土の物質循環と食糧生産機能

国立研究開発法人森林研究・整備機構 森林総合研究所　藤井　一至

【略歴】
2009 年 3 月　京都大学大学院農学研究科博士課程修了　博士（農学）
2009 年 4 月～2011 年 3 月　京都大学地球環境学堂　博士研究員
2011 年 4 月～2012 年 12 月　日本学術振興会　特別研究員 PD
2013 年 1 月～2015 年 9 月　森林総合研究所　研究員
2015 年 10 月～現在　国立研究開発法人森林研究・整備機構森林総合研究所　主任研究員

1） 土とは何か？

土壌の「土」は植物を支える培地を表す形象文字であり、壌の右側は「たがやす」という意味を持つ。土壌とは自然の土と農耕地の土を合わせた総称である。岩石が風化して生成した砂、シルト、粘土（<2 μm）に、動植物遺体を微生物が分解・変質してできた腐植（土壌有機物）の加わった混合物を指す。砂（白色）、粘土（白色、黄色～赤色）、腐植（褐色から黒色）の混合比率によって土壌の色、性質、生産力は異なる。

土壌は気候、地質、地形、時間、生物（植物や人間活動）によって異なる。とくに粘土の生成には水が欠かせず、反応速度は温度とともに上昇する。このため、湿潤温暖な日本では、多くの土は粘土に富む。一方、乾燥地や寒冷地では岩石の風化が進まず、粘土の少ない土が多い。また、新たな土壌の材料がなければ、風化によって栄養分の乏しい土壌となる。日本では火山灰が供給され、百年に 1 センチ程度の土壌ができる。一方、新たな岩石供給のない地質の古いアフリカ中央平原では千年に 1 センチ程度の土壌しか生成されない。

2） 微生物と物質循環

ミミズが土を食べ、糞をすることで団粒構造が生まれる。団粒表面にはキノコやカビの菌糸、団粒内には細菌、さらに奥にはウイルス、というようにすみわけている。コーヒースプーン二杯（10 グラム）に 100 億個もの細菌、15 キロメートルものカビ・キノコの菌糸が所狭しとひしめき合っている。しばしば腸内細菌と比較されるが、土のカビ・キノコ、好気性細菌の存在、多様性の高さが大きな違いである。キノコはリグニン、カビ・キノコはセルロース、タンパク質の可溶化を促進する細胞外酵素の生産を得意とし、溶出した低分子糖類、有機酸、アミノ酸をカビ・キノコ、細菌が無機化することで生態系の物質循環が維持されている。

土の中には食物連鎖が存在し、カビをセンチュウが食べ、センチュウをトビムシが食べ、トビムシをムカデが食べる。それは一方向のエネルギーや栄養分の移動現象ではなく、トビムシやムカデのフンや遺体は、今度はカビのすみかやエサとなる。センチュウやダニがカビを食べた後に排泄物される窒素やリンは、植物の栄養源となる。土壌中の生物群集の、決してゴミを出さない生活スタイルには持続的な土の利用法のヒントがある。

3） 世界の土、日本の土

世界の土壌は、米国農務省の土壌分類（Soil Taxonomy）では 12 種類に分類される（図１）。東ヨーロッパ、中国東北部、北米プレーリー、南米パンパの穀倉地帯には肥沃な「土の皇帝」チェルノーゼム（黒土）が分布する。黄土高原のルビソル（粘土集積土壌）、デカン高原（インド）のひび割れ粘土質土壌（バーティソル）は肥沃であり、陸地面積 11%で世界人口の 8 割 60 億人分の食糧を生産している。東南アジアなどの熱帯地域では土壌が酸性になり、表層の粘土が下層に集積した赤黄色土が分布する。さらに地

質の古い南米・アフリカ大陸には、強度の風化によって鉄・アルミニウム酸化物が残留・集積したフェラルソル（ラトソル）が分布する。いずれも腐植が乏しく、酸性であるために肥沃度は低い。日本の山地の褐色森林土、台地の黒ボク土、平野部の低地土壌の未熟土（沖積土）はいずれも腐植や粘土を豊富に含むが、湿潤な地域では土壌が酸性になりやすいために、肥沃度は中程度の評価になる。北欧、北米の湿地帯に多い泥炭土、乾燥の厳しい砂漠地帯の砂漠土で農業をするためにはそれぞれ排水、灌漑が必要となる。乾燥した極域に広がる永久凍土では寒冷な気候の制約によって、農業が困難である。

4） 食糧生産と地球の定員

統計上、世界人口の一人あたりの年間穀物消費量は 300 キログラムである。一方、耕地 1 ヘクタールあたりの穀物収穫量は世界平均で 3000 キログラムになる。単純計算すると一人あたり 0.1 ヘクタールの耕地があれば食料を自給自足できる。現在、世界には約 15 億ヘクタールの耕地があるため、150 億人分の食糧を生産できる。江戸時代の水準（一石＝150 キログラム）であれば地球の収容人数は 300 億人になる。しかし、一人あたりの耕地面積は、国によって 0.00（バーレンなど砂漠地帯）～1.90 ヘクタール（カナダ）と大きく異なる。また、1 年間の穀物収穫量は世界平均 3 トンに対して、日本の水田は 5 トンだが、アフリカのトウジンビエ畑では 1 トンに満たない事例もある。気候とともに肥沃な土の偏在が飢餓や貧困の原因の一つとなっている。自然肥沃度の違いは堆肥や化学肥料によって栄養分を補充することで一時的には改善できるが、貧困地域では化学肥料を購入する経済力がなく、自然資源も乏しい。土壌を持続的に利用する仕組みの確立は急務である。

5） 土の未来

食糧生産を左右する気候、日光、土壌の中で土だけは人間の手が届く。連続耕作をすればやがて土壌は劣化し、収穫量の低下として顕在化する。連作障害として知られる雑草や病虫害の増加、土壌有機物の減耗、植物による養分吸収と収穫物の持ち去りが主な原因である。科学は土から納豆菌を取り出して道具のように使うことはできても、1 グラムの土に含まれる 10 億個もの細菌を個々に制御することは不可能に近い。環境中の微生物の 99%は単離培養できない。一方で、無数の個体が、相互に、あるいは外部環境から影響を受けながら各々の役割を全うし、一体の生物であるかのように機能している集合体を超個体といい、一個体の仕事からは想像もできないものが生みだされることを、ビジネスの流行語では創発という。土にある微生物群集のもつ超多様性をもった超個体が生みだす創発をいかに模倣できるのか。土に学ぶことはまだ多くあると考えている。

【参考文献】

藤井一至（2015）大地の五億年　せめぎあう土と生きものたち　山と渓谷社
藤井一至（2018）土　地球最後のナゾ　100 億人を養う土を求めて　光文社新書

図1
世界の土壌地図