

第5章 赤土の化学的性質

5.1 はじめに

前章では、赤土汚染の防止・管理対策に役立てるために、赤土濁水の懸濁状態をデジタル画像により判定する手法の開発について論述した。この測定装置及び手法開発では、主に、赤土濁水の物理的性質に着目している。赤土流出に起因する環境汚染問題では、流出赤土の防止対策を推進し、管理・監視体制の強化を図っていくことは言うまでもなく重要なことである。しかし裸地等の赤土発生源の軽減対策や赤土流出の防止対策は十分とは言えず、今なお、流出赤土による河川や海域汚染は深刻な現状にある。しかも長年流出した赤土が、既に、河川の河床や沿岸海域にヘドロ化して厚く堆積している実態がある。河川増水時や強風・高波時などには、沈降堆積しているヘドロ化した赤土微粒子が、再び、水中で浮遊・拡散し、河川や海が赤褐色に変色する現象が発生する。大量流出した赤土は河川・海域の生態系に壊滅的な打撃を与え、甚大な環境破壊をもたらしているとの指摘が多い。

そこで、河川・海域への流出赤土の量的問題に加え、大量流出する赤土の土性評価に関する質的問題の究明が重要な課題となる。特に、水性生態系を支配する水域や海域の水質特性に及ぼす影響を把握する観点から、赤土の化学的性質の解明は重要である。しかし、赤土の化学的性質の解明に関する化学組成レベルからのアプローチはほとんどなされていない。ここでは、沖縄本島と西表島での赤土(国頭マージや島尻マージなど)を対象に、水素イオン濃度や電気伝導率等の基本的性質に加え、溶出化学成分や含有酸化物成分などの微量化学分析を実施して、元素組成レベルから赤土の化学的性質に関する特徴などについて考察している。

5.2 赤土採取地点

沖縄本島北部と中部地域および西表島で採取した赤土を対象としている。図5-1に示すように、本島北部地域では太平洋沿岸側を通る海岸道路沿いなどに点在する赤土の露頭箇所を利用して、平成15年8月に8箇所赤土の堆積土を採取している。この地域では、海岸沿いから迫り上がる断崖、森林域、農耕地が発達している。特に海岸沿いの断崖地層には赤土の剥き出しになった露頭面が数多く観察できる。図5-2に示す本島中部地域では、現在稼働している12基の赤土流出防止用の貯留型沈砂池に堆積している底質土で、平成14年8月と平成15年1月の2度採取を実施している。各沈砂池の周辺流域から流入し沈降堆積している表層部の赤土である。本島両地域は、国頭層群と国頭礫層に由来する国頭マージの赤土が広く堆積分布し、一部

に島尻マージが観察される地域である。

沖縄本島の南西約 450 km の距離に位置する西表島では、図 5-3 に示すように、平成 15 年 3 月と平成 15 年 8 月に 22 箇所赤土を採取している。海岸沿いを通る島唯一の車道沿いで、掘削切土面や崖露頭面等を利用して赤土の堆積土を採取している。西表島では海岸沿いから急峻な山岳地形が発達し、ほとんど島全域が鬱蒼と繁茂する亜熱帯原生林で覆われており、内陸部での採取は難しい。しかし西表島の地層は、島全域がほとんど八重山層群を起源とする国頭マージで覆われており、海岸沿いの露頭面等で採取した堆積赤土もほとんどが国頭マージである。

5. 3 赤土の水素イオン濃度 (pH) と電気伝導率 (EC)

図 5-4, 5, 6 は、沖縄本島と西表島での赤土の水素イオン濃度 (pH) と電気伝導率 (EC) を示している。沈砂池で平成 14 年 8 月に採取した赤土では、pH 値が 4.8~7.5、平成 15 年 1 月に採取した赤土では pH 値が 5.8~8.0 の値を呈し、いずれも強酸性~弱アルカリ性を示している。赤土の一般的な土性としては、国頭マージは強酸性、島尻マージは弱酸性~弱アルカリ性であることから、本島中部の各沈砂池に沈降堆積している赤土は、流出地域の土壌的性質が現れている土いえる。また本島北部では pH が 4.4~8.9 範囲、西表島の場合には pH が 4.4~9.0 範囲の値を呈し、やはり本島中部地域と同様に、両地域の赤土には、国頭マージまたは島尻マージの土壌的性質が現れている。

赤土の EC 値についてみると、本島と西表島の赤土では、地点間でかなり大きな差異が認められる。また平成 14 年と 15 年での本島中部地域と平成 15 年の春期と夏期での西表島では、同一採取場所であっても、測定値がかなり異なっている場合が見られる。本島中部地域の 01 高松原、02 前山原、08 柚山 2 号、10 ウッタ川、12 山田川、北部地域の①赤崎 1 と③我地、西表島の⑬浦内では EC 値が 400 $\mu\text{S}/\text{cm}$ を超える高い値を示している。EC 値は土の溶出化学成分量の指標となることから、EC 値の高い赤土は、化学成分の溶出能力も高い土であると推察される。このことを示したのが図 5-7 である。この図は電気伝導率 (EC) と陰・陽イオンの溶出成分量との関係を求めたものである。陰・陽イオンの溶出成分量の単位は mg/g で、水溶性成分試験により求めた乾燥質量 1 g 当りの溶出イオン成分量 (mg/g) の総和である。この図より、EC 値と陰・陽イオン溶出成分量との間にはかなり良好な正の相関関係が存在していることが分かる。このことから、EC は溶出成分量の指標とみなすことができる。

5. 4 赤土の主要溶出化学成分

ここでは、電気伝導率と相関性の高い陰・陽イオンの溶出成分量について記述している。対象とした陰イオンは、塩素イオン (Cl^-)、硝酸イオン (NO_3^-)、亜硝酸イオン (NO_2^-)、硫酸イオン (SO_4^{2-}) および重炭酸イオン (HCO_3^-) であり、陽イオンはカルシウム (Ca^{2+})、カリウムイオン (K^+)、ナトリウムイオン (Na^+)、アンモニウムイオン (NH_4^+)、およびマグネシウムイオン (Mg^{2+}) である。図 5-8~11 には本島中部地域の沈砂池、図 5-12 には本島北部地域、図 5-13~15 には西表島での赤土の試験結果を示している。陰・陽イオンの溶出成分量は、乾燥質量 1 g 当りの溶出成分量 (mg) として表示している。高い EC 値を示す赤土は、いずれも陰・陽イオンの溶出量が高く、図 5-7 で述べたように、陰・陽イオン溶出成分量は EC 値との間に正の相関関係が存在している。

図 5-8~15 において各イオンの溶出性に着目すると、陽イオンの場合にはカルシウム (Ca^{2+}) とナトリウムイオン (Na^+) の溶出量が他のイオンに比較して高いといえる。赤土の主要な陽イオンの溶出性としては、概ね $\text{Ca}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{K}^+$ の傾向にある。また一部にアンモニウムイオン (NH_4^+) が検出された地域もあるが、この生成は落葉落枝が腐食分解する無機化作用や土中微生物等の遺体・排泄物などの作用に起因しているものと推測される。陰イオンの場合には、土や岩石の化学的風化作用に関連する硫酸イオン (SO_4^{2-}) や重炭酸イオン (HCO_3^-) の溶出が高いものが見られる。また硝酸イオン (NO_3^-) や亜硝酸イオン (NO_2^-) が検出される赤土も確認される。この硝酸系のイオンは前述したアンモニウムイオン (NH_4^+) が土中での酸化過程で変容して生成されたものと考えられる。塩素イオン (Cl^-) の溶出が高い試料については、海に囲まれた堆積環境にあることから、土粒子に付着・吸着している海塩粒子飛沫の溶脱効果が大きいものと推測される。これはナトリウムイオン (Na^+) にも同様のことが言える。以上に挙げた赤土から溶出する主要化学成分は、各土壌により溶出傾向は異なっていることが分かる。しかしながら乾燥質量 1 g 当たりの溶出量をみた場合、次節で記述する含有量に比較して極めて微量であるといえる。

5. 5 赤土の含有酸化物組成

ここでは、前節で記述した溶出化学成分との関連を考察するために赤土の含有酸化物組成について分析を試みている。本島中部地域と北部地域の沈砂池および西表島での赤土の分析結果を図 5-16~18 に示している。各図での左図は赤土の含有酸化物成分を質量百分率で表している。右図は左図中の微量酸化物に含まれている酸化物を再表示している。この微量酸化物中に

は、主要溶出化学成分の起源となる酸化カルシウム (CaO)、酸化ナトリウム (Na₂O)、酸化マグネシウム (MgO) およびその他として 1%未満の数種類の酸化物が含まれている。各図において左図の含有酸化物量に着目すると、ほぼ 9 割が難溶解性の酸化物であるケイ酸 (SiO₂)、酸化アルミ (Al₂O₃)、酸化鉄 (Fe₂O₃) で構成されていることが分かる。これは赤土の化学的風化が進行していることを示しているといえる。一方、溶出性が高い酸化カリウム (K₂O) と各酸化物 (CaO, Na₂O, MgO) の含有量は、難溶解性の酸化物量が約 9 割を占めていることから少量となっている。しかし図 5-18 (b) に示す西表島での赤土 (6 放牧場) の場合には、上述の傾向とは多少異なっている。この赤土は難溶解性の SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃ が 7 割未満で、CaO を約 3 割含有している。これは、堆積している一帯の土壌が石灰岩を起源とする島尻マージ土壌であるためと考えられる。

次に含有量に対する溶出量の割合を求め、主要な元素(イオン)成分の溶出性について考察を試みた。元素成分の溶出性の傾向を図 5-19~21 に示している。これは各元素の含有量に対する溶出量の割合で表示しており、乾燥質量 1 g 当りに含まれる元素量と溶出量をもとに試算している。この図から、赤土の含有元素の溶出性には、Na > Ca > Mg > K という傾向のあることが分かる。各地域の多くの赤土では、Na は 0.01~0.1 範囲、Ca は 0.001~0.2 範囲にあり、両元素は溶出成分の中でも溶出性の高いことが分かる。しかし、Mg と K については 0.0001~0.002 範囲にあることから、溶出量は含有量のごく一部となっている。一方、本島北部地域では溶出性に富んだ赤土も認められる。これらの赤土の電気伝導率をみると、①赤崎 1 で 4400 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 、③我地で 2400 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 、⑦車で 240 $\mu\text{S}/\text{cm}$ と非常に高い電気伝導率を示している。これらの地点での赤土では、塩素イオンの多量の溶出が認められる。ナトリウムイオンと同様に、塩素イオンは海水中に多量に含まれている成分である。赤土の採取地域が太平洋側に面している地域であったことを踏まえると、強風などにより海面から大気中に放出された海塩粒子飛沫が土壌中に混入しやすい地域に堆積分布している赤土と考えられる。

赤土の含有酸化物成分の溶出性に関しては、気候や水環境などの条件が異なると土粒子の界面化学的性質に変容が生じ、溶出成分やその量に変化し難溶性であるケイ酸、酸化アルミニウム、酸化マグネシウムなどの成分が溶出しやすくなる可能性も考えられる。そのため地域の気候や土中水・地下水の化学的性質などの特性を踏まえて、土の溶出性について考察することも要求される。

5. 6 まとめ

沖縄本島中部と北部および西表島での赤土について、pH、電気伝導率 (EC)、主要溶存化学成分、含有酸化物組成などの化学的性質について論述した。多くの赤土は pH 値が 7 以下の値を呈する酸性土壌で、国頭マージ土壌であった。一部には pH 値が 4 台を呈するものも確認された。また含有酸化物量の約 9 割がケイ酸 (SiO_2)、酸化アルミ (Al_2O_3)、酸化鉄 (Fe_2O_3) で占められ、Ca や Mg などの比較的溶出性の高い酸化物の含有量が低い赤土である。溶出が容易な酸化物は土壌生成過程において生成されたものと考えられ、化学的風化が進行したためと思われる。そのため酸に対する中和能力は低く、もともと酸性土壌であることも相まって外的要因によって酸性化が進行しやすい性質を有していると思われる。酸性化が進行した場合には Al^{3+} などの金属イオンなどが土壌から溶出し、動植物等に有害な影響を与える可能性も考えられる。