

14 章 世界の土壌

14.1 土壌とは

土壌は大気圏と地圏の界面に位置し、岩石由来の無機鉱物と生物活動由来の有機物からなっている。一次的には地中深くで生成した無機鉱物、また生物活動の産物である有機物とともに、常温・常圧かつ酸化的大気組成のもとでは熱力学的に不安定であり、これら土壌の構成成分は岩石や生物から供給される一方、風化や酸化分解を通して土壌から失われてゆく。このように常に動的な状態にある土壌も、ある一定の気候環境、水分環境、あるいは地質条件の下では、相対的に卓越する生成過程の影響を強く受けた特徴ある断面を形成する。

14.2 代表的な土壌生成因子・生成作用

以下に代表的な土壌生成因子を挙げる。多くの場合、これらの因子は複合的に土壌生成作用として発現する。

- I. 母材：土壌鉱質成分の母材は岩石であり、造岩鉱物は多様である（石英、長石、雲母など）。先述したように一次鉱物は本来的に不安定であり、地表では風化を受ける。風化の過程では、不安定な鉱物（易風化鉱物、例えば輝石、角閃石など）からより安定な二次鉱物（カオリナイト、水酸化アルミニウムなど）が生成されるとともに、風化抵抗性の高い鉱物（例えば石英など）が残存する。そこから生成する土壌の特性を強く規定する母材因子として、泥炭土などの母材となる有機物質、活性な鉄・アルミニウムに富んだ火山放出物などが挙げられる。
- II. 気候：なかでも温度と降水量が重要である。高温と湿潤という条件は、有機物の生産・分解とともに活発にさせ、純化学反応あるいは生物を介した反応に起因する無機物の形態変化を促進する。また洗脱型の気候条件（降水量 > 蒸発散量）は、風化反応における反応生成物のうち溶存成分の除去を通して、反応を促進する。
- III. 地形：気候条件と共に、土壌中における正味の水の移動の向きあるいは土壌水分状況を規定する。
- IV. 生物：土壌中の有機質成分の起源であるとともに、多くの風化剤に直接あるいは間接に関与している。例として、光合成による酸素（酸化剤）の合成、酸として風化に重要な炭酸ガス、有機酸、硝酸などの生成、金属可動化に重要な還元剤（有機物）の生成、酸化還元反応の触媒機能などが挙げられる。
- V. 人為：農耕を目的とした灌漑、無機肥料あるいは有機物の施用等を通して、自然土壌の性質を改変している。

また水は、土壌の風化生成において本質的な役割を担う。すなわち、ほとんどの風化反応において水は反応物質あるいは生成物質として関与するとともに、風化過程に関わる様々な溶存物質（炭酸、有機酸など）を含んでいる。また土壌が水で飽和されると気体の拡散が抑制され、土壌還元が生ずることがある。さらに水は、溶存物質の移動を通して、ある地点あるいは土壌層位からの物質の除去や、逆にある地点での物質の富化をもたらす。

代表的な土壌生成作用としては以下のものが挙げられる。

- I. 鉱物風化：風化には土壌生成に先立つ岩石圏における反応も含まれるが、岩石と土壌の反応は純粋に分けられるものではなく、土壌生成過程の一つとして論じられるべきであろう。

本質的には、熱力学的安定化に向かう鉱物群の変化であり、前述した各種の生成因子の働きによって土壌鉱物は風化する。母材に起因する一次鉱物群組成によってその過程は異なるが、一般的傾向として、風化は、脱塩基・脱ケイ酸、陽イオン交換能ないしは表面荷電の低下、細粒質化などを伴う。

- II. 土壌の粘土化：粘土とは粒径 $2\mu\text{m}$ 以下の画分である。鉱物風化に伴い、一次鉱物の完全溶解/再沈殿あるいは部分的構造改変を通して二次鉱物が生成するが、これは通常細粒質画分に富んでいる。母材・気候の直接的影響および生物因子の影響を受ける。
- III. 土壌酸性化：一般に降水量が蒸発散量を上回るような湿潤な地域では、雨水中に溶解・解離した重炭酸、土壌表層における有機物分解に伴う有機酸、硝酸などの酸負荷により、土壌は酸性化する。また植物根による陽イオンの過剰吸収や酸性降下物など人為的な要因によっても土壌は酸性化する。酸性化の過程で土壌は、炭酸カルシウム、交換性陽イオン、鉱物構成陽イオンなど、これらの成分による酸中和能を順次失ってゆく。このように酸性化には、一次鉱物組成を規定する母材因子、湿潤であるという気候因子、酸性物質の起源となる生物因子、洗脱条件を保證する地形因子、酸性降下物をもたらす人為など、多くの生成因子が関与する。また鉱物風化は、化学反応の形式の上からは、多くの場合酸性化（塩基の損失）を随伴する。
- IV. ポドゾル化：典型的には亜寒帯の冷涼な環境下で、砂質な母材上において、土壌表面のリター層から放出された有機酸が鉄やアルミニウムを溶出し、これらが安定なキレート化合物として下層に移動・集積する。灰白化した洗脱層と、暗赤色の集積層の分化をもたらす。主として母材・気候・地形因子によって規定される。
- V. グライ化：湛水あるいは水飽和による嫌氣的条件下で、鉄の還元による脱色作用が起こる。アンモニア態窒素の生成、硫酸還元、鉄・マンガンへの還元など、このような条件下で進行する反応の多くは、これらの物質を基質とした微生物による嫌氣的呼吸に起因する。水の移動を制限する地形要因が重要である。
- VI. 土壌塩性化：潜在的に蒸発散量が降水量を上回るような地域で、低地であるため地下水位が高いような場合、あるいは灌漑農業によって人為的に地下水位が上昇させられたような場合、土壌水の毛管上昇によって運ばれた可溶性塩類が土壌表層近くに集積する。また灌漑水中の塩類が、排水不良などのため土壌中に集積する場合もある。気候、地形、人為による影響が大きい。
- VII. 粘土の移動集積：粘土粒子の分散性の高まりに伴い、表層から下層への粘土の機械的移動が起こる。粘土集積層の存在は、その土壌断面における水の移動、植物根の貫入など、土壌の物理性に強く影響する。

14.3 土壌分類

実在する土壌は、上記の生成作用のいくつかを同時に受け、かつ空間的には連続して変異しながら生成する。ここに土壌分類の難しさがあるが、一般的には下記の二つの考え方を両極として、国際分類や地域の分類体系がある。

- I. 成帯性概念を中心とした旧ソ連邦の土壌分類：広域的に見れば、土壌は気候・植生の変化に伴って遷移する。例えばユーラシア大陸ならば、北方のタイガ林の下にポドゾル、北緯 50 度近辺のステップに黒土（チェルノーゼム）、その南方により乾燥した砂漠土壌が分布する、

という具合である。この対応関係が、各々の生態環境に特有の土壌生成過程に強く負っていると考え、土壌も原則的にこの成帯性概念に基づいて分類する。

II. 土壌断面の性質に基づいた米国分類：相対的に重要だと考えられる土壌の特性（異なった生成因子に由来する）に基づいて、土壌分類を行う。例えば、泥炭物質より成る Histosols, 粘土集積層を持つ Ultisols, という具合である。

I の旧ソ連邦分類では、個々の土壌の境界が曖昧である、分類に調査者の主観が入り込みやすい、あるいは母材や微地形の影響が強く出る土壌の分類に不向きである、といった難点があり、今日では主流とは言い難い。しかしながら、例えば土壌有機物収支などといったグローバルな土壌生態系の機能を強調する場面では、今後とも有効な分類体系になる可能性がある。一方 II の米国分類では、原則として従来の生成概念を強調した分類基準を排し、測定可能な土壌特性（特徴土層、識別特徴）に基づいて、一定の順序の配列した基準を用いて土壌を分類する（キーアウト方式）ために、その分類体系は土壌毎に排他的であり、分類に際して誰でも同じ土壌名に辿り着く。ただ用語が独特なこと、ある程度精通しないと分類基準の意義がわかりにくいことなど、困難さもある。今日 FAO/Unesco による土壌分類など多くの分類体系で、米国分類によって提案された特徴土層・識別特徴の概念やキーアウト方式が採用されている。

14.4 世界の土壌

以下米国土壌分類—Soil Taxonomy (1999)—に従って、世界各地に存在する土壌をキーアウト順に概観する。

- I. Gelisols. 土壌の表層近くに永久凍土層が出てくるような、シベリアやカナダ北部など主として寒帯に分布する土壌。凍結・融解の繰り返しが重要な生成作用となり、永久凍土層によって土壌水の下方浸透は制限される。
- II. Histosols. 有機物を主要構成物とする泥炭土壌であり、排水不良の条件下で植物遺体が分解を抑えられ堆積して生成した土壌である。カナダ、西シベリアなどに分布する温帯以北の泥炭が主として草本起源の泥炭であるのに対して、熱帯アジアの沿岸地帯に分布する泥炭のほとんどは木質泥炭である。泥炭土壌の分布面積は限られるものの、世界の土壌中に存在する有機物の相当量が泥炭土壌に蓄積されていると見られることから、今後地球温暖化などの進行に伴いその動態把握が重要課題となってくるであろう。
- III. Spodosols. 表層粗腐植層起源の有機酸などによって表層土壌より洗脱された鉄・アルミニウムが、有機金属複合体として次表層に集積した土壌。未耕地であれば、上部に灰白化した洗脱層を伴う。カナダ東部、スカンジナビアなどに広く分布し、多くは亜寒帯の冷涼・湿潤な気候下で、砂質な母材上に生成する。一般に酸性が強く肥沃度の低い、農耕を行うには困難が伴う土壌である。
- IV. Andisols. 非晶質・準晶質鉱物、あるいは有機金属複合体に富む土壌で、火山性の母材上に生成する。多くは環太平洋火山帯に沿って分布する。農業利用に際しては、従来はその高いリン酸固定能より、リンの肥効の低い点が否定的に強調されてきた。しかしながら易風化性鉱物に富んでおり、潜在的な養分供給力は高いと見られる。湿潤地域における農業生産ポテンシャルについては、例えば人口扶養力の高い日本・ジャワ島などの例を見れば、他土壌に対する火山性土壌の優位は明らかである。また保水性、透水性等土壌の物理性に関しては、きわめて優れた土壌といえる。

- V. Oxisols. 一般に風化が進むと、土壌はカオリン鉱物や三二酸化物に富んだ、養分保持能、養分供給能に乏しいものとなる。Oxisols はそのような活性の低い鉱物組成を持った土壌であり、南米大陸、アフリカ大陸の熱帯域に広く分布する。ただし若い土壌が広く分布するアジア熱帯域ではその分布は限られる。農業生産においては、低投入条件下ではその低い肥沃度が問題とされるが、物理性などはむしろ良好である場合も多い。
- VI. Vertisols. 膨潤性粘土鉱物に富んだ粘土質な土壌であり、特に乾燥時に収縮し顕著なクラックを形成する特徴がある。この土壌は、湿潤期には高い粘着性を示す一方、乾燥期にはきわめて固くなるといった、物理性の面で扱いにくい性質を持った土壌である。しかしながら養分供給能に代表される化学性は良好であり、例えばインドでは黒綿土と呼ばれる高い生産性を誇る土壌でもある。インド中部、オーストラリア、東アフリカなどに広く分布する。
- VII. Aridisols. 植物生育に必要な水分が確保できないような、乾燥した土壌。南北アメリカ大陸、アフリカ、ユーラシア中緯度地帯に広く分布する。本土壌ではしばしば灌漑農業が展開されるが、これが二次的な塩性化などを招き、土地が不毛化している例が多く見られる。
- VIII. Ultisols. 粘土集積層を持ち、かつ塩基飽和度が低い酸性土壌。温暖・湿潤かつ季節的には水が不足するような地域、例えば北米南東部、南米・アフリカ大陸の Oxisols 周辺地域、熱帯アジアなどに広く分布する。Oxisols に比べ粘土の活性が高く保肥力などに富む反面、酸性改良などの局面では困難な性質を示すことがある。
- IX. Mollisols. 黒色の、塩基類に富んだ表層土を持つステップ下の土壌である。北米大陸中西部、南米大陸の一部、およびユーラシア大陸北緯 50 度近辺に広く分布する。肥沃で生産性の高い、食糧生産の面から重要な土壌であると同時に、近年では炭酸ガス吸収/放出源としての環境的観点からも重視されるようになってきた。
- X. Alfisols. 粘土集積層を持ち、かつ塩基飽和度が高い土壌。北米大陸、ユーラシアでは Mollisols に隣接してより湿潤な地域に現れ、オーストラリア沿岸部、アフリカ大陸では Oxisols 周辺地域に広く分布する。前者が陽イオン交換容量、塩基含量ともに高い肥沃な土壌であるのに対し、後者の多くは陽イオン交換容量が小さい Oxisols 近縁土壌である。
- XI. Inceptisols. 一定程度の風化を受け変質した層位を持つ土壌。他の土壌にキープアウトされないながらも幅広い特性を持つ土壌を含む。
- XII. Entisols. ここまでにキープアウトされなかった土壌で、一般には土壌生成作用の働いた形跡の少ない未熟土壌が多い。

参考図書

久馬一剛（編）：最新土壌学，朝倉書店，1997.

Soil Survey Staff: Soil Taxonomy, Second Edition. U.S. Government Printing Office, Washington, 1999.

(舟川 晋也)