

赤黄色土と暗赤色土の基本的なコンセプトと分類上の課題

誌名	ペドロジスト
ISSN	00314064
巻/号	611
掲載ページ	p. 49-57
発行年月	2017年6月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council
Secretariat



総説

赤黄色土と暗赤色土の基本的なコンセプトと分類上の課題

金子真司*1

General concept of Red-Yellow soils and Dark Red soils,
and its taxonomic issues

Shinji KANEKO*1

*1 Center for Forest Restoration and Radioecology, Forestry and Forest Products Research Institute

はじめに

わが国の土壌分類では土壌名に土色を用いたものが多く、分類の基準にも土色が用いられる場合が多い。国際的な土壌分類である Soil Taxonomy (Soil Survey Staff, 1999, 2010) や WRB2014 (IUSS Working Group WRB, 2014) では土色は分類上の重要な位置を占めていない。なぜ分類基準に土色が使われていないのであろうか。このことはわが国の土壌分類、特に赤黄色土と暗赤色土を考える上で、重要なポイントである。

わが国では農耕地と林地で別々の土壌分類体系が用いられてきた。すなわち、農耕地では「農耕地土壌分類 第3次改訂版」(農耕地土壌分類委員会, 1995: 以下「農耕地3次案」), 林地では「林野土壌の分類」(土壌学部, 1976: 以下「林野土壌分類」) が使用されてきた。日本ペドロロジー学会から「日本の統一的土壌分類体系 - 第二次案 -」(日本ペドロロジー学会第四次土壌分類・命名委員会, 2003: 以下「ペド2次案」) が提案され、この分類を踏まえて、国土全体をカバーする「包括的土壌分類 第1次試案」(小原ら, 2011: 以下「包括分類」) が提案された。これらの土壌分類体系において、赤黄色土は、「A層の有機物含量が低く、下層土の土色が赤色ないし黄色の酸性土壌である」とその概念は概ね共通している。それに対して、暗赤色土は母材が石灰岩や超塩基性岩に由来する塩基含量の高い土壌を含む点で共通するものの、分類体系

によっては熱水変質で生じた母材の影響を強く残す強酸性土壌を含んでいたり、「暗赤色」でない土壌を含む場合もあるなど、分類体系によって基準が大きく異なっている。

ここでは、赤黄色土と暗赤色土の土壌生成や分類上の位置づけについて、これまでどのように考えられてきたかを紹介することで、これら土壌について未解明の点や残された課題を明らかにしていきたい。

古赤色土説

第2次世界大戦が終了すると戦後復興に向けて、食料増産や木材生産増強が必要になった。そのため、全国をカバーする土壌図を作成することを目的に各地で土壌調査が開始された。この調査において熱帯や亜熱帯にみられるような赤色土壌が北海道から九州まで全国各地に分布することが見出された(大政ら, 1955, 1957; 松井・加藤 1962; 黒鳥・大政 1963)。これらの赤色土壌は現在の気候条件下で生成した成帯性土壌と考えられてきた(菅野, 1961, 1964)が、古い地形面にのみに分布することが明らかになり、過去の温暖期に生成した古土壌ではないかと考えられるようになってきた(大政ら, 1957; 黒鳥・大政, 1963; 松井, 1974)。生成時期について、大政ら(1957)は漸新世後期あるいは洪積世前期と考え、松井(1974)は最終間氷期(約12万年前)と推定した。秋山(2008)に

*1 (国研)森林総合研究所震災復興・放射性物質研究拠点 (〒305-8687 茨城県つくば市松の里1)
2017年5月10日受付・2017年6月19日受理

よると、最終間氷期（およそ12.5万年前を中心とする温暖期）にはヨーロッパの平均気温が現在より2～2.5℃高かったと推定されている。最終間氷期における日本列島地域の気温に関しては、沖縄トラフの堆積物中のアルケノン不飽和指標から水温の最高値が現在の海水温より1℃程度高い27.5℃という推定結果が得られている（秋山，2008）。赤黄色土が現在気候下で生成しているとされる沖縄県的那覇市の年平均気温は23.0℃である（e-Stat ホームページ）。それに対して本州最南端の鹿児島県鹿児島市の年平均気温は18.1℃である（e-Stat ホームページ）。鹿児島市の年平均気温が2℃上昇しても那覇市ほど高温にならないことから、九州以北の赤色土の生成を間氷期の気候条件だけで説明するのは難しいように思われる。なお、赤色土は黄色土をともなうことが一般的であるので、これ以後は‘赤黄色土’と呼ぶことにする。赤色土と黄色土の成因の違いは良く分かっていないが、黄色土は鉄含量の乏しい母材から赤色土にならず、黄色土になる傾向があることが認められている（松井，1974）。赤色土と黄色土はその生成に係る気候条件に差がないと一般的に考えられている。赤黄色土の土壌生成に関しては、荒木（1986）が日本各地およびアジアに分布する赤黄色土を対象に詳しい研究を行っている。その研究では、理化学的性質から計算される「風化指数」と鉄酸化物の状態から定義される「結晶化指数」を用いて、地域間の赤黄色土の違いを比較した。その結果、わが

国の赤黄色土の場合、「風化指数」と「結晶化指数」は、北海道、中段段丘（本州）、高位段丘（本州）、南西諸島の順に連続して高まっていくことを見出した。さらに、日本を含むアジアにおいても、気候に対応して「風化指数」、「結晶化指数」が連続して高まっていくことを明らかにした。このことは、赤黄色土の生成には長い年月の気温の積算が関係していることを示唆する。この後で述べるように、赤黄色土は Soil Taxonomy の Ultisols の類縁土壌と考えられる。Ultisols の地理的分布の中心は乾季を伴う暖温帯から湿潤熱帯にかけてであるが、米国内では北緯40°以北のフィラデルフィア州やペンシルベニア州と冷涼な気候の地域にも分布する。この土壌が更新世あるいはそれより古い地形面に主に分布する（Soil Survey Staff, 1999）ことは、現在の気候条件下において生成した土壌ではないことを示唆する。すなわち、フィラデルフィア州やペンシルベニア州に分布する Ultisols は、わが国の温帯地域に分布する赤黄色土と同様に、過去から現代までの長い年月の気温下で生成したものと推察される。

赤黄色土の分類

わが国の主要な土壌分類における赤黄色土の中心概念は概ね一致している（表1）。ただし、土色の定義は分類体系ごとに異なっており、林野土壌分類やペド2次案では7.5YRの土色の土壌は含まれないが、農耕

表1 わが国の土壌分類における赤黄色土と暗赤色土の中心概念と定義の概要

	赤黄色土	暗赤色土
林野土壌分類 ^a	赤黄色土壌群：赤黄色（土壌群）は淡色また層厚の薄いA層をもち、赤褐色ないし明赤褐色あるいは黄褐色ないし明黄褐色のB層、C層をもつ酸性の土壌。赤色土亜群、黄色土亜群からなる。	塩基系暗赤色土亜群、非塩基系暗赤色土亜群、火山系暗赤色土亜群の3亜群からなる。A層は一般に淡色または薄い。赤褐色ないし暗赤褐色のB層をもつ（B層の土色は10R, 2.5YR, 5YRにまたがり、赤色に比べて明度彩度とも低い。3～4/4～6程度が中心的な土色）。
農耕地3次案 ^b	赤色土壌群と黄色土壌群に分かれる。洪積台地、丘陵に分布し、腐植乏しく暗色を呈しないA層下に明度・彩度とも高い赤色、あるいは黄色の次表層（B層）をもつ。	暗赤色土壌群 ①次表層：暗赤色であるか、 ②石灰岩に由来し次表層のすべての亜層位でpH(H ₂ O) ≥ 5.5またはB.S. ^c ≥ 50%
ペド2次案 ^c	有機物含量が低く、赤色または黄色の土層が比較的浅い位置から出現する土壌。 (B.S. ≥ 50%の土壌含む) 粘土集積層の有無で細分	塩基性母材の影響で交換性塩基含量が高く、中性からアルカリ性を示す成熟土壌。 ①石灰岩 B.S. ≥ 50% ②超塩基性岩 B.S. ≥ 50% 7.5YRより赤い
包括分類 ^d	赤黄色特徴（土色と低有機物） 粘土集積層の有無で細分 中心概念はB.S. 低い	①次表層：暗赤色 または ②石灰岩土壌では 次表層pH(H ₂ O) ≥ 5.5 (B.S. ≥ 50%)

^a 林野土壌の分類（1975）、^b 農耕地土壌分類 第3次改訂版、^c 日本の統一的土壌分類体系 - 第二次案 -、^d 包括的土壌分類 - 第1次試案 -、

^c B.S. = 塩基飽和度

表2 わが国の土壤分類における赤黄色土と暗赤色土に係る土色の定義

	赤黄色土	暗赤色土
林野土壤分類	赤色土亜群：赤褐色ないし明赤褐色のB層、C層をもつ(5YR4/6より赤み強い)。 黄色土亜群：黄褐色ないし明黄褐色のB層、C層をもつ(標準的なB層の土色はほぼ10YR6/6か、それより黄色み強い)。	B層の土色は10R, 2.5YR, 5YRにまたがり、赤色に比べて明度彩度とも低い。3～4/4～6程度が中心的な土色。
農耕地3次案	赤色：色相が5YRかそれより赤く、明度>3かつ彩度 ≥ 3 (ただし明度/彩度4/3, 4/4を除く)。 黄色：色相5YRより黄色(5YRは含まない)で、明度 ≥ 3 かつ彩度 ≥ 6 (ただし明度/彩度3/6, 4/6を除く)。	暗赤色：色相が5YRかそれより赤く、明度 ≤ 3 かつ $3 \leq$ 彩度 ≤ 6 および明度/彩度4/3, 4/4の土色をさす。
ペド2次案	以下のいずれかを満たすこと(赤黄色特徴の要件) ①色相が10YRよりも黄色い ②色相が10YRの場合、明度が6以上、または彩度が6以上である ③色相が5YRよりも赤い ④色相が5YRの場合、明度が4以上、または彩度が6以上である ⑤色相が5YRか5YRよりも赤く、かつ明度/彩度が4/3, 4/4, 3/6である。	暗赤色土の定義に土色を用いていない。
包括分類	赤色：色相が5YRかそれより赤く、明度>3かつ彩度 ≥ 3 (ただし明度/彩度4/3, 4/4を除く)。 黄色：色相が5YRより黄色(5YRを含まない)で、明度 ≥ 3 かつ彩度 ≥ 6 (ただし明度/彩度3/6, 4/6を除く)。	暗赤色：色相が5YRかそれより赤く、明度 ≤ 3 かつ $3 \leq$ 彩度 ≤ 6 および明度/彩度4/3, 4/4。

地3次案や包括分類では黄色の定義に7.5YRの土壤が含まれている(表2)。このことは、同一の土壤でも分類体系によって赤黄色土になる場合とならない場合があることを意味している。

赤黄色土の国際的対比

わが国の赤黄色土は、理化学的性質からWRB2014のAcrisolsやAlisolsあるいはSoil TaxonomyのUltisolsに類縁の土壤といえる。ただし、AcrisolsやAlisolsではArgic horizonを持つことが必要条件であり、UltisolsではArgillic horizonをもつことが必要条件になっている。Argic horizonはその成因が粘土の移動集積でなくてもよいが、上層より粘土含量が高い必要がある。わが国の赤黄色土は一般に下層が上層よりも粘土が高くないのでこれらの土壤に分類されない場合が多い。このことは、古土壤と考えられるほど長い時間を経たわが国の赤黄色土が、若い褐色森林土(CambisolsやInceptisols)と同じグループに分類されることを意味する。わが国の土壤においても、粘土集積層は土壤成熟度の目安となるのであろうか。粒径分析を行った人なら誰でも経験があると思うが、わが国の土壤は分散し難い特徴をもつ。それに比べると東南アジアな

ど海外の土壤は容易に分散する。熱帯の水田土壤は土壤微細粒子が分散して濁っていることが多い(伊丹, 1999)事実も土壤が分散しやすいことを示している。わが国の土壤は分散し難い性質があるために、粘土の移動集積が起こりにくいのではないだろうか。わが国の土壤が分散し難いのは土壤特性に起因すると推察される。伊丹(1999)はわが国の土壤が遊離酸化物、変異荷電性粘土、有機物など微細粒子間に結合剤として作用するような分散抑制因子が多く含まれるためと指摘している。そのほか、火山灰に含まれるアロフェンは強固な集合体を形成して分散を妨げる性質がある(土壤環境分析法編集委員会編, 1997)ので、火山灰の混入も影響していることが考えられる。このように、土壤が分散し難い性質をもつことから、わが国の赤黄色土では粘土集積が認められないのであろう。すなわち、わが国の赤黄色土は長期間の土壤生成と風化を受けて生成した土壤であるが、粘土集積層の有無により、Acrisols, Alisols, UltisolsまたはCambisols, Inceptisolsに分類されるという問題が生じている。

暗赤色土の概要

赤色土と同様に、全国の土壤調査が進むにつれて、

石灰岩, 蛇紋岩, 超塩基性岩に由来する塩基飽和度の高い土壌が存在することが明らかになった。その一つが超塩基性岩(蛇紋岩など)から生成した土壌で, 赤黄色土と同様に高位段丘面や低山地帯に分布し, 理化学性は赤黄色土に類似するが交換性Mgが多いことやチョコレートに似た暗赤褐色の土色を示す土壌である(永塚, 1965)。また, 沖縄県の土壌調査から石灰岩母材の赤褐色や暗赤色の土壌の存在が明らかとなった(竹原, 1964; 黒鳥・小島, 1969; 松坂ら, 1971; 山田ら, 1973; 阿部・福土, 1973)。この土壌は古くから沖縄県において, 酸性の赤黄色土壌の「国頭マーヅ」に対して, 「島尻マーヅ」と呼ばれてきた土壌である(渡嘉敷・亀谷, 2007)。暗赤色土と呼称されるようになった経緯について「日本の森林土壌」に記述されている(日本の森林土壌編集委員会編, 1983)。それによると, 竹原(1961)が西表島の琉球石灰岩母材の土壌を石灰質暗赤色土壌と呼び, 久保ら(1966)が高知市付近の蛇紋岩由来土壌と石灰岩由来の暗赤褐色の土壌を一括して暗赤色土壌と呼び, 赤色土と区別したことから, 暗赤色土の用語が用いられるようになった。このほか, 火山活動が盛んな地域において, 熱水変質作用を受けた岩石から生成した暗赤色の土壌が存在することが明らかになった(農林省林業試験場, 1968)。この土壌は塩基飽和度が低く, 強酸性であり理化学的性質は赤色土とよく似るが, 赤色土とは分布する地形面が異なる(土じょう部, 1976)ことから, 林野土壌分類では火山系暗赤色土亜群として暗赤色土群に含められている(表1)。農耕地3次案においても表層が暗赤色であることが暗赤色土壌群の一つの条件とされており, この土壌群に分類される土壌は林野土壌分類の暗赤色土群とほぼ同じであるが, 農耕地3次案では石灰岩母材に限って塩基飽和度 $\geq 50\%$ の土壌も暗赤色土群に分類することになっている。包括分類は農耕地3次案と同じ基準が採用されている。ペド2次案は, 石灰岩あるいは超塩基性岩から生成し, かつ塩基飽和度 $\geq 50\%$ の土壌とし, 土色に関しては超塩基性岩の場合のみ7.5YRより赤いことを条件にしている。このため, ペド2次案は暗赤色を示さない土壌が含まれるとともに, 火山系暗赤色土が含まれない。

以上のように, 林野土壌分類以外では暗赤色は必須となっていないなど, 分類上の問題点が多いが, 暗赤色土の母材である超塩基性岩(主に蛇紋岩)や石灰岩や熱水変質岩石から生成した土壌は, 特異な性質を持ち, 土壌生成的に興味深い土壌である。そこで, それ

ぞれの母材ごとに土壌の生成や理化学性の特徴, 分類上の問題点等を説明する。

蛇紋岩由来の土壌

蛇紋岩は超塩基性岩のかんらん岩が地下深部で水分の作用を受けて変質してできる岩石で直接マグマが冷えて固まってできた岩石ではないが, 便宜上, 火成岩の仲間とされている(鈴木, 2005; 倉敷市立自然史博物館ホームページ1)。蛇紋岩から生成した土壌は鉄・ニッケル・コバルトなどの親鉄元素に富み, 窒素, リン酸, カリウムなどの養分に乏しく, Ca/Mg比が低く, 粘土含量が低くCECも小さい傾向にある(Brook, R. R., 1987; Nakao *et al.*, 2011; 前島ら, 2015; 森田, 1987)。蛇紋岩地帯には特異な植生が見出されることが知られている。例えば, 少数種や希少種が存在したり, 生態型分化がみられたり, 隔離分布していたり, 好酸性植物と好塩基性植物が共存していたりと, さまざまなケースがみられる。わが国においても, 北海道夕張岳やアポイ山, 岩手県早池峰山, 尾瀬の至仏山など, 蛇紋岩の山地についてはその特異な植生が分布する(Brook, R. R., 1987)。

わが国では蛇紋岩から生成した土壌という点, 暗赤色を思い浮かべる人が多いと思うが, 蛇紋岩から暗赤色を呈さない土壌も生成する(Nakata and Kojima, 1987; Nakao *et al.*, 2011; 前島ら, 2014)。その点は後で述べるが, ここでは蛇紋岩由来の暗赤色の原因を究明した研究を紹介する。森田(1987)は愛知県東三河地方で採取した蛇紋岩由来の暗赤色土と周辺に分布する赤色土を対象に両者の相違を検討した。粒径分画を行ったところ, 蛇紋岩土壌の粘土画分は赤色土に比べると明度がやや低いものの赤色であり, 微砂画分(0.044-0.250mm)に黒色粒子が存在することを見出した。粘土画分の明度が低い理由については, 蛇紋岩土壌のマンガン(Mn)含量が高いことが関係しているのではないかと仮説を立て, 赤色土から分画した粘土(5YR6/8)にMnCl₂を添加し, 暗赤色(5YR3/4)になることを確認した。また, 黒色粒子については, 元素分析とX線回析の結果から, 磁鉄鉱とクローム鉄系鉱物の混合物であると推定した。以上より, 森田(1987)は蛇紋岩土壌が暗赤色を呈するのはMnによって暗色味を帯びていることに加え, 黒色の磁鉄鉱とクローム鉄系鉱物を含むためと結論した。

蛇紋岩由来の暗赤色土は赤色土の分布域に出現する

ことが多く、赤色土と同様に赤色風化によって生成したと考えられている(土じょう部, 1976)。蛇紋岩から生成した土壌は特異な性質を示し、そこには特殊な植生が成立する。このため、蛇紋岩を母材とする土壌は暗赤色土に分類される、されなにかかわらず、植物生態学上の注目を集める。Nakata and Kojima (1987)は、北海道天塩地方において蛇紋岩地帯には湿性鉄型ポドゾル(土じょう部, 1976)が分布し、植生がアカエゾマツ林であるのに対し、周辺の蛇紋岩以外の地質では褐色森林土が分布し、植生は落葉広葉樹林であることを報告している。彼らの報告によれば、蛇紋岩地帯の湿性鉄型ポドゾルは交換性Mgに富み塩基飽和度が高く微酸性を呈するのに対し、周囲の褐色森林土は塩基飽和度が低く強酸性であった。湿性鉄型ポドゾルのB層の土色は、明度/彩度が4/3~4/4と暗色味を帯びていたが、色相は7.5YR~10YRと赤色ではなかった。蛇紋岩を母材とする土壌が暗赤色を呈さないことは、Nakao *et al.* (2011)や前島ら(2014)も報告している。Nakao *et al.* (2011)は兵庫県北部の山地から水田にかけて分布する蛇紋岩由来の4土壌を調査し、すべての土壌がCa/Mg比が低い特徴をもつものの、3土壌はペド2次案の暗赤色土に分類されなかったと報告している。前島ら(2014)も千葉県南部の蛇紋岩土壌がCa/Mg比が低い暗赤色ではないことを報告している。このように、蛇紋岩土壌は必ずしも暗赤色を示すわけではないが、重金属を多く含み、Ca/Mg比が低く、養分に乏しいなど作物や樹木の生育に影響する特殊な性質を有している。このことから、蛇紋岩土壌はCa/Mg比が低いなどの理化学性で分類の方が農業や林業にとって有用であり、生物地球化学的にも良いように思われる。

石灰岩由来の土壌

石灰岩由来の暗赤色土は沖縄県および鹿児島県奄美地方に広く分布し、沖縄県では県土の26.6%が石灰岩土壌(島尻マーヅ)であり、耕地に限ると実に40.9%が石灰岩土壌である。この土壌は交換性Caに富み、塩基飽和度が高く、pHが微酸性から微アルカリ性で、酸性土壌が多いわが国の中では目立った存在である(渡嘉敷・亀谷, 2007)。また、物理的な面でも粘土含量が非常に高く重粘質であり、B層はち密で強度に構造が発達して透水性が高く(沖縄県農業試験場編, 1979)、基盤であるサンゴ石灰岩も透水性が高いため

に土壌は乾燥しやすい特徴がある。

沖縄県や奄美地方に発達する隆起年代の異なるサンゴ礁段丘を対象に、石灰岩由来の土壌の生成に関して詳細な調査研究が行われてきた。その結果、陸化した年代の新しい低位の段丘から古い高位の段丘になるにつれて、脱石灰が進行してpHや塩基飽和度が低下することが明らかになった。これに伴って土壌タイプは、レンジナ様土、テラフスカ様土、テラロッサ様土、赤黄色土と進化していき、赤黄色土になるためには12.5万年以上が必要であると考えられている(前島・永塚, 2011)。なお、ここでの土壌タイプ(レンジナ様土、テラフスカ様土、テラロッサ様土、赤黄色土)はNagatsuka *et al.* (1983)がサンゴ礁段丘上の土壌の生成と分類の研究において提案し、日本の統一的土壌分類体系(第一次案)(ペドロジスト懇談会土壌分類・命名委員会, 1986)において採用されている。

なお、石灰岩上の土壌を作る材料が何に由来するかしばしば議論となってきた。井上ら(1993)は土壌中に含まれる微細石英の $\delta^{18}\text{O}$ 値から、氷期に陸化した東シナ海大陸棚堆積物起源の風性塵が母材になったと推定している。ただし、サンゴ礁段丘はサンゴ礁地形を留めており、かつてのリーフエッジ(岩礁)では土層が薄く、ラグーン(礁湖)部分では土層が厚いことから、サンゴ礁内に堆積したものが土壌母材になっている可能性も考えられる(Nagatsuka *et al.*, 1983)。南西諸島近海には揚子江からもたらされた堆積物によって大陸棚が形成されており、それらがサンゴ礁内に運ばれた可能性もある。このように石灰岩上の土壌母材が何に由来するかまだ十分に解明されていない。石灰岩が直接の母材になっていないにも関わらず、石灰岩上に発達した土壌は交換性Caに富み、塩基飽和度が高く、pHが微酸性から微アルカリ性になる。降雨が多く酸性の土壌が一般的なわが国の中で、石灰岩土壌は特異な存在といえる。この土壌は粘土含量が非常に高いことも特筆すべき特徴である(松坂ら, 1971)。

以上、石灰岩土壌は特有の性質を示すことから、他の土壌と区別する必要がある。ただし、土色は暗赤色でないことが多い。沖縄県で行われた土壌調査(松坂ら, 1971; 山田ら, 1973; 阿部・福士, 1973)の褐色土(農耕地3次案の暗赤色土に相当)18断面を対象に、農耕地3次案の暗赤色の基準を満たすかどうか確認したところ、満たしていたのは1断面のみであった。農耕地3次案、ペド2次案および包括分類では石灰岩を母材とし塩基飽和度が50%以上であれば土色

に関係なく暗赤色土としており(表2)、土色の実態を反映したものと見える。林野土壌分類では暗赤色土大群に分類されるためには、暗赤色であることが必要条件になっており、石灰岩土壌の多くは暗赤色土に分類されないと思われる。このように、石灰岩土壌の大半が暗赤色でないにも係らず、暗赤色土の名称を用いることが混乱を招く要因となっており、名称を変更すべきであろう。

石灰岩土壌が暗赤色になる原因も蛇紋岩土壌と同様にMnが関係していると推察される。MnO₂は高pH下では酸化還元電位が多少低下しても還元されにくい、pHが低下するとわずかな酸化還元電位の変化で還元されるようになる(岩田ら, 1980)。石灰岩土壌の生成初期にはpHが高いのでMn²⁺の溶出は起きにくい、脱石灰が進行してpHが低下すると酸化還元電位の変化にともない、Mn²⁺の溶出と沈殿が起こるようになる。石灰岩土壌はこの反応が起こりやすいpH領域にあり、Mn²⁺の溶出と沈殿の繰り返しによって、土壌粒子の表面にMnが沈着するため暗色になると考えられる。

火山系暗赤色土

火山系暗赤色土は日本各地の火山地帯に局所的に分布することが知られる。土壌断面の形態や理化学性は赤色土に類似するが、地形に対する分布傾向は赤色土のように一定の法則性を示さない(農林省林業試験場, 1968)。土色は赤色土よりやや暗色であるが紫色味を帯びるなど異様な色彩をもつ土壌である。この土壌は熱水変質作用を受けた岩石を母材にした土壌である。熱水変質作用とは、地下数100~数1000mに存在する熱水によって岩石が変質して、粘土鉱物や硫化鉄が生成するなど岩石が軟化や変色したり化学成分が変化したりする現象で火山活動が活発な地域にみられる(歌田, 1992; 倉敷市立自然史博物館ホームページ2)。

蛇紋岩や石灰岩の暗赤色土は交換性塩基含量が高く弱酸性であるのに対して、この土壌は強酸性である点で異なる(山家・八木, 1985)。山家(1988)によれば、理化学的性質は赤色土に類似するが遊離鉄の結晶化指数は赤色土よりも低いと報告されている。

佐賀県には「おんじゃく」と呼ばれる玄武岩や類縁岩石から生成し、赤色、赤紫色、紫色、灰色、白灰色等の変化に富む土色を示す土壌が分布する(吉田・角, 2007)。「おんじゃく」は柔らかい岩という意味であり

(川崎, 1981)、物理性が悪く、養分も少なく、リン酸欠乏が目立つなど、特殊土壌として知られている。川崎(1981)によれば、「おんじゃく」は噴出した玄武岩溶岩や玄武岩溶岩に接した土壌や岩石を母材としており、それら母材が風化しやすかったため柔らかな「おんじゃく」になったと考えられている。井上ら(2006)は「おんじゃく」を土色や理化学的性質は異なるが、成因から火山系暗赤色土の一つであると推定した。さらに、井上ら(2006)は熱水変質を受けた土壌にヘマタイトが共通して存在することを見出している。また、火山系暗赤色土の類別には、三土(1985)が指摘するように、風乾細土無処理試料のXRD分析によるヘマタイトの検出が有効である。

火山系暗赤色土は、火山国であるわが国特有の土壌であり、その成因や性質に関しては興味深い、塩基に乏しく強酸性の性質を示すことから、塩基に富む他の暗赤色土と同じグループに分類すべきではない。この土壌を土壌分類体系上でどう位置づけるかは今後の課題であるが、農林業における土地利用の面では、理化学性が類似する赤黄色土の中に位置づけた方が良いのではないかと思う。

その他暗赤色土

小笠原諸島には、溶岩や凝灰岩等の火山噴出物に海成堆積物を含む母材から生成した赤色、黄褐色、暗色、帯暗赤褐色といった様々な土色の土壌が分布することが報告されている(森田, 1981, 1982; 宇津川, 1993, 2007)。土壌化学性もpH6.3~7.9と中性付近の土壌とpH4.3~5.5と酸性が強い土壌があり、土壌によってはCECが大きいなど変化に富んでいる(宇津川, 2007)。土色からは火山系暗赤色土のようであるが、pHの高い土壌も存在し、土壌生成的に興味深い。そのほか、暗赤色を呈する土壌として安山岩母材の土壌も知られている(農林省林業試験場, 1978)。安山岩以外に玄武岩からも暗赤色の土壌が生成するが、これら土壌の塩基飽和度は一般にあまり高くないとされてきた(農林省林業試験場, 1978)が、前島ら(2014)によって玄武岩由来の高塩基性の暗赤色を呈する土壌の存在が確認された。

暗赤色土の新たな位置づけ

以上、暗赤色土に分類される蛇紋岩土壌、石灰岩土

壤、熱水風化土壤、その他暗赤色土と母材ごとにその特徴と問題を考えてきた。

蛇紋岩土壤は交換性 Mg を多く含み、親鉄元素を含み、そこに成立する植生も特異であり、ここでは特有の生物地球化学的プロセスが存在する。農業や林業で利用する際にも蛇紋岩土壤は他の母材の土壤として区別する必要がある。従来分類では赤黄色土と同じような環境の下で生成した土壤のみが分類の対象であった。そこで、この土壤については新たな位置づけが必要である。Nakao *et al.* (2011) は、1) 次表層のいずれかの層位で交換性 Ca/Mg 比が 0.10 未満、もしくは /かつ、2) 土壤断面全体を通じて交換性 Ca/Mg 比が 0.1 未満という基準を加えることを提案している。蛇紋岩土壤の区分では交換性 Ca/Mg 比を用いることが良いであろう。

次に石灰岩母材土壤であるが、石灰岩自体は不純物が少ないため、そこに生成する土壤材料は他の地質(風性塵や周囲からの流入等)に由来すると考えるのが妥当である。ただし、石灰岩上に生成する土壤は交換性 Ca に富み、一般の土壤よりも pH が高い傾向にある。特に鹿児島県奄美地方や沖縄県ではサンゴ石灰岩台地が広く分布し、サトウキビの生産の重要な土壤となっている。石灰岩土壤については、従来の農耕地 3 次案のように土色に関係なく、化学性(塩基飽和度 $\geq 50\%$)で分類するのが適当であろう。

現在、日本ペドロロジー学会では先に提案したペド 2 次案の見直し作業が進められ、学会のホームページ上で改訂案が公表され、この案に対する意見が募集されている(日本ペドロロジー学会 HP)。この改訂案では 2 次案の暗赤色土大群は富塩基土大群と名称が変更された。大群の定義に関しても超塩基性岩、石灰岩という母材の条件を外し、 $\text{pH} \geq 5.5$ ないし塩基飽和度 $\geq 50\%$ の土壤とし、マグネシウム型富塩基土群とカルシウム型富塩基土群を設けている。この分類が現状では最も良いと思う。

火山系暗赤色土に関しては、赤色土と生成過程が異なるが、これまでの研究(山家・八木, 1985; 山家, 1988)では理化学性が赤色土と類似しているので、実用的には赤黄色土に含めるのが適当と思われる。ただし、陸上における風化過程が進行して生成した赤黄色土とは土壤生成過程が大きく異なる。国際的土壤分類との整合性の問題は残るが、土地利用や環境評価などの点からも赤黄色土に含めるのが妥当と思われる。その他暗赤色土については、生成過程について不明な点

も多い。今後研究が進んだ段階で、交換性塩基含量が高い土壤は富塩基土と見直すことになるであろう。

暗赤色土に限らず、わが国の土壤分類は土色を基準としている場合が多いが、基準としているマンセル土色帳は人の目に頼るので個人差が生じやすく、観察時の光環境、土壤の水分状態も判定に影響する。この点からも土色による分類は、順次見直していく必要がある。特に、暗赤色土の場合、土壤の生成過程や理化学性が異なる土壤を一括りにしており、土色を分類基準に用いるのは適当ではないといえる。

謝 辞

本稿は日本ペドロロジー学会 2016 年度大会で企画されたワンポイントセミナー「赤黄色土と暗赤色土を分類してみよう」において発表した内容をまとめたものである。前島勇治氏には暗赤色土の分類や研究についての資料提供やご助言をいただきました。この場をお借りしてお礼申し上げます。

引用文献

- 阿部和雄・福士定雄 1973. 沖縄離島の農耕地の土壤調査と分類, 農技研報 B, 24: 367-430.
- 秋山雅彦 2008. 最終氷期とその気候変動について, 地球科学, 62: 5-15.
- 荒木 茂 1986. 赤黄色土の岩質, 風化度評価. ペドロジスト, 30: 41-54.
- Brook, R. R. 1987. Serpentine and its vegetation. p.454, Dioscorides Press, Portland, Oregon.
- 土じょう部 1976. 林野土壤の分類(1975) 林試研報, 280: 1-28.
- 土壤環境分析法編集委員会 編: 1997, 土壤環境分析法 博友社, 東京 427p.
- e-Stat ホームページ(政府統計の総合窓口), 社会生活統計指標, 都道府県の指標, 2013 社会生活統計指標 http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/GL08020103.do?_toGL08020103_&tclassID=000001046052&cycleCode=0&requestSender=search (最終アクセス日: 2016 年 10 月 2 日)
- 井上 弦・遠部 慎・長岡信治・西山賢一 2006. 島原半島南西部における火山系暗赤色土の性状. ペドロジスト, 50: 60-67.
- 井上克弘・佐竹英樹・若松善彦・溝田智俊・日下部実

1993. 南西諸島における赤黄色土壌群母材の広域風成塵起源 - 土壌, 基岩および海底堆積物中の石英, 雲母, 方解石の酸素および炭素同位体比. 第四紀研究, 32: 139-155.
- 伊丹勝彦 1999. 地盤工学からの要望へのコメント. ペドロジスト, 43: 127-129.
- IUSS Working Group WRB 2014. World Reference Base for Soil Resources 2014. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. World Soil Resources Reports No.106. FAO, Rome.
- 岩田進午・三輪睿太郎・井上隆弘・陽 捷行訳 1980. 土壌の化学 (G. H. Bolt, M. G. M. Bruggenwert 編著), p.309 学会出版センター.
- 菅野一郎 1961. 日本の主要土壌型の生成・分類学的研究. II. 赤黄色土. 九州農試彙, 7: 187-306.
- 菅野一郎 1964. 日本の赤黄色土の性状と生成・分類学的考察. ペドロジスト, 8: 33-37.
- 川崎 弘 1981. 佐賀県北部上場台地の土壌とおんじゃく. 九州農業試験場報告, 22: 321-341.
- 久保哲茂・小島敏郎・井上輝一郎・岩川雄幸・松坂泰明・岩佐 安・永塚鎮男・矢沢文雄 1966. 土地分類基本調査: 高知 5 万分の 1. 土じょう各論. p.60 経済企画庁.
- 倉敷市立自然史博物館ホームページ 1: <http://www2.city.kurashiki.okayama.jp/musnat/geology/rock/igneousrock/serpentinite.html> (最終アクセス日: 2016 年 10 月 2 日)
- 倉敷市立自然史博物館ホームページ 2: <http://www2.city.kurashiki.okayama.jp/musnat/geology/tisitugensho/nessuihensitu/nessuihensitu.html> (最終アクセス日: 2016 年 10 月 2 日)
- 黒鳥 忠・小島敏郎 1969. 沖縄の森林土壌概説. 日林誌, 51: 227-230.
- 黒鳥 忠・大政正隆 1963. 赤色土壌の研究 II 九州地方の赤色土とこれにともなう黒色土について. 林野土壌調査報告, 13: 1-88.
- 前島勇治・永塚鎮男 2011. 南西諸島に分布する石灰岩上の土壌の年齢. 地球環境, 16: 169-177.
- 前島勇治・大倉利明・楠本良延・高田裕介 2014. 南房総嶺岡山系における蛇紋岩および玄武岩に由来する土壌の生成・分類学的考察. ペドロジスト, 58: 2-16.
- 松井 健 1974. 赤色土に関する覚え書. 森林立地, 16: 5-10.
- 松井 健・加藤芳朗 1962. 日本の赤色土壌の生成時期・生成環境にかんする二, 三の考察. 第四紀研究, 2: 161-179.
- 松坂泰明・音羽道三・山田 裕・浜崎忠雄 1971. 沖縄本島・久米島の土壌の分類について. 農技研報, B 22: 305-404.
- 三土正則 1985. 土壌の風化の程度と質に関する分類学的指標. 土肥誌, 56: 181-188.
- 森田佳行 1981. 小笠原諸島の暗赤色を呈する森林土壌について (I). 日林誌, 63: 1-7.
- 森田佳行 1982. 小笠原諸島の暗赤色を呈する森林土壌について (II): 粘土鉱物および遊離酸化物. 日林誌, 64: 93-100.
- 森田佳行 1987. 蛇紋岩由来の暗赤色土の暗赤色の原因. ペドロジスト, 31: 14-25.
- 永塚鎮男 1965. 静岡県三ヶ日町周辺の蛇紋岩上の土壌生成 (第 1 報): 鉱物組成と化学的性質. 土肥誌, 36: 235-239.
- Nagatsuka, S., Kaneko, S. and Ishihara, A. 1983. Soil genesis on the raised coral reef terraces of Ishigaki and Okinawa-islands in the Ryukyu islands, Japan. I. Relations among Soils and Geomorphic Plains and Chronosequential Change of Soil Chemical Properties. Soil Sci. Plant Nutri., 29: 343-354.
- Nakao, A., Watanabe, T., Honda, T., Hseu, Z. Y. and Funakawa, S. 2011. The calcium-magnesium ratio of serpentinitic soils in various topographic locations in Sekinomiya, Japan; a potential criterion for the classification of the Dark-red Magnesian soils. ペドロジスト, 55: 30-42.
- Nakata M. and Kojima S 1987. Effects of serpentine substrate on vegetation and soil development with special reference to *Picea glehnii* forest in Teshio district, Hokkaido, Japan. For. Ecol Manage., 20: 265-290.
- 日本の森林土壌編集委員会編 1983. 日本の森林土壌. p.680 日本林業技術協会, 東京.
- 日本ペドロロジー学会第四次土壌分類・命名委員会 2003. 日本の統一的土壌分類体系 - 第二次案 -. p.90 博友社, 東京.
- 日本ペドロロジー学会ホームページ <http://pedology.jp/soilclassification.html> (最終アクセス日: 2016 年 10 月 2 日)
- 農耕地土壌分類委員会 1995. 農耕地土壌分類 第 3 次

- 改訂版. 農業環境技術研究所資料第17号 農林水産省農業環境技術研究所.
- 農林省林業試験場 1968. 林野土壤層断面図集2: 断面24 暗赤色土壤その1, pp.66-67.
- 農林省林業試験場 1978. 林野土壤層断面図集3: 断面12 安山岩を母材とする非塩基系暗赤色土(偏乾亜型), p.28-29.
- 小原 洋・大倉利明・高田裕介・神山和則・前島勇治・浜崎忠雄 2011. 包括的土壤分類第1次試案, 農環研報, 29: 1-73.
- 大政正隆・黒鳥 忠・木立正嗣 1955. 赤色土壤の研究I. 新潟県に分布する赤色土壤. 日林誌, 37: 140-142.
- 大政正隆・黒鳥 忠・木立正嗣 1957. 新潟県に分布する赤色の森林土壤の分布, 形態的性質および生成について, 林野土壤調査報告, 8: 1-23.
- 沖縄県農業試験場編 1979. 地力保全基本調査総合成績書, 47 (沖縄県).
- ペドロジスト懇談会土壤分類・命名委員会 1986. 日本の統一的土壤分類体系(第1次案), ペドロジスト, 30: 123-139.
- Soil Survey Staff 1999. Soil Taxonomy. A basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys 2nd Edition. Agric. Handbook 436. Washington, DC, Natural Resources Conservation Service, USDA.
- Soil Survey Staff 2010. Key to soil taxonomy 11th Edition. Washington, DC, Natural Resources Conservation Service, USDA.
- 鈴木淑夫 2005. 岩石学辞典. 朝倉書店 p.721, 東京.
- 竹原秀雄 1961. 西表島第二次農業調査報告書, p.156, 農林省.
- 竹原秀雄 1964. 西南諸島の亜熱帯性森林土壤(I): 石灰質母材に由来する土壤について. 日本林學會誌, 46: 384-388.
- 渡嘉敷義浩・亀谷 茂 2007. 沖縄・小笠原の土壤, 日本ペドロロジー学会編“土壤を愛し, 土壤を守る”, p.305-308, 博友社, 東京.
- 歌田 実 1992. 熱水変質作用. 土と基礎, 40: 67-68.
- 宇津川徹 1993. 小笠原諸島(父島・母島)の地形と土壤, 一段丘地形と土壤生成-. ペドロジスト, 37: 72-86.
- 宇津川徹 2007. 小笠原諸島(父島・母島)の土壤, 日本ペドロロジー学会編“土壤を愛し, 土壤を守る”, p.326-334, 博友社, 東京.
- 山田 裕・本村 悟・松坂泰明・加藤好武 1973. 石垣島, 宮古島および与那国島の農耕地の土壤調査と分類. 農技研報, B 24: 265-365.
- 山家富美子 1988. わが国の山地に見られる火山系暗赤色土の諸性質. 北海道土別, 静岡県天城・熱海, 岐阜県小坂および兵庫県香住の例. 林試研報, 351: 81-97.
- 山家富美子・八木久義 1985. 火山系暗赤色土の生成ならびに分類に関する研究(第1報) - 天城および熱海地域の火山系暗赤色土の理化学的および鉱物学的性質 -. 林試研報, 333: 25-36.
- 吉田 滯・角 博 2007. 九州北西部の玄武岩台地の土壤と“おんじゃく”, 日本ペドロロジー学会編“土壤を愛し, 土壤を守る”, p.288-292, 博友社, 東京.