が優占する段階と思われる。Oxisol では、易分解性鉱物が認められず、CEC が 16 m.e./100 g soil 以下であるから、風化が進み粘土鉱物の一部が破壊され Fe や Al の遊離酸化物が生成されている段階である。そのような段階では、残っている粘土も遊離酸化物によって膠結されるため、粘土の移動集積は進行しない。そして、さらに風化が進行し、Fe や Al の遊離酸化物の優占する段階に至ったものがいわゆる Laterite である。次に、FAO/UNESCO 方式により分類された土壤では、Luvisol は Alfisol に、Acrisol は Ultisol に、そして Ferralsol は Oxisol にそれぞれ多少の分類基準の相違はあるが対応し、Nitosol は CEC、塩基飽和度、および粘土鉱物の生成状態から Luvisol と Acrisol の中間段階に位置づけられるのではないかと思われる。

それらの熱帯地域の主な赤色土を上述の鉱物の風化系列に当てはめると、およそ次のようになる。



以上、熱帯地域の各種赤色土のおもな特徴と土壤鉱物の風化系列との比較対比を試みた。その際、それら各種赤色土の相互関係の把握を容易にするため、無理を承知で鉱物の複雑な風化過程や土壤の分類基準を極めて単純な形に括約して対比したので、必ずしも理論でないところも生じたこととお断りしておきたい。