



『土と生命の46億年史』

～土と進化の謎に迫る

藤井 一至 著

講談社（ブルーバックス）

2024/12 272p 1,320 円（税込）

1. すべては粘土から始まる
2. 生命誕生と粘土
3. 土を耕した植物の進化
4. 土の進化と動物たちの上陸
5. 土が人類を進化させた
6. 文明の栄枯盛衰を決める土
7. 土を作ることはできるのか

【イントロダクション】

人工知能を筆頭に、現代の科学技術は加速度的に進歩・発展を続けている。だがいくら技術を注ぎ込んでも、未だに人の手で作れないものがあるという。その一つが土だ。当たり前のように存在する土を、なぜ作れないのか。そもそも土はどのように出来ているのか。そして、土と生命にはどんな関係があるのか。本書では、地球 46 億年の壮大な歴史を辿りながら、土の誕生、土が生命の誕生や進化のきっかけとなったこと、人類の繁栄と土の劣化、人為的に土に近い土壌を作る「人工土壌」の挑戦など、多様な内容を語っている。土を再現不可能にしているのが生物由来の「腐植」であり、腐植に欠かせないのが微生物だ。土と、土中の膨大な数の微生物とが相互作用するシステムが、「土の本質」だという。著者は土の研究者。福島国際研究教育機構 土壌ホメオスタシス研究ユニット ユニットリーダー。カナダ極北の永久凍土からインドネシアの熱帯雨林までスコップ片手に世界、日本の各地を飛び回っている。『土 地球最後のナゾ』（光文社新書）で第 7 回河合隼雄学芸賞、本書『土と生命の 46 億年史』で第 41 回講談社科学出版賞を受賞。

●岩石から土が出来る時に加わった「腐植」

土とは「岩石が崩壊して生成した砂や粘土と生物遺体に由来する腐植の混合物」である。特に重要なのは腐植が生物（動植物や微生物）に由来することである。つまり、地球上に生命が誕生する 40 億年前まで、もっと言うと、陸上に植物が上陸する 5 億年前まで地球に腐植はなかったことになる。

岩石が土へと風化する様子を観察する岩石風化の再現実験では、岩石を砕いた粉末をメッシュバッグに詰めたもの（ミネラル・バッグ）を土壌に埋設し、浦島太郎のように数十年後、微粒子の変化を調べる。岩石の風化よりも、人間の老化のほうが圧倒的に早く、研究者一代では完結しないことが多い。

私が所属する研究所の倉庫のミカン箱には、研究所の先輩が埋設した鉱物サンプルとその場所を記した地図が残されていた。（＊それをたどり）岩石粉末を埋設した奄美大島では 30 ～ 40 年越しのミネラル・バッグの発見・回収に成功した。

岩石の粉末は、40 年の時を経て、「土のようなもの」に姿を変えていた。風化実験では最初の岩石粉末と元素組成を比較することで、40 年間の変化が分かる。増加していたのは炭素と窒素という有機物を構成する元素だ。岩石粉末には当初なかったはずの腐

植が加わっていた。

腐植の材料である動植物の遺体の大部分は微生物によって分解されるが、一部の成分は残存する。微生物の食べ残しは手付かずではなく、動植物の遺体よりも複雑な化学構造へと変化する。腐植の多くは数十年から数百年で分解するが、古い腐植には数千年から数万年ものあいだ残るものもある。

岩石粉末を土に変えた腐植こそ、人類が容易に土を作れない原因物質である。腐植の中で化学構造を特定できている名のある物質は、たった数パーセントの数十万種類。その他大部分は構造も特定できず、名前も決まっていない。

腐植の究極のルーツは、文字通り根と葉だ。落ち葉はミミズやヤスデによって細分化され、カブトムシの幼虫のエサとなるような腐葉土となる。そして落ち葉の原形をとどめない腐植へと変化する。

土のレシピは複雑だが、落ち葉の分解は2段階の反応に分けられる。まずは、主に菌類が細胞の外に酵素を放出し、落ち葉を水に溶かす。溶けだした溶存有機物を微生物が吸収し、分解するか菌体にする。多くの細菌、古細菌、菌類が分業し、それぞれが得意な酵素を出し合い、好みの部分を分解する。有機物の分解プロセスは、酵素という楽器で奏でるオーケストラだ。これがシャーレの上で培養した1種類の微生物では土が作れない理由でもある。

●テラフォーミングに欠かせない「宇宙飛行微生物」

人類ほど積極的に土を改変しようとした生物はいない。肥沃な土に支えられてきた人類の高い繁殖力は、肥沃な土地を奪い合う戦争や飢餓という最悪の形で土の問題を顕在化させ、人類の悩みを深めている。土はおそらく地質学的時間スケールで再生する。しかし、人間はそれを待てない。つまり、土の問題とは土そのものではなく、人類の問題にほかならない。現状、人類にとって土は「非」再生可能資源だからだ。

土を作れないことの問題を最も深刻に受け止めているのは NASA だ。地球にかつて土がなかったように、生命のない惑星に土はない。火星や月で長期的に暮らすテラフォーミング（惑星地球化計画）を実現するためには、土が欠かせない。しかし、地球から持っていくには土は重すぎる。

（＊火星に存在するような）砂だけでは土の機能を果たせない。植物がよく育つ土を作るためには粘土と腐植も必要だ。風化によって粘土を作るには酸性物質が必要となるが、塩酸や硫酸を地球から持っていくのは非現実的だ。5億年かけて土が生成したように、植物根や微生物が放出する炭酸や有機酸に頼るしかない。腐植を作るのにも微生物の力が欠かせない。

地球外に新たな微生物が発見されていないことから、宇宙飛行士だけでなく、土を作るための「宇宙飛行微生物」を選抜する必要がある。候補の一つは、最も研究の進んでいる腸内細菌だ。

大雑把に捉えると、土と腸の生態系は似ている。土では、ミミズやダンゴムシが落ち葉を粉砕する。ヒトの場合、口の中で食べ物をかみ砕く。それを微生物が受けとる。根の表面からは糖分や有機酸がしみだし、共生微生物が住みつく。腸内細菌も腸内で居場所とエサをもらう。

しかし、腸内細菌と田んぼの土とが似ているのは、見かけの構成メンバーだけだ。腸内では細菌の8割が活動的だが、栄養の乏しい土の中では微生物の8割は出番が来るまで休眠している。腸内細菌の一つである大腸菌を試験管で培養すると世代交代は8時間で起こるが、土の微生物は世代交代に数ヵ月～半年もかかる。

また、土壌は地球上で最も微生物の多様性が高い生態系であり、大さじ1杯の中の土壌細菌の種数は同じ量の糞便中の腸内細菌の10倍にもなる。大さじ1杯の土の中ではキノコやカビ、1万種類もの細菌が住み分ける。「超」多様性と世代交代の遅さこそ、土の微生物を腸内細菌のように簡単に変えられない理由だ。

微生物はただ土に住み着くだけでなく、環境をどんどん改変していく。まずは微生物

の出す多糖類、糖タンパク質や死菌体（細菌の細胞壁や菌類の菌糸の断片）が接着剤となり、微細な団粒を形成する。通気性の良い酸化的な団粒構造の表面にはキノコやカビの菌糸が張り巡らされ、嫌氣的な団粒構造の内部には細菌や古細菌、そしてウイルスが潜む。

微生物によって接着物質が分解されると団粒構造は崩壊するが、ミミズや微生物の働きで団粒が再構築される。破壊と創造を繰り返しながら土は新陳代謝し、多様な微生物のゆりかごを提供し続ける。土壌動物や微生物の多い土を指して「土は生きている」と例えることがあるが、「土は生きている」という言葉の本当の意味は、生物と土との相互作用にこそある。

無数の微生物が環境と相互作用しながら個々の役割を全うし、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う。超個体が土を作り、自らも変化し続けるシステムには、自律性と持続性がある。これが「土＝砂＋粘土＋腐植」よりも大切な土の本質であり、土に近い培地としての人工土壌に求めたい機能である。

●火山灰や墓石の粉末を埋設して人工土壌を作る

最小限の資源で、鉱物と微生物の混合物が物質を循環し、土を再生する仕組みを作りたい。私が着目したのは、火山灰と墓石のゴミだ。桜島の火山灰は一年間に厚さ1.6センチメートルも降り積もることがあり、鹿児島市内の灰ステーションで火山灰を回収しているほどだ。また、墓石はもともとデコボコの岩石だった。（＊墓石を加工する）石材店に電話をすると、タダ同然で岩石粉末を提供してくれた。

岩石粉末をストックに詰めて天然林に埋設すると、微生物が徐々に移住してくる。（＊冒頭で紹介した奄美大島の）ぬか床作戦は優秀だった。出来上がった人工土壌を荒れ地に接種し、そこを拠点に他の劣化土壌まで改善することを狙う。糞便移植と同じく、居場所ごと導入することで定着率を高めるアイデアだ。

石材店などからそろえた岩石粉末、火山灰をそれぞれ天然林の土に埋設して微生物の遺伝子を調べると、数年もすると素材によって異なる微生物群集が定着することが分かった。特に表面に孔隙の多い桜島火山灰には、1年目でも多くの微生物が定着した。微生物どうしの生存競争や協力関係、鉱物との相互作用によって土壌へと変貌していく。

人工土壌の微生物群集は必ずしも1万種類は必要ない。天然林の土壌より多様性は低くても、自律性と持続性を備え、物質循環を駆動できる最小限のセットが定着できればいい。

人類から土への要求は多い。石炭採掘跡地の土壌改良、火星・月面農業、温室効果ガスの削減、病原菌の抑制などなど。すべての要求は一度に満たせないが、目的に合わせて土壌の酸性度や団粒構造、微生物群集をカスタマイズしていく。社会の要請からすると気の長い実験を続けているが、伝えたいのは、土を作ることは難しいという実感と、やり方次第では不可能でなさそうという希望である。

※「＊」がついた注および補足はダイジェスト作成者によるもの

コメント：タイトルに「46億年」とあるように、本書の説明は地球誕生から始まっている。初めに土の要素の一つである粘土に触れるのだが、「粘土が電気を帯びて生命の材料である物質が集まった」「粘土上で光合成のできるシアノバクテリアの先祖が生まれた」など、生命の起源に重要な役割を演じた歴史が明かされ、驚嘆する。通常、人間が「命」を感じられるのはせいぜい昆虫や植物くらいまでではないか。しかし、粘土のような鉱物、そしてダイジェストにあるような微生物の仕組みを知ると、そんなイメージは生命のごく一部なのだと思わされる。