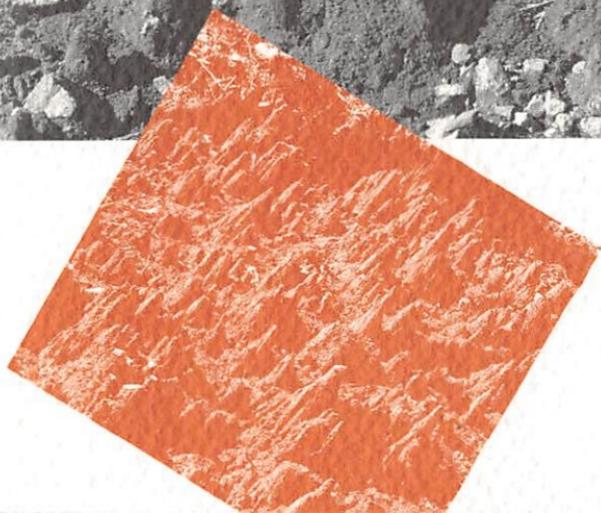


土 の 100 不思議

社団法人
日本
林業技術
協会



土 の 100 不思議

社団法人
日本
林業技術
協会



はじめに

二年前に『森林の一〇〇不思議』を皆さんのお手元にお届けしましたが、幸いにして大変好評をいただきましたので、「次の一〇〇不思議を……」との読者の声の多いのに励まされ、今回は「土」をテーマに取り上げることになりました。

この本をつくるに当たっては、前にも編集委員としてご苦労いただいた大角泰夫氏と、陽捷行氏、石塚和裕氏を中心にして、あまたある話題の中から一〇〇題を選び、読者の皆さんにわかりやすく表現するのにお骨折りました。

話題は、日ごろあまり土のことに関心がない方々にも理解していただくために、できるだけ基本的なものを取り上げるように努め、また土に関する話題でとりわけ先進的なものも取り上げることとしました。そのために、執筆は実際に研究を進めておられる国立森林総合研究所や農業環境技術研究所を中心とした、若手の研究者の方々にお願ひし、提出された原稿は研究現場の個性を生かし、研究者の生の声が皆さんに直接届くように、できるだけ手直しせずに掲載しました。

土というのは、水や空気と同じように身近にありすぎて、ありがたみがなかなかわからない存

在といえるでしょう。土は植物を育て、水を蓄えたりきれいにする働きがあるし、また汚れた物を分解するなど、いろいろな働きを持っています。上手に、土のご機嫌を損ねないようにしてやれば、土は私たち人間の大変すばらしい友だちになるものです。しかし、ひとたび人間が取り扱いを誤ったり、無理な注文をすれば、土砂崩れや洪水、また植物の生育が悪くなったり、川の水が枯れるなどいろいろな反乱が起こります。最近話題になっている酸性雨や砂漠の拡大などの地球上のあちこちに起こっている問題にも、土がからんでいます。

土には地球の環境とのかかわりから、私たちの生活に密着した働き、土を豊かにしている生き物、植物とのかかわりや土の中で起こっていることなど、さまざまな側面があります。このようなことを知っていただくために、この本では土だけにこだわらず、土を取り巻くさまざまな事象にまで範囲を広げて話題を選びました。

私たちの生活を豊かにするために、皆さんに土の大切さを理解していただき、大事に扱っていただきたいという願いを込めてつくったこの本がきっかけで、土に親しみを持っていただければ幸いです。

土の二〇〇不思議

目次

I 地球と土壤

1	地下から空への大河	10
2	土の崩壊は文明の崩壊	12
3	洪水は天の恵み	14
4	土こそ生命の源	16
5	カミナリサマの贈り物	18
6	砂漠からの訪問者—黄砂	20
7	暖流の恵みは魚だけではないのです	22
8	空中鬼のいたずら—酸性雨	24
9	不安定な熱帯の土壤	26
10	大気と密接な関係を持つ土	28
11	砂漠の防衛戦	30
12	百年河清を待つ	32
13	地下の巨大ダム	34
14	水の化石	36
15	縄文人がつくった黒い土	38
16	花粉が語る森林の歴史	40
17	隠れた災害の生き証人	42
18	もぐる遺跡	44
19	掘ればわかる！昔の海岸線	46
20	土が凍ると……大地が隆起します	48

II 暮らしと土

1	女性の味方—泥粘土	52
2	土で染める	54
3	紙を助ける粘土	56
4	土は焼き物の主役	58
5	おいしい水のできるまで	60

III 土の横顔

51	火山灰の国—日本	114
50	春を呼ぶ土の嵐	112
49	霜柱の立つ土	110
48	雨降って地固まる	108
47	土の集団移動	106
46	砂上の楼閣	104
45	川がつくった! 段々畑	102
44	東京は北海道と同じくらい寒かった	100
43	土の年齢を測る	98
42	黒い岩から赤い土	96
41	岩石と土の違い	94
40	土のあだ名	90
39	だれでもはじめは芸術家	88
38	雨の彫刻	86
37	土でない土—ロックウール	84
36	盆栽に適した鹿沼土	82
35	家庭菜園の土づくり	80
34	土の健康診断	78
33	公害に強い植物	76
32	食べられる土	74
31	土でリサイクル	72
30	天然のクーラント	70
29	中腹は暖かく谷底は霜	68
28	人工芝は炎熱地獄	66
27	快適な横穴住居	64
26	粘土を飲んで胃腸を治そう	62

IV 土の中の生き物

52	土の中の金属	116
53	あまのじやくな火山灰の粘土鉱物	118
54	多士済済、土の横顔	120
55	白い土をつくる黒い水	122
56	手のひら一杯の土に入る東京ドーム	124
57	土の中の椅子取りゲーム	126
58	ひょう変する海底の土	128
59	ならぬカンニンもある！地下水汚染	130
60	電氣を通す土	132
61	きのこで土を知る	136
62	一宿一飯に報いる微生物	138
63	三億七〇〇万年來の仲よし	140
64	荒野の助っ人マメの木	142
65	イオウを好むカビ	144
66	抗生物質のふるさと	146
67	土にも勤続疲労？	148
68	病氣のものを抑えます	150
69	やみの中の植物のささやき	152
70	土の中の宅急便	154
71	たき火厳禁—マツ林	156
72	冬虫夏草のなぞ	158
73	呼吸する土	160
74	虫と土との深い仲	162
75	八年ごとの集団デート	164
76	ミミズのたわごと	166
77	落ち葉のハンバーグ弁当	168

V 植物と土

- 7 8 土の中は水抜きパイプがいつぱい 170
 「土に帰る」は流転の始まり 172
 7 9 地下の大繁華街 174
 8 0
 8 1 植物を見れば土がわかる 178
 8 2 森から土が生まれる 180
 8 3 土の中の銀行 182
 8 4 落ち葉は森林の命綱 184
 8 5 植物と土の水争い 186
 8 6 はげ始めると止まらない 188
 8 7 土を変える植物 190
 8 8 もっと広がる？あこがれの湿原 192
 8 9 森の定期預金 194
 9 0 食べたいものだけいただき！ 196
 9 1 土から見つかった細胞増殖因子 198
 9 2 土にもやせ型・肥満型？ 200
 9 3 花咲じいさんはなぜ灰をまいたか 202
 9 4 アジサイの色は何で変わる 204
 9 5 植物のイタイイタイ病 206
 9 6 マツに良い土、マツが好きな土 208
 9 7 これがなければ土ではない—腐植 210
 9 8 水が漏れないから水田？ 212
 9 9 減反すると土が変わる 214
 1 0 0 土の輸入大国—日本 216

I

地球と土壤

I 地下から空への大河

すべての生き物は水を必要とします。動物は水を求めて移動することができませんが、口から補給しなければなりません。そのため、ある程度まとまった水が必要です。植物は動物と違って移動することはできません。その代わりたくさん根を伸ばして、土の中のわずかずつの水を集めて生活しています。

私たちが生きていくためには、毎日二・二・五リットルの水を必要とします。一方で、大きな樹木が生きていくためには毎日数十リットルを必要とします。水についていえば、私たちよりも植物のほうが浪費家といえるでしょうか。

一リットルの水の蒸発はおよそ五八〇分の熱を奪います。このことを利用して、私たちは、汗をかくことによって高温下における体温の調節を行っています。この汗の量はおよそ〇・六リットル、生きていくために必要な水の三〇％程度です。植物も同じように、葉の気孔からの蒸発によって葉の温度上昇を抑えています。植物が土の中から集めた水の大部分、九五％以上の水は、葉からの蒸散によって大気に戻されてしまいます。しかし、植物のこの水の使い方を浪費といつて非難することはできません。太陽の直射光下でもこの蒸発によって葉の加熱を抑え、光エネルギーを使って、炭酸ガスと水から炭水化物をつくっているのです。この植物の生活がなければ動物たちは存在しません。動物は、植物のように無機物を有機物に変えることができないからで

す。鳥はアオムシを食べますが、アオムシは植物の葉を食べて生活しています。ですから、直接的にも間接的にも、動物は植物の生産した有機物に一〇〇％頼っているのです。

私たちは生きていく水のほかに、炊事、洗濯、風呂、トイレなどの生活用水を必要としています。この量は、自動洗濯機、水洗トイレなどの普及、洗車などによって毎年増え続け、東京では一人一日当たりの水使用量が四五〇リットル以上といわれています。この量を考えると、私たちが水の浪費家であるかわかると思いますが。この豊かな水を支えているのは緑のダム、森林です。

日本の森林の蒸散量は、年間でおよそ四〇〇リットル、年間降水量のおよそ二〇％程度でしょう。この量を浪費と考えてしまっただけではありません。森林とそこにつくられた豊かな土壌が水を蓄え、洪水を防ぎ、雨のないときでもゆっくりと水を供給し続けているのです。また、この蒸散は、気候に対する森林の温度低下の働き、大きな原因ともなっています。都市化に伴う森林の減少は、都市および都市近郊の大気の乾燥化を生み、また高温化を招いています。このことがまた、森林の減少を進めます。近年の関東平野などのスギの衰退もこうした目で考えてみる必要があるでしょう。

水についてみれば、はるかに私たちのほうが浪費家です。森林は生きるためにたくさんのお水を使っていますが、このおかげで、私たちの生活が成り立っています。豊かな水資源に恵まれた私たちは、その豊かさを生む森林と土壌を守ることに、真剣に考えているでしょうか。

(森川 靖)

2 土の崩壊は文明の崩壊

今から約三億五〇〇〇万年前のシルル紀に原始植物や原始動物が陸地に出現し始めました。これが生物を扶養する土壌生成の起源であったと考えられています。

その後、陸地に生息する動植物と相互に依存しながら、土は何万年にもわたって成長し続け、ますます肥えて厚い層を形成していきました。土の生成速度は、岩石の種類、気候、植生、そのほか多くの要因によって異なり、その結果世界の各地でさまざまな土が生成されています。北アメリカの例では、一疋の土がつくられるのになんと一〇〇年から五〇〇年の歳月がかかると推定されています。

原始人類がこの地球上に現れたのはおよそ一〇〇万年も前でした。彼らは、土と動植物の相互依存の自然な過程を覆すことはせず、生きていくために自然環境に自ら順応してきました。

土の生成作用が完全に一変したのは、約六〇〇〇年前の文明人の出現による農耕文化の定着からでした。このときから、人類は持てる知恵と発明した道具とを用いて、土を基盤とした永久的と思われる農業方式を確立したのです。人類はこの土という資源を借用して、世界のいたるところで文明を進歩させてきました。

しかし文明の繁栄が三〇から七〇世代（八〇〇〇から二〇〇〇年）以上にわたって持続したことはありませんでした。ギリシャ人のような輝かしい民族が、なぜ三〇から四〇世代の短期間に没落したのでしょうか。

ギリシヤ人もほかの民族と同様に糊口ここうの道を農業に依存していました。しかし人口の増加と、地力を収奪し土壌浸食を助長する商品作物の需要が加速化したため、あの豊かな土資源の枯渇と生態系の破壊が進みました。ギリシヤの力が強かった時代は、それでも植民地の土を借用してその繁栄を維持できましたが、どこかの国にその植民地を奪われると、ギリシヤ文明は急速に没落の一途をたどることになりました。このことは、文明の進歩の限界は自然からの土資源の収奪の上限であることを示唆しています。

ローマやほかの文明も同じようなパターンをたどりました。また、メソポタミア文明の衰退も塩分蓄積による土の劣化であることが明らかになっています。シュメールの土壌の塩分上昇は人類史上初めての化学汚染といえるかもしれません。一方ミノス文明は土壌浸食によって崩壊したといわれます。レバノンの顛末てんまつもミノスに似ています。シリアの文明は地力消耗と、これまた土壌浸食によって崩壊したといわれています。このように世界の文明の盛衰は、土と深くかかわりあっています。文明が輝かしいものであればあるほど、その文明の存在は短かった場合が多いのです。

人間は、単に食物を食べるだけではありません。我々は大地をも食べているのです。土を酷使した結果、流亡や浸食などの作用によって裸地化した斜面から洗い流される土のひと粒ひと粒が、我々の消費のありさまを示しています。砂漠に変わってしまった森や草地はすべて、我々の代謝作用の総合的な結果にほかならないのです。

(陽 捷行)

3 洪水は天の恵み

「エジプトはナイルの賜たまもの」とは紀元前五世紀のギリシャの歴史家ヘロドトスの残した有名な言葉ですが、大河ナイルの恵みとはいったいどのようなものだったのでしょうか。古代エジプト人の活躍の舞台はナイル河口の広大なデルタとその上流一、二〇〇キロの流域でした。この地域の雨量はデルタでも年間一五〇ミリから二〇〇ミリしかなく、上流域では数ミリにすぎません。こうした乾燥地での人間の生存と農耕を支えたのが、ウイクトリア湖に源を発する全長六七〇〇キロの豊かな大河ナイルでした。しかもナイルは毎年定期的に増水氾濫することで河畔の農民に計り知れない恩恵を与え、六〇〇〇年以上もの長きにわたってエジプトを養ったのです。古代エジプトの諸王朝が繁栄したのも、ピラミッドなどの巨大建造物の築造が可能であったのも、すべてナイルが安定した農業生産を保障し大量の余剰食糧を生み出したからです。ナイルは毎年六月から九月にかけて源流域、特に支流青ナイルの源であるエチオピア高原からの春の大雨と雪解け水を集めて、ゆつくりと膨れ上がります。下流域にあふれた水は河岸の自然堤防を超えて氾濫し、待ちかねた農民によって河畔の畑に引き入れられました。こうして再び水位が下がり地表が水底から顔を出すまでの四か月間、ナイルの谷は毎年褐色の広大な水面の下に没したのです。この褐色の静かな大洪水は毎年欠かさず、ナイル上流域の森林の肥沃な表土や大沼沢地帯でつくられた有機物を、沈泥として両岸の沖積地に残していききました。

記録では、こうした洪水で紀元後の最初の一〇〇〇年に約一・三層の沈泥が堆積したといわれています。一九五一年の例でも、洪水時のナイルの水を通常のように一層の深さまで湛水したと仮定すれば、厚さにして二、三強、重さにしてヘクタール当たり二・六トの沈泥を毎年畑に残す勘定になります。これはヘクタール当たりリン酸六二銑、カリ二七八銑、窒素三二銑に相当し、一八七四年のデータによればさらに多量の養分（リン酸二六〇銑、カリ二六〇銑、窒素一一九銑）が供給されたこととなります。この厚すぎずしかも養分に富んだ沈泥の堆積が六〇〇〇年もの間地力を維持したのです。古代エジプトでは毎年増水量に応じて農民の租税額が決められたほど収穫と洪水は密接な関係にありました。しかしアスワン・ハイ・ダムがつくられた今、沃土の供給は絶たれ、地方回復のため一億ドル相当の化学肥料が必要だといわれます。

一方、ティグリス・ユーフラテス河畔に栄えたメソポタミア文明にとって、洪水はまったく違った意味を持つていました。この両大河は上流のアルメニア丘陵からあまりに多量の泥を運んだため、灌がい水路は埋まり、灌がい水の不足と塩害でやがて文明は疲弊し、泥の底に埋もれてしまったのです。上流域での森林伐採と過放牧が土壤侵食を早め、その原因になったといわれています。彼らにとって洪水がいかにも恐ろしいものであったかは、ノアの洪水伝説にまざまざと描かれています。世界では今、熱帯を中心に急速に森林が失われ、汚染物質により土壤資源の荒廃が確実に進行しています。私たちの現代文明もまた土によって支えられていることをいま一度思い起こしてみる必要があります。私たちが現代文明もまた土によって支えら

（太田誠一）

土こそ生命の源

昔々、太陽から外側に数えて三番目の惑星、原始の地球は大量のエネルギーを抱えた火の玉でした。しかし、このエネルギーをうまく宇宙に放出し、水やガスを地表に引き止めました。やがて生命が生まれ、現在の繁栄をたどることになったのです。生命、これはある日突然ほつりと生まれたわけではありません。原始地球の大気や水、そして鉱物の状態をいろいろ考えて、生命物質の起源と進化を解明する研究があります。この研究のなかに、土が生命の誕生にとっても大切な役割を果たしていたという話があります。

生命は細胞という形で表せます。この生命系にかかわる物質はすべて光学活性な炭素化合物です。光学活性は炭素化合物分子が一定の歪のある構造をとることによって導かれますが、このような歪を持つ化合物を人工的に合成することは容易ではありません。ところが、この歪を持つ炭素化合物をつくる場を土の中の粘土が提供したと考えられています。

粘土二グラム当たりの表面積はなんと数十平方メートルから数百平方メートルにも及びます。粘土は酸素、ケイ素、アルミニウム、鉄などの原子が規則正しく配列した結晶構造を持っています。粘土の結晶は、薄い板を何層も積み重ねたような構造を持ち、その層間、面、破断面には、それぞれ性格の異なる電場が形成されています。この巨大な表面が生命系の光学活性分子の出現に対して、魅力ある場所となったのでしよう。

もう少し詳しく説明してみましよう。生物が生まれる前、原始地球の大気は水素、メタン、アンモニア、水などの混合物でした。原始大気が火花放電を受けるとまず青酸やアルデヒドが生成します。ここまでは粘土の助けを借りることなく反応が進みます。ところが次の反応、つまり、生命体の基本物質であるアミノ酸や核酸あるいはその前駆体が生成するには、どうしてもその反応を触媒するものが必要だったので。その一つが粘土の表面です。実験結果によると、粘土の懸濁液に青酸を加えておくと乳白色の液がしだいに茶褐色になり、最後には暗黒色の炭のようになります。これを調べてみると、アミノ酸を含む生体関連有機物質が大量に生成していました。青酸が粘土を触媒として重合しジマレオニトリルという物質が生成し、さらにグリシン・アラニンといったアミノ酸が合成されたのです。粘土などの触媒なしではこの反応は進みません。さらに、生体遺伝情報の主役である核酸の前駆体もここで生成します。アルデヒドは粘土を触媒とし三単糖、五単糖、六単糖などの生体に重要な糖類になることもわかってきました。

ここまで話が進むと、原始大気で覆われた浅瀬やなぎさで、生命体の前駆物質がうまくつくられていったことが容易に想像できるでしょう。ただ、生命の起源を解くカギとなる分子の歪、すなわち光学活性については今日なお解明されていないことがたくさん残っています。地球誕生後一〇億年、約三六億年前の岩石から核酸が見つかっています。この生命の痕跡から、さらに長い長い歳月を経て細胞が生まれたと考えられています。

(井上隆弘)

5 カミナリサマの贈り物

宇宙の物質を構成するすべての元素は、一八〇億年以上も前に起こったビッグバンという巨大なエネルギーの膨張爆発でつくられたと考えられています。まず水素やヘリウムなどの軽元素が、次いでほかの重い元素が形づくられました。地球の誕生はそれから一二〇億年以上あとで、その地球に生命の原型ができるまでにさらに一〇億年以上の歳月が費やされています。この無機的で広漠とした原始地球では、生命体を形成するための素材であるさまざまな有機化合物を合成する化学進化が着実に進行していました。

原始地球の大気は、メタン、アンモニア、水蒸気を主成分とする還元的大気と、炭酸ガス、窒素ガス、水蒸気から成る酸化的大気が想定されています。化学進化の出発物質であるこれらのガスをただ混合しただけでは何も生成されません。化学反応には何らかのエネルギーが必要で、当時の地球上で利用できたと考えられるエネルギー源には太陽からの光エネルギーと空中放電があげられます。メタン、アンモニアは二〇〇℃以下の紫外線でしか活性化されないの、この波長の少ない太陽光が有効なエネルギー源であったとは考えられません。

一方、空中放電は、高電流・高温という条件ばかりでなく、紫外線や衝撃波も発生するので最適なエネルギー源であったと想像されます。それではこのような反応でどのような物質が合成されたのでしょうか。原始

大気を使つていろいろな放電実験が行われました。その結果は想像以上に驚くべきもので、タンパク質の単位である二〇種のアミノ酸、生命活動の基本である核酸、特にすべての生命反応に関与するアデニンと遺伝情報のコードとなる他の三つの核酸塩基、さらにこのほか有機酸や糖などはもちろんのこと、ヘモグロビンやクロロフィルの骨格構造であるポルフィリンなどがつくられることが確認されたのです。さらにはこれら基本的な化合物の結合体である、ポリペプチド・ポリヌクレオチド・ポリサッカライドという物質までもが合成されています。

これらの生命の基本になる化合物が集まり、何らかの形で自己複製能力が備わることによって、原始的な生命体が出来たものと考えられています。このようにカミナリによる放電現象は、化学進化という一大スベクタクルを生命誕生というクライマックスへ導くシナリオの進行に大きく貢献していたと言えることができます。

カミナリのある年は稲の生育が良いといわれています。カミナリは今もなお大気に浮遊する窒素化合物を合成して、作物の成長を助ける養分として土壌に与えているのかも知れません。

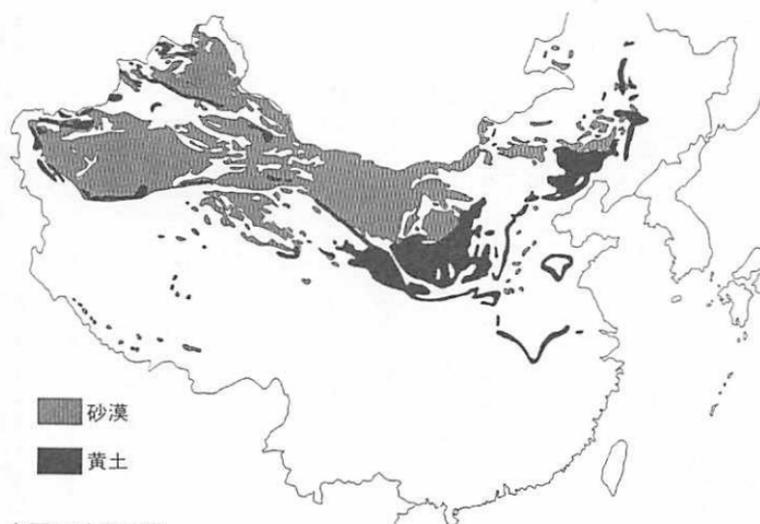
(伊藤 治)

砂漠からの訪問者―黄砂

「飛砂走石 天昏地暗 伸手不見五指」ゴビ砂漠の黄塵万丈の世界を述べたものです。タクラマカン砂漠では、砂嵐のために太陽の出ない日が二週間続くこともあります。砂嵐によって巻き上げられた砂は、偏西風に乗って東に移動します。人工衛星からは太平洋上空を数千キロも移動しているのが見えることがあり、北アメリカ大陸にまで届きます。春の黄砂は、中国の砂漠から吹き上げられ、西風に乗って運ばれてきた砂ぼこりが原因です。ひどいときには、西日本では数百メートル先の山が黄色くかすんで見えることもあります。

日本上空にきた黄砂はそのまま素通りするのではなく、重いものからしだいに地上に落下し、また雨や雪の核となって地上に落ちてきます。春先の雨のあと、車の屋根や窓につく汚れや、時折積もる「赤雪」という色のついた雪を調べてみると、黄砂に由来する粒子が多く含まれています。「赤雪」はヨーロッパ各地でも見られますが、これはサハラ砂漠から「ハルマツタン」と呼ばれる強風に乗って地中海を越えて飛んできた砂ぼこりが雪の核になっています。サハラの砂ぼこりは大西洋を越えて、西インド諸島や南北アメリカ大陸にまで届きます。

もう一つの空から降ってくる「土」火山灰が、日本では黄砂に比べてけた違いに多いため、黄砂はあまり調べられていませんでした。しかし最近の研究で黄砂も無視できないくらい積もっていることがわかってき



中国の砂漠地帯

ました。日本に達する黄砂は数^リ十^リ程度ですが、長い年月の間に降り積もると、例えば九州地方では三^リに達する所もあります。黄砂の影響の大きい土壌は中国に近い西南日本以外にも各地に見られ、東北・北陸地方では雪の多い所に厚く堆積しています。

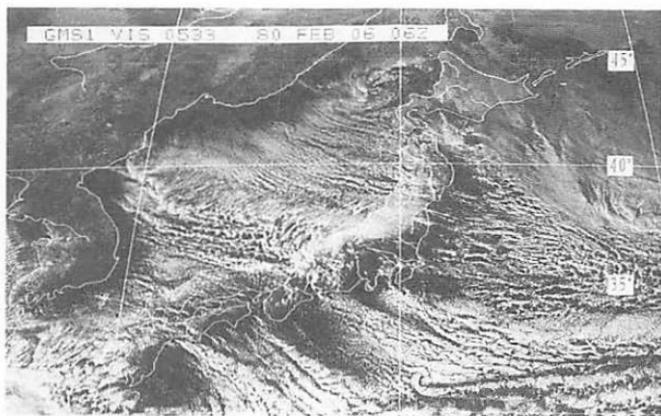
黄砂の日本への降水量は場所によって違いますが、一〇万^リ一^リ万年前の最終氷期には一平方^リ米当たり一〇〇〇年で一九^リ三^リ三^リミ、氷期後の一^リ万年前からは一〇〇〇年で五^リ一〇^リミと推定されています。土一立方^リ米当たりの重さを一・四^リミとすると、この一〇^リ万年に一平方^リ米当たり二^リ三^リミ、厚さにして一三〇^リ一^リ二^リ四^リミ、最近の一^リ万年間では〇・五^リ一^リミ、四^リ七^リミの黄砂が積もったこととなります。ほとんどは、中国の黄土地帯から運ばれたものです。このような土は砂漠の周辺を中心に世界中あちこちに見られます。

(中井 信)

7 暖流の恵みは魚だけではないのです

日本は世界でも雪が多いことで有名です。地球上の気候帯から見ても、日本海側地域の季節風に伴う豪雪はかなり特異な存在です。北緯四〇度以下の平地で、これほどの降雪量がある場所はほとんどありません。北陸地方の高田市では日降雪量一七三センチという記録があるし、山形県や新潟県の山間部では最大積雪深が四メートルを超える所も決して珍しくはありません。

この特異な日本海側の降雪はどのようなしくみでもたらされるのでしょうか。それには多種多量の魚をはぐくんでいる対馬海流が大きくかかわっています。日本海に南方から流れ込む対馬海流の海面の水温は一五℃にも達し、冬の間は海面から湯気が風呂場のようにもうもうと立ち昇るといわれます。このため、西高東低の気圧配置になるとシベリア大陸から吹き出す冷たく乾いた気団は、海面から多量の水蒸気を受け取り、さらに海面近くで暖められます。そうすると、大気が垂直の方向に対流現象を生じ、海面近くで与えられた水蒸気は上層に運ばれて厚い雲の層ができます。多量の水蒸気を含んだ寒気の流れは、それをせき止めるかのように横たわる日本列島の山々にぶつかって上昇流となり、ジェット気流によって中国の砂漠から運ばれてきた砂粒などを核にして、大量の雪の結晶をつくります。これが日本海側地域に多量の雪を降らす原因となるのです。一時的に多量の降雪があると交通機能がマヒしたり、森林が破壊されるなどさまざまな被害を



日本海側の地域に大雪をもたらす雲の画像

引き起こすものになります。しかし、それ以上に雪は私たちの生活に多くの恵みを与えてくれています。

雪国の川の年間流出量の半分以上は雪解け水であるといわれています。森林内やダムに蓄えられた雪解け水は水田を潤して稲を育て、夏の水需要に備えてくれます。また雪に含まれる砂粒も長い目で見れば植物の成長を助けます。

日本海側はスギの適地であるといわれるのも、雪解け水のおかげで森林が春先の乾燥から守られ、温暖多湿を好むスギにとって好都合な環境となるからです。標高の高い所では、残雪が遅くまで残り、皆さんの目を楽しませてくれる湿原やブナ林の、表面が白くなった土壌をつくります。

関東地方の慢性的な水不足を解消するために脊梁山脈にトンネルをうがち、日本海側の流域から雪解け水を引っ張ってくるという構想が飛び出したり、山地の積雪を人工雪崩によって谷に埋めて蓄えるという雪ダム構想が生まれてくるのも、対馬海流があるからこそです。暖流の恵みは魚だけではないのです。

(小野寺弘道)

空中鬼のいたずら―酸性雨

最近地球環境がおかしくなっているといわれています。そのなかの一つに酸性雨があります。

ヨーロッパやアメリカでは、冬には氷や雪に閉ざされる森林地域の湖が酸性化して魚がいなくなったり、森林では樹木の成長が減退して集団枯れが起こるなど、今まで予想もしなかった現象が起きています。この原因が酸性雨であるとされていますがそのもとをたざせば、工場や都市から発生した窒素やイオウ酸化物などの大気汚染物質といわれています。これらの物質が大気中で光を媒介にした化学変化を起こし、硝酸や硫酸などの酸性物質となつて、一〇〇〇時以上離れた森林地帯に強酸性の雨が降り注いでいるというわけです。同じような現象は中国でも発生していて、表題のように空中鬼といわれています。

酸性雨は従来のような大気汚染とは違つていて汚染物質が遠く広く拡散し、地上に達するときは濃度は低くなつていきます。大気汚染のように汚染濃度と被害の因果関係を特定するのは困難です。ですから樹木が枯れる原因も酸性雨のほかオゾンとかそれらの複合された影響などさまざまなのがあげられています。

酸性物質が土壌に入ると、土壌中の微生物の活動が抑えられ、有機物とともに蓄えられてきたカルシウムなどの養分が流れ出し、さらに進むと酸性化して、アルミニウムなどの有害金属が溶け出すなど、植物の根に悪い影響を与え、特に老木から枯れ始めます。また湖では酸性化が進み、生態系が著しく障害を受けま

す。ドイツなどの針葉樹の森や北欧の湖はすでにこの段階にきていると指摘されています。

日本でもpH四以下の酸性雨が観測されています。スギやケヤキは大気汚染に弱いといわれていますが、最近関東地方では寺や神社の樹齢の高いスギに成長減退や枯れが目立ってきました。また、ほかの都市化した地域にも広がっています。ただし、スギの若い木や造林地にはこのような症状は発生していません。したがってスギの成長減退や枯死が酸性雨のせいであるとはまだ特定はできませんが、可能性が強く指摘されています。関東平野には、酸性化には抵抗性（緩衝作用）を持っている火山灰土壌が広く分布しているので、なかなか酸性化しません。ヨーロッパの場合とは少し違ったメカニズムで起こっているのかもしれませんが、むしろ最も恐れられているのは、ヨーロッパの寒冷な高山地域の天然林に被害が発生することです。この地域の土壌は緩衝作用がきわめて低いのです。枯損がいったん起こり始めたら山岳地域なので対応が難しくなるので、急いで監視をしておく必要があります。

日本の酸性雨の原因は東京などの大都會が放出するイオウや窒素酸化物とも考えられていますし、イオウの多い石炭をエネルギー源に使っている中国の影響も無視できないとする意見もあります。

現在の樹木枯れは人間でいえば成人病のような、慢性的な環境変化によるものではないでしょうか。多くの人間によるさまざまな人間活動が地球全体の環境を変化させ、人間を含めた地球上の生物圏全体の生存を危うくしています。樹木が枯れているのは、我々に今、その警鐘を与えているのです。

（石塚和裕）

不安定な熱帯の土壌

熱帯の森林には、直径一尺以上、樹高五〇フィを超えたる巨木がそびえ立っています。未開の天然林を上空から見渡すと緑のじゅうたんが一面に広がります。その威容からすると、この森林を支えている土壌はさぞかし肥沃で養分に富んでいるだろうと思われれます。しかし、意外なことに熱帯の土壌はやせており、かつ不安定なバランスの上に成り立っていると云つてよいでしょう。

ボルネオ島、インドネシア東カリマンタンではフタバガキ科というラワンの中の森林が広がっています。少し前に大規模な山火事がありましたので、だいぶ破壊されてはいますが、密度の高い森林が残されています。この林のアクリソルという酸性の土壌で調べた例では、表層土壌（A層）の有機物は平均四・五%、植物が使えるリン酸が土壌一〇〇g中五四ppm、無機態窒素が二四%と、やせてはいるものの植物の生育には十分な量があります。ところがそのA層の厚さは平均五寸で、時折それを欠くこともあります。A層の下になると、有機物、リンや窒素の濃度もA層の一〇分の一程度に落ちます。また温帯ならばこれらの養分の貯蔵庫として活躍する有機物層も薄く、したがって、熱帯の森林では有機物や養分は植物体の形で地上に多量に蓄積されており、地下の土壌中に蓄えられている量は大変少ないのです。しかも植物が利用できる無機態の養分のほとんどはごく薄いA層中に蓄えられており、養分循環のサイクルは地表下一〇寸内外の所を主

舞台上に展開しているのです。一方、有機物と並んで土壤中で養分を蓄える働きをする立役者は粘土です。ところが熱帯土壌の粘土の多くは強酸性化し、退化が進んだ、養分保持力がきわめて低いカオリンや鉄、アルミニウムの酸化物が主体になっています。さらに、強酸性化した粘土は、アルミニウムを放出し、ときには過剰による生育障害を引き起こすことがあります。ですから熱帯林は、ほとんどの養分を樹木の形で蓄え、わずかな有機物層と土壌A層をバッテリーとして使っている非常に不安定な生態系となっています。

ではこんな熱帯林で養分がどのように循環しているかというと、地上に落ちた落葉落枝は高温と多湿な環境下で急速に分解されます。地表下一〇センチまでに張り巡らされた樹木の根は、分解されてできた養分を待ちかまえていたように吸収するので、養分はきわめて速いサイクルで循環すると考えられています。

さてこのような森林が、焼き畑や伐採などのために破壊されると、養分貯蔵庫である地上部からの養分供給が急激に減少します。それとともに、地表面の温度が上がり、土壌中の有機物の分解はいつそう促進されます。また、一時間に五〇センチにも達する熱帯特有の強い雨は表土の粘土と養分を洗い流し、強い雨滴衝撃によって土壌表面の構造を破壊し、土壌の保水力を低下させます。また、表面流去水が増え、その結果土壌侵食の危険が増します。ひとたび表土が流されてしまえば土壌は不可逆的に破壊され、その再生は容易ではありません。熱帯多雨林の土壌生態系はもろく、温帯における以上に慎重な取り扱いをすることが要求されます。

(三浦 覚)

大気と密接な関係を持つ土

水をやりすぎたために、きれいな鉢植えの花をだめにしてしまった経験のある人は少なくないでしょう。

これは水をたくさん入れたために土の中の空気が少なくなり、根が呼吸できなくなつて起きたのです。粒子がぎっしり詰まっているように見えますが、ほとんどの土では体積の半分以上がすき間です。このすき間を水と空気が移動して、植物と土の中の生物にとつて大切な栄養分や酸素を運んでいるのです。

土の中の空気は、このようにすき間を通して大気とつながっているので、その組成は大気の組成とよく似ています。しかし、土の中の空気は大気に比べて一般に酸素が少なく、二酸化炭素に富んでいます。これは、植物の根と土壤微生物の呼吸作用によるためです。ですから、土の表面ではあたかも呼吸しているように常に大気から酸素が吸収され、二酸化炭素が放出されています。一年間に全世界の土壌から放出される二酸化炭素の量は数百億トンにも上ります。土は、植物が固定した二酸化炭素を大気へと戻し、地球上の炭素循環が常にバランスを保つように働いています。

それだけではありません。土の中にはいろいろな生物が活発に活動を行っているので、メタンや窒素酸化物をはじめ多くのガス成分が生成あるいは消失しています。そして、これらのガスは土から大気へ放出されたり、逆に土に吸収されたりしており、土は地球上でのいろいろな物質の循環において重要な役割を果たし

ているのです。

ところが、近年の急激な人間活動の増大は、土と大気の間を交換するガスの量を少しずつ乱しています。このことは大気中のいくつかのガスの濃度変化に表れており、地球環境の変動に及ぼす影響が心配されています。地球の温暖化をもたらす可能性の高いものとしてよく知られている二酸化炭素の場合、石炭や石油などの化石燃料の消費がその濃度増加の主な原因ですが、森林破壊や砂漠化による土の変化も決して無視できない原因の一つです。同じように温室効果をもたらすメタンは沼や湿地、水田など酸素が少ない土から発生しますが、世界的な水田面積の拡大に伴う放出量の増加がこの濃度増加の大きな原因になっています。また、温室効果だけでなくフロンガスとともに成層圏でのオゾン層破壊にも関係する亜酸化窒素 (ZNO) の場合は、食糧生産のために大量に用いられている窒素肥料によって土からの放出量が増大することが知られています。

今から約四億年前に生物が初めて陸上へ現れて以来、土と大気は生物活動を通して密接な関係を持ち続けてきました。J・E・ラブロックは、地球の生物と環境が単一の有機体とみなせるシステムをつくり、生命の存続にふさわしい環境を自らつくり出す能力を持っていることから、この「生きている地球」をガイア (GAIA) と呼びました。このように考えると、土と大気との間のガス交換は、生きている地球の呼吸ともいうことができるでしょう。この雄大な大地の呼吸に乱れないようにしたいものです。(八木一行)

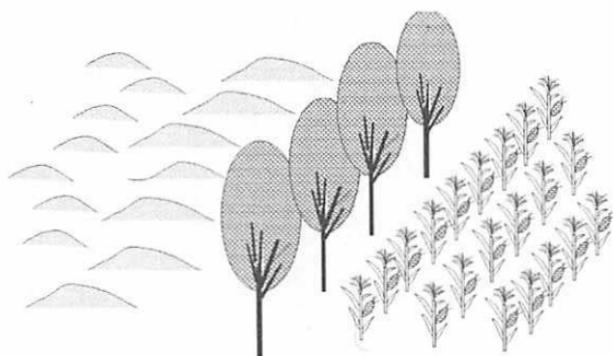
砂漠の防衛線

地球上には砂漠を含む砂丘地が約一二億畝あり、砂漠の周りの木を生活のため伐採するので、面積が拡大しているといわれております。この砂漠化の進行は最近特に大きな国際問題となっております。

日本には砂漠はありませんが、海岸砂丘が発達している所が多く、この砂丘地にはたいい造成された美しいクロマツ林が見られます。森林は海から吹きつける厳しい風を弱めて飛砂の発生を抑え、風に乗って飛んでくる飛砂を捕捉し、風下側の土地利用を可能にしています。飛砂の固定は、現在では構造物によって目的を遂げることも可能ですが、森林は成長するにいたがい大きな効果を發揮するので、経済的・防災的および景観的效果を総合すると、海岸林を育成するほうが構造物より有利といえます。

砂丘上の砂粒が動き始める速度（限界速度）は砂粒の大きさ、比重、形、湿りぐあいなどでいふ変わります。砂が乾燥した状態のときには、砂面上1¹/₂前後の高さの平均風速が五¹/₂六¹/₂秒になると砂粒は動き始め、砂面が湿るにつれて限界速度は大きくなりますが、風速が一〇¹/₂秒以上の強風では、かなり湿った状態でも砂の表層が短時間に乾燥して飛び始めます。最も飛び出しやすい粒径は〇・〇五¹/₂〇・一¹/₂で、それより小さくても飛び出しにくくなります。

飛砂量は風速の三乗に比例して変わるので、飛砂量を少なくするには、まず風速を減少させることが重要



砂漠の防衛線

です。また、砂の飛ぶ高さは九〇%以上が高さ数十センチ以内の範囲に集中するので、ちよつとした障害物や林木によってその移動が阻止されます。クロマツ海岸林の防風効果の観測結果によると、砂丘の風上(海側)風速が一五・〇 $\frac{\text{m}}{\text{s}}$ (観測高一・二 $\frac{\text{m}}$)の風は林帯内に四〇 $\frac{\text{m}}{\text{s}}$ 以上入ると二・〇 $\frac{\text{m}}{\text{s}}$ 以下に減少しました。飛砂の限界風速は五 $\frac{\text{m}}{\text{s}}$ 六 $\frac{\text{m}}{\text{s}}$ / 秒ですから、一五・〇 $\frac{\text{m}}{\text{s}}$ / 秒の風が吹いても林内では飛砂がまったく発生せず、海側の砂丘で発生した飛砂が林縁から少し入った所で阻止されることがわかります。風速の低下は、普通の気象状態では、保護区域内の地面からの蒸発量を減少させ、土壌の乾燥を防ぎます。この働きは、乾燥地帯では特に顕著に現れ、これが砂漠地帯を緑に変える大きな役割として期待されているものです。

森林は、飛砂や土壌の乾燥を抑える働きがあるので、砂漠地帯の砂丘移動抑制や環境の改善手段として期待されるわけですが、雨が多い日本の砂丘と異なり、雨のきわめて少ない砂漠では森林を育てるのは容易でないことも知っておくことが重要です。

(河合昌英)

百年河清を待つ

このことわざは、実現が期待できないのに、むなしく待ち続けることを意味しています。河とは中国の黄河を指し、黄土高原地帯から流れてきた泥で濁った黄色い黄河の水が絶対に澄むことがないことからきています。

黄河は永遠に泥の河であり続けるのでしょうか。現在、黄河の水に含まれる泥の量は水一立方メートルあたり四四結で、利根川の一〇〇倍にもなります。この値と黄土高原の面積および黄土層の厚さから計算すると、二万五〇〇〇年後に黄土はなくなり、黄河は名前を変えることになるでしょう。人間の歴史からいえば、やはり永遠ともいえる年数です。

それでは、なぜ黄河の水はそんなに濁っているのでしょうか。それは黄土が水に分散しやすいという性質を持つているからです。黄土地帯は年降水量が三〇〇ミリから四〇〇ミリという極端な乾燥地帯下であり、土壌を侵食から土を守ってくれる植物の成長は貧弱です。ところがこの雨は短い期間に何度かの集中豪雨となって降ります。雨にたたかれた畑の土は、容易に細かな粒子にまでばらばらにされ、水中に分散し、斜面を水とともに流れ下り川へ流出します。黄土の粒子は比較的大きく重量も重いのですが、粒子表面に穴がたくさんあるため、一度、水中に漂った土粒子はいつまでも沈むことなく、川の流れに従って湖や海まで流れていき

ます。

土の分散性は農業でもやっかいな問題を起こします。

雨の降ったあと畑のあちこちにできた小さな水たまりで土壤の細かな粒子が分散します。分散した土壤の粗い粒子は下に沈み、細かな粒子だけが表面に残って薄い皮膜をつくります。この皮膜は厚さ一ミリの薄さでも、乾くと作物の芽が容易に貫通できないコンクリートのような固い層に変わってしまいます。特に熱帯地方では短時間に多量の雨が降り、分散しやすい粒子が多く、降雨ののちに強い日射による高い温度によって急速に土の乾燥が進むなど皮膜形成の条件がそろっています。そのため、まかれた種子は芽を出すことができず土の中で蒸れて腐ってしまいます。熱帯土壤の作物生産性が低いことの原因の一つに、この現象があげられています。

この土壤の分散性を改善するには、まず、粒子と粒子が離れないように、しっかりと結び付ける接着剤のようなものが重要です。そのような役割を果たしているのが土の有機物である土壤腐植です。この天然の接着剤は単に粒子どうしを結合するだけでなく、水や空気の通りも良いという理想的な状況をつくり出します。土壤腐植を増やすことが土壤の分散性を低下させ、清流を取り戻し、種子の発芽を保証する重要な手段なのです。

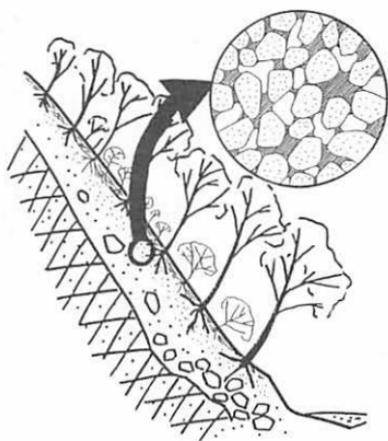
(谷山一郎)

地下の巨大ダム

日本は雨が多い国です。ヨーロッパ諸国に比較すると約二倍以上、年間約一八〇〇^ミ前後降っています。しかしながら、一人当たりの水の量に換算すると約六〇〇〇^{立方}と少なく、水資源を高度に利用している国の一つです。日本における雨の降り方の特徴は、梅雨期と台風期に集中的に降る点にあります。梅雨や台風による集中豪雨や大雨は、ときには洪水や山崩れなどの災害を引き起こしますが、これらの「やっかいな雨」も水資源としては重要です。

一般に「水源かん養機能」と呼んでいます。土壌には洪水や濁水を緩和する機能があります。山地あるいは森林に降った雨は土壌中に一時的にためられて、徐々に流れ出てきます。この機能は、主に土壌あるいは土層中にある大きささまざまな「穴」すなわち孔隙の働きによります。土壌や山地全体にどの程度の水がためられるのか、現在のところ正確なことはわかっていません。しかし、土壌や地層の調査の結果によると、徐々に流れ出てくる水の量は土壌深度一^ミまでで数十^リ百数十^リあることが明らかになってきています。また、下層まで含めた貯水量は地域により異なりますが、一〇〇^ミ前後から数百^リあるようです。貯水量の違いは、地形や地質の違いにより土層の厚さや地下の岩石の風化の状態が異なるためと考えられます。

一方、コンクリートでつくられた大きなダムの貯水能もおよそ数百^リです。ダムの建設には一基数億^リ数



土壌の微細な孔隙が自然のダム働きをする。

百億円かかります。また、ダムの建設にはいろいろな補償が必要であるばかりでなく、水質の低下や河川の生態系を破壊する可能性があります。しかし自然のダムは無料です。土壌を保護している森林を適切に管理するかぎり、自然のダムは人工の巨大なダムと同程度の働きをし、無料できれいな水を無公害で供給してくれます。

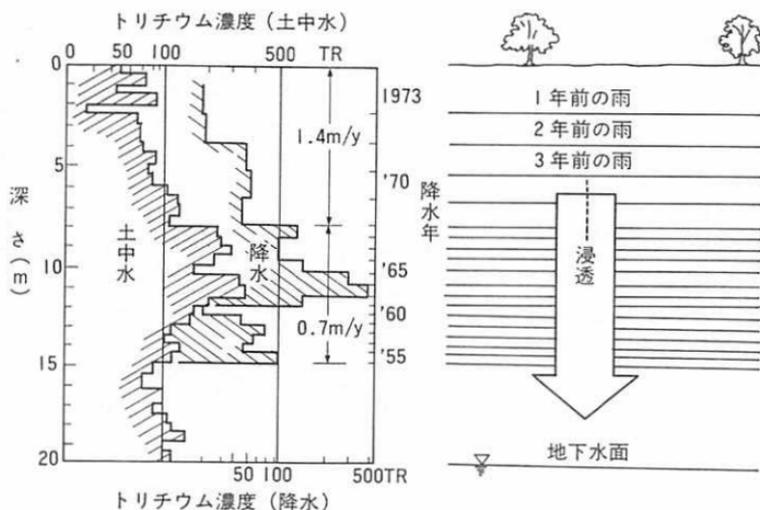
さらに、自然のダムが持っている重要な機能は、植物体や地表からの蒸発散に必要な水も供給していることです。ひと昔ほど前の水不足のおり、蒸発散に必要な水まで人間が使用しようとして、山地を全面的にコンクリートで固めることが提案されたことがありました。もしこれが実行されたら蒸発散がなくなり、砂漠のような気候になると考えられます。自然のダムは気候緩和の点からも重要な働きをしているのです。

この自然のダムは植物の働きによって守られ、育成されま
す。一方、土壌に水を貯留する機能があるので少々雨が降ら
なくても緑の資源である植物が元気に育つのです。文化や産
業を発展させるためには、限りある水資源を上手に使うこと
が必要です。自然のダムは万能ではありませんが、私たちは
この資産を大事に守り育てる必要があります。(堀田 庸)

水の化石

子どものころに「水の旅」の話を聞いたことがあるでしょう。屋根の上に降った雨が、庭を流れ、川に集まり、ダム、水田、都市のなかでさまざまな経験をしながら海へ到達する話です。これは地表を旅する河川水の話ですが、私たちの周りにはもう一つの水の旅があります。それは地下水の旅です。ところが両者の水量を比較すると、地下水は川や湖の水の約一〇〇倍もあって、ほとんどの水が地下水の旅をしているということがわかります。そして、この二つの旅の分岐点はまさに土壤表面なのです。

では、土壤中に浸透した水はどれくらいの速さで移動しているのでしょうか。関東ローム層を五〇センチの厚さを単位として深さ二〇センチまで採取し、それぞれのブロックに含まれた水のトリチウム濃度を測定しました。トリチウムは水素の同位体で、雨の中に含まれ、濃度は一九六三年ごろをピークとして特徴的な変化をしてきました。このトリチウム濃度の違いの順序は土中にそのまま保存されていました。新しい雨が古い土中水を順次押し下げるように浸透していたのです。その速度が毎年一センチ前後であることもわかりました。しかし、地下水の流速は一定ではありません。砂利層の中は速く、粘土層の中は遅く、両者は何万倍以上も違います。また、雨や井戸からの揚水によって加速されることもあります。この調査結果でも一九六九年ごろを境に浸透速度が倍増していました。それは工業団地が進出してきた時期と一致します。ローム層の下の砂れき層が



関東ローム層中に保存されていた降水

ら大量の地下水をくみ出したために、ローム層中の水の浸透が速くなったこともわかりました。

それでは、地下水の滞留時間はどのくらいなのでしょう。比較的浅い所を移動して山麓やがけから湧き出すなど短期間で地表に戻る場合もありますが、私たちが日常利用している数十メートルの深さの地下水は、数年から数十年前に土壌にしみ込んだ雨です。そして、一般に深層の地下水ほど滞留時間が長く、地下水全体の平均はおおよそ五〇〇〇年と試算されています。なかには地層が堆積するとき、地層中に封じ込まれて何万年も何十万年もの間ほとんど動かない、化石水と呼ばれる地下水もあります。

アメリカやオーストラリア、またアフリカなど乾燥地帯ではこの化石の水をどんどん利用していますが、石油と同じく有限であり、いつ枯渇するかわからない心配があるのです。

(小前隆美)

縄文人がつくった黒い土

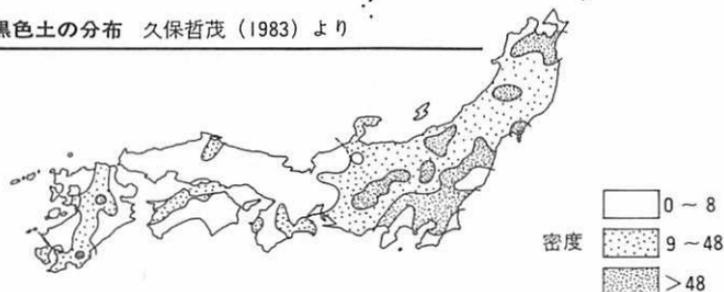
雨上がりに山の小道を歩いていて、何でもない所で足を滑らせて転んでしまったことはありませんか。慌てて起き上がろうとすると、また滑ってしまいます。尻もちをついたまま足元を見ると、真つ黒な土の上で滑っていることに気づきます。黒くてグリースのようなテカテカ光る感じのする土。これを私たちは黒色土あるいは黒ぼく土と呼んでいます。でも同じ山の中でも、原生林の中では、このような黒色土を見かけるところはありません。山の土を詳しく調べてみると、この黒色土は不自然な形で分布していることがわかります。小さな谷川を挟んでこちら側は黒色土でも、反対側は焦げ茶色の褐色森林土といったぐあいになるで人が区画したような形でくつきりと分布するのです。

「なぜこのような土がそこに分布するのか」を知るために、土の性質を分析してみましょう。

土の中には、これまでその場所で生育し、枯れていったいろいろな植物の遺物が残されています。その一つに植物の細胞の中でつくられたケイ酸の固まり(植物ケイ酸体)があります。大変小さなガラス質の物質ですが、これは植物の葉や茎が腐ってなくなったあとでも何千年もの長い年月腐ることなく土の中に残ります。そのほか土の中には植物の燃えた残りの炭の残骸や花粉といった腐りにくい遺物が大量に含まれます。これらの遺物を土の中から取り出し、形や量を調べれば土のできた歴史をかいま見ることができなのです。



黒色土の分布 久保哲茂（1983）より



縄文後期の遺跡分布 坂口豊（1987）より

黒色土の中のこれらの遺物を調べてみると大変興味深いことがわかりました。それは、黒色土が縄文時代以来の人類の活動によってつくられたものらしいということです。

もともと日本は温暖多雨なので、山は木が生い茂った原生林となるのですが、縄文時代人は狩りや焼畑をするためにこの原生林に火を放ち、森を焼いたので山のあちこちに草原がつくられたようです。

黒色土に含まれる遺物はこの土が草原の下でできたものであることを示します。また図で縄文の遺跡と黒色土の分布とを比べてみると、遺跡密度の大きい地域と黒色土分布地域とが重なります。このことも黒色土が縄文人の活動によってつくられたものであることを示しています。

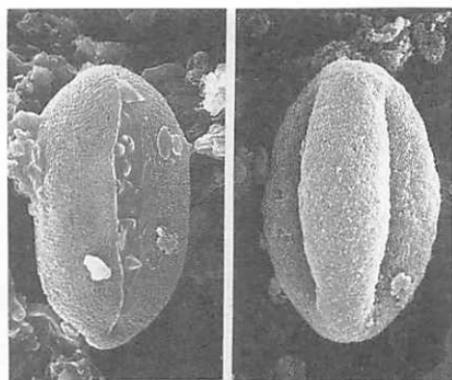
（河室公康）

花粉が語る森林の歴史

ほとんどの植物は子孫を残すため種子をつくりまわす。種子をつくるために、植物は花を咲かせ、雄性の遺伝子を運ぶ役目を持った花粉を生産します。花粉は風や昆虫に運ばれ、授精が行われます。しかし、このような生殖にかかわる花粉はごくわずかで、ほとんどが土の上に落下し、最終的には土壤中で分解され消失してしまふのです。ところが、花粉を形づくっている外壁はスポロポレンという化学的に強靱な物質でできているので、落下した場所が湿原のように水分が多く酸素の供給が少ない所であれば、花粉の外壁は分解されずにその原形をとどめ、堆積物中に残ります。

また、湿原に生育している植物は、枯れたあとと完全には分解されず泥炭となり、順番に堆積していきます。この泥炭中には周辺から飛来した花粉が何万年も保存されています。このように、その花粉を生産した植物が枯れたあとも、花粉は泥炭などの堆積物中に残っているのです。しかも、一般に花粉の形態は植物の属ごとに違っているため、泥炭から花粉を分離して種類を調べれば、泥炭ができた当時の森林のようすを知ることができます。この方法を花粉分析法と呼んでいます。また、泥炭に含まれる放射性炭素¹⁴Cの半減期を利用した年代測定や火山灰層の分析によって、泥炭ができた年代を知ることができます。

これまで花粉分析法によって日本各地で森林の歴史が明らかにされてきました。ここでは、近畿地方を例



化石花粉の走査電子顕微鏡写真 左：トチノキ，約2000年前。右：アカガシ亜属，約4000年前（福井県三方郡三方町黒田，鳥浜）

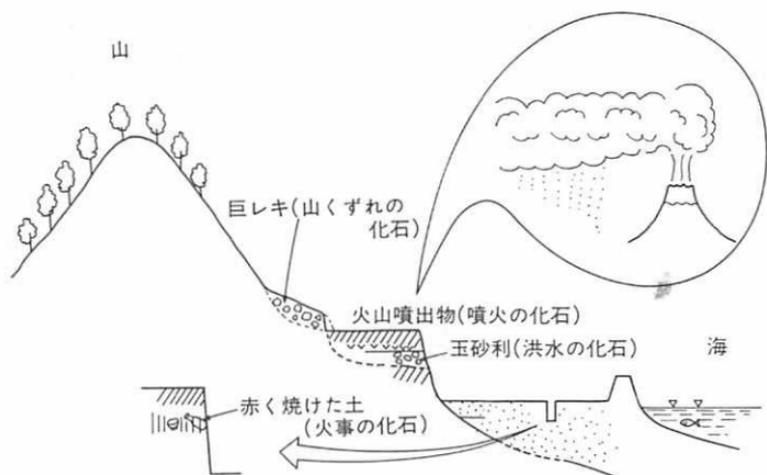
ここに約三万年間の森林の歴史を紹介しましょう。今から約二、三万年前には、現在よりも気温が約7℃低いウルム氷期といわれる時代がありました。近畿地方の低い山でもこの寒冷な時期に堆積した泥炭からは、現在、標高約一六〇〇m以上に分布する針葉樹の花粉が多数見つかります。氷河期後の約一万年以前には太平洋側では落葉性のコナラ属の樹木が多い落葉広葉樹林が形成され、日本海側ではブナとスギが優勢となりました。約六〇〇〇年前になると太平洋側ではシイやカシなどの照葉樹林が分布を広げます。一方、日本海側ではスギの優勢な森林がさらに広がり、照葉樹林はそれほど拡大していません。ところが、約一五〇〇年前以降の歴史時代になると多数のマツ属の花粉が見つかります。マツは森林が破壊されると真つ先に入ってくる性質があるので、人間の活動により本来の自然林が破壊されたためアカマツ林が広がったことを示しています。現在、広く見られるアカマツ林は、長い森林の歴史から見ると文明の発達と結び付いた歴史の浅い森林といえるでしょう。このように今私たちが見ている森林は過去、現在、未来へと大きく動いているある一瞬の姿にすぎないことを堆積物中に眠る花粉は私たちに語ってくれるのです。（高原 光）

隠れた災害の生き証人

私たちは土の中から見つけ出されるさまざまなものから昔のことを知ることができます。例えば、人類の進化や文明・文化の発展は、土の中から発見された人骨や土器などの遺物を調べることによって明らかにされてきました。

土が記録しているのはこのようなことだけではありません。土を構成している物質の由来を探ってみると、それは昔起こった災害と密接に関連していることがわかったりします。大勢の人が住んでいる低地や台地を構成している石や砂や泥は、その多くが洪水のときに堆積したものです。また乾燥して風が吹くと砂ほこりが舞い上がる関東ロームや園芸に使われる鹿沼土は、火山の噴火に伴う噴出物です。今私たちは、平穏に暮らしていますが、もし仮に鹿沼土と同じような火山噴出物が空から降ってきたら、農作物や家屋に大きな損傷を与え、空前の大災害になることは容易に想像がつくでしょう。

土が記録している自然災害は洪水や火山の噴火だけにとどまりません。山間地では道路のわきの切り通しのがけに角ばった一畝を越すような大きな岩が見られることがあります。これはかつて起こった山崩れを示しています。また近ごろでは、遺跡の発掘調査の際に、本書の「砂上の楼閣」で触れられた地盤の液状化の跡が見つけれられるようになってきました。また、がけを見ているとひと続きの横じま模様が見える地層が縦



災害を記録している土

に食い違つて横じま模様が続かなくなることもあります。これらは直下型地震の跡を示しています。

このような自然災害だけでなく、土は人的な災害をも記録しています。東京の下町のビルの工事現場では地表下一層足らずの所に、瓦礫を多く含んだ十数センチのれんが色をした土の層が見つかることがあります。この土はそのすぐ上に一七〇七年（宝永四年）に富士山が噴火した際の噴出物があるので、一六五七年（明暦三年）の江戸の大火（振袖火事）の名残であることがわかります。ほかに、地表付近の土中から関東大震災や東京大空襲のときの瓦礫が発見されることがしばしばあります。このように、土は「隠れた災害の生き証人」ともいえる存在です。

（吉永秀一郎）

もぐる遺跡

遺跡というと麦わら帽子をかぶり、軍手・長靴姿で土をていねいに少しづつ掘り出しているおじさんやおばさんたちの姿を思い浮かべます。このように考古遺物は土の中から見つげられることがほとんどです。では、なぜ遺跡は土の中にあるのでしょうか。

まず、遺跡が多い場所を考えてみましょう。遺跡が多い場所は人間が生活しやすい所で、近くに水がある平らな場所でしょう。このような場所は火山灰土か川が運んできた土砂からできた沖積土です。また、お隣の中国からも黄砂と呼ばれる砂が飛んできます。このように、土の材料となる灰や砂が積み重なって地表面がだんだんと高まってきます。このような土を累積性土壌と呼びます。過去の人間活動の証人である遺跡は、人間がかつて生活していた地表（考古学では生活面と呼ぶ）に残され、灰・砂が積もってできる新しい地表面の下に埋もれるわけです。

土がいかによい遺跡の保存者であり、当時の環境の語りべであるかをお話ししましょう。一つは日本で最も古の旧石器が出土した遺跡で、もう一つは東北地方にも弥生時代に稲作が営まれていたことを明らかにした遺跡の話です。

馬場檀A遺跡は、ササニシキで有名な宮城県古川市を流れる江合川中流域の火砕流（噴火の際に流れ出し

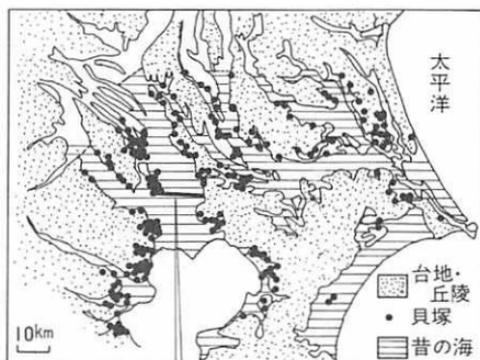
た高温の泥流)の台地上にあります。この遺跡では約一〇メートルの深さの間に、一三か所から旧石器が見つかりました。旧石器のほとんどは旧土壌表面(旧生活面)上にまとまって分布しています。ここで発掘された旧石器の年代を推定するには火山噴出物が大変役に立ちました。フィッシュトラック法やルミネッサス法という年代測定法で火山噴出物の年代が測定できたためです。その結果、この遺跡の最下部から発掘された旧石器は一六万年よりも古いことがわかったのです。また、日本全体を覆うような火山灰は広域テフラと呼ばれますが、この遺跡でも四種類の広域テフラが見つけれられ旧石器の年代の推定に役立ちました。植物ケイ酸体(プラントオーバー)分析により、約一五万年前には、この地域はイネ科の草(例えばススキ)が一面に生えていたこともわかりました。また、この年代の宮城県の台地の土は鮮やかな赤い土が多く見られることから、現在よりもかなり温暖な気候環境であったことがわかりました。

垂柳遺跡は十和田湖の北西約三〇キロの田舎館村の沖積地にあります。この遺跡の弥生時代の水田面は、上流から洪水によって運ばれてきた十和田火山の八戸火砕流堆積物で覆われていました。この水田土壌中の植物ケイ酸体分析の結果、稲に特有の粒子が多数見つかったことや、畦や水路が見つかったことから水田跡と確認されました。また、その後東北地方の各地で発見された弥生時代の多くの水田と同様に地下水型水田と判定されています。この地下水型水田は、水の確保が容易な場所であり、かつ自然地力、特に窒素地力が高いことが特徴です。このように、土は人間の過去の生活の証明にもひと役買っているのです。(山田一郎)

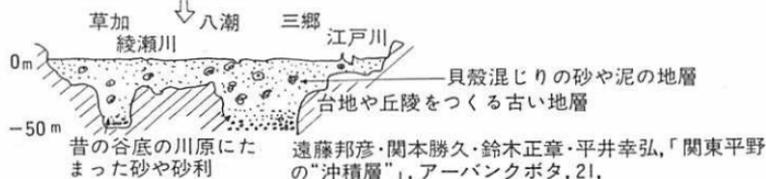
掘ればわかる！昔の海岸線

関東平野の台地や丘陵のへりには貝塚がたくさんあります。稲作が行われる以前、大昔の人々が海から取った貝の殻を捨てた場所が貝塚です。不思議なことに、貝塚は場所によっては現在の海岸線から何十キロも離れた所にも見られます。重くて腐りやすい貝をわざわざ遠くまで運んで食べたとは考えにくいので、貝が取れるような海が関東平野の内陸にまで入り込んでいた時代があったということになります。

一方、東京の下町の地下には貝殻が混じった軟らかい砂や泥の地層があることが、ビル工事やボーリング調査などでわかりました。このような地層は貝殻の種類から、浅い入り江の底に堆積したものと考えられています。貝殻混じりの地層は貝塚と同様に埼玉県や茨城県内陸部の川沿いの低地にも広がっていることが明らかになりました。この地層の下には昔の河原にたまったと思われる砂や砂利の地層が見られます。この砂や砂利の地層は現在の海面よりもずっと低い所にありますから、川が流れていた時代は、現在よりも海面が低かったに違いありません。そして、海面が上昇してこの地層の上に先ほどの貝殻の混じった砂や泥の地層がたまり、谷が埋められたのです。このように内湾や海岸に堆積した砂や泥の地層の広がりを調べると昔の海岸線の姿が浮かび上がってきます。このような海面変化による陸と海のせめぎ合いは、世界中の海岸で同じように起きています。世界の海はつながっているのですから当然のことといえます。



東木龍七「貝塚分布の地形学的考察」人類学雑誌, 41巻, 1926年



関東平野の貝塚の分布と下町低地の地下のようす

やがて研究が進むにつれ、海面が低かった時代は氷河期と呼ばれる寒い時代で、現在よりも七℃も寒かったことがわかりました。あまりの寒さのためアメリカ北部やヨーロッパ北部では雪が解けずに氷となり、現在の南極のように厚い氷で覆われていました。大陸や高山に氷として積もった分だけ海の水が少なくなり、二万年前には海面は現在よりも一〇〇メートルも低かったといわれています。そして一万年ほど前から地球は急に暖かくなり、大陸や高山の氷が解けて海面の上昇が始まりました。六〇〇〇年前には海は最も内陸にまで侵入し、関東の内陸でも貝塚ができました。「縄文海進」と名づけられています。海面が現在の高さに落ち着くと、川から運ばれた土砂によって昔の入り江は埋められ、陸地となって現在の日本の姿ができあがったのです。(大丸裕武)

土が凍ると……大地が隆起します

シベリアからアラスカ、極地カナダでは大地は深くまで凍結しており長い年月融解しません。こうした大地の凍結状態を永久凍土と呼びます。全陸地の約一四%が永久凍土で占められています。そこは人が住む場所としては地球上で最も寒く、樹木も生育できないツンドラとなっています。ツンドラとは、日本の高山地域の森林限界より上に見られる、高山植物群落と類似した植生で覆われた永久凍土のことです。そこでは地下数一〇〇メートルまで大地は凍結したままなのです。表層部では夏の間に数一〇センチほど融解します。この融解層を活動層と呼びます。ツンドラには地表を覆う植物を食べる動物も多く、さらにその動物を食べる哺乳動物も多く生息しています。ツンドラは決して不毛の大地ではなく、狩猟で生計を立てる人々にとっては、動物の数が多い豊かな土地なのです。

人間はいつごろからツンドラで暮らし始めていたのでしょうか。数万年前に、日本人と同じ祖先を持つモンゴロイド系の人々が南から移住しました。この先住民は狩猟術が巧みで、厳寒に適應する文明を發展させました。この時期は地球全体が現在よりも寒い氷河期でもありました。こうした人々にとって重要な狩猟対象はあのマンモスでした。マンモスはツンドラの王者でしたが、先住人類による狩猟と一万年からの地球温暖化が原因で、絶滅してしまいました。今でも永久凍土中に凍結したマンモスが発見されています。



図1 形成途中のピンゴ 高さ30m,
西シベリア・ヤマル半島



図2 終末期のピンゴ 頂部が陥没して
いる。極地カナダ・マッケンジー川河口

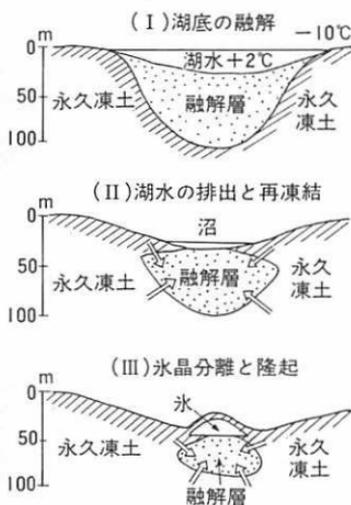


図3 ピンゴの形成過程

マンモスが絶滅する原因となった地球規模の温暖化は永久凍土にも大きな影響を与えました。海に近い所では海面が上昇し、ツンドラは海面下に沈みました。このためツンドラの上層部が融解しました。その後、再び大地が隆起すると、寒さにさらされて凍土が再び形成されました。また現在もときどき起こることですが、図に示したように、ツンドラ植生が何かの原因で破壊され、表層の凍土が融解します。すると地面は沈下してくぼ地となり水がたまって湖ができ上がります。やがて湖が干上がると、融解層は再び凍結するのですが、地下の凍結面に下層の水が集積して氷になります。このように地中に氷の塊が形成されるために、ツンドラ台地がところどころで隆起します。この隆起によってつくられた小高い丘をピンゴと呼びます。

(福田正己)

II
暮らしと土

女性の味方―泥粘土

そうなんです、あなたが毎朝つけている口紅やお紅にだって私たちは使われているのですよ。昔から化粧用粘土として、私たちはずっと重宝されてきたのです。粒子が小さくて（メーカー用で二〇〜四〇ミクロン、打粉用ではより粗い）、水に溶けにくく、皮膚によく付き、また伸びがよく、皮膚に対して優しく、柔らかな感触を与える特性があるのです。私たち化粧用粘土仲間には、タルク、カオリン、マイカ（雲母）、ベントナイトなどがあります。

なんといっても、大活躍しているのはタルクで、製品によって異なりますが、おしろいの主要成分として四〇〜七〇%の割合が入っています。皮膚に散布すると滑りがよく（タルクは滑石と呼ばれるほどです）、付着力も強いのが特徴です。また、汗をよく吸収する性質もあるため、ベビーパウダー（八五〜九七%重量割合成分量）、固形ほお紅（六〇%）、フットパウダー（六九%）クリーム状ファンデーション（二%）、アフターシェーブパウダー（二%）などに利用されています。

カオリンは被覆力が優れており、皮膚に対して鎮静・冷却作用を持っています。また、汗をよく吸収しますが、伸展性がないため、タルク・マイカや他の粘土といっしょに用いられることが多く、おしろい（五〜一五%）、液体おしろい（五%）、ベビーパウダー（五%）、固形ほお紅（二〇%）、パック（七%）などに用

いられています。

カオリン、タルク、マイカはそのものが粉体として利用されるのに対して、ベントナイトは水に分散して水の中で漂っている状態、いわゆるコロイド状として利用されるのが多いようです。それは皮膚に塗布するとフィルムをつくり、脂肪などの有機高分子のようにベタベタした感じがなく、さわやかなフィーリングを与えるからです。ベントナイトの構造の特徴は、内部表面積が大きく、たくさんの水や有機物分子までも取り込んでしまうケイ酸アルミニウムのシートを持っていることです。この性質がベントナイト独特なコロイドのはだ触りを与えるわけです。パック（五％）やファンデーション（四・七％）に用いられるのはそのためです。

はじめに口紅にも粘土が入っていることを話しましたが、口紅には雲母チタン粘土が一五％入っています。雲母チタンとは、白雲母の結晶に酸化チタンが付着したもので、付着酸化チタン膜の上面と下面の反射光の干渉によって真珠のような光沢を出したり、青から紫色系の光彩を出したりするのが特徴です。そして、この酸化チタン膜の厚さを変えることによって自由に口紅の色を調節することができますのです。

このようにして、私たち泥粘土は、あなたたちを健康で美しくするために働いているのです。さて、このことを理解されたうえで美容に励んでください。

（大塚紘雄）

土で染める

泥遊びに夢中になり服を汚し、土で染まった汚れがなかなか落ちなくて、母親にしかられた経験はだれにもあります。ところが、奄美大島の伝統工芸品大島紬つちぢは、泥を使ってつくられているのです。大島紬は、素朴で地味な渋い色調に精緻な模様が特徴で、軽くて暖かく、しわにならず体になじむために人気があります。この一種独特の色調は植物（シャリンバイやアイ）と土で染めることによって生まれます。

泥染めの技術は、インド、東南アジア、中国大陸などから伝わったといわれていますが、いつころから行われてきたかははっきりしません。江戸時代に奄美大島で書かれた『南島雑話』（名越左源太著）という本には、紬の染め方について「田又は溝河の土の腐りたるに漬け、何編となく染めるときは、鼠色につく……」とあります。奄美大島では、田や溝に一、二坪の褐色に濁った水たまりがあちこちに見られますが、これが糸の染め場です。この染め場の泥は、鉄のさびたにおいがします。このにおいを「土の腐った」と表現したのでしょう。糸を染めるのには、土に含まれるこの鉄分が大切な働きをします。

泥とともに染色に用いられるシャリンバイをつぶした液には、カテコールタンニン色素と少量のカテキンという物質が含まれています。このカテコールやカテキンと泥に含まれている鉄分が水に溶けない化合物を絹糸の上につくることによって糸が染まるのです。カテコールやカテキンの構造式は、通称亀の甲といっ



奄美大島の泥染め (写真提供：本場奄美大島紬協同組合)

て高校の化学で習ったと思いますが、ベンゼン環に酸素や水酸基が二つ付いたもので、これらの酸素などが鉄を捕まえて青っぽい色を出すのです。ちなみに青インクも同じようなメカニズムで色を出します。このように金属を抱え込むように取り込む物質をキレートと呼びます。

大島紬の染め方は、白い絹糸をシャリンバイ液で数十回染めた後、乾燥し、糸を少しひねりながら泥の中で約千回もみ込んで糸のしんまで泥水が通るようにしたのち、水洗いして十分に空気で酸化させます。この段階で糸は濃褐色から黒色に変わります。これを三〜四回繰り返すとできあがりです。鉄や酸素がつくの

で、染め上がり後の糸の重量が著しく増加します。これによって合成染料にはない泥染め独特の風合いや光沢などが生まれるのです。なお適当な重量増加量は約四〇%とされています。奄美大島の泥染めには、鉄分が五%ほどで、土粒子が小さく糸をいためない粘土質の土が使われています。

このように奄美大島では染色に適した土と植物が豊富であったことから大島紬ができたものと思われまます。

(寺師健次)

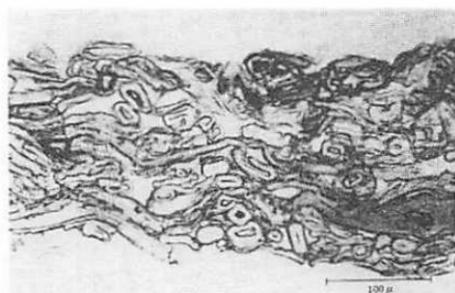
紙を助ける粘土

私たちが日常使っている紙にはいろいろな種類があります。ダンボール、ティッシュペーパー、新聞紙、印刷・筆記用紙などなど。インクで字を書くとき字がにじむものや、きれいに書けるものまでいろいろあります。実は筆記用の紙には字がにじまない仕組みがとられているのです。

電子顕微鏡でのぞくと、紙は絡み合った繊維の層が幾重にも積み重なった、空間の多い構造になっています。押しつぶされたドーナツのような繊維の横断面から内部が空洞になっているのが見え、さらに、繊維と繊維との間にもたくさん空間があり、普通の紙ではこの空間が四〇〜五〇%にも達します（写真参照）。

紙の基本単位であるセルロース繊維の表面は親水性の水酸基で覆われていますので、紙の上に水滴をたらし、紙は水をすばやく中へ取り込んでしまいます。このように紙は水溶液を吸収する性質を持っているのです。吸取り紙やティッシュペーパーはこの性質を使っています。ただ、紙に文字を書いたり、印刷したりするときはこの性質は好ましくありません。水性インキ、墨汁、油性インキが紙ににじんでしまうからです。私たちが筆記用、印刷用、グラビアなど特殊印刷用として使用する紙の多くは、にじみ防止や印刷適性向上のための処理を行ったものが使われているのです。いったいどのような処理を行うのでしょうか。

考え方として、水になれる親水表面を水をはじく疎水表面に変えることと、でこぼこでインキののりにく



紙の横断面

い表面を平にしてやることでしよう。その対策としては、まず一般に松ヤニからとったロジン（樹脂）を繊維に混ぜ、ミョウバンまたは硫酸アルミニウムの助けを借りて繊維表面を覆い親水性表面を疎水性に変えてやります。しかし、油性インキはロジンを溶かしてしまうので、きれいな印刷用にはこれでは不十分です。

そのために、繊維のすき間の埋め物として粘土を混ぜ、さらにでこぼした表面を滑らかにするために粘土の膜をつくってやります。この際、デンプン、カゼインなどの接着剤もしばしばいっしょに用います。こうしてできた層をローラーで押しつぶし、表面を均一な微細孔に変える処理を行います。ここで加える粘土の量は紙の用途によって異なりますが、筆記用紙の数%から高級印刷用紙の四〇%までいろいろです。こうしてつくられた紙は滑らかで、つやがあり、油性のインキもしみ込まないので優れたカラー印刷が可能になります。

ではなぜ粘土が利用されるのでしょうか。製紙用紙に利用される粘土の九〇%は安価なカオリン粘土です。これは白土とも呼ばれる真っ白で不透明なもので、比重が低く、化学的に非常に安定で紙を変質させない特色があります。加えて、粘土の電荷を持つコロイド部分が有機・無機の物質を溶かしたり、分散させたりする性質が紙の機能を高めるのに効果的に作用するためと考えられています。

（島田謹爾）

土は焼き物の主役

土は焼かれて、食器、工業用陶磁器、タイル、瓦、植木鉢、衛生用陶器、耐火物など、いろいろな用途に使われています。一般に焼き物は、焼く温度、色、釉薬つゆりの有無、吸水性などで土器・炻器せつぎ、陶器、磁器に分類されますが、原料粘土の種類とは直接対応しません。焼き物の原料は、主に粘土・鉱物、石英、長石などで、つくる目的によってその量や種類を変えるのです。普通、焼き物原料として用いられる粘土は、カオリン質粘土、パイロフィライト質粘土、セリサイト質粘土です。これらの粘土を多量に含むろう石や陶石も多く用いられます。原料となる粘土や鉱物は、各地の鉱床から採取されています。

原料の混ぜ方の例として素地土と鉱物との関係をあげてみます。陶磁器をつくるときによく用いられるのは、石英、長石とカオリナイト粘土です。例えば、石英、長石が五〇%、残りがカオリナイトのような原料を使えば、ゆがみのない焼き物ができあがります。形を整えられた土は、まず約七〇〇°Cで素焼きを行います。原料は加熱されると、一〇〇〜二〇〇°Cで土の中の吸着水が飛ばされ、含まれていた有機物が分解されます。さらにカオリナイトでは、約六〇〇°Cで結晶の中の構造水を放出し、素焼き段階での焼結（バラバラにならず固く結び付く）の原因といわれるメタカオリンに変わります。本焼成（約一一〇〇〜一三〇〇°C加熱）に入り、約九五〇°Cでメタカオリンが壊れます。約一一〇〇°Cから、溶けた長石、石英などととも

	焼成温度 (℃)	色	釉	吸水性	製品の例
土器	700-800(～1100)	各種	無	有	植木鉢, 瓦, 土管
炆器	(1100～)1200-1300	各種	無	無	排水管, タイル, 食器 (急須など)
陶器	900-1300	白(～各種)	有	有	衛生陶器, 食器, 美術工芸品, タイル, 瓦, 土管
磁器	(1200～)1300-1450	白(半透明)	有	無	食器, 電気用磁器 (碑子など), 美術工芸品

各種焼き物の特徴 (須藤談話会(編), 土をみつめる, 三共出版, 1986を改変。)

ムライトと呼ばれるものができ、焼結が完了します。粘土のなかでも結晶構造の中に水が入っているスメクタイトやハロイサイトを多量に含む土を用いると、約三〇〇℃の加熱で脱水が行われるため、素焼き段階での重量減・収縮の原因となります。アリユナイトは、ガスを発生させ壊れやすくなります。その他、本焼成後に、クリストバライト・ガラスをつくりやすい材料は、ゆがみが大きいといえます。ですから、よい素地土のおおまかな判定は鉱物を調べれば可能です。

特に何々焼きと呼ばれる各地の特産品は、窯元付近から原料土を得てつくられることも多いのですが、他地域の良質原料を混合して素地とすることもしばしばあります。また、きちんとした製品には、厳密な原料の調整が必要ですが、普通の岩石や土壌をすりつぶしたものを用いてもよく焼結した器や皿ができることがあります。焼き物をつくるには、目的に合う原料(良い土)と焼成温度を決めることが必要です。このほかに、乾燥、焼成、冷却の時間や速度、粒径なども重要な因子となります。

(八田珠郎)

おいしい水のできるまで

おいしい水ブームで全国どこでも名水と称するミネラルウォーターを売っています。また厚生省が開いたおいしい水研究会では、水をおいしくする要件のうち蒸発残留物と硬度だけを見ると、全国ほとんどの地域で表の条件を満たすと言っています。環境庁が選定した名水一〇〇選は日本各地においしい水が存在することを示しています。岩の間からの湧き水や砂れき層から地下水がくみ上げられたりするのを見ると、おいしい水は地下深くでできると考える人が多く、おいしい水をつくるのに土が関係あるという意識を持つ人は少ないかもしれません。しかし雨が地下に浸透していく前に土を通過することを忘れるわけにはいきません。雨の水はおいしいのでしょうか。一般に雨水に溶けている成分は、河川水や地下水よりも格段に少なく、大雨時には蒸留水に近い純度になります。しかし蒸留水をおいしいと言う人はあまりいません。何も含まれていない水は味気ないのです。また最近の雨はpHが四とか五の酸性に傾いています。水道水のpHの基準値は五・八以上八・六以下とされているので飲めないことになりました。このほか雨の中のアンモニア態窒素や粉塵ホコリも気になります。日本国土の八割を覆っている農・林地に降った雨はどうなるのでしょうか。地表面には植物と土壌があります。植物に当たった雨も茎葉や幹を伝わって土壌に注ぎます。この際植物体からのミネラルやほかの成分の供給があります。湛水期の水田には水の層が形成されますが、降った雨は稲の影響

蒸発残留物	30~200 mg/l
硬度	10~100 mg/l
遊離炭酸	3~30 mg/l
過マンガン酸カリウム消費量	3 mg/l 以下
臭気度(臭気強度)	3 以下
残留塩素	0.4 mg/l 以下
水温	最高20℃以下

厚生省おいしい水研究会によるおいしい水の水質要件
(1985年)

のほかに用水や藻類の影響を受けつつ、土壤に浸透していきます。結局、日本に降った雨の大部分は土壤に注がれることとなります。塵芥じんがいや動植物遺体の固形物は微細な土壤粒子によりろ過されます。電価を持ち、多孔質で比表面積の大きい土壤粒子は、アンモニア態窒素、リン、重金属類を吸着しますし、脱臭剤としての機能も備えています。またカルシウム、マグネシウムなどを含み、水にミネラルを供給します。有機物を

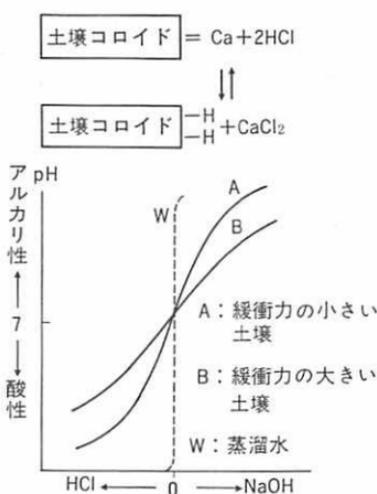
分解する土壤微生物と植物根の呼吸に由来する炭酸ガスも溶け込んで、適度のPHになります。土壤の温度の影響で浸透した水は夏冷たく、冬暖かく感じられるようになります。岩場や砂丘の土では弱いのですが、ほとんどの土壤は表の条件の達成の方向に作用するのです。土はおいしい水のもとをつくり出しています。ただし、湿地のように酸素が欠乏する土壤、泥炭地や肥料を与えすぎた土壤は、臭気、有機物、硝酸態窒素などが混入することがあり問題があります。土壤を通り抜けた水は、さらに地下で岩石と長い時間接触して、硬度が増し遊離炭酸やケイ酸が増え、温度も安定して地域ごとに特徴を備えたさらにおいしい水になります。また、住宅地など人の生活の場を通ってきた川から取水した水は、細菌などの混入のおそれがあり、塩素消毒をたっぷりしなければならぬのでまずい水に変わってしまいます。

(木方展治)

粘土を飲んで胃腸を治そう

胃腸薬の成分表で、メタケイ酸アルミン酸マグネシウムなどの表示を見たことはありませんか。これは粘土が薬の成分として使用されていることを表しています。胃腸薬として用いられている粘土は、ベントナイト、酸性白土、カオリナイトなどで、胃腸内の有毒バクテリアや有害物質を物理的に吸着したり、過剰の水を吸収して下痢を止める働きがあります。また、粘土はその表面に多量のカルシウムイオンやマグネシウムイオンを持っており、胃の中の過剰の酸をイオン交換反応によって化学的に中和する働きがあります。この性質は緩衝作用と呼ばれています。この制酸剤としての働きは粘土の緩衝作用を利用したものです。

この緩衝作用は土の持つ大きな特徴です。蒸留水に酸またはアルカリを加えると酸・アルカリの強度を表すpHは著しく変化します。しかし、土に酸やアルカリを多量に加えてもpHはあまり変化がありません。このように、酸やアルカリを添加してもpHの変化を抑制する力を緩衝能といいます。土の緩衝能は粘土のシラノール基(—SiOH)や腐植が持っているカルボキシル基(—COOH)やフェノール基(—OH)が深く関係しています。土壌に塩酸を加えたとしましょう。反応式に示されるように、粘土や腐植に捕まえられていたカルシウムイオンは塩酸の水素イオンと交換反応により入れ替わり、水素イオンは粘土や腐植に吸着されます。吸着された水素イオンは強酸である塩酸の水素イオンより強固に結合し解離しにくく、土の溶



土壌の緩衝曲線（模式図）
 （「土壌学」土壌肥科学Ⅰ，浅見輝男（文永堂））

液のpH低下は抑制されることとなります。胃腸薬としての粘土には、吸着や制酸剤としての働きのほかに胃腸の粘膜に保護被膜を形成する作用もあり、潰瘍性腸炎にも用いられているようです。

さらに、粘土は胃腸薬以外にも用いられています。例えば、カオリンは外用薬として皮膚粘膜のただれ、湿疹、潰瘍、切り傷などに塗って外気から遮断して刺激を和らげたり、防癩、止血、炎症を抑えるためなどに用いられています。含水マグネシウムケイ酸塩鉱物である滑石（タルク）は吸水性が弱く皮膚によく付着し、滑りが良くなり乾燥させるので皮膚炎症、皮膚疾患に散布剤として用いられています。

医薬用粘土としては内用薬、外用薬として用いられるほか、錠剤、丸剤に一定の大きさを与え重量偏差を小さくするための添加剤としても用いられています。

また、錠剤、丸剤を製造する際に成型器から離れやすくし、顆粒の流動性を良くし、光沢を良くするための添加剤としても用いられています。薬剤の調合や与える分量などを規定した日本薬局方に書かれている粘土にはカオリン、タルク、ベントナイトおよび天然ケイ酸アルミニウムがあります。

（大塚絃雄）

快適な横穴住居

人間が地上生活を開始したのは、今から一〇〇万年以前にさかのぼります。そのころは、自然にできた洞穴の中や斜面に横穴を掘って住んでいました。現在でも中国の山西省では、穴居生活を営んでいる人々がいます。このように直接土の中で住む以外にも、土は建築材料として大いに利用されてきました。例えば、今でも田舎に残る土蔵や土壁の住居がそうですし、日干しれんがで家を立てている所もあります。このように、住生活と土とは深くかかわってきました。

これは、土が手近にあることによるだけではなく、土が快適な住環境をつくるうえで優れた物理的性質を持つているからにほかなりません。まず、なんといっても断熱性があることです。熱の伝えやすさは熱伝導率で表されますが、土の熱伝導率は、特に土が乾燥した場合に小さくなります。土にもよりますが、乾燥した土の熱伝導率は普通、水の数分の一です。乾いた土が熱を伝えにくいために、土を外壁として用いた家中では外の気温の影響が小さくなります。

土の中に穴を掘って住む場合、重要になってくるのが地温です。地温は土の熱伝導率が小さいこともあって、深くなるにしたがい急激に振幅が小さくなり、地下数十センチで日変化はほとんど見られなくなります。図には茨城県つくば市の畑における年間地温の振幅を示しました。これからも明らかかなように地表から

数以下では、年間を通じて温度がほぼ一定になります。この一定になる温度は、その地域の平均気温より一〜二℃高くなることが知られています。このため穴の中の家は、夏涼しく、冬暖かくなります。井戸水が年間通して温度が一定なのも同じ理由からです。

このほか、土には燃えない、いやなにおいや煙を吸着する、湿度を調整する、加工しやすいといった性質もあります。このように、土は住宅材料として多くの優れた特長を持っています。

もちろん、欠点がないわけではありません。それは、水にきわめて弱いことです。土が水を多量に含むと

流れることすらあります。ですから、土の中で住む場合は、水の集まりにくい、地下水位の低い乾燥した所でなくてはなりません。雨の多い地域では、残念ながら穴住まいは難しいということになります。

最近、日本では木と竹と土でできた従来型の家をつくることが少なくなってきました。特に都会ではそうです。しかし、土は建築材料としても優れた性質を持っています。もう一度、これを見直してみるのは価値があるのではないのでしょうか。（粕淵辰昭）

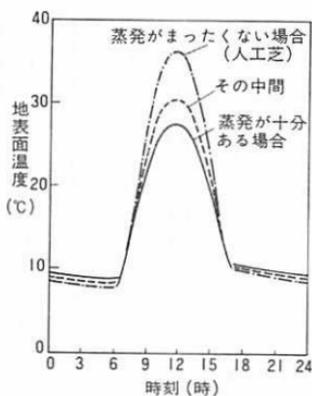


横穴住居

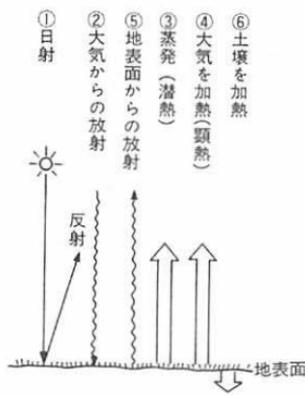
人工芝は炎熱地獄

野球場でおなじみの人工芝。夏の盛りの人工芝は本物の芝生と違って、耐えがたく暑くなると聞きます。どうしてでしょう。地表面の温度は、太陽エネルギーのやりとりの結果決まるからです。

日中の芝生では図のようになります。まず収入の部、①芝生は受けた日射のうち、約二五%は直接空に反射して残りが芝生へ吸収されます。②日射によって暖まった地表近くの大気からの放射エネルギーも芝生へ吸収されます。次に支出の部、③芝生から土壌中の水分が蒸発することによって熱が奪われます。④大気を暖めることにも熱が使われます。⑤芝生表面からはその絶対温度の四乗に比例する放射エネルギーが出ていきます。⑥地中にも熱が伝えられます。これ以外に熱が供給されたり、逆に逃げていかなければ、このエネルギーの収支はつり合います。地表面でのエネルギー収支は、大気の状態、土壌中の水分状態や植物など地表面の性質によって変わります。数値モデルを使って、芝生と人工芝の表面温度の違いを計算してみましよう。わかりやすくするため、芝生と人工芝の違いは蒸発の有無だけという設定です。晴天日の地表面温度の日変化図から、蒸発のない人工芝の温度は蒸発がある芝生に比べてかなり高温になります（左図）。人工芝では蒸発に要するエネルギーの分が余りますが、余った分だけ大気を暖め、多量の熱を地中に伝え、放射エネルギーも多く放出する必要があります。そのような条件を満たすために、より高温の地表面温度となって、



地表面温度の日変化
(エネルギー収支モデルによる計算値)



日中の芝生のエネルギー収支

エネルギーの収入と支出とが釣り合ったのです。

一方芝生は、植物の蒸散作用によってエネルギーが消費されま
す。芝生の土壌には水を下部から持ち上げる毛細管や芝の根が張
り巡らされているので、エネルギー消費は長く続きます。裸地や
砂漠には植物の根がなく毛細管も発達していませんので、芝生より
気温を下げる効果は少ないといえます。逆に森林は根が地中深く
まで発達し、また蒸発や呼吸などによるエネルギー消費が多いた
め、気温を下げる効果が大変大きいわけです。

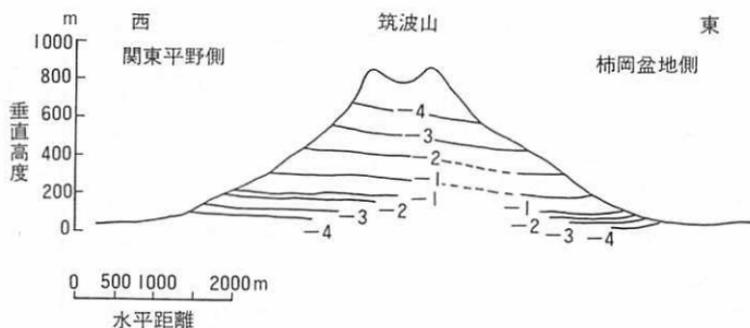
地表面の性質の変化は、規模に応じて気候に影響を及ぼします。
都市では道路舗装などの大きな地表面の改変に加えて自動車、
クーラーなど人工熱の排出によって、夏の暑さをより厳しくして
います。また、アマゾン流域の開発やアフリカの砂漠化などの地
表改変では、地球規模の気候変化の影響が懸念されています。地
球の表面温度は体の発熱と同じく健康状態のバロメーターなので
す。緑を増やす運動の理由はここにもあるのです。(大谷義一)

中腹は暖かく谷底は霜

晴れた風のない夜、地表面から熱が逃げていく「放射冷却」によってぐんと冷やされることをよく経験します。この放射冷却によって、思いもかけない霜や凍結の被害が出る場合があります。

このような状況では、気温分布は上空へ行くほど高くなり、気温の逆転（逆転層）が起こります。重たい低温の空気が下にあるという意味で、安定した構造といえます。盆地状の地形では底に冷気がたまった状態になります。この安定な構造の冷気のため、冷気湖と呼びます。冷気湖は夜になって直ちに形成されるものではありません。まず山腹の斜面の地表が冷やされます。このため、同じ標高の空気でも斜面近くと離れた所では温度差が生じます。そこで先ほどの安定構造に向かって、冷やされた重い空気が斜面に沿って地表付近を低い方へ流れていきます。これは冷却流といわれ、谷底にはこの冷たい空気がたまります。重い空気が移動した地表面では、これを補うために地表面から離れた所にあつた比較的暖かい空気が入ってきます。このようにして冷却湖は徐々に大きく、深くなってきました。冷却湖の厚さは一〇〇〜一〇〇〇メートルのものが多く、山頂までは達しませんから、結局底が最も冷たく、中腹に暖かい所ができるという仕組みです。

図は、筑波山において観測された一月の日最低気温の平均値の高度分布です。これによると、中腹の高度二〇〇〜三〇〇メートル付近が暖かいことがよくわかります。この点は昔から気づかれており、中腹に限って、温



筑波山における月平均日最低気温の高度分布(1955年1月)
(吉野正敏著「小気候」地人書館, 1961より)

州みかんが栽培されています。

谷底など冷気がたまる場所では、農作物や樹木が低温のために被害を受けやすいことが知られています。この害は凍霜害と呼ばれるもので、葉の水分が凍結することにより発生します。このうち霜害は、春や秋、植物が凍結に耐えられない生育期に発生するものを指します。

霜害は、低温になりやすい場所で発生するわけですが、これには非常に小さな地形が影響してきます。これによって霜害が頻繁に起こる所は霜穴しもあなとか霜道しもみちと呼ばれています。霜穴はくぼ地に冷気がたまることにより、霜道は带状の凹地を冷気が流れることにより、霜害が発生するわけです。

また、北海道のトドマツやエゾマツの森林では、母樹の下に群生している稚樹は凍害を受けにくいのですが、木の外側では被害を受けやすいことが知られています。これは、放射冷却が母樹の樹冠によって緩和されるためであり、小さなスケールでの気温分布が植物にとって重要であることがわかります。

(谷 誠)

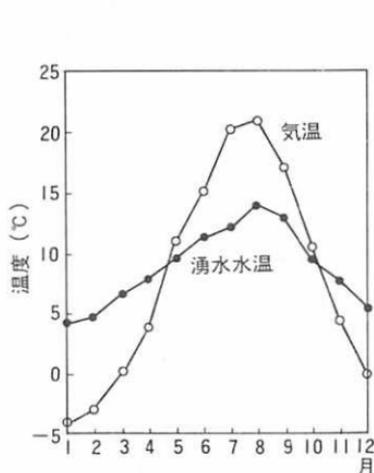
天然のクーラント

最近の都会では冷蔵庫の普及で、夏、井戸水でスイカを冷やしている光景を見ることはほとんどなくなり、ましたが、湧水や井戸水が冬は暖かく、夏は冷たく感じるという経験はあると思います。

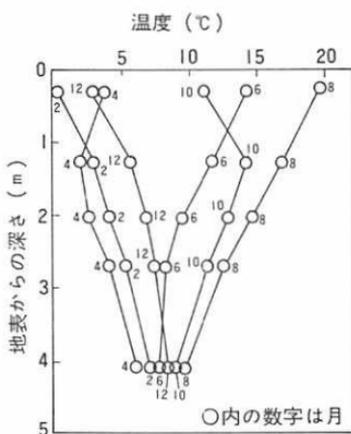
地下水はもともと雨水が地中へしみ込んだ水なので、その温度は地温の影響を大きく受けています。地表の温度は日射・気温・風などの気象要素の影響を受けて昼・夜の日変化が見られますが、地表から四〇～六〇センチの深さになると地温の日変化は非常に小さくなり、一〇センチぐらいの深さに達すると地温の年変化さえもほとんどなくなります。ですから地下水の温度は、地中へしみ込んだ水の通ってくる場所とその浸透時間により少しずつ異なりますが、一般的には水温の変化は小さく、安定しています。その地下水が湧水として流れ出たり、井戸水としてくみ上げられて地表に出たとき、季節によって暖かくあるいは冷たく感じるの、そのときの気温の高低により体感温度が変化するためです。

右の図は、地下水の水温に影響を与える地温の季節変化を示したものです。地温は地表近くでは夏と冬でその変動が非常に大きく、季節により二〇℃程度も変化することがわかります。しかし、地中四〇センチの所では五℃程度の変動であまり大きく変化していません。

次に、気温と地下水の温度が年間を通じてどのように変化しているかを調べたものが左の図です。これは



気温および湧水水温の年変化
(1985~1987年の平均値, 群馬県宝川)



地温の季節変化
(1987年, 群馬県宝川)

山麓での湧水水温と気温を月平均値で示したもので、気温は一、二月に非常に低く七、八月に高くなっています。湧水水温も気温と同じように年変化をしていますが、水温の変動の幅は気温の変動の幅に比べて小さいことがわかります。

すなわち、夏と冬は気温と水温の較差が非常に大きいため、地下水の水温が気温と同じような年変化をするにもかかわらず、水温は冬暖かく、夏冷たく感じられるわけです。

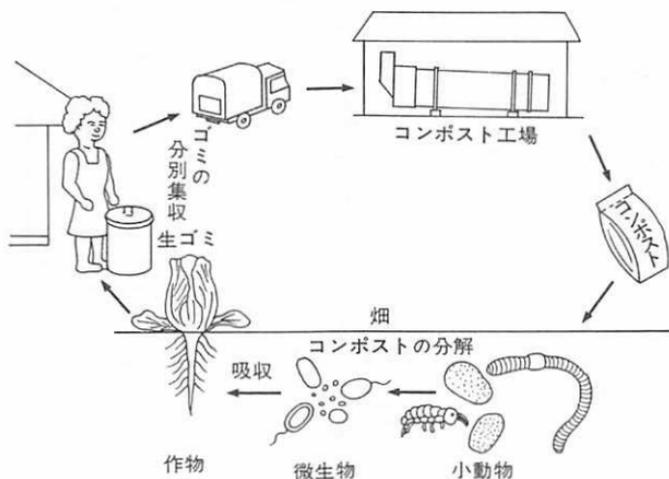
このように地下水の温度が気温と比べて安定しているのは、水温に影響を及ぼす地温の変動が小さいという、土の働きによるもので、地下水は自然の力による天然クーラント（冷却液）であるといえます。（志水俊夫）

土でリサイクル

私たちは毎日どのくらいの量のゴミを出しているのでしょうか。現在、日本全国で出てくるゴミの量は一日当たり一二万七〇〇〇ト、一人一日当たりになると約九八〇グラムになります。ゴミ処理施設は全国で一九〇〇か所にあり、可燃性ゴミの約九割が焼却処理されています。しかし、ゴミの処理には大変費用がかかり、一トのゴミを処理するのに二万四〇〇〇円のお金が使われています。また、ゴミの中には窒素、リン、カリウムなど多くの肥料成分やさまざまな有機成分が含まれており、これらをすべて焼却してその灰を埋め立てるような現在の処理法は、限りある資源をむだにしているといえるでしょう。

ゴミは焼却するのではなく、コンポスト（堆肥）にして畑で利用したらどうでしょうか。畑の土にはミミズ、トビムシ、ダニ、ワムシなどいろいろな小動物がいて、有機物を細かく砕いて分解します。土の中の微生物は数だけでなく種類も多くて、さまざまな有機物を分解する能力を持っています。畑にまかれたコンポストは、土の中で餌となってこれらの小動物や微生物を増殖させ、豊かな生態系をつくるのに大変重要な働きをします。こうして有機物が分解されると、養分が放出されて作物に吸収されます。このようにすれば、ゴミの処理と資源の有効利用の一石二鳥になるといわけです。

ところが、ゴミをコンポストにする工場は現在全国でわずか二三施設しかなく、ゴミ全体のほんの〇・一



ゴミのリサイクル

%が処理されているにすぎません。それは、ゴミに混ざったガラス、プラスチック、鉄などを取り除くのが大変難しく、重金属などが含まれることもあって、品質の良いコンポストをつくるのが難しいからです。

この問題を解決するにはゴミの分別収集を徹底する以外ありません。各家庭からゴミがきちんと分別して出されるならば、品質の良いゴミコンポストがより簡単につくられるようになり、もっと広く利用されるようになるでしょう。日本には約五三〇万畝の農地があり、その地力を維持するためには毎年一億トンの有機物の施用を必要としています。私たちみんなの力でゴミを有効にリサイクルし、土の作物生産力を維持するとともに美しい環境を守りたいものです。

(原田靖生)

食べられる土

奇異に思われるでしょうが、土を食べることは珍しいことではないようです。

ブタは土を食べるので、糞に土が混ざって出てくるそうです。本当は、ミミズか何かを食べているのかもしませんが、たくさんの土をいっしょに食べてしまうところをみると、ほかに理由があるのかもしれない。ヒトが土を食べるといへば皆さんはびっくりするでしょうが、英語には、ジオファジーという言葉があり、迷信や栄養不足から、土、特に粘土を食べることを言うと言語の辞書に記されています。日本語では、食土という言葉が当てるようですが、辞書には書いてないようです。また、中国には昔から「功成食土」という言葉がありますが、これは功績が高く領土を授けられるという、大変名誉なことであつたそうで、飢餓などで土を食べるのはだいたい違います。

ところで、土にはいったいどのくらい栄養価があるのでしょうか。ミネラル成分は別として有機物含量となると、最も高い泥炭土でも五〇〜九〇%、そのうち炭水化物は三分の一ほどと考えられます。炭水化物の熱量を一グラム当たり四〇〇とすると、泥炭土一グラム当たり、六八〇ないし二二〇〇となりまして。しかし、セルロースなど消化できないものが大部分を占めるので熱量値はさらに下がります。ちなみに、でんぶんの熱量は、一グラム当たり四二〇〇です。土の食物としての栄養価の低さがわかっていうものです。

野生動物を研究する方に聞きますと、サルやシカが土を食べる場面に出会うことはあるそうです。土なめ場が特定の所にある場合、ベトバとカリツクあるいはサリーナなどと呼ばれます。よく集まってくるのはシカやヤギ類だそうです。クマやウサギ、ネズミなども観察されています。さらに、これらの動物をねらって肉食獣や狩人が寄ってきますが、観光客に見せる所もあるそうです。

普通は、動物たちが求めるのは塩分、とりわけ植物に少なく動物に多いナトリウムだといわれています。私たちがNHK名古屋放送局の取材のお手伝いをして見せてもらったベトバは、南アルプスの深い山の中の急傾斜の沢にあつて、崩れた岩層が、縦・横それぞれ三〇センチくらいの、小さなカマクラ状をしていました。シカやカモシカなどが訪れるとのことでした。中からしみ出る水は無味でしたが、乾いた所に析出した塩分は苦味のある塩辛い味がしました。測ってみると少しアルカリ性で、カルシウム、ナトリウム、リン酸が多く、亜鉛などの微量金属も含まれていました。周辺の土や植物も、それらのイオンを含んでいましたが、ベトバの土には及びませんでした。

動物たちは餌に栄養素が欠乏していなくても、塩分は味覚としてもとりたいたいようで、なめるだけではなく食べるので、糞は粘土などをたくさん含んだ土だんごになります。

野生動物の生活には、人の観察が及ばない点がたくさんあり、動物の好みや生理的反応もわからないことが多いので、食土の習性は謎に包まれた魅力的な課題といえるでしょう。

(新井重光)

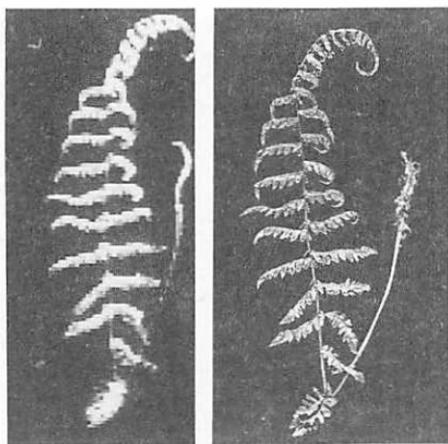
公害に強い植物

イタイイタイ病を知っておられますか。富山県を流れる神通川に上流の鉱山から多量のカドミウムが入り込んだため、長い間、この川の水を引き込んだ田の米を食べたり、汚染された水を飲んだりしていた人たちの、骨がポロポロになってしまったのです。人間はこのように重金属には大変敏感な生理的条件を持っています。ところがある種の植物はこのような場所でも平気で育っているのです。

鉱山地帯へ行くと、一面にシダが生い茂っているのをよく見かけます。たいていの場合、ヘビノネゴザという種類です。このシダは、亜鉛、銅、鉛、カドミウムなどの重金属が多くて普通の植物が生育できない場所に群生するため、「カナケグサ」と呼ぶ地方もあるくらいです。分析してみると、体内の重金属濃度は根で数千ppmに達し、亜鉛のように移動しやすい元素は葉にも数百ppm蓄積していることがわかります。写真左は地上部の亜鉛分布を画像化したものですが、茎よりも葉に集積していることがわかります。

重金属に強い植物は身近にもあります。神社や寺の銅屋根の下に生えるホンモンジゴケは、緑青で染まった石垣や軒下が大好きで、体内の銅濃度は一%にも達しています。不思議なことに表日本にしか分布していませんので、日本海側や北海道で見つかればちょっとした発見です。

これらの植物は、なぜ、多量の重金属があっても生きていけるのでしょうか。無毒化する機構の一つは、



亜鉛鉱山から採取したヘビノネゴザ
左の写真は蛍光×線マッピング法による
画像

重金属の大半を細胞壁に沈着・蓄積し、生体内反応の場である細胞質から分離することにあります。さらに、ヘビノネゴザでは、根の細胞質が、重金属を結合する小さなタンパク（ペプチド）を多量につくって無毒化していることもわかってきました。タバコやトマトなどの植物も、その細胞を重金属を含む培養液で植え継いでいくとこのような結合物質を多くつくるようになり、重金属耐性がでてきます。足尾鉍毒事件のころ、農民が発見した「鉍毒麦」も、大麦が自然に重金属耐性を獲得したものと考えられます。

植物は、さまざまな環境に適応して分布を広げてきました。その存在から環境の変化を知ることができ、それを活用することにより環境を変え、資源を獲得することができます。重金属に強い植物は、土壌汚染の指標として、また荒廃した山林を復元するために利用されています。中国ではホブラの重金属吸収力を利用して汚染土壌の浄化が図られていますし、日本でも金の蓄積植物（ヤブムラサキ）による鉍脈探査法が実用化の一手前までできています。将来、重金属蓄積能を強化した植物がバイオテクノロジーでつくられ、希少な金属資源を回収できる日がくるかもしれません。

（久保井 徹）

土の健康診断

私たちは、定期的に健康診断を受けたり体のぐあいが悪いときは医者に診てもらったりして、自らの健康を保っています。土も人間と同じように、その健康状態を調べて健全な状態を保つようにする方法があります。このことを専門用語では土壌診断と言っています。

田や畑といった農耕地では、農作物が長年にわたって良く育ち、安定的に収穫を上げることが大事で、このような長期安定生産を保証する土が健康な土といえるでしょう。そのためには土の硬さ・水はけなどの物理性、土の窒素・リン酸・カリウム量などの化学性、そして土の中の生物の種類や量などの生物性のどれもが適当な状態で維持されていなければなりません。かつて日本では農耕地の養分不足が大きな問題でした。しかし最近では、逆に肥料のやりすぎによって養分がたまりすぎたり、養分間のバランスが悪くなったりしています。そしてこれらのことなどが原因となって、連作障害のような作物の生育障害や地下水などの窒素汚染が起こり始めています。

農耕地の土壌診断には二つの側面があります。一つは、土の状態が悪化しないように定期的に調べてそのデータを基に土を管理する診断、もう一つは農作物が生育障害を起こしたときにその原因を調べる診断です。土の養分状態を知るためには化学分析が有効であり、土壌診断事業として多くの所で行われています。これ



土のpHとECの分析（神奈川県平塚農業改良普及所）

は農家が自らの田や畑の土を地域の検査機関に送り、検査機関では土を分析して結果を農家に返すというものです。現在よく分析されている項目は、土の酸性度（pH）、電気伝導度（EC）、窒素・リン酸・カリウム濃度などです。これらの値を使って、土をよい状態に維持するために必要な肥料や、土壌を改良する資材の種類や量を計算するわけです。最近ではコンピューターが計算し、処方せんをつくってくれるようになりま

した。なんだか私たちが定期健康診断や病気のときに受ける血液や尿の検査と似ていると思いませんか。

しかし、化学分析だけで土の健康診断が終わるわけではありません。人間の場合に血液検査の結果だから病気と決まるわけではないのと同様に、土の場合も化学分析の結果は農家や農業技術の専門家が土の良しあしを考えるための材料の一つです。最終的には、実際に土や作物の生育を見て判断すべきであることは言うまでもありません。

今、日本では土を大切に保全する努力が軽視されがちですが、このような地道な努力を続けて、私たちの大切な土壌を健全に維持することを忘れてはいけません。

（松永俊明）

家庭菜園の土づくり

ビル風に吹かれることはあっても、もうもうと土煙の上がる風にあうことは少なくなり、水たまりのぬかるんだ道で靴を泥で汚すこともなくなりました。今の私たちはコンクリートの上で生活しているといっても過言ではありません。そんななかでアスファルトの割れ目のわずかな土の上にタンポポの黄色い花を見ると、生命力の強さとそれを支える土の偉大な力に驚きを感じないわけにはいきません。

最近、健康、安全食品、土とのふれあいなどを求めて家庭での菜園づくりが盛んになってきました。だれにでも簡単につくれるコマツナ、ダイコン、ナスなどを上手につくるためには、菜園の土がどんな性質かを知り、土に合った肥料の管理をしたいものです。そのためにはまず土の色と土の細かさ・粗さを調べてみましょう。

湿った土を指先でこねて、こよりをつくるように伸ばしてみましよう。ツルツルした感じで一センチ以上も伸びれば粘土が多く、ざらざらした感じでまったく伸びなければ砂が多いということがわかります。なお粘土が五〇%以上の土を埴土、一二%以下の土を砂土、中間を壤土としています。砂と粘土の違いは粒子の大きさもさることながら、粘土にはコロイドという独特の性質があります。コロイド性の特徴は、伸びや粘りがあり、水や養分を吸着・保持する性質が強いにあります。そのため粘土の多い土は水や養分を保持でき

る反面、排水が悪く酸素不足で根が腐りやすくなります。逆に砂の多い土では乾燥による障害が出やすくなります。これらの対策としては、粘土が多い場合には耕す深さを三〇センチ程度と深くするか、畝をつくって空気の流通や水はけを良くしてやります。砂の多い場合は次で説明するように、有機物を入れてやります。

次に、土の色は主に有機物（腐植といいますが）と鉄の量や質と強い関係があります。黒っぽい土は腐植が多い土です。腐植は窒素に富み、水や養分の保持・運搬に大きな役割を果たしますし、お互いに集まる性質があるので粒状の構造をつくり、通気性が良くなります。また微生物の繁殖も進みます。明るい色の土は腐植が少ないので養分を保つことができにくいこととなります。ですから良い土をつくるには腐植の源である有機物を入れてやるのが肝要です。台所の生ゴミは貴重な有機物資材で、菜園の片隅に穴を掘り半年ほど寝かせたものを菜園の土に混ぜてやりましょう。きつと良い作物ができますよ。特に砂の多い土では効果がありません。

日本に多い火山灰は、リンを取り込んで離さない好ましくない性質を持っています。菜園の土が火山灰であれば、リン酸肥料を入れてやります。

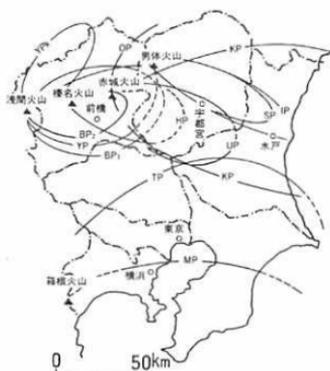
さて良い土ができてもうまく栽培できない場合があります。例えばナス、ピーマン、トウガラシ、ジャガイモなどは同じナス科で、繰り返し栽培すると養分のバランスや土の物理的性質が悪くなります。また一種の自家中毒を起こし、病気が発生します。必ずローテーションをするように注意しましょう。（小川吉雄）

盆栽に適した鹿沼土

園芸店で盆栽をつくりたいと言うと「鹿沼土」をよく勧められますが、なぜ盆栽によいのでしょうか。

鹿沼土は実は火山起源の軽石です。北関東の切り通しなどで褐色の火山灰層に挟まれた淡黄色の層があるのをよく見かけます。これが鹿沼軽石層です。鹿沼軽石は今からおよそ三万二〇〇〇年ほど前、赤城火山の中央火口丘から噴出した安山岩質の軽石で、中に黒い角閃石が入っています。その分布範囲は赤城山の東側に茨城県の鹿島灘にまで広がっていて、地質学では北関東の地質年代を決める有力なカギ層にもなっています。特に、栃木県鹿沼市周辺で粒が大きく、層が一・五〜二センチと厚いことから、その地名をつけて鹿沼軽石と呼んでいます。赤城山から遠くなるほど粒は小さくなり、層も薄くなります。

なぜ鹿沼土が盆栽、特にサツキ用土として適しているのでしょうか。その謎を土の性質から解くことにしましょう。サツキはツツジの仲間です。最も水分を必要とし、通気性の良い、やや酸性の土を好みます。そのため保水性があり、水はけの良い土が求められます。この点鹿沼土は火山爆発のときにガスが抜けた無数の小さな孔があり、その孔の中に土の重さの二倍以上の水を蓄えておくことができます。「土壌三相」といって容積当たりの土と水と空気の割合を見ると、粒の大きさによって異なりますが、二〜五センチの粒では、土八％、水六〇％、空気三三％と容水量・孔隙量とも砂や粘土に比べて大きいことがわかります。鹿沼土のいちばん



TP: 東京軽石層, MP: 三浦軽石層, SP: 七本桜軽石層,
 IP: 今市軽石層, YP: 板鼻黄色軽石層, YPk: 鎌恋軽石層,
 BP: 板鼻褐色軽石層, KP: 鹿沼軽石層, HP: 八崎軽石層,
 UP: 湯の口軽石層, OP: 追良軽石層

関東ローム層中のおもなカギ層の分布
 (関東ローム研究グループ1965による)

の特徴は、水持ちが良く水はけが良いという、相反する二面を持ち合わせていることにほかなりません。第二には、肥料分が少ないことです。盆栽用土は、養分が豊富だと木部や葉が伸びすぎてしまい、花芽の着きが悪くなります。鹿沼土は肥料分をほとんど含んでいないので養分を自由にコントロールすることができません。また、アルミニウム含量が多いため、酸度は五・五〜六とやや低く、リン酸吸収係数が二五〇〇以上と高いことがあげられます。第三に、病原菌が少ないことです。関東ローム層のうち、地表から一〜二層の

所に三万年以上もの間眠っていたため、微生物が少なく、その餌となる有機物も少ないのです。このことは挿し木や挿し芽および鉢植えの根を病害から守り、健全な生育を保つうえで大変有利に働きます。

このように鹿沼土は盆栽用土として理想的な土なのです。鹿沼土の上手な使い方を三点ほど示します。まずふるい分けして微細な粒を除くこと。乾かしすぎないこと。基肥としてリン酸を必ず補給すること。これらに注意すればみごとに盆栽ができ上がることを請け合いです。

(小川吉雄)

土でない土ーロックウール

数年前のつくば科学万博では一株に一万個の実ができるというトマトが展示されましたが、覚えておられるでしょうか。これは養液栽培の一つで、トマトの能力を最大限に発揮させたものでした。通常の養液栽培ではくん炭、ピート、ロックウールなど土の代わりをする人工培地が使われています。最近では人工光のもとに植物工場のような野菜栽培も一部で始められました。

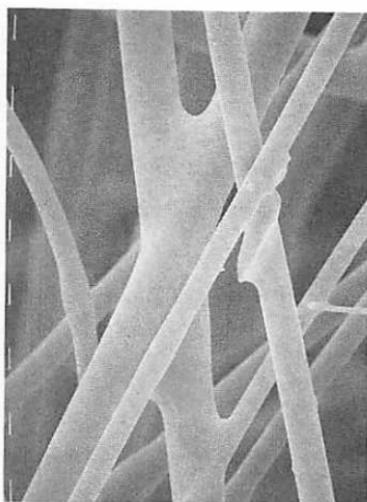
ところで、ロックウールは、ヨーロッパでは玄武岩などの天然岩石を、日本では鉄をとったあとの鉱さい（スラグ）をそれぞれ一五〇〇°C程度で溶解して綿アメをつくる原理と同じ方法で繊維状にして成型したもので、土とはかなり性質が違っています。このロックウールはもともと断熱材・吸音材や防火材などの建築資材として広く使われてきたのですが、農業用として使われたのは比較的最近になってからです。

土は粒子が小さく、すき間が小さいほど植物の根が利用しにくい水を多く含んでいます。ところが、ロックウールは径が数センチという細かい繊維が集まったもので、このすき間に蓄えられた水は弱い力で保持されているため、植物に利用されやすい水が多いのです。さらに土では三〇〜五〇％が固体で残り五〇〜七〇％がすき間ですが、ロックウールでは容積のわずか三％程度が固体の繊維で、残り九七％はすき間です。

このように、ロックウールは土と比べると大量の水を包み込めますが、水をとどめる力が小さいため、乾



バラのロックウール栽培



ロックウールの繊維

き始めると急激に水分を失うので乾きすぎに注意する必要があります。

さらに、土は産地によって性質が違うので、それに見合った栽培法や土壌管理が必要ですが、ロックウールは培地として均質であるため養分管理がしやすく、作物の生育コントロールが比較的やりやすいのが特徴です。また、ロックウールの繊維はケイ酸と石灰を主成分としていますが、中性や弱酸性状態では安定しています。なお、ロックウールを使うと前に栽培した植物の根がはびこり、やがて腐り始めますが、約二年、三〜四作までは繰り返し使用できます。

このように、ロックウールは養液栽培の培地として優れた点が数多くあり、土ではない土として使う場所を考えながら今後も普及していくものと思われます。

(土屋一成)

雨の彫刻

林の中には地面がむき出しになっている所があります。傾斜が急で地表の土や落ち葉・枯れ枝などが流れやすい所や下草などが無い所です。そんな所に、小石や落ち葉、木の幹の破片などが散らばっていると、雨が周りの土を少しずつ削っていき、やがて小石や落ち葉、木片などを帽子のように頭に乘せた土の柱ができあがります（写真）。一〜二センチの小さなものから二〇センチほどになるものまであります。「雨垂れ石を穿つ」ということわざのように、一滴一滴は小さくて弱々しい雨だれ（雨滴）ではありますが、長い間には硬い石も削ってしまいます。そんな雨滴が森林の土を削った跡が土柱どちゅうなのです。

では、雨滴が地面を削る力ほどのくらいなのでしょう。例えば、半径一ミリの雨滴は、毎秒六センチぐらいの速さで落ちてきますが、その運動エネルギーは一エルグにも満たないものです。しかし、一年間の降雨全部の運動エネルギーは、一〇〇平方センチ当たり四〇億エルグとなり、これは、一〇〇ギのボールが時速三〇〇ギで飛んでくるのとほぼ同じエネルギーです。雨滴一つのエネルギーは小さいのですが、雨としてたくさん地面に降り注ぐと大きなエネルギーとなることがわかります。

ところで、林の中と外では、土を穿つ雨滴のエネルギーは違うのでしょうか。雨滴の大きさは、雨の強さによって異なります。弱い雨では小さな雨滴の割合が大きく、強くなるにしたがって大粒の雨が多くなりま



雨が削った土の柱

す。しかし、林の中では雨の一部が葉や枝にたまってし
ずくとなって落ちるので、雨が弱くても大きな雨滴が地
面に降ります。雨滴が大きいほど運動エネルギーは大き
くなるので、高さが一〇センチ以上もある林の中では、枝葉
で降雨が一部遮断されるにもかかわらず、一年間の降雨
すべての運動エネルギーは林の外に比べて大きくなりま
す。とはいえ、天然林や適切に手入れされている人工林
では、低木や下草などが適度に繁茂していて地表への雨
滴衝撃を和らげるので地表面は侵食されず、土柱もほと
んど見られません。一方、林内が真つ暗で低木や下草の
生えていないヒノキ林などでは、強い雨滴衝撃によつて
地表が侵食されるため土柱も多く見られます。

奇妙な形をしたかわいらしい土の彫刻も、実は土壌表
面の侵食の現れであり、土が我々に発している危険
信号でもあるのです。

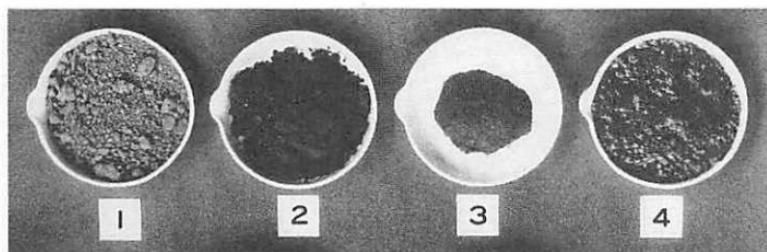
(荒木 誠)

だれでもはじめは芸術家

小学校一、二年の図画・工作では、粘土を使って立体の造形を行います。また、三年でも身近なものとして自然の土あるいは粘土を使うことがあります。粘土を使うとどうしていろいろな形がつけられるのでしょうか。

土には一般に可塑性という性質があります。これは、物に力を加えたとき一樣な変化あるいは流動性を示す性質です。また粘性という性質も持っています。これは、物質を流体と考えたときの性質のことです。乾燥した土では粘土細工はつくれませんが水を少しずつ加えていくと、ちょうどよい軟らかさになり粘りもでてきます。さらに水を加えるとドロドロになり土が流れ出してしまいます。粘土細工にちょうどよい軟らかさは、「可塑性に富み粘性が高い」のです。可塑性や粘性は、粘土粒子と水分子との結合力に関係します。粘土粒子と水分子の結合は、水分子どうしの結合より強いのです。そのため適度な水分量では土の塊が保たれますが、水が多すぎるとバラバラになってしまいます。

土は固体（鉱物粒子や岩片）と液体（水）と気体（空気）からできています。しかし、土のことを研究する人たちは、固体―①↓半固体―②↓可塑性―③↓液体という土の変化を考え、水分量（含水比）を使って、①を吸収限界、②を塑性限界、③を液性限界と呼び、それぞれの状態を分けています。固体から液体への変



含水比の違いによる自然の土(火山灰土)の変化の例

1. 乾燥土50g + 水0g → 含水比0%
2. 乾燥土50g + 水25g → 含水比50%
3. 乾燥土50g + 水37.5g → 含水比75%
4. 乾燥土50g + 水50g → 含水比100%

化は、ビスケット・チーズ・バター・スープの違いにたとえられています。粘土の塊を指で押すとその形が残ったり、鋳型にはめて型がとれるのは塑性体の特徴です。

教材として粘土細工によく使われる油粘土には、天然の粘土はわずかしが含まれておらず、バターのような炭素がたくさん鎖のようにつながった高級油脂が原料として用いられています。紙粘土には、上質のパルプ繊維と石灰分が含まれ、その白さのもとになっています。また、最近では、グルテンというタンパク質の性質を利用した小麦粘土が製造されています。しかし、油脂やパルプを高温で焼くと溶けてしまうので、焼き物には天然の粘土を使います。最近では、原料が液状になるほど水分を含んでも、石ころのようなものでつくられた吸水性に富む鋳型に流し込めば、目的の焼き物ができるという方法もあります。天然の土から粘土細工の原料をつくるには、粘土分を多く含む土を採取してから、可塑性を持つように、そして粘性が高くなるように徐々に水を混ぜていくことが必要なのです。

(八田珠郎)

土のあだ名

動物や植物の名前に方言があるように、土にもさまざまな方言があることをご存じでしょうか？

土は食糧生産のおおもとですから、人々ははるかな昔から、土の性質の違いが作物の生産量に大きな影響を及ぼすことを経験で知っていました。ですから、それぞれの地方で土の性質の違いに対して、さまざまな呼び名を与えました。それが今日もなお土の方言として日本各地に残っています。

わが国には火山が多いため、火山から放出された火山灰、砂、浮石（軽石）などが広い範囲に堆積しています。火山灰土壌と呼ばれるこの土は、日本の畑の面積の約六〇％以上も占め、北は北海道から南は九州まで広く分布しているので、我々日本人にとってきわめてなじみの深いものです。この土は表層が黒色で腐植に富み、ほくほくして軽いので、一般に関東地方以北では「黒ほく」、西南日本では「黒ぼこ」と呼ばれています。まず、この火山灰土壌といわれる土の日本各地の方言について紹介しましょう。

この土には、さまざまな方言があります。例えば、のぼく（宮城）、のぼく・のぼく（山形）、黒のぼう（群馬）、黒のっば（茨城）、のぞ・ぼく（栃木）、黒のっふい（山梨）、黒のっぺ・ぼっく（埼玉）、くろ（岡山）、くろぼや・くろばや（広島）、黒ぶつ・さるぼく（長崎）、どや・ぼく・ぼや・ほくそ（大分）、くろほや・くろぼっこ・くろどや（宮崎）、くろぼっこ・くろつち・くろぼんこ（鹿児島）など各地でそれぞれ異なり

ます。

同じ火山灰土壌でも、県内に広く分布している群馬では、この土に一五種の俗称が用いられています。いわく、のつぼ土・のつぼ・のつち・のがた・のぞつぼ・そつぼ・そでんぼ・ふつとばし・くろぼく・くろほこ・くろのぞ・くろのつぼ・あかのつぼ・あかのぞ・あかつぼろ。

少し古い時代の話をしましょう。江戸時代の有名な農書『清良記』第七卷親民鑑月集には、南伊予の農業のことが詳しく書かれています。この中で土に關して、その土の色や土性によつて質の良いものから悪いものへと、真土（まつち）、音地（おんじ）、疑路（ぎち）などと分類されています。真土と同じように農業生産にとつて良好な土をほかの地域では、まなご（愛知）、まつじ（栃木・宮城）、まつち（埼玉など）と呼んでいます。また、音地については、おんじやく（佐賀・大分）、おんつち（香川）、あかほや（宮城・鹿児島）、いもご（熊本）などの呼称があります。

このように、現在も日本の各地で使われている土の方言は、昔からの暮らしぶりと土に対する人々の愛情の反映ともいえるでしょう。また、現在の土壌学の観点からもきわめて貴重な遺産となっています。

このような地方色豊かな土の方言は、いつまでもその地域の人々とともに生き続けられるか。それはひとえに、我々現代人の土に対する認識と敬意の深さにかかっているとはいえるでしょう。（陽捷行）

III
土の
横顔

岩石と土の違い

岩石と土、ともに私たちが住んでいるこの大地を形成している大切なものです。土には石ころも入っています。でも何かちよつと違って見えませんか。硬い軟らかいの違いだけでなく、岩石には草木も生えず物質的で無機的な印象を受けますが、土の上は、緑にあふれ生物的で有機的な感じがしませんか。その違いはどうして生じたのでしょうか。

岩石は主に鉱物粒子の集合した塊です。その岩石は、マグマが冷えて固まってできた火成岩、いろいろな岩石が地球内部で高圧高温のため組織が変わったり、新しい鉱物が生まれたりしてできた変成岩、風化・侵食された岩石が運搬・堆積され、再び固まってできた堆積岩に分けられます。このため火成岩や変成岩は主に地球内部の状況を反映しているのに対し、堆積岩はもとなった岩石の特徴や堆積した場所などの地球表層の環境を反映しています。

これらの岩石が地表に現れ、太陽や風雨にさらされるとだいに細かい粒子になります。それらは風や雨によって別の場所に運ばれて堆積することもあります。また火山灰のように初めから細かい粒子のものもあります。このような細かい粒子の集合物を「土」と呼ぶこともあります。その上に緑を育てている土とは少し異なります。緑を育てている土の中には、動植物や微生物、その遺体や排せつ物、あるいは微生物によつ

て分解された腐植といった有機物が必ず入っています。これは生物が関係していることを示すもので、このような土を土壤といいます。

土壤は岩石表面にバクテリアやコケの類が生活を始めるときから少しずつできていきます。これらの生物は岩石から溶け出した養分を利用しますし、養分を取るために岩石を溶かす成分を出します。その遺体も岩石を溶かす成分に変わります。成分の一部が溶け出した岩石は砕けやすくなり、しだいに細かい粒子になります。またもとの鉱物の変質したり、新しい鉱物になることもあります。その鉱物の代表は粘土鉱物と呼ばれ、土の最も細かい部分の主成分です。鉱物の変質や新しい鉱物の生成は粒子が細くなるほど早くなります。そこに住むことのできる生物もしだいに多くなり、種類も増えてきますし、最初の生物よりもっと大形になり、加わる有機物の量も増えます。このようにして土壤ができてきます。堆積物や火山灰も初めから粒子が細かいことを除けば同じようにして土壤になります。

岩石やその砕けた粒子などの土のもとになる物質を母材と呼びます。土壤が侵食され、運搬・堆積した場合のように、母材には有機物が含まれることもあります。このような母材に生物が働いて一つの複合体になったもの、これが土、すなわち土壤です。

(草場 敬)

黒い岩から赤い土

山道などで車窓から切り通しを眺めたことはだれにでもあることでしょう。その断面は細かく見れば千差万別ですが、おおまかに言えば次のようになっていきます。まずいちばん下の岩盤に目をひかれる人が多いかもしれませんが。それは普通黒っぽい色をしています。さらに上へ目を移すと、岩盤では一枚岩だったのがグズグズに割れて、割れ目に土が詰まっているのが目に入ります。さらにその上は黄く褐く赤色の土に変わります。土は地表に近づくと、有機物のため黒みを帯びてきます。

こうした切り通しの断面のようすは、いちばん下の岩石が変化して土になったことを教えてくれます。黒い岩が赤や褐色の土に変わったのです。その変化を風化と呼び、岩を土の母なる岩という意味で母岩といいます。岩石はケイ素、酸素、アルミニウム、鉄のほか多種類の元素が規則的に配列された鉱物から成り立っていますが、それが風化するとき、まず各元素がバラバラになります。風化を進める主役は水で、水の和水、溶解、加水分解能が各元素をバラバラにするのです。大気中の二酸化炭素と地表生物の出す二酸化炭素や有機酸などは、水に溶けて岩石の風化を早める働きをします。岩石中の鉄の大部分は、二価鉄(Fe^{II})の形で存在し、それが多いほど黒っぽく見えます。地表の風化に際して、二価の鉄は酸素と水が加わると加水酸化鉄となります。加水酸化鉄の色は赤く褐色系で、これが土に色をつけているのです。

元素	化学記号	玄武岩	玄武岩 風化物
ケイ素	SiO ₂	45.0 %	28.9 %
アルミニウム	Al ₂ O ₃	14.6	19.4
鉄	Fe ₂ O ₃	13.3	30.5
カルシウム	CaO	9.8	0.5
マグネシウム	MgO	10.1	0.2
ナトリウム	Na ₂ O	2.4	0.2
カリウム	K ₂ O	1.5	0.1
チタニウム	TiO ₂	1.9	4.8
強熱減量	H ₂ O	1.6	15.8

玄武岩とその風化物の元素組成
(Louqhuan, F.C.(1969) Chemical Weathering of the Silicate rocksより)

さて、バラバラになった元素がその後どうなるかをお話ししないと、岩が土になる話は完結しません。バラバラになったケイ素の一部とアルミニウムは再び結合して新しい鉱物をつくります。顕微鏡でも見えない二つ以下の細かな鉱物で、これを粘土鉱物といいます。これが生物の生存にとってどんなに重要な役割を果たしているかは、本著の他の項に譲りましょう。水に溶けやすい塩素イオンや硫酸イオンなどの陰イオン、ナトリウム・カリウム・カルシウム・マグネシウムなどの陽イオンは、水に溶けて流れ、川を経て海まで運ばれます。海水が含む塩分の源です。粘土鉱物ができる

とき余ったケイ素の一部も水に溶けて流れ去ります。

一方、鉄・チタニウム・リンなどは水に溶けにくいため風化物中に残り、水に溶けやすい成分が減った分だけ逆に濃縮します。これを残留濃縮といいます。風化が進むほど鉄はますます濃縮し、その一部は赤鉄鉱や針鉄鉱などの新たな鉄鉱物をつくり、土は赤みを強めていきます。母岩とそれからできた土の元素組成の比較(表)から、今までお話ししてきた岩が土になる過程を読み取ることができます。

(三土正則)

土の年齢を測る

木に年齢があるように、土にも年齢があります。木は年輪を調べれば年がわかります。ほとんどの土には年輪がありません。しかし、土の年齢を調べる方法があります。土がつくられるとき、欠くことができなにもものに植物や微生物の働きがあります。地表ではこれらの生物の活動によって、新しい土が絶えずつくりられています。それに対して地下に埋もれてしまった土は、いわばとうに死んでしまった土です。このような土の年齢を測るのに利用されているのが放射性炭素 ^{14}C です。

^{14}C は質量数が一四の炭素原子です。「あれっ」と首をかしげる人がいるかも知れません。というのは炭素の質量は一二と習ったからです。炭素原子のなかで質量数が一二のものが圧倒的に多いのですが、わずかながら一三や一四の炭素も一定の割合で存在します。同じ元素で質量の違うものを同位体と呼びます。炭素同位体のうち ^{14}C はとても不安定な性質を持っていて、ベータ線という放射線を出して質量数が同じ一四の窒素原子に変わっていききます。変化の速度は周囲の状況に左右されることなく常に一定なので ^{14}C は過去を測る時計として使うことができます。

^{14}C は壊れていくばかりでなく、宇宙線的作用によって大気中の窒素からある決まった速度でつくり出されます。だから ^{14}C は大気中で一定の比率を保っていることができます。

ほかの炭素同位体と同様に ^{14}C も大気中では二酸化炭素の形で存在します。光合成によって植物体内に取り込まれますから、植物が生きているかぎり植物体の ^{14}C の比率は大気中のものと同じと考えてよいのです。ところが植物が枯れると新たな炭素の供給は止まり、壊れていくので、その量はしだいに減少していきます。したがってはじめの状態、すなわち大気中の ^{14}C の比率に比べて植物遺体の ^{14}C がどれくらい減っているかがわかれば枯れてからの時間がわかるといふわけです。

^{14}C ははじめの量が半分に減少する時間（半減期）が五七三〇年というゆっくりした速度で壊れていきます。だからある試料の ^{14}C の量が半分であれば年齢は約五七〇〇年、四分の一であれば約一万一四〇〇年となります。ここで注意しておきたいことはこの年数の基準となる時期が西暦一九五〇年だということです。というのは、この年以降核実験などの影響を受けて基準としてきた大気中の ^{14}C が増えてしまったためです。

放射性炭素年代測定法によって土の古さを知るといふことは、実はその土と運命を共にしてきた植物あるいはそれが形を変えた有機物の年代を測ることなのです。泥炭土や黒っぽい土はこの方法で年代を知るのに適した土で、この方法によって考古学などの進歩に大きな貢献をしてきました。

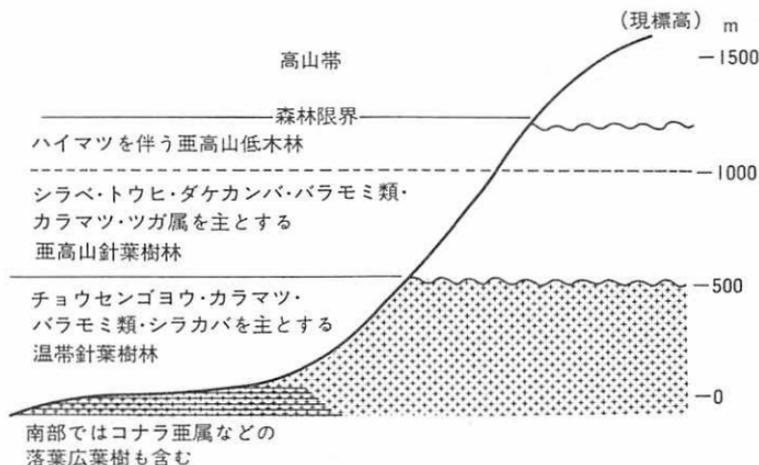
（豊島正幸）

東京は北海道と同じくらい寒かった

現在、関東地方の平野部はほとんど農地・宅地・工業用地などに開発し尽くされ、森林は台地の縁の常緑樹林や台地上の雑木林として残っているだけです。人間が森林に大きく干渉する以前はどのような森林が成立していたのでしょうか。気候的には関東平野はカシ類を主体とする常緑広葉樹林が覆うはず。最近、関東地方の過去の植生を総合的にとらえようという試みがなされています。

過去の植生の復元は、土の中に埋もれている花粉の化石や、種子・果実の化石、木材の化石などの種類を明らかにすることによって可能になります。なかでも種子や果実の化石は植物分類の種段階まで検討ができるので、現在の植物相の成立過程を探るための重要な手段となります。一方、いつの時代に埋まったのかを調べるには、放射性炭素を使って測定する方法と、いつ噴火したかがわかっている火山灰の層を使う方法があります。火山国の日本では、非常に広い範囲で堆積している火山灰から噴火年代も調べられています。

今からおおよそ二万年前の最終氷期の最寒冷期には、鹿児島県の始良カルデラ（桜島と鹿児島市を結ぶ線より北の鹿児島湾）から噴出した始良火山灰が本州北部まで広い地域を覆いました。関東地方ではこの時期、台地を覆っていた落葉広葉樹林がチョウセンゴヨウの森林に替わりつつありましたが、この火山灰の降灰をきっかけとして、平野部はチョウセンゴヨウやカラマツ、バラモミ類などから成る針葉樹林にすっかり覆わ



約2万年前の関東地方の垂直植生帯の模式図(辻, 1987),「百年・千年・万年後の日本の自然と人類」, 古今書院より

れてしまいました。これらの樹木は、現在では主に亜高山帯下部に生育していることからみて、当時この地域が非常に寒冷で厳しい環境であったと推察されます。平野部から山地に移ると、一〇〇〇年前後までは、シラベやトウヒ、ダケカンバ、バラモミ類、カラマツ、ツガ属などから成る亜高山針葉樹林が成立し、その上にはハイマツを伴う低木林が広がっていました。森林限界は現在より千数百メートル低い一二〇〇メートル付近にあったと考えられます。気温に直すと今より約七℃ほど低かったことになります。このように、当時の東京は現在の北海道並みに寒かったです。

植生復元はほかの場所や時代についても進められていて、植物の種類の解析も明確な成果が出ています。例えば、ただか二万年前の森林の中にも今のものとは違った形態のトウヒ属の樹木が見つかっています。(能城修一)

川がつくった！段々畑

伊那谷のような、大きな川が流れている盆地を歩いていると、ときどき対岸のちよつと高い所に、川に向かって少し傾いた平らな部分が見えることがあります。場所によっては二段、三段と重なっていて、長野県の伊那谷では四段、五段のものも見られます。これが本題の河岸段丘です。段丘は、河口付近の平野を除けば大きな川の両側にだいたい見られるもので、海岸にもときどき見られます。むろん海岸のものは河岸段丘といわずに、海岸段丘といいますが、どうして河岸段丘のような地形ができたのでしょうか。

図を使って説明しましょう。図の①のように流れている川も何千年、何万年といった長い年月の間には、地形や海水面の変動の影響で、現在の川底を削りさらに深い所へ流れを変えることがあります。そうなる図の②のようにいままで河原だった所は川より一段高くなります。これが繰り返し起こると図の③のような地形ができます。こうして河岸段丘ができあがるのです。この図の最も高い位置にあるⅢが最も古い段丘で、Ⅱ、Ⅰの順に新しくなります。土壌の古さもその順になるので、高い段丘の土壌のほうが古くなります。

段丘の上では河原の砂利の時代から始まる土壌のでき方が非常によくわかります。まず図の①の段丘の初めでは河原のときのように土砂の移動や冠水がなくなるので植物がたくさん生えてきます。植物の一部は土壌に残って腐植をつくり、石や砂の風化と腐植の働きて粘土鉱物ができます（図の③の段丘Ⅰ）。腐植は

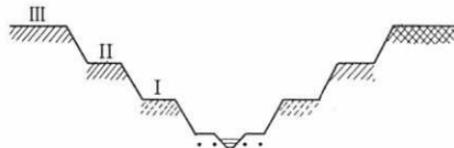
① 段丘ができる前の状態



② 河川段丘が1段できる



③ 3段に発達した河岸段丘



河岸段丘のできるしくみ

アンモニア、リン、カリウムなどの養分を蓄える能力を持っており、水分も保つ働きがあるので、植物はさらに繁茂して土壌中の腐植や粘土も増えていきます（段丘Ⅱ）。段丘ができた初めのうちは、土壌を中性に保つ働きのあるカルシウムやマグネシウムがたくさんありますが、雨によって徐々に洗い流されやがて酸性に変わっていきます。粘土鉱物も酸性の環境で徐々に変わっていきます。ですから古い段丘の土壌（段丘Ⅲ）は酸性が強く養分が乏しくなります。実際に日本各地の高位段丘と呼ばれる一二〜三万年前にできた段丘上には強酸性で養分のきわめて乏しい赤色の土壌が分布しています。

段丘の発達に伴う土壌の性質の変化は海岸段丘においても見られますが、関東地方などのように火山活動が盛んな地域ではこの関係が成り立ちません。というのも、段丘が形成されてから後に火山が噴火した場合は、土壌は段丘に積もった火山灰からできるからです。例えば図の③のⅢ、Ⅱ、Ⅰのすべての段丘ができてから火山灰が降ったときには、各段丘には同じ火山灰から成る性質のよく似た土壌ができます。

（金子真司）

砂上の楼閣

「砂の地盤と粘土の地盤ではどちらが強いのですか？」と聞かれると、「砂の地盤」と答える人が多いと思います。普通はそれが正解なのです。泥沼を埋め立てて道路や宅地をつくる場合、普通は粘土でなくて砂を用います。粘土では相変わらず泥沼のままなのです。また、「泥沼に入り込む」の泥沼とは粘土から成る沼のことをいいます。ところが、地震が襲ってきますと、砂の地盤は急変してあたかも液体のような状態になることがあります。昭和三十九年の新潟地震のときには、新潟市内のいたるところで砂地盤が液体状になって、その上に建っていた多くのビルディングが傾いたり沈んだりしました。地下に埋められていた水道管やガス管もずたずたに壊れ、浄化水槽は浮き上がってきました。このように、ふだんは強い砂地盤が地震のときに液体状に急変してしまう現象を「砂地盤の液化化現象」と呼んでいます。

しかし、液化化現象の発生は、地下水位が浅く、ゆるい砂地盤が存在する地域にほぼ限られます。ゆるい砂地盤とは、今から一万年前までの間にできた沖積砂層や砂で造成した埋立地のような地盤のことです。したがって、海岸や湖沼の埋立地、河川の下流域から河口付近にかけての沖積低地、砂丘間低地では液化化が発生する可能性が高くなります。

地震が発生すると、地盤にS波やP波、表面波が伝わってきます。このうちS波の作用によって液化化が



噴砂の跡

発生すると考えられています。S波はせん断波とも呼ばれており、土に対して左右に押し引いたりする力を加えます。地下水面下にある砂は、繰り返すこの力で砂の粒子のかみ合わせが少しずつ外れていき、しまいには砂の粒子がバラバラになってちようど水の中に砂の粒子が漂っている状態になります。このため、砂の強さが失われ、地盤が動き出し地盤上にある建物を支えきれなくなるのです。液状化して砂の粒子がバラバラになると、地震の圧力を粒子の間を満たしている水（間隙水という）が支えねばなくなり、このため、間隙水の圧力は非常に高くなり、しばしば地表に向かって消散していくため、砂と水がいっしょになって地表に噴き出し、すそ野の広い火山のミニチュアのような砂の小山ができます。これを噴砂といいます。ときには写真のような大きな穴ができることもあります。

（陶野郁雄）

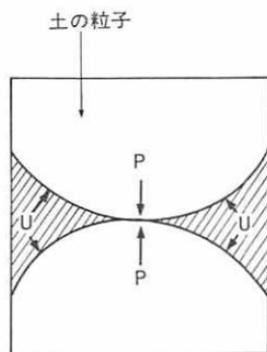
土の集団移動

土は、ときどき塊のまま大規模に動くことがあります。そして、近くに人家などがあつたりすると、住民の生活に大きな影響を及ぼすこととなります。これが、地すべりとか山崩れなどといわれる現象です。

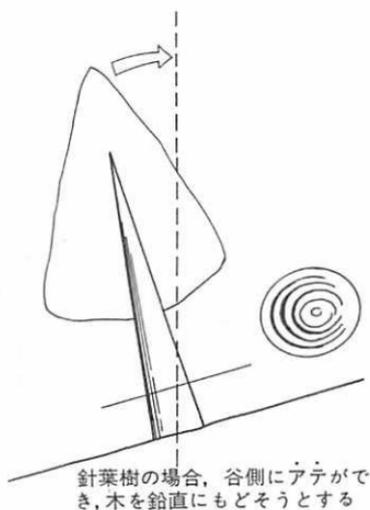
このような土が集団で動く現象は、まとめてマスマーブメントと呼ばれ、地震・噴火・侵食などとならんで地形を形成する役割の一部を担っています。では、なぜこのような土の移動が起こるのでしょうか。それは、坂道に置いたボールが重力の作用により下方に転がるのと同様に、斜面の土に重力による下向きの力が働いているため起こります。ところが土には土の粒どうしが引き合う性質や粒と粒の間の摩擦が働いているため、重力に抵抗してその場にとどまろうとする力が発生します。つまり、ふだんはこの抵抗する力が土を下方に動かそうとする力より大きいため斜面の土は移動しないのです。そして、何らかの原因によって、土を動かそうとする力が抵抗する力を上回ったときに土の塊が動き出すのです。ですから傾斜が強く、また滑り出す面の上部が重くなればなるほど、起こりやすくなります。

では、斜面の土が動き出す原因とは何でしょうか。その最大のもは地下水の影響です。ある深さの土を拡大して考えてみると、土を構成する粒が積み重なって、粒の間の空隙が地下水で満たされた状態にあります。土の粒子どうしはその深さに応じた力（ P ）で互いに結び付いています。ところが、地下水は深さに

応じた水圧（ U ）で、逆に土と土の粒子を引き離すように働きます。ですから大雨などで地下水が急に増えて水圧が大きくなると、粒どうしを結び付ける見かけの力（ $P-U$ ）が小さくなります。すなわち土



P：土の粒子が結びつく力
 V：間隙を満たした水の圧力
 土の粒子を結びつける見かけの力
 $P' = P - U$



針葉樹の場合、谷側にアテができて、木を鉛直にもどそうとする

土が移動するしくみとアテの形成

の移動に抵抗する力が低下するという事です。そして、斜面を動かそうとする力が抵抗する力を上回った部分から破壊が起こり、ひいては斜面全体が動き出すことになるのです。梅雨や台風の大雨や雪解けの時期に山崩れや地すべりが多いのはこのためです。

このような土の移動を簡単に知ることはできないのでしょうか。実は、じわじわとした地面の動きを木の年輪で知ることができる場合があります。木は鉛直に成長する性質があり、土が移動した結果地盤が傾くと、鉛直に戻ろうとしてアテと呼ばれる異常な年輪ができます。特に、針葉樹のアテはほかの材に比べて濃い色をしているので一目瞭然です。この異常な年輪から土の移動の歴史の一端を知ることができるのです。

（落合博貴）

雨降って地固まる

土はぬれて湿っているときほど軟らかく、逆に乾いて水分が少なくなると硬くなる——これが土の硬さと水分含量との関係について私たちが日ごろ漠然と持っている印象です。それでは土に加えらるる水は常に土を軟らかくする方向にだけ働くか、というと必ずしもそうでないのが造化の妙であり、その逆説性のゆえにこの純粹に土壤の物理的な現象はことわざとしての地位を保ってきました。「雨降って地固まる」とは実際にはどういふことなのか。

どんな種類の土壤でも、その硬さを決めているのは水分含量だけではありません。土壤粒子の詰まりぐあい（充填密度）や空間的配列（土壤構造）も土壤の硬さに大きく影響します。雨降って地固まるのは、雨が土壤粒子の充填密度や空間的配列を変えたり、あるいは変えるきっかけとなるからにほかなりません。

一般に、表層の土壤は砂・微砂・粘土などの個々の粒子が集まってできた、団粒と呼ばれる集合体からできています。団粒には土壤生物の作用によって形成されたものもあれば、単に耕すという機械的な力でできたものもあり、力学的な強度や安定性もさまざまです。しかし、団粒化した土壤に共通しているのは乾いて水分含量が小さくなったときに硬くなりにくいということです。これらの土壤では団粒どうしを結び付けているのは土壤水分による毛管力であり、これが失われてしまうほど乾くと硬さはかえって小さくなります。

この状態にあるのが雨が降る前の、硬さを知らない土だといえます。

そこへ強い雨が降ったとします。地面が植物などで保護されていなければ、雨滴の持つ力学的なエネルギーは団粒を直接破壊しようとしています。有機物や微生物の菌糸などによって安定化されていない団粒はやがて砂・粘土などの個々の粒子に分散し、もともとの土壤構造はすっかり変えられてしまいます。雨が上がつて再び土が乾いたときにできているのは、大きな孔隙が破壊され、あるいは孔隙の内部が細かい粒子によって埋められてしまった単粒状の構造です。単粒状構造を持つ土壤は乾けば乾くほど硬くなります。雨に打たれたことにより、もとの軟らかい土壤は乾けば容易に硬くなる層を地表付近に持つにいたるのです。

地表面に形成された、この緻密な層はクラスト（土膜）と呼ばれます。粘土含量が小さくてナトリウムが多い乾燥地帯の土壤は、概して団粒の安定性が小さく、雨滴の衝撃によってできた固いクラストがしばしば作物の萌芽障害の原因になります。一方、湿潤な地域では、降雨後の湿った状態にあるときに車両を走らせると、粘土の多い土壤はねり返されて土壤構造がやはり破壊されます。この場合にはクラストができるわけではありませんが、土壤は乾くとかちかちに硬くなります。

今までの話とは別に、適量の水が土壤構造を変えずに土を硬くすることがあります。土壤が砂質のときで、海岸の砂浜などでもよく経験することです。これは砂質土の硬さが、団粒化した土壤と同様に土壤水分の毛管力によることからくるものです。

（加藤英孝）

霜柱の立つ土

冬の晴れた朝、特に関東平野などでは、畑や公園の土の表面にきれいな霜柱を見ることが出来ます。これを手のひらに乗せたり足で踏みつけたりしながら学校へ通った経験をお持ちの方も多いでしょう。あるいは、「麦踏み」を手伝った方があるかもしれません。麦踏みは、霜柱で持ち上げられた麦を踏んで根を土に密着させる大切な農作業の一つです。

霜柱は土の表面にできた氷の「柱」です。どうして水もない土の表面に氷が成長するのでしょうか。まず、なぜ霜ができるのかを考えてみることにしましょう。

最初に「冬の晴れた朝」という条件です。晴れているために地表の物体と上空の冷たい大気との間に光をさえぎるものがありません。すると地表の物体からこの冷たい大気あるいはその向こうの宇宙に向かって赤外線が放射され熱が奪われます。これを放射冷却といいます。熱が奪われるのは、石でも土でも、落ち葉でもみな同じく大気に触れる表面です。こうして、気温に先立ってまず地表の温度が下がります。寒気が強い場合には、これらの表面は 0°C 以下になり、大気中の水分が表面に凍りついて霜になります。

土の表面では、霜ではなくて霜柱ができます。では、どうして土にだけ霜柱ができるのでしょうか。この氷となった多量の水はどこからくるのでしょうか。まず、霜柱を手にとってよく観察してみてください。いち

ばん上部が必ず薄い土帽子を乗せているのに気がつきます。実は、この薄い土が第二の秘密です。この土が宇宙に向かう赤外線が発信基地なのです。ここがまず 0°C 以下になります。土は少し水を含んでいるので、熱を放出することによりこの部分の水が凍ります。一ダで 80°C という大きな熱が放出されます。この氷に向かつて液体の水がその下の土から流れ込みます。そして放射冷却が進むにつれて次々と氷が成長し霜柱となるのです。

土の中を液体の水が流れるのは毛管現象によります。毛管現象とは水の表面張力により土の小さい間隙の中に水が保持されることをいいます。紙の先端を水につけると水が徐々に上の方に昇り、ついには紙が水でぬれてしまうのもこの毛管現象です。関東地方の霜柱が特に有名なのは、ときに 10°C にも達する大きな霜柱ができるためです。これは、土が火山灰起源であり、毛管が発達していて水をよく輸送できるためです。

ただし、現在でもこの霜柱ができる現象が完全に解明されているわけではありません。土の下層から表面の氷に向かつて非常に速く水が移動するメカニズムがわかっていないのです。この流れの速さは常温のときより数段階速いといわれています。駆動力はもちろん大きな温度差によるのですが、それによって生じるポテンシャル差がどの程度の大きさか、そのときの土の透水性はどうなっているのかなど、まだ十分わかっていません。このように、自然界には身近な所に解明されなければならない秘密がたくさん残されています。

(粕渕辰昭)

春を呼ぶ土の嵐

関東平野の畑作地帯によその地域から引越してきた人ならだれでも、春先の大地に覆いかぶさるように吹き荒れる、土ぼこりの嵐にまず驚いたに違いありません。他の地域ではそれほどでもない春先の土の嵐が、この地域で特に激しいのはどんな理由によるのでしょうか。

冬の間、関東地方は他の太平洋岸の地域と同様、乾いた北西の強い風にさらされます。土壌からは水分の蒸発がゆつくりと進み、土壌は乾燥して最表層の単位体積当たりの重量は春先に最も小さくなっています。しかし、これだけが土ぼこりの舞いやすい原因ではありません。

この地方に主に分布するのは、黒ぼく土と呼ばれる火山灰が風化してできた土壌です。黒ぼく土は一般に微細な団粒（空間部分が多い土壌粒子の集合体）がよく発達していて、しかも団粒間に働く凝集力（引きつけ合う力）が小さいという特徴を持っています。このために水はけも水持ちもともに良く、耕しやすいという長所があるのですが、実はこの特徴こそが土の嵐をこの地方にもたらす原因にもなっているのです。

黒ぼく土はもともと粘着力が弱く、また乾いたときでも硬くなりにくい性質があるので、適当な水分含量のときに耕してやると、容易に細かく砕かれてふかふかした状態になります。これと同じ性質のために生じて、春先の土の嵐に深い関係を持つのは、冬の夜間に地温が低下したときにできる霜柱です。霜柱がたくさ

んできるには、下層の土壤からの毛管上昇による水分の供給力が大きく、かつ土壤粒子の間の凝集力が小さいことが必要ですが、黒ぼく土こそはこの二つの条件を満たしているのです。霜柱はあたかも土を耕すかのように働き、土壤の表層はふかふかにされて今度は大変乾きやすくなります。

こうして軟らかくなった最表層の土壤をかううじて大地に接着しているのは、なけなしの土壤水分による毛管力と、水分自体の重さです。乾燥した強い季節風のためにやがてこの水分が失われたとき、表層の土壤は大地の束縛から解放されていつせいに空中に舞い上がり、空を埋め尽くすように運ばれていきます。

これに対して、粘土の多い土壤ではなかなかこうはいきません。水分が多いときには粘りつき、乾くとたちまち硬くなる土壤では耕しても大きな土塊が残ったままになりがちです。また凍結・融解の作用により風で飛ばされるほど土壤が細かくなることも、こういう土壤ではまれです。

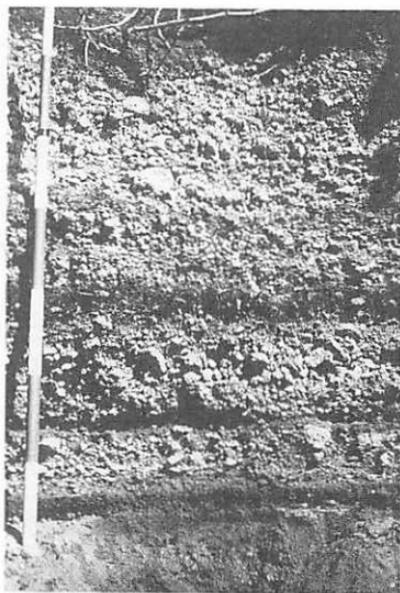
風で運ばれる土壤粒子の群れ、これは風食と呼ばれる土壤侵食の一種です。失われるのは窒素、リンなどの養分、そのうえ農薬まで吸着した肥沃な表土。その行き着く先はいつたどこなのでしょうか。農耕地土壤の肥沃さだけでなく、私たちの環境を守るためにも、土の嵐はもつと関心が持たれてもよいことだと思います。

(加藤英孝)

火山灰の国—日本

十勝岳噴火、伊豆大島噴火、桜島噴火と噴火のニュースを聞くたびに私たちは火山とともに生きていることを実感します。それもそのはず、日本はいつ噴火してもおかしくない七七もの活動的火山を抱えた、世界でも有数の火山の国なのです。

火山は一度大きな噴火を起こすと、マグマや岩石の破片、火山灰を広い範囲に降り積もらせます。火山灰の上には植物が生い茂り、その遺体は黒色の腐植をつくり、火山灰土と呼ばれる土壤ができあがります。日本の活動的火山の風下側にはこのような火山灰土が広く分布しており、その面積は国土の約六分の一にも達します。ほかの土壤にも多少とも火山灰が混じっていますから、日本は火山灰の国でもあるのです。ひと口に火山灰といってもマグマの性質の違いによりその性質は異なります。マグマは地下深い所でできる岩石の溶融体で、マグマが地表に達すると噴火が起こり火山ができるのです。マグマはケイ酸含量の多い順に流紋岩質、デイサイト質、安山岩質、玄武岩質に分けられます。桜島や浅間山といった日本の多くの火山は安山岩質ないしはデイサイト質マグマを持ち、白色の軽石や火山灰を噴出します。これに対し富士山や伊豆大島のような玄武岩質マグマを持つ火山の火山灰は色が黒っぽく、新鮮で粗粒なものはコークスのような顔つきをしています。ただし、色は黒くても玄武岩質の火山灰は他の火山灰に比べ風化しやすく、マグネシ



北海道渡島駒ヶ岳の火山灰土 何枚も
の粗粒な火山灰層が積み重なり、その間には腐植に富み埋没土がはさまれている。

ウムなどの多量の塩基を供給するため、その火山灰土は生産性の高い土壌であるといわれています。

ところで、火山灰土は今でこそ畑土壌として大いに活用されていますが、昔は劣悪な土壌であったためあまり利用されませんでした。というのは、火山灰土は一部のを除きリン酸を吸着するアロフェンなどの非晶質粘土を多く含み、酸性であるためリン酸肥料の効き目が低く、そのうえ比重が小さいため侵食を受けやすいという問題点があったからです。そこで、酸性矯正、リン酸肥料の多量施用、有機物施用などの土壌改良が進められた結果、ようやく高い生産を上げることができるようになったのです。

また、北海道では有珠山や樽前山のように最近一〇〇〇年以内に大爆発した火山の周辺の広大な地域が、長年未開の原野となっていました。これは、表層付近に粗粒な火山礫が厚く堆積しているためで、これらの土地を農耕地として利用するには水分や養分を保持できるようなための改良が必要となります。そこで近年、厚い火山礫層の下に埋没した肥沃な腐植土壌層を活用するための改良技術が開発され、広大な農地が切り開かれています。(宮地直道)

土の中の金属

土の中にはどんな元素があるでしょうか。天然に存在する元素は、原子番号一番の水素から九二番のウランまでです。土の中にはこれら宇宙にある元素がすべて存在します。また、同じ元素でも質量の違う同位体を一つと数えると三〇〇種ほどが天然に存在し、土の中にも含まれています。このなかには核実験やチェルノブイリ原子炉事故などで放出されたストロンチウム九〇やセシウム一三七などの放射性同位体も極微量含まれています。

一〇¹⁷の面積で深さ一メートルまでは約一〇〇〇トの土があります。表に主な元素の平均的な含量を示しました。例えば鉄は四〇ト、亜鉛は九〇ミ、銅は三〇ミ、金でさえ一¹ト存在します。しかし、鉱石のように濃縮されていないので、普通の土から金属を精錬するのはコストがかかりすぎます。ところが世界には鉄やアルミニウムが濃縮した土があるのです。ラテライトと呼ばれるこの土は、熱帯の高温多雨で乾期があり排水の良い所でできます。カルシウムやケイ酸など比較的水に溶けやすい元素が洗い流され、溶けにくい鉄やアルミニウムが濃縮されるのです。鉄に富んだものは鉄やニッケルの原料に、アルミニウムの多いものはボーキサイトと呼ばれ、アルミニウムの原料にされます。

さて、土の中の金属は植物に吸収され重要な働きをしています。根粒菌の窒素固定にはモリブデンが不可

元素	含量	元素	含量
酸素 (O)	490トン	リン (P)	800 kg
ケイ素 (Si)	330	イオウ (S)	700
アルミニウム (Al)	70	バリウム (Ba)	500
鉄 (Fe)	40	ジルコニウム (Zr)	400
炭素 (C)	20	フッ素 (F)	200
カルシウム (Ca)	15	塩素 (Cl)	100
カリウム (K)	14	亜鉛 (Zn)	90
ナトリウム (Na)	5	ニッケル (Ni)	50
マグネシウム (Mg)	5	銅 (Cu)	30
チタン (Ti)	5	コバルト (Co)	3
窒素 (N)	2	銀 (Ag)	50 g
マンガン (Mn)	1	金 (Au)	1

10aの面積・深さ1 mまでの土の中の元素

欠ですし、ビタミンB₁₂にはコバルトが、葉緑体にはマグネシウム、鉄、マンガンなどが存在し活性の中心になっていきます。ほかにも多くの金属が酵素の活性中心となったり、タンパク質の構成成分となっています。

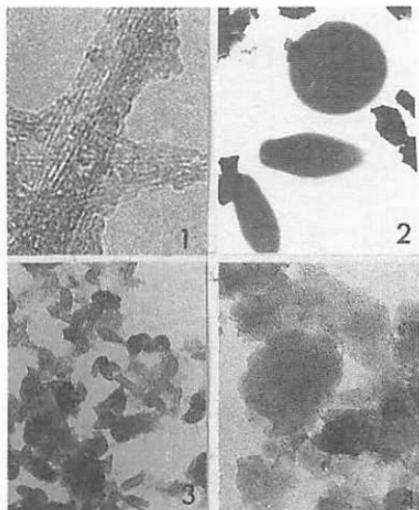
最近、中国では希土類（原子番号五七のランタンから七一のルテチウムまで）に増収効果があるとして肥料として売られているそうです。また、植物のなかには金や銀・銅などさまざまな金属を蓄積するものがあります。茶の仲間にはアルミニウムを、リョウブはコバルトを蓄積します。植物と土の中の金属元素とのかかわりにはまだわからないことが多いようですが、その働きや摂取の適量などの研究が進んでいます。人間も植物を通して土の中の金属を摂取しています。人体にも、血液中のヘモグロビンの鉄など酵素やタンパク質の構成成分として必要な金属がたくさんあります。これらの金属は、偏食しなければ不足することはないといわれていますが、鉄や亜鉛などは不足しやすいようです。また、多量に摂取すればもちろん障害が出ますが、有害とされているカドミウムなど多くの重金属も人体にはある程度必要なのです。

(太田 健)

あまのじやくな火山灰の粘土鉱物

太平洋の周りには環太平洋火山帯と呼ばれる火山の輪が取り巻いています。日本はこの輪の上にあるので、たくさん火山があり、地表にも火山から飛ばされてきた物質（テフラと呼びます）が広く見られます。テフラが風化し、植物が生え、いろいろな生物が入ってくると火山灰土という土壌ができます。火山灰土は普通の土壌と違って大変奇妙な性質を持っています。例えばスキの原っぱでは真つ黒になり、ブナやコナラ林では焦げ茶色の土壌になります。また植物の養分として大切なリンを捕まえて離さないなどです。

火山灰土のユニークな性質は、テフラの中に含まれている地下のマグマが急に冷やされるとできる火山ガラスに原因があります。火山ガラスはたやすく風化してしまうもうろい鉱物で、風化するときにアルミニウム、鉄そしてケイ素を放出します。このアルミニウムや鉄が有機物と結合して黒い土をつくったり、リンを吸着してしまいうたずらをするのです。また放出されたアルミニウムとケイ素は、アロフェンやイモゴライトという火山灰土に特徴的な粘土鉱物を生成します。アロフェンは直径約五〇ナノメートル（一〇〇億分の五〇メートル）の中身の球状粒子で、結晶型を持たない鉱物です。大変大きな表面積を持っており、一センチ当たりの面積は約二〇〇平方メートルあります。火山灰土が水持ちが良い理由ともなっています。またこの鉱物は、他の粘土鉱物のようにカリウムやカルシウムなどの無機イオンを捕まえる能力を持っていますが、pHの変動によって捕ま



粘土鉱物の形態 左上：アロフェン・イモゴライト——南部火山灰土（60万倍） 右上：オーバーインシリカ——樽前a火山灰土（4800倍）
 左下：ハロイサイト——ニノ倉火山灰土（4.8万倍）右下：2：1～2：1：1型鉱物中間種——川渡火山灰土（2.4万倍）

える力が変わります。このような性質を変異荷電といい、火山灰土が持つ変異荷電の原因はアロフェンにあります。もう一つの粘土鉱物であるイモゴライトは、日本の研究者が九州で発見した鉱物ですが、外径二〇^{ナノメートル}、内径一〇^{ナノメートル}のチューブ状の糸が集まったような形をしています。性質はアロフェンに似ています。

火山灰土の作物の生育はこれらの粘土鉱物の性質と密接に関係しています。アロフェンを多く含む土はアルミニウムや鉄が多いため酸性が弱く、また空気の一部が多く軟らかいため、作物の根は深くまで入りやす。しかし酸性の強い粘土鉱物がアロフェンに混じっているとアルミニウムが動き出し、作物の根に障害を与え

ます。アルミニウムを閉じ込めておくための酸性改良が行われていない土壌では窒素や水を利用できないため、作物の収量が落ちる原因ともなっています。こういう点はソ連やアメリカで最も生産力の高いといわれている黒土とは違っています。火山灰土の改良は、日本人が昔から努力を重ねてきました。最近はいろいろわかってきて、農業がスムーズに行われるようになりました。

（山田一郎）

多士済済、土の横顔

土壌学分野では地面から約一メートルの深さの穴の壁(断面)を「土壌の横顔(soil profile)」と呼んでいます。地質学でも同じようにして地層を調べますが、こちらは深さ数十メートルから数千メートルとスケールが大きく、見方も少し違ってきます。土壌学ではこの一メートルの断面を次のような層位に分けて考えます。いちばん上の有機物だけの層(A₀)、次の有機物が混ざった層(A)、有機物は少ないが風化して色が変わった粘土が多くなつた層(B)、多少風化しているが岩石の形を残している層(C)、未風化の岩石層(R)。これらの層が土壌の顔をつくる基本骨格になります。次に顔つきを細かく見るため、土の母材、各層の性質(色・土性・腐植・構造・斑紋・根の量)といったものを調べます。これらを調べることにより土の現在のようすとその土の生い立ちを知ることができるのです。

少し日本の土の横顔を見ましましょう。生まれたばかりの土や赤ん坊の土は別の所で紹介されるのでここでは省略しますが、少しの年月(数十年から数百年)を経ると土は若者の年代に入り、やっと土らしくすべの層ができるとともに個性が現れます。

まず田んぼの土、この土は最も早く個性を出す土の一つです。A層は黒っぽい色をしていますが、その下のB・C層が地下水の高さによって違った色を示します。最も乾いた場所では褐色をしていてそこにオレン

ジ色の鉄、黒いマンガンの粒が集まり、層をつくるようになります。地下水位の高い場所では下部が灰色から青灰色をしています。山でも湿地の土壤が同じような姿をしています。日本の山の土はほとんど褐色森林土ですが、これも若い土の一つです。この土は土の骨格をひと通り持っています。表面は落ち葉でできたA₀層、その下に腐植の多い黒褐色のA層、少し掘ると石の混じった褐色の軟らかいB層が現れます。山の斜面にあるため材料の移動が繰り返され、若さを保っています。高い山には厚いA₀層、その下に白いA層、チヨコレート色のB層のある華やかな色のポドゾルという土壤があります。A₀層から溶け出した有機物が土の中の鉄を溶かし、その鉄と有機物が下にたまつたためこういう色の土になったものです。世界の寒冷な針葉樹の森林に多い土です。日本が火山国であるがゆえに生まれた土、黒ぼく土は、地表が真つ黒で、さわつた感じが軽く軟らかくほくほくしているためそう呼ばれています。この火山灰土の真つ黒く厚いA層はときには二層を超えます。「世界の穀倉」といわれるアメリカやソ連の黒土と外見は似てますが、必須養分のリン酸を植物が利用できない形にする性質を持っていて、肥料のなかつた時代には生産性の低い土壤でした。

十数万年前の温暖気候のもとでできたといわれる古土壤赤色土は、年を取り、栄養も少なくなつた赤い土です。ほかにもいろいろな土があります。「風土が人を育て風土に合つた社会が成立する」と言つた人がいます。世界には日本とは違つた気候、地質、年数のもとに色も構造も腐植も違つた土があり、それぞれの人と社会を支えてきたのです。

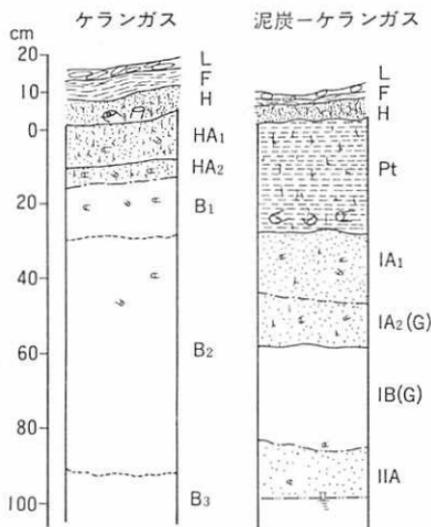
(小原 洋)

白い土をつくる黒い水

熱帯地域にはブラックウォーターという透明でコーヒーに似た黒褐色の水が森林から流れ出ていることがあります。アマゾンでも支流の一つにリオ・ネグロ（黒い川）があります。この川は泥水が流れるほかの支流と合流してもなかなか混合せずに明瞭な境界を示しながら、一本の河を流れていきます。東南アジアではマレー半島、ボルネオ島、ほかのインドネシアの島などにこの黒い水が見られます。この水はマレイ語でもアイール・ヒタム（黒い水）と呼ばれ、熱帯泥炭地帯の倒木跡の水たまりやそこを流れる小川の水はアイール・ヒタムです。このことから、黒い水は主に熱帯泥炭が分布する地域から流れ出ていることがわかります。これらの河口には魚が少ないとも言われています。

黒い水はなぜこのような色をしていて、魚に嫌われるのでしょうか。それはどうも黒い水の水質に原因があるようです。水質の分析例はあまりないのですが、特徴的な点はpHが三・九〜四・三と強い酸性を示し、カルシウム、マグネシウム、カリウムなど塩基類に乏しく、またケイ酸も非常に少なく有機物が大量に含まれることです。おそらくは酸性の有機物や泥炭起源のポリフェノールという化合物などがあると考えられます。酸性雨の影響を受け魚が死滅した北欧の湖と似ています。

ところで、この黒い水が流れている周辺にはよく白い土が分布しています。ブルネイではケランガス(ジャ



ブルネイにおけるケランガス(白ケイ砂土)と
その上に泥炭が集積した土壌の断面

イアント・ポドゾル)といわれる白ケイ砂土が四、五層の層を形成している場所があります。そして、その層の下には鉄やアルミニウム、有機物の集積した層があります。この黒い水には白い土をつくる作用があるようです。白い土の層から出てくる水は、あたかも白い土から黒い水が流れ出ているように観察されます。また、日本でも沖縄にフエイチシャ(灰白化赤黄色土)といわれる白色粗粒質の表層を持つ土壌が分布しています。この白い層を抜け出てくる水も黒い色をしており、そのpHは四・一〜四・三と強酸性です。この白い砂質の表層がつくられる環境条件はケランガスとは多少異なりますが、やはりそこを流れる黒い水の性質は似ているといわれています。

土を白くするのに先ほどのポリフェノールが働いています。ポリフェノールは金属を抱え込んだキレートという化合物をつくり、土に赤い色をつけている鉄などを土から取り除くため、白くなるようです。

湿原などで透明な黒い水が流れていたなら、その周辺を観察してみましょう。白い土を見ることができるとは限りません。

(小林繁男)

手のひら一杯の土に入る東京ドーム

土の表面積といえば、運動場、空き地、田畑の面積を連想しがちですが、ここでは重さわずか一ダラの土の表面積について考えてみましょう。丸いおむすびがあるとします。おむすびの表面積はというと、おむすび一個の半径の二乗掛ける三・一四掛ける四（球の面積式）ではありません。おむすびは米ひと粒、ひと粒から成り、おむすびの表面積は、このひと粒、ひと粒の表面積の総和になるからです。

土はいろいろな直径の粒子からできていて、例えば、礫（二ミ以上）、粗砂（二ミ〇・二ミ）、細砂（〇・二ミ〇・〇二ミ）微砂（〇・〇二ミ〇・〇二ミ）、粘土（〇・〇〇二ミ以下）で構成されています。このような土でできた重さ一ダラの団子はどれぐらいの数の粒子から成っているのでしょうか。土の粒子の形・密度は均一ではありませんが、仮に、球状で密度を二・六五として、細砂だけでできていると、この団子は約九万粒から九〇〇万粒の間、粘土だけでできていると、九〇〇億粒以上という大変な数になります。この土団子は膨大な数の粒子から成り立っていることがわかりましたが、表面積はどうでしょうか？

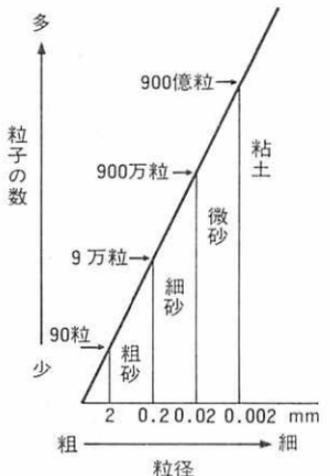
ひと粒の表面積がわかれば土団子の総表面積は計算できます。すなわち、細砂の場合は一三〇平方センチ、粘土では一・一三平方メートル以上となります。これは粒子を単に球状と仮定した場合のことです。実は、粘土粒子はそれ自体が小さな粒子の集合体で、粘土粒子の内部にも表面が存在します。例えばモンモリロナイトと

粘土鉱物	比表面積 (m ² /g)
カオリナイト	10-55
ハロイサイト	60-1100
モンモリロナイト	770
アロフェン	1050

土1グラムの表面積
岩田進午,「土を科学する」,NHK,1989より

かります。東京ドームの敷地面積は一万二四三五平方メートルですから、モンモリロナイト粘土一四一ダース、アロフェン粘土で一〇八ダースに相当する計算になります。粘土を一〇〇%含む土はまれですから、粘土含量を五〇%に見積ると、両手のひら一杯の火山灰土(二一六ダース)に東京ドームがすっぽり入ってしまうことになります。

(大塚絳雄)



1グラムの土に含まれる粒子の数

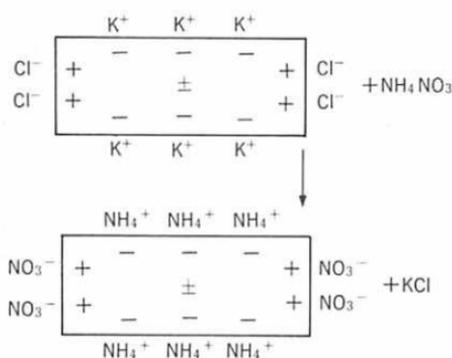
いう粘土鉱物は、ケイ酸とアルミニウムでできた紙のようなものが何万枚と重なってひと粒の粒子を形成しており、一枚のケイ酸アルミニウム紙ともう一枚の紙の間には水が入り込むことができます。粘土が水を吸って膨れ上がるのもこのためです。先の計算では、このひと粒内の表面積(内表面積)を計算に入れませんでした。内表面に入ることができる特殊な有機溶媒を吸着させ、その吸着量から全表面積を推定すると、一ダースのモンモリロナイト粘土の総表面積は八〇〇平方メートルとなります。また、内表面に入ることができない窒素ガスを吸着させ、その量から外表面積を推定すると、一〇〇平方メートル以下であり、この値からも粘土の内表面積が広いことがわ

土の中の椅子取りゲーム

土は礫・砂・粘土・有機物（腐植）などの物質が混ざりあってできています。そのなかで粘土と腐植は電気を帯びており、プラスとマイナスの電気が引き合う力によって水に溶けているイオンを吸着することができます。では、土がイオンを吸着する性質は、実際問題としてどんな意味があるのでしょうか。

土の中にはカルシウム、マグネシウム、カリウム、アンモニウムなどの陽イオン（プラス電気を帯びたイオン）、硝酸、硫酸、塩素などの陰イオン（マイナス電気を帯びたイオン）が多数存在しています。また、硝酸（硝酸アンモニウム）などの肥料を施用すると、これも水に溶けてイオンになります。これらのイオンは植物の養分となるのでとても重要です。でも、もし土がイオンを吸着する力を持たなかったらどうでしょうか。イオンは雨水などによって洗い流され、植物は養分を吸収することができなくなるでしょう。土は電気を帯びることによってイオンを吸着し、植物の養分を逃さないように蓄えているのです。例えば、一畝の畑の土は数千粒ものイオンを吸着することができます。これは、農業にとって土がいかに重要であるかということの一端を示していると言えるでしょう。

イオンは、土にそれほど強い力で吸着されるわけではありません。あるイオンが吸着されていても、そこにはほかのイオンが近づいてくると比較的簡単に入れ替わります。これをイオン交換といいます。土が帯びて



土のイオン交換

いる電気をイオンが座るための椅子と考えれば、土の中ではさまざまな種類のイオンが椅子取りゲームをしているように、イオン交換を行っているといえるでしょう。例えば、カリウムイオンが椅子に座っていたとします。そこにアンモニウムイオンが近づいてくると、カリウムイオンを追い出してアンモニウムイオンが座ります。また、塩素イオンと硝酸イオンも容易に入れ替わります。このように、イオンどうしが簡単に交代し合えるぐらいの弱い吸着であるからこそ、植物の根はこれらのイオンを吸収することができるのです。イオンのなかには、イオン交換ができないほど強く土と結合するものもありますが、その場合には植物はそのイオンを吸収することができません。

土のイオン吸着は、養分を蓄えることのほかにもう一つの重要な意味を持っています。それは、地下水にイオンが流れ込んで汚染するのを防いでいるということです。しかし、土が吸着できる量以上のイオンが入ってきたのでは、イオンが地下水に移動するのを防ぐことはできません。肥料の使いすぎなどに注意し、過剰のイオンが土に入らないようにすることが大切です。

(原田靖生)

ひょう変する海底の土

熱帯の遠浅の海岸を彩るマングローフの緑。サンゴ礁とならんで熱帯の海辺のアクセントです。マングロープの生えている場所は、引潮のときは海面より上に、満潮のときは海の下に沈むような所で、近くに大きな川があったり、海岸の地形が遠浅のときは広い面積を占めることとなります。今、マングロープ林はいろいろな面での利用が進められていますが、水田なども主な利用方法の一つです。水田にするには周りをせき止め、海水が入らないようにすることが必要で、そのとき大変な問題が発生します。

海水の中にはナトリウムや塩素が多く含まれているのですが、ほかにも硫酸イオンが一部の海水の中に二・六五^gほど入っています。実はこの硫酸イオンがこの問題に重要な役割を果たしているのです。

マングロープ林は陸地から供給された泥とマングロープ自身が供給する有機物がいっしょになってつくり出した土壌の上にあります。いつも海水で満たされているので、土壌の酸性度は海水に近い、中性〜アルカリ性を示します。酸素の供給が少なく、有機物の分解はゆっくり進み、泥炭に近い土壌となります。有機物を分解する微生物も種類が限られます。微生物のなかで硫酸還元菌と呼ばれるグループは硫酸イオンと鉄イオンの化合物から酸素を取り出し、硫黄と鉄が結合した硫化鉄という化合物をつくります。この硫化鉄は水にほとんど溶けないので土壌中にたまっていき、多いときには土壌の5%に達することもあります。

このようなマングローブ土壤が干拓されて地下水位が下がってくると、空気中の酸素にさらされることとなります。土壤の中に大量に含まれた有機物の分解が早くなるとともに、硫化鉄も鉄酸化菌や硫黄酸化菌のような微生物によって酸化されることとなります。硫黄が酸化されるとどうなるか、当然硫酸に変わります。硫酸は最も強い酸の一つで、土壤もpHが二〜四という非常に強い酸性に変わります。このような土壤を酸性硫酸塩土壤と呼び、通常の植物の生育にはまったく適しません。

マングローブ土壤に限らず、海岸の低湿地を干拓した地域では多かれ少なかれ同じような問題が発生します。内陸部や標高の高い所でも出現することがあります。そのような土壤を調べてみると硫化鉄を含んだ、例えば黄鉄鉱のような鉱物が必ず含まれています。

日本でも海を干拓して水田にした歴史は比較的長く、この問題が発生しましたし、オランダのポルダーなどでも解決に苦勞しています。この土壤を使えるようにするには硫酸を中和し、洗い流さねばならず、そのために大量の水と中和材（石灰など）を必要とします。ですから水田などに使えるようになるには一〇年以上の年月が必要です。マングローブ林など海岸低湿地を開発・利用することはこのような危険を伴います。

今マングローブ林の急激な消失が海岸の侵食やエビなどの水産資源の減少につながっていることから、世界的に重要な問題として取り上げられています。将来の姿を見通した十分な事前のアセスメントが必要です。

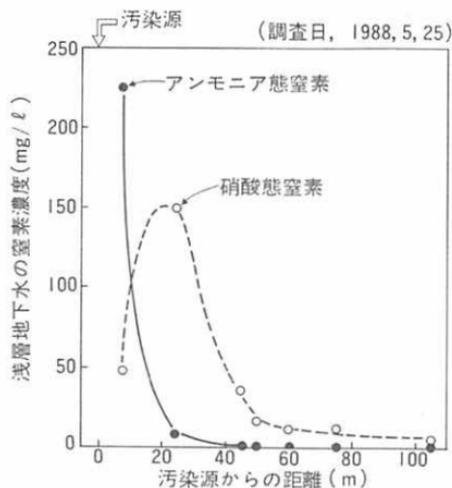
（村山重俊）

ならぬカンニンもある！地下水汚染

砂、粘土、有機物、微生物などが集まってできている農地や森林の土は、さまざまな汚染物質を吸着・保持する機能を持っています。吸着・保持された汚染物質の多くは、土の中に生息する多種多様な微生物や小動物の働きで、最終的には二酸化炭素と無機成分に分解されます。

森林土壌の汚染物質浄化機能について考えてみましょう。降雨により森林一畝当たり年間約五・五割の窒素が加わりますが、森林の土を通過する間に、雨水に含まれる窒素の約九〇％が林木などに吸収利用されます。ヨーロッパでは、土地利用形態の変化や肥料施用量の増大により、近年、地下水の硝酸態窒素濃度が急激に高くなり、大きな社会問題となっていますが、わが国では森林面積の割合が高く、優れた水質の水が山から供給されるとともに水田主体の伝統的な土地利用などにより地下水の水質保全が図られています。

土の浄化能力を超えた量の窒素が加わると地下水の水質はどのように変化するでしょうか。豚舎排水の素掘り貯留槽から七・五割しか離れていない浅い層の地下水は、汚染源から浸透したアンモニア態窒素を高濃度に含んでいます。約四〇割離れるとアンモニア態窒素はほとんどなくなります。一方、硝酸態窒素濃度は、二〇割付近で最高に達したのち、再び低下し、約六〇割離れると汚染源の顕著な影響は認められなくなります。これらの結果は、汚染源から浸透した高濃度のアンモニア態窒素が浅い層をゆっくりと移動する間



浅層地下水の流動に伴う水質変化の一例 (尾崎ら, 1989)



森林(広葉樹)における窒素収支(kg/ha) (岩坪, 1976)

に、アンモニアを酸化する硝化菌の働きで硝酸態窒素に変えられ、脱窒菌により空中に放出されることを示唆しています。最近では先端産業の発展などで以前とは違った物質が使われるようになっていきます。また都市化も進んでいます。その結果地下水汚染が広域化し、汚染物質の種類も非常に多くなっています。なかでも、洗浄剤として多量に使用されているトリクロロエチレンなどによる汚染が深刻な問題を与えています。人工的に合成された有機塩素化合物は、いずれも微生物による分解がきわめて遅いか、分解が難しい物質です。したがって、これら難分解性物質は、量が少なくても土の浄化能力を超えやすく、容易に地下水汚染を引き起こします。

地下水汚染を防止するためには、土壌の種類・土地利用形態ごとの汚染物質浄化能力を知っておくことが重要で、各汚染物質の量を総合的に監視するモニタリングシステムの開発が必要です。

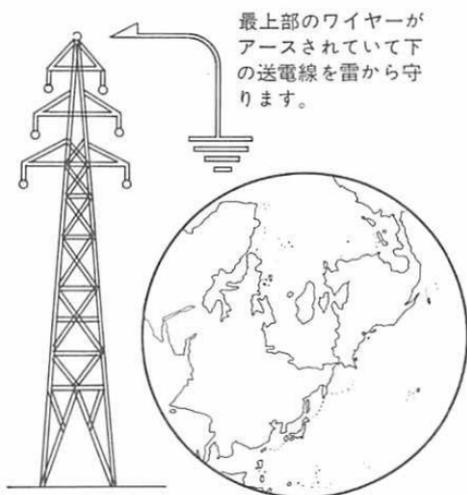
(尾崎保夫)

電気を通す土

「土が電気を通すのかですって？」 いえ、土は水分を含んでいるから電気を通すのです。大きくは、地球は非常に容量の大きい電気の入れ物と考えてもいいのです。

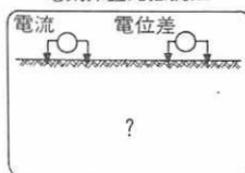
この地球の性質を利用したものにアースがあります。例えば、雷による大きな電流を避雷針を利用して土の中（地球）に捨てています。私たちの身の回りには感電を防止するための電気洗濯機などのアース、計測器などのノイズを防止するためのアースがあります。送電線のアースを設置する場合など、特に注意する必要があるため、電気の通しやすい土を測定器で調べて設置しています。このように、土が電気を通す性質を私たちはうまく利用しているのです。

一方、視点を変えて土が電気を通す性質の使われ方を見ると、次のようなものがあげられます。現在の飛躍的に進歩した科学技術は、太陽系の端まで見ることを可能にしました。しかし、地下一層を正確に見ることは非常に難しいのです。地下を見る方法の一つに電気探査比抵抗法という技術があります。土の中をよく見ると電気を通しやすい地層と通しにくい地層があります。電気探査比抵抗法は土のこのような性質を利用して地下を見ようというのです。しかし、この方法は、地表から土の中に人工的に電気を流して地下からの弱い信号を地表で受信しようというのですから、例えば大量のゴミの中から必要な物を拾い出すのと同じよ

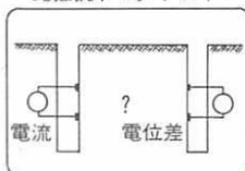


地球の性質を利用したアース

電気探査比抵抗法



比抵抗トモグラフィ



電気で見地下を見る方法

うに大変難しいのです。しかし、最近のエレクトロニクスの進歩は、地下の構造をある程度見ることを可能にしました。この技術は、防災や地下資源の開発に役立っています。例えば、防災については、地表の陥没事故を引き起こす空洞の調査や地すべりの調査などに利用されています。また、地下資源の開発については地下水・地熱・金属鉱物の探査などに使用されています。最近では、大深度地下利用の計画に伴い、さらに詳細な地下構造を知る必要が生じてきました。そのためボーリング孔を利用して、その孔の中から電流を流して、より細かい地下の構造を見ようという比抵抗トモグラフィという技術も研究されています。

このように、土が電気を通す性質は、いろいろな電気を上に捨てるのに役立つばかりでなく、地下の構造を見ることにも役立つのです。

(竹内睦雄)

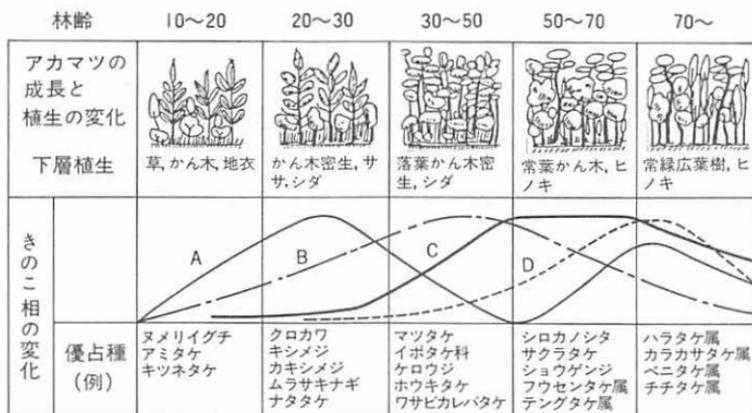
IV

土の中の生き物

きのこで土を知る

採ってきたきのこの種類を見れば、その人がどんな林に入り、その土がどんなものであるかがわかります。きのこはそれほど植物の種類や土の条件に敏感な生き物で、環境を知る手がかりとして大切なものです。カゴの中に白っぽい小さめのマツタケとキシメジ、シロシメジ、アミタケなどが入っていたら、その人は乾いたアカマツ林の尾根を歩いてきたはずです。土壌母材は花崗岩か砂岩で砂壤土、A₀層が薄い未熟土か乾性の褐色森林土ということになります。もし、太くて大きいマツタケとシヨウゲンジ、ニンギョウタケ、ナラタケなどが入っていたら、この人はアカマツ林の斜面の中腹をうろついていたことになり、ここではA₀層は厚く、腐植もたまり、土壌はB₁型で肥えていたでしょう。カゴの中にシヨウロが入っていたら、クロマツ林の落ち葉が少なくチガヤの多い道を歩いてきたはずです。同じクロマツ林でも、カゴの中にキシメジやハツタケが入っていれば、砂の表面に少し有機物が混じっている道を通り抜けたことになります。クロハツやテナダケ、ハラタケなどならマツクイムシで枯れだした道を通ったことでしょう。

なぜ、こんなことがわかるかというと、きのこが種ごとに違った性質を持っており、栄養分の好みも生育場所も、それぞれ違っているからです。菌根菌について見ると、マツタケのようにフェアリーリングをつくるものはやせた硬い土を好む菌根の集団をつくります。一方、広葉樹に菌根をつくるフウセンタケの仲間



A アカマツの菌根菌(共生的) B アカマツの菌根菌(寄生的) C 落葉分解菌
D 広葉樹の菌根菌

アカマツの成林過程に伴うきのこ相の変化(模式)(小川)

A0層の中の根に沿って広がり、根状菌糸束をつくるテングタケの仲間は肥えた土を好みます。木材腐朽菌にもはっきりとした好みがあつて、どちらかというと大形のサルノコシカケの類は針葉樹の材を、シイタケやヒラタケなどの柔らかいきのこは広葉樹の材を分解します。落ち葉についても同様で、針葉樹と広葉樹では分解するきのこの種類が異なります。

きのこの種類は森林が成長する過程に応じて、みことな遷移を示します。裸地に近いマツ林にはヌメリイグチやハツタケが出ますが、根が増えるにつれてマツタケやケロウジに替わります。広葉樹が大きくなると、ベニタケ属やテングタケ属が増え、落葉分解菌も増えます。きのこの種類がしだいにマツ林のものから広葉樹林のものへと変わったのです。樹齢八〇年ほどでマツタケも消え、マツも枯れだします。したがって、マツタケを栽培するにはマツ林を掃除して、土の若さを保つ必要があります。

(小川 眞)

一宿一飯に報いる微生物

土の中の微生物には、植物はまことにおいしそうに見えることでしよう。微生物が生きていくうえで必要な、養分や水分をたくさん含んでいるからです。枯れ葉や死んだ植物、特に根はいろいろな成分を出し、根毛などが老化して脱落するとよい餌になるからたまりません。事実、根の周りの土の中には、根の少ない所よりはるかにたくさん微生物が生息しています。多くの微生物は植物からのおこぼれで満足しているので、病原菌のように生きた植物を食べてしまふ攻撃的なものもいます。しかし、なかにはただ餌をもらうのでは申しわけないと、植物に積極的に養分を運んだり、植物が利用できない空気中の窒素を固定したりして植物とお互いに必要な養分を補い合っているものもいます。また、養分以外の方法で植物の生育を助けていると考えられる微生物もいます。その一つが植物の生育を促進する生理活性物質を生産する微生物たちです。

植物の生育は、養分や水分、温度、光の量などに影響されるわけですが、植物の体内では周囲の状況に応じて成長をコントロールする植物ホルモンが生産されています。この植物ホルモンは、植物の伸長や根・茎・葉・花などの植物組織の分化、種子の発芽、落葉、実の成熟、体内成分の合成などに深くかかわる非常に重要な物質で、現在までにオーキシン、ジベレリン、サイトカイニン、アブシジン酸、エチレンの五つが知られています。本来これらの植物ホルモンは植物でつくられ、使われるものなのですが、微生物のなかには

これらの物質をつくるものがあるのです。例えばジベレリン発見のきっかけとなったジベレラ・フジクロイ
は有名です。そのほかの植物ホルモンを生産する微生物もいろいろ知られています。

植物の生育をコントロールする物質は植物ホルモンだけではありません。各種の微生物から植物の発芽・
発根・根伸長・莖葉の成長を促進する物質が多数見つかっています。なかでもレタスの発芽を起こさせるグ
ラフィノン、発芽・伸長促進物質であるスクレリン、根を伸ばすラジクロン酸、イネの幼植物の地上部を伸
ばすヘルミントスポールなどが有名です。有機物が多く含まれている土壌では、微生物によって植物の生
育に良い影響をもたらすビタミンB群がつけられています。また土壌中の有機物や堆肥の中には、植物の
根の伸長を助ける物質がいろいろあると推測されています。

ところが、土壌微生物がつくる物質は、必ずしも植物の生育に良いものばかりではありません。毒素をつ
くる微生物もたくさんいるのです。いわゆる病原菌です。ジベレラ・フジクロイは、実はイネの茎が異常に
伸長するイネ馬鹿苗病を引き起こす病原菌で、その原因物質がジベレリンだったのでした。

このように土の微生物がつくる各種の物質は、植物の生育にいろいろな影響を与えていると考えられます。
しかし、その種類や影響の程度、特に植物の生育に良い物質のことになると、残念なことによくわかってい
ないのが現状です。今後、これらのことが明らかになってくれば、私たちの土とそこに住む生物についての
理解がいつそう深まることになるでしょう。

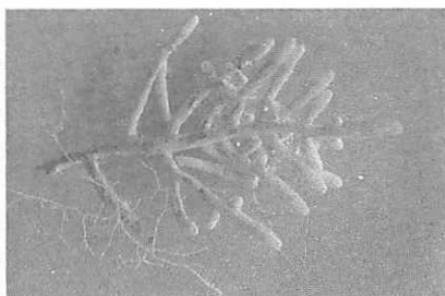
(竹中 眞)

三億七〇〇〇万年来の仲よし

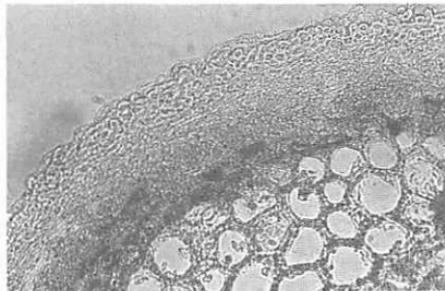
植物と微生物が共生する例は、マメ科植物に細菌のリゾビウムがつくる根粒やハンノキやヤマモモの根に放線菌のフランキアがつくる放線菌根などでよく知られています。しかし、最も多いのはカビやきのこの仲間の真菌類が植物の細根に共生してつくる菌根です。

大きく分けて、菌根には五つのグループがあります。最も多いのが下等なカビ、アツキケカビ科の菌がつくるVA菌根です。この仲間の菌糸は根の細胞の中まで入って、のう状体(ベシキユールⅡV)と樹枝状体(アーブスキユールⅡA)をつくります。この菌根の起源は古く、三億七〇〇〇万年前のシダ植物の根に化石となつて残っています。フウインボクやロボクが栄え、大陸も大きな塊になつていた石炭紀には、すでに完全な共生状態になり、植物が進化するのにつれて広がり、大陸の移動とともに地球上に広く分布していったと思われまゝ。VA菌根をつくる植物はシダやコケから農作物、果樹、タケなどほとんどすべてのグループに見られます。VA菌根菌は土の中でよく成長しますが水を嫌い、水生植物や水耕栽培をした植物にはつきません。このことも、大昔、植物とともに水を嫌つて陸に上がった証拠かもしれません。

もう一つの大きなグループはマツ科、ブナ科、カバノキ科、ヤナギ科などの根を菌糸で覆つて、細胞の中には入らない外生菌根と呼ばれるものです。この菌根の起源は新しく、針葉樹や被子植物が現れた白亜紀



根は完全に菌糸に包まれ、根状菌糸索が出る。



菌根の横断切片。根の外側を菌鞘が包み、菌糸は皮層の細胞間隙に入る。

フサクギタケがコメツガの根につくった外生菌根

以後のことと思われる。この菌根をつくる樹木の大半は北半球の植物で、南半球ではユーカリやノトファグスが、熱帯ではフタバガキ科が外生菌根を持っています。そのために熱帯や南半球に木を植えるときには必ずきのこをいっしょにつけてやります。外生菌根をつけるきのこ類はほとんど担子菌に属していますが、その種類は多く、きのこ類の三〇%ほどは菌根菌だといわれています。これらの菌も土に生活しており、木材や落ち葉を分解する力を完全に失っています。VA菌根と同様、土の中や動植物の遺体に含まれている窒素、リン、ミネラルなどを水とともに集めて根に送り、根から炭水化物を受け取って生育しています。

このほか、ラン科植物がつくるランの菌根や、ツツジ科植物がつくるツツジの菌根などの内生菌根や内生と外生の双方の特徴を持った内外生菌根などがよく知られています。このように植物は芽生えの時期から土の中の菌と共生しており、その助けがあるからこそやせた土地でも砂漠でもツンドラでも生きていけるのです。(小川 眞)

荒野の助っ人マメの木

熱帯には、アカシア、イビルイビル、メスキートなどの、非常に成長の早い木が生育しています。本来熱帯の土壌には植物の生育に必要な栄養素が欠乏する場合が多く、特に窒素が不足しています。窒素がなければ植物は生育できないので、これらの成長の早い木には、何か窒素の不足を補う秘密があるようです。

アカシアやメスキートは上部に実の入っているサヤがついているので、一見してマメ科の木であることがわかります。その木の根の周りを掘ってみると、細根に小さな丸いコブがたくさんついています。細根の小さなコブは、リゾビウム（根粒菌）という細菌が住んでいる根粒です。リゾビウムは葉の光合成で得た糖をエネルギー源として、空気中の窒素ガスをアンモニア、さらにアミノ酸にしていきます。これを窒素固定作用といいます。この作用があるため、熱帯のマメの木は土に窒素が不足していても十分な光のもとで大気中の窒素ガスを固定し、根粒から木に輸送された窒素でタンパク質や核酸を合成し早く成長することができます。マメ科植物の実は食用にすることができ、葉は家畜の餌に、木は建築の資材とすることもできます。

温帯にはマメの木は少ないのですが、ハンノキやヤマモモのようにマメの木同様、空中の窒素を利用できる機能を持った木があります。これらの木の根にはマメの木とは違った針の山のようなコブがたくさんついています。このコブには年々新しい針が増えていきますが、コブの中にはフランキアという放線菌が住みつ



マメの木——メラノキシロン

いており、この菌がマメの木のリゾビウムと同じように空中の窒素を固定し、アミノ酸として木に窒素を与えているのです。熱帯ではこのタイプの木は少ないのですが、カジユリナはこの仲間です。カジユリナは五年くらいで大きくなり、建築資材として使われています。これらリゾビウムやフランキアは、特定の樹木と巡り合うと根粒をつくります。現在大豆やインゲンなどマメ科作物については、その根粒菌の働きや窒素固定量などが知られるようになりましたが、マメの木のお多くは熱帯で生育しているので、それらの根粒菌の性質・窒素固定能などはほとんどわかっていません。熱帯の木が少なくなり、土壌が急速に砂漠化・荒地化して

いく現在、窒素肥料を施用しなくても、どんどん大きくなるマメの木について研究を進めて、熱帯の環境の回復に生かしていくことが必要となつていきます。

熱帯のマメの仲間には、窒素以外に普通の植物では吸収できない形のリンを吸収できる形に変えるものもあります。ピジョンピーというマメ科植物の実は、熱帯では重要な食糧源となっていますが、この植物の根は土に固く吸着されているリンを溶かし吸収することができます。最近この植物を使って荒地地の肥沃度を高める試みもなされています。

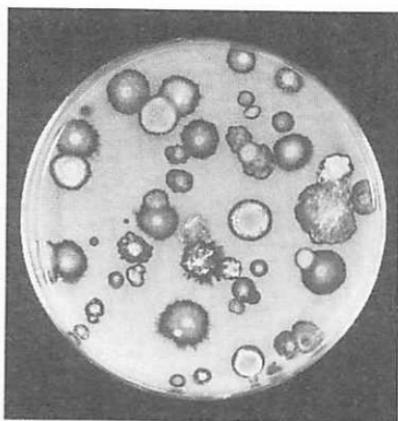
(米山忠克)

イオウを好むカビ

イオウと聞くと、温泉のにおいや熱湯が沸き上がる地獄谷の黄色に染まった噴気口などを連想して、なにやらオドロオドロしいイメージがあります。しかし、変わり者が多いことで知られている微生物のなかには、イオウがないと生きていけないものがあります。

もともと普通の微生物は生きた植物や動物が、その死骸を栄養としているのですが、なかには窒素、鉄、マンガンなどの無機物を餌にしている微生物があり、イオウについては、これを酸化してエネルギーを調達するイオウ細菌がよく知られています。実は普通に見られる、有機物を栄養とする細菌や放線菌、カビのなかにも無機物を酸化する働きがあることがわかってきました。

一〇年ほど前、イギリスの鉱工業地帯で、大気中の重金属による汚染を受けた土壌から、イオウ細菌の仲間の子オバチルス菌とともに、イオウやその化合物を酸化してしまう何種類ものカビが分離されました。これらは畑や牧草地に比べ森林に多いこともわかってきました。樹木の葉や幹に大気汚染物質が付着しやすいため、森林で増殖しやすかったようです。この働きは現在ヨーロッパをはじめとして各地で問題となっている酸性雨に深くかかわっているということです。あちこちで調べてみると、汚染が進行した地域では、それらのカビがどこにも見られ、しかも特殊な仲間だけがかわっているわけではなさそうです。



イオウを好むカビ

そこで、土壌に住むいろいろなカビについてその能力を調べてみると、パンにつくケカビ・アオカビや酵母、そしてきのこも名乗りを上げてきました。ニガクリタケやヒロハリタケの仲間などの木を腐らせる菌に加え、樹木の根に菌根をつくるベニテングタケ・アマタケ・ヒダハタケ・コツブタケやシヨウウロの仲間までもが同じ働きをするというのです。こうなると、菌類のオンパレードに近いといえます。普通に見られるこれらの仲間が、イオウを酸化する能力を身に着けていたことは、ひよっとすると、菌類が忘れていた隠された能力を「公害」がくすぐっているのかもしれないかもしれません。この働きをわれわれは「活躍」といつてもいいのでしょうか。これらのカビのなかには、銅や鉛・亜鉛といった金属とイオウの化合物を酸化したり、ほかの

微生物といっしょになったほうが酸化する能力が高くなる、いわゆる相乗作用も見つかり、微生物にはまだまだ未知の力が隠されていることをうかがわせます。

土壌中にはさまざまな能力を秘めた微生物が生きているといわれてきましたが、イオウを酸化する専門家のイオウ細菌もつかうかしてはいられません。

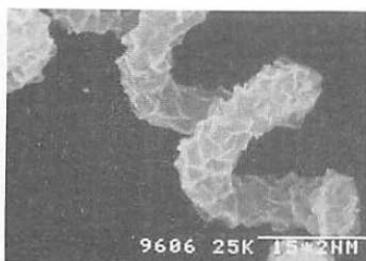
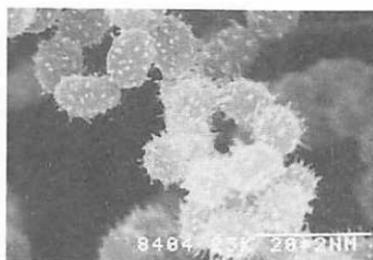
(岡部宏秋)

抗生物質のふるさと

けがをしたとき、風邪をひいたとき、水虫で足がかゆくてしかたないとき、手術を受けた後、そんなとき私たちが必ずお世話になるのが抗生物質です。抗生物質が発見され、工業的に生産されて利用されるようになるまでは、人間の死亡の主要原因は結核をはじめとする細菌による感染症でした。今日ではこうした細菌による病気は抗生物質のおかげで制圧され、死亡順位はずっと低くなっています。

ところで、医療になくはならない抗生物質をつくるのは微生物です。なかでも放線菌という微生物は、今までに発見された抗生物質の七〇%をつくる最大の生産菌で、その他バチルス、ミクソバクテリアなどの細菌や糸状菌といったところが大口生産菌です。抗生物質の主要な生産菌には重要な共通点があります。それは、彼らが土壌をすみかとする土壌微生物であるということです。

では土壌微生物はなぜ、何のために抗生物質をつくるのでしょうか？ その本当の理由はわかっていません。土壌はさまざまな生物がたくさん住んでいるので微生物にとって厳しい競争社会です。抗生物質をつくって相手をやっつけることができれば土壌中で生き残るのに有利でしょう。でも、土壌中から抗生物質は見つかっていません。さらに不思議なことに、抗生物質がつくられるのはそれを生産する菌が活発に増殖しているときではなく、餌を食べ尽くして成長をやめ、休眠に入ろうとするころなのです。おそらくはそのこ



代表的な土壌微生物であり、最大の抗生物質生産者でもある放線菌

ろが最も敵にやられやすいため、生産菌は抗生物質を微量につくり、敵の攻撃から身を守っているのでしょうか。

不思議なことももう一つ。抗生物質を何にでもふんだんに使い続けると、病原菌が耐性を獲得してしまうことがしばしばあり、さすがのスーパーパワーも効かなくなるのです。さらに「耐性遺伝子」が病原菌から病原菌へと渡り歩くため、膨大な努力をして土壌の中から探し出した抗生物質もたちまちのうちに薬としては使えなくなるので始末に負えません。ではこの「抗生物質耐性遺伝子」はそもそもどこからきたのでしょうか？ ルーツとして可能性の最も高いのが、これまた土壌微生物です。とりわけ抗生物質生産菌は、自分のつくる抗生物質に対して自家中毒を起こさないように耐性機構（遺伝子）を二重三重に持っていました。どうもこの遺伝子が巡り巡って人間の病原菌までたどりついたらと考えられます。

こう考えてくると、土壌微生物は、人類には抗生物質を、そして病原菌には抗生物質耐性遺伝子をと、結果的にはそれぞれに盾と矛を売り歩いてきたものでしょうか！

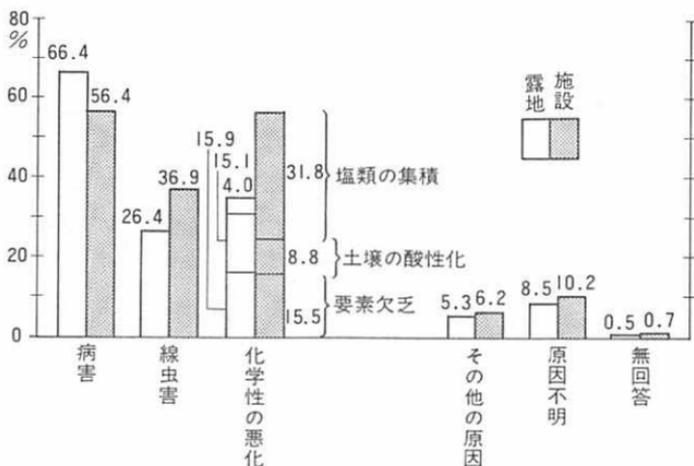
（宮下清貴）

土にも勤続疲労？

毎年同じ畑に同じ種類の作物を栽培することを連作、毎年違った作物を数年サイクルで栽培するのを輪作と呼びます。畑で連作すると、土が疲れる（ドイツ）とか、土が作物を嫌う（忌地……日本）と呼ぶように、作物がだんだんとれなくなりませす。もつとも、昔のヨーロッパで三〜四年サイクルの古典的輪作が行われたのは、化学肥料などの土壤養分補給が行えないので、土壤養分を自然の力で補いつつ養分状態に応じた作物を栽培したからで、意識的に連作を避けたではありません。

肥料で土壤に養分を十分に補給できるようになると、輪作をやめて高く売れる作物だけを連作したいという欲求が出てきます。今の日本がその代表です。輪作していれば問題ないのに、連作すると生ずる生育・収量・品質の低下をまとめて連作障害と呼びます。連作障害は高い技術水準のもとに生ずる「文明病」ともいえます。

なぜ連作障害が生ずるのでしょうか。面白いことに、水を張った酸素の不足する水田では連作障害がなく、稲が一〇〇〇年も連作されている水田もあることから推論できるように、連作障害の主役は、酸素を必要とするカビなどの微生物や回虫の仲間である線虫なのです。大部分の土壤生物は作物残渣や土壤有機物を食べて作物に被害を与えません。ごくわずかですが作物に被害を与える病原菌や寄生性線虫はふだんでも根に



野菜作農家の考える連作障害の主な原因 (農水省統計情報部, 1983)

侵入して増殖し、収穫後も作物の残渣の上で生き残っています。病原菌や寄生性線虫の寄生できる作物の種類は限定されており、輪作で別の作物を栽培すれば、少し増えた菌や線虫は寄生できずに死に絶えます。しかし、同じ作物を連作すれば直ちに根に侵入してさらに数を増やし、二〜三回連作するとひどい被害を出します。これが連作障害の基本です。

これに加えて、わが国の特に野菜栽培では作物の吸収量以上の肥料を与え、しかも、連作で低下した生育を補うために、連作のたびに肥料の施用量を増やします。このため、野菜の連作畑では肥料成分が土壌に多量に残存し、土壌の酸性化や塩類集積、過剰に蓄積したカリウムの妨害による作物のマグネシウム等微量要素の欠乏が生じています。連作障害は土壌を酷使したための報いともいえます。

(西尾道徳)

病気のもとを抑えます

最近、露地で作物をつくるのがだんだん少なくなってきましたが、ピクニックや散歩で外出されると、畑に栽培されている作物をよく見てください。畑によって作物の出来ばえが違うことに気づくでしょう。作物の出来の良い畑というのは農家の懇切ていねいな手入れによる場合が多いのです。でも広い畑に同じ作物をつくると、虫に食われたり病気にかかったりしやすいので、いろいろな種類の肥料や農薬を使わないと良い作物がとれないことが多いのです。ところが多量の肥料や農薬を使わなくても出来の良い場合があります。これは減農薬栽培ができる可能性を秘めている、すばらしい宝なのです。なぜなら、このような土壌には病気が出ない秘密が隠されているからです。

病気を引き起こす土壌の病原菌は種類が多く、土壌の中で生きている姿も違います。病原菌の多くは、顕微鏡で見ると糸状をしたものが多く、梅雨時に発生するカビと同じ仲間です。しかし、このような糸状の菌も土壌中では、細胞壁が厚くなったり（厚膜孢子、卵孢子）、菌糸が寄り集まったりして「てまり」のような形（菌核）で暑さや寒さに耐えて長く生き延びられるようなくふうをしています。これら病原菌の胞子は植物の根が出す糖やアミノ酸の刺激で発芽します。成長を始めた土壌中の病原菌は植物の根を侵したり、作物の根元を侵す場合があります。キュウリやトマトなど多くの作物を病気にさせるフザリウム菌でみる

と、菌は厚膜孢子の形で土壤中に存在しますが、普通の土では養分がくるとすぐに発芽し、根から侵入して植物を病気にさせます。

病気が出にくい土壌（発病抑止土壌）ではどうなっているのでしょうか？ 発病抑止土壌ではまず孢子の発芽が抑えられます。一つはカルシウムなどの土壌の構成成分が直接病原菌に働いて起きるもので、ほかに土壌のpHによっても孢子の発芽が抑えられることがあります。これらは土壌そのものが原因である場合です。

土壌そのものによる発病抑止以外に微生物どうしの競争があります。土壌中に微生物が多くなると競争が激化し、限られた養分がほかの微生物に先に使われて、病原菌は養分がなくなり、活動できなくなります。例えば、土壌中にある鉄は病原菌やほかの微生物の生育にとって必須のもですが、ほかの微生物が先に利用し尽くしてしまうと病原菌の生育は悪くなります。また、病原菌の天敵ともいえるような微生物もいます。この微生物は特定の病原菌の生育を阻害したり、または食らいついて、体に穴を開け、細胞中の栄養分を吸い取って殺してしまったりもします。

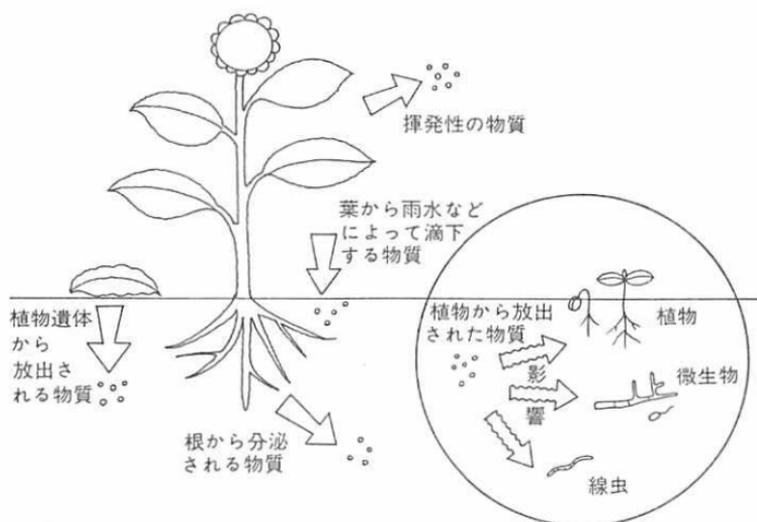
このように、土壌の中では微生物どうしが養分や自分のすみかを確保することでお互いに激しい競争や葛藤かつをしており、病原菌がこの葛藤や競争に打ち負かされると病気は出ないこととなります。最近、このような微生物の力を借りて土壌病害を少なくしようとする生物防除法が開発されつつあります。（小林紀彦）

やみの中の植物のさみさみ

植物はいろいろな化学物質を生産し、体外に放出しています。そのなかにはほかの生物を攻撃したり、反対に良い影響を与える作用を持つものがあります。このような作用をアレロパシー（他感作用）といい、作用を持つ物質を他感物質といいます。花の香りによって昆虫が誘引される現象や森林の香りで快適な気分になることもアレロパシーの一つですが、ここでは土の中のアレロパシーについて考えてみます。

土の中には多くの植物の種子や根があり、微生物、線虫などが絶えず葛藤を繰り返しながら生息しています。植物の根から排出された物質や雨水などによって葉から溶け出した物質、あるいは落葉や植物の遺体から出てきた物質のなかには、土の中でほかの植物の発芽や微生物や線虫の生育に影響を与えるものがあります。これらのアレロパシーは、阻害的に働くものが多く、阻害作用についての研究が多くなされています。

例えば、秋に黄色い花をつけるセイタカアワダチソウは大群落をつくることで知られていますが、この強い繁殖力の秘密はアレロパシーにあるといわれています。セイタカアワダチソウはポリアセチレンという化合物を生産し土の中に排出しています。この化合物によって周囲の植物の生育を抑えて自分の勢力を拡大していきます。しかし、繁殖が旺盛になりすぎてこの物質が多量に土に蓄積されすぎると自分自身の生育も阻害され、やがて衰退してしまいます。



他感物質の動きと作用

このほか、マリーゴールドはアルファテルチエニルという物質を生産し、植物の病気の原因となるキタネグサレセンチュウの生育を抑えることができます。オオムギはグラミンという物質を生産し、雑草を抑えるといわれ、クルミの木の周りに雑草が生えない原因は地面に落ちた葉に含まれている成分が土の中で酸化されてユグロンという物質ができるためとされています。

また、トウモロコシと豆を同じ畑でつくとお互いに生育が良くなることが知られており、このような植物を共栄植物といえます。この場合それぞれの根の分泌物が良い影響を与え合っているといわれています。

植物は動くことができませんが、このように化学物質を放出することによって暗やみの土の中でも他の生物に働きかけています。これは、植物の自らの繁栄を守るための知恵なのかもしれません。

(渋谷知子)

土の中の宅配便

森林、農地、海岸、草原……どんな場所であっても、植物は土の中に根を張って体を支え、養分や水分を吸収して生きています。そんな植物たちの根に住みついで、応援をしている小さな友だちがいるのを知っていますか？ 彼らの名前はV A菌根菌といえます。恐竜が走り回る時代以前からのつきあいといえますから、とても古い友人です。でもその働きがわかるようになったのは比較的最近のことなのです。では、彼らの働きぶりを少しだけ紹介しましょう。

V A菌根菌はカビの仲間で、世界中に広く分布しています。とても大きな胞子をつくるのが特徴で、大きなものでは直径が〇・五^ミ以上もあり、注意深く見れば肉眼でもわかります。土の中の胞子は、発芽して菌糸を伸ばすと植物の根の表面に取りつき、中に侵入します。根の中に入った菌糸は根に沿って細胞の間を伸びていき、そこから根の細胞の中に木の枝のような形をした組織をつくります。この組織を通して植物と菌とがいろいろな物質の交換をします。さらに、菌糸は根から土の方へも伸びていきます。菌が十分発達すると、菌糸が植物と土の仲立ちになって、植物の養分吸収を助けるのです。なぜ、彼らはそんなことができるのでしょうか？ 一つは彼らが植物の根に比べてスリムな菌糸を持っているからだといわれています。土の中にはいろいろな養分がありますが、なかには移動しにくかったり、土の粒子に捕まってしまうものが



VA 菌根菌の孢子

スギの根についたVA 菌根菌(拡大図)

あります。根は自由に動ける養分しか利用できないので、そのうちに根の周りから養分を吸い尽くしてしまいます。そういうときにこの菌は、植物の根が入れないような小さなすき間にまで入り込んで、根の代わりに養分を集めてくれるのです。特にリンの吸収には抜群の効果を発揮します。もちろんこんなに便利な宅配便が無料で使えるわけではありません。植物は養分を運んでもらう代わりに、光合成でつくった炭水化物(糖類)を料金として支払うわけです。これらの菌は、ほかの多くの菌が持っている能力のいくつかを完全に失っています。そのため植物から離れ、独立して生きることができません。植物に奉仕し、分け前をもらうことで生きているのです。

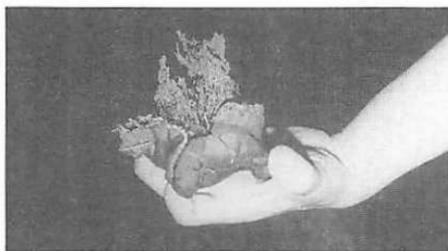
VA 菌根菌は本来丈夫な菌で、さまざまな環境に耐えて生活しています。また、相手をあまり選ばず、数多くの植物との間で宅配便を勤めます。ですから、もともと養分の乏しい土地で生きていかなければならない野性の植物にとっては、特になくてはならない友だちだといえるでしょう。

(溝口岳男)

たき火厳禁—マツ林

岩手県の三陸海岸に高田松原（陸前高田市）という名勝地があります。まさに白砂青松という言葉がぴつたりの美しい海岸です。夏ともなれば、大勢の人々がマツ林の木陰でキャンブしたり、「鍋こ遠足」と称する野外パーティを楽しんでいました。ところが、昭和五十六年ごろから、マツ林がまるで円形脱毛症のように枯れ始めました。円形の中心には決まってたき火の跡が見つかります。マツの根元でたき火をする非常識な人はいないし、土中深くもぐっている根がたき火の熱で死ぬとは考えにくいことから、たき火が直接の枯損原因ではなくて、この間に病気が介在していることが想像されました。翌年の梅雨期に、あたり一面にツチクラゲというきのこが発生し、つちくらげ病で枯れたことがわかりました。

ではどうしてたき火がふだん見られない眠っているきのこを目覚めさせたのでしょうか。調べてみると、ツチクラゲの胞子は二五°C前後のいわゆる常温では絶対に発芽しません。ところが、高熱シヨックを与えるると容易に発芽する特異な性質を持つていたのです。三五°Cで二四時間、四〇°Cで一二時間、四五°Cでは四時間間で発芽し、引き続いて常温に置くと菌糸が旺盛に伸びだします。実際、砂地でたき火をして、砂の温度を測定してみると、たき火の外縁から五センチの距離と直下二〇センチの深さまでが胞子発芽の適温範囲でした。熱シヨックで発芽した胞子は、菌糸を伸ばし地表面の落ち葉や小枝などの腐植を栄養にして勢力を拡大してい



ツチクラゲ子実体(上)、たき火厳禁の立て看板

きます。この病原菌は、死んだ植物からも生きている植物からも栄養を取れる両刀使いのどん欲な性質(条件的寄生菌)を持っているので、菌糸が繁殖していく範囲にある根が侵され、マツが枯れるという仕組みです。生きている根の小さな傷や割れ目から侵入して根の形成層に到達した菌糸は、セルラーゼやペクチナーゼという酵素を分泌して根組織を分解します。どん欲な性質を利用して、菌糸がまん延している範囲を知ることができません。生のマツ枝に傷をつけて地面に挿し、菌を捕まえる方法です。この菌は形成層に手の形や菊の花の形をした腐植痕と呼ばれる特殊な菌糸をつくるので、ほかの菌と容易に見分けられます。この方法

で菌糸の繁殖範囲を見分け、その先端部を集中的に取り除けば病気のまん延を防げます。

陸前高田市では、たき火厳禁の看板を立て市民の協力を得るとともに、特定の場所に共同炊事場を設け、この場所以外では絶対にたき火しないようにしています。今では高田松原は病気から守られ、立派な景観を保っています。ここでは一例を示しましたが、この病気は全国で発生しています。津波や潮風害を防いでくれるマツ林を永く保護したいものです。(庄司次男)

冬虫夏草のなぞ

きのこのなかには、昆虫やクモなどに寄生して生活する仲間がいます。虫の体内に菌糸を伸ばして栄養分を取り、そのあとで虫の表面に棒状・枝状などのきのこをつくりまわります。アカパンカビ、チャワンタケなどの仲間の子の菌類に属し、世界中で約三五〇種が報告されており、アリ、セミ、ガ、カブトムシ、トンボなどの幼虫やさなぎ、成虫などに幅広く寄生します。昔の人は「冬は虫で、夏は草になる不思議な生物」と考えたのでしょうか、このきのこの仲間は「冬虫夏草」と呼ばれています。土中の虫以外にも、朽ち木の中の甲虫の幼虫や枝に止まった状態のトンボなどからも発生します。また冬虫夏草のなかには、虫ではなく一生を地下で生活するツチダンゴというきのこから発生する種類もあります。

冬虫夏草の多くは、目立たないきのこです。うっかりすると見落としてしまいますが、湿度の高い所を注意して探すとわりあいよく見つかることがあります。土の中や腐った木から発生するものから、どんな虫がきのこの下から出てくるのか、掘り取るまでが楽しみです。

冬虫夏草には厳密な種特異性があり、それぞれが特定の種類の虫にしかつきませんが、虫に取りつく過程はまだよく知られていません。しかし蚕かいこや害虫の病気を起こす一部の冬虫夏草については、その生理・生態が調べられて、冬虫夏草による殺虫剤として実用化されています。



ツクツクボウシセミタケ、
子実体、分生子、分生子柄



ヤンマタケ



ツチダンゴに発生する
タンポタケ子実体、子のう殻、
子のうの先端、子のう胞子
(2次胞子)



クビオレアリタケ

冬虫夏草のきのこ

また珍奇な形からの発想でしょうか、中国ではガの幼虫に発生するコルデイセプス・シネンシスという種類が、肺結核の治療や滋養強壯に効くとされ、漢方薬として高価に取り引きされています。また、これをアヒルの内臓を取り去ったあとに詰める高級な中華料理もあります。

冬虫夏草のきのこによってつくられる胞子には、減数分裂によりつくられる子のう胞子（有性胞子）と、通常の細胞分裂によりつくられる分生胞子（無性胞子）の二種類があります。種類によって、そのどちらかしかつくらないものと両方つくるものがあり、両方つくる場合は、子のう胞子をつくるきのこ、分生胞子をつくるきのこがまるで異なった姿をしていることが普通です。そのため、つい最近まで別の種類と思われていたものもあります。また片方しか知られていない種類では、残る片方の発見が話題となることもあります。

（根田 仁）

呼吸する土

土は呼吸しています。と言うと不思議に思われるかも知れませんが、事実土の表層からは絶えず二酸化炭素が出ています。この現象を一般に「土壌呼吸」といい、まさに土が生き物である証拠と言えましょう。

土から放出される二酸化炭素の源は主に微生物と木や草の根の活動によるものです。土の中の有機物は虫や微生物の働きにより最終的には二酸化炭素と水に分解され、二酸化炭素は拡散作用によって土のすき間を通って大気に放出されます。また、木や草の根も養分の吸収を行い二酸化炭素を吐き出しています。森林土壌の場合、全呼吸に占める根の呼吸の割合は、三五〜五〇%の範囲に入ります。土壌呼吸は土に住んでいる虫の呼吸も含みますが、全呼吸に占める割合はわずかです。しかし、虫は有機物分解における微生物の働きを促進するのに重要な役目をします。

土から放出される二酸化炭素の量は、絶えず変化しています。生物の呼吸と同じように気温の高い夏には多く、気温の低い冬には少なくなります。この変化は気温の変化とほぼ一致します。一般に「土壌呼吸」は温度上昇に伴い指数関数的に増加することが認められています。「土壌呼吸」と水分との関係は水分の過剰あるいは不足する場合にやや明らかになりますが、それ以外は気温ほど大きな相関はありません。

「土壌呼吸」を野外で測定するにはいくつかの方法があります。二酸化炭素は一種の酸なのでアルカリ

アカマツ林	47.6	
照葉樹林	30.9	～ 47.2
落葉広葉樹林	18.3	～ 29.7
スギ林	24.4	
ヒノキ林	16.3	～ 23.5
カラマツ林	20.6	
ブナ-ウラジロモミ林	18.1	

表1 日本の森林の土壤呼吸量 アルカリ吸収スポンジ法による比較、単位は年間ha当たりのトン数

$$\text{土壤呼吸} = -0.887 \times (\text{緯度}) + 63.1$$

表2 土壤呼吸量と緯度との関係 (Schlesingerの式を改変) 単位は年間ha当たりのトン数

と反応します。そこで、一定の時間に発生した二酸化炭素をアルカリ溶液(水酸化カリウムなど)に吸収させ、使われたアルカリ量から知る方法が一般的です。それによると、日本の森林では二酸化炭素量として年間ヘクタール当たり約一六〇四八ト放出されています。それは植生・環境によって異なった値を示します(表1)。植物が少なくなれば生物や根の活動が少なくなるので、当然土壤呼吸量も減ってきます。

今度は世界的な規模で見てみましょう。おおまかには緯度から森林土壤の年間土壤呼吸を推定することができます(表2)。ただし、測定法がまちまちなので正確には無理ですが、大ざっぱな比較は可能です。例えば年間ヘクタール当たりの「土壤呼吸」による二酸化炭素発生量は、赤道直下では約六三ト、東京周辺では約三トと計算され、熱帯地方は温帯の約二倍の呼吸をしていることとなります。これは熱帯地方では活発な微生物活動などにより有機物が早く分解されるためです。

このように「土壤呼吸」は土壤の活力、すなわち健全度を示すものです。最近熱帯を中心として土壤の健全度が減少してきており、その影響が懸念されています。(酒井正治)

虫と土との深い仲

ここは関東地方の平地に見られるスギの造林地です。土は黒くて軟らかく、地表にはスギの葉のついた枝がたまっています。近づいてよく見ると、地面に接している部分が黒くなって、一部の葉がなくなり、土の粒のようなものがくっついているのがわかります。もつとよく見ると、ヒメフナムシやワラジムシ、タマヤスデやオビヤスデ、ハエの幼虫などが葉の間に隠れています。土の粒のように見えたのは、これらの虫の糞です。落葉を食べた虫の糞を顕微鏡でさらに詳しく調べると、細かい植物組織がたくさん含まれているのがわかります。この糞を好んで食べるのがミミズです。ミミズは落ち葉のすぐ下の土の中にいます。葉や土を動かすとはやく逃げるのはクモ、ムカデ、カブトムシ、アリなどの捕食性の動物です。このように肉眼で観察できる虫の数は一平方メートル当たり数百匹から数千匹にもなります。このほか、土の中には肉眼では白い点のようにしか見えない小さなダニやトビムシ、顕微鏡でなければ見えない線虫や原生動物もたくさんいます。

これだけ多くの虫が土の中で生活しているのです。当然餌も食べれば糞もします。生きるために土の中を活発に動き回ります。スギ林では、落ち葉を食べるワラジムシやヤスデの現存量は一平方メートル当たり約五〇〜一〇〇gです。落ち葉を食べる量は一日に体重の三〜三〇%です。四月から十一月まで八か月間活動すると考えると、一年間に三六〇〜七二〇gの落ち葉を食べることになります。一年間に落ちるスギの葉や枝は一平方



落ち葉を食べるワラジムシとヤスデ

計算上三七〇〜八二〇%ですから、その一〇〜九〇%を虫が食べる計算になります。また、スギ林の一方計算上三〇〜六〇%の現存量は一〜六%です。ミミズは落ち葉よりも栄養価の低いものを食べているので、もつとたくさん食べなければなりません。一日に体重の五〇%から、多いときには体重の六倍もの土やほかの動物の糞を食べます。一年間に食べる土の量を計算すると二二〇から八六四〇%にもなります。ミミズなどの糞は保水性が高く、植物に吸収されやすい養分を多く含んでいます。また、ミミズをはじめとして多くの虫が土の中を移動することによって、通気性や透水性も良くなります。このように、大切な働きをしている虫のすみかは、主に落ち葉の層とそのすぐ下の土の中です。だから、上から一〇センチぐらいまでの土の層は軟らかくて養分もたくさんあるのです。それ以上もぐると虫の数は急に少なくなり、土も硬くなります。

これは、虫と土との関係のほんの一例を示したにすぎません。土の中に住む虫の種類や数・量などは、その土地の気候や植生、土の性質などによって変わります。そしてそれぞれの場所で、虫と土とは互いに深い関係を保ちながら少しずつ変わっていくのです。

(新島漢子)

八年ごとの集団デート

長野県の八ヶ岳は標高二、八九九^ミの美しい山です。この山を取り囲むように中央本線と小海線が走っています。高原のさわやかな空気がとすばらしい眺めに引きつけられて、この沿線を訪れる人も多いようです。

ところが、ここにやってくるのは人間ばかりではありません。体長わずか三五^ミ、幅約五^ミ、ピンクの地に焦げ茶のしま模様のヤスデも大挙してやってきます。特に小海線の甲斐小泉―野辺山間はお気に入りのように、ときには十数キロにわたって線路がヤスデに占拠されてしまいます。列車がヤスデをひきつぶさうものなら、ぬるぬるした体液で車輪が滑り、急こう配の坂を登れなくなってしまう。また、線路にこびりついた死体が絶縁体となって信号機を狂わせるので、運転もままなりません。

このヤスデは汽車を止めるのでキシヤヤスデと名づけられました。日本固有種で、関東、中部および近畿地方の一部にしかいません。一九二〇年に中央本線東塩尻―塩尻間で大発生し、列車が遅れたのが最初の記録で、その後ほぼ八年おきにキシヤヤスデの大発生による列車妨害が記録されています。キシヤヤスデは九月から十月にかけて、主として夜に活動しますが、曇りや小雨の日は昼間でも出没します。このようにヤスデが集団で線路の上に現れるのは、実はヤスデの集団デートだったのです。やがて、樹々の葉が赤や黄色に色づくころ、森の中の落ち葉をそとめくってみると、あちらでもこちらでもキシヤヤスデの熱烈なラブシ

ーンを見ることができません。雄は雌に体を絡み付かせ、抱き合ったまま一〇〜三〇分も離れません。雄も雌も相手を変えて何回も交尾を繰り返します。

さて、無事結婚を終えたキシヤヤステは、冬の寒さに備えて土の中にもぐります。翌年の春、再び活動を始め、六〜七月に数百個の卵を産み、やがて死にます。八月には、孵化した幼虫がこれに代わります。この幼虫がいつせいに親になって再び集団デートに出かければ、同じように小海線をストップさせるに違いありません。こんなことが毎年起こつたら大変ですが、キシヤヤステはそんなに早く成長しません。一年に一回しか脱皮しないのです。孵化したときの大きさは約一・五ミリ、五年たつても体長はわずか一センチです。たとえそれが数億匹いようと、土の中でひっそりと暮らしているぶんには、人目に触れることはまずありません。ところが七歳（七齢といいますが）になると急に大きくなって二センチになります。食欲も当然旺盛になり、周りの土が自分たちの糞だらけになると、集団で引越することもあります。そして大発生からきつちり八年目の秋に、すっかり成人したキシヤヤステが集団デートに出かけます。小海線沿線のキシヤヤステの大発生が八年目か、あるいは七年目と八年目に記録されてきたのはこのためです。

キシヤヤステは列車妨害という点では害虫ですが、森にとって欠かせない大切な虫なのです。落ち葉を分解して養分に変え、土を耕して肥沃にしているのです。八年のうちたった二か月間だけ、少々の不快感は我慢して温かく見守ってあげましょう。

（新島溪子）

ミミズのたわごと

庭のすみに捨てられた野菜くずの下などにいる黄色のしまを持ったミミズ。甘露アメミたいに両端がねじれたゴマほどの大きさのやや緑色の卵。これは魚釣りの餌や堆肥づくりでおなじみの、また養殖ブームの主役であったシママミミズです。さながら何千種のなかのプリマドンナともいえます。

ミミズは「目不見」、「蚯蚓」、「雨の虫」、「大地の腸」、「地球の虫」などと書いたり言われたりしてきました。目がなく、体そのものが腸で、一日に体重以上の餌を食べます。餌は野菜くず、枯れ葉など植物質が主です。鳴いたり、二つになったりすることはありませんが、木に登ることもあります。ミミズは雌雄同体であるにもかかわらず、子孫をつくるにはなぜか異なる個体との出会いが必要であることをご存じでしょうか。その姿からミミズが大好きな人や、ましてその活動に目を向ける人は多くはないようです。しかし、古代エジプトでは土を肥やす神の使いとされてきました。

さてミミズはどんな働きをしているのでしょうか。海をせき止めてつくったオランダの干拓地には、最初はむろんミミズはいませんでした。とあるリング園で、ミミズを持ち込んだところ、数年を待たずに地表にあった枯れ葉はすっかりなくなり、その代わりにミミズ糞が多量に見られました。このミミズ糞の塊はスポンジのように多数の小さな穴があり、大量の水や空気を保つことができます。枯れ葉などがミミズの腸を通



ミミズを入れないポット



ミミズを入れたポット

枯草堆肥にミミズを入れてから15日後

つて分解されるので、植物の成長を促進させる効果もあります。リ
ンゴの生産量は当然増加しました。まさにミミズがいると土は良く
なったのです。

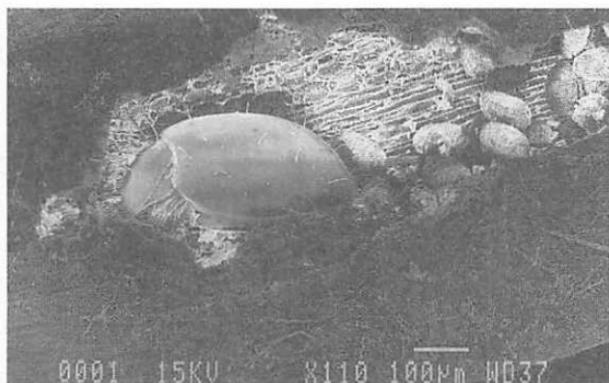
また酪農で知られるニュージーランドの基礎はミミズといわれ、
ミミズが大事にされています。というのはこの国の草地の土着のミ
ミズは、いまいち働きが悪かったので、イギリスからミミズを持ち込
んだところ、草の生産量が増加したのです。この成功のカギは、多
種類のミミズのなかからその土地にふさわしいものを選び出したこ
とと、ミミズを住まわせる条件についての実験観察にあったのです。
ダーウィン(『種の起源』の著者)は彼の最後の本『ミミズと土』
に述べています。ミミズとは黙々と活動し、ついには巨石をも地下
に埋める能力のあるまねな生き物であると。ミミズが糞をするとい
う単純なことでも、この絶えず繰り返されている働きが究極では大
きな作用となるということです。これはミミズの仕業がたわごとで
ないことを示すものといえます。

(中村好男)

落ち葉のハンバーグ弁当

深い森の中の土はふかふかしてとても気持ちが良いものです。この土をよく見るとたくさんの落ち葉からできていることがわかります。表面にはまだ落ちたばかりのはつきりと木の葉とわかるものが多く、少し掘ると、黒ずんで形もだいぶ崩れているものが多いことがわかるでしょう。これは、落ち葉が土の中の微生物や小動物によって分解されているためです。普通、落ち葉は外側から虫に食われてぼろぼろになっていくのですが、モミなどの針葉樹の落ち葉では外見はほとんど元の形をとどめているのに、針でつくとぼろりと崩れ、中から細かい果粒状の糞が出てくるものが見つかります。これはいったいどのような原因でできたのでしょうか。そこで、詳しくこの落ち葉の中を観察すると、ラグビーボールのような小さな虫を見つけることができます。これが、イレコダニなどのササラダニの仲間なのです。

ササラダニといってもほとんどの人にはどんなものか想像することもできないと思います。ササラダニはダニの仲間です。といっても怖がることはありません。あのいやらしい、イエダニやマダニなどと違い、人を刺したりすることは決してありません。ダニというよりもむしろコガネムシやカブトムシを小さくしたようなかっこうをしており、大きさは〇・二ミリから一ミリほどです。ほとんどが土の中で生活しており、落ち葉や枯れ枝、カビなどを食べています。体は小さいのですが、その数はとても多く、森の土の中には、あな



トドマツの針葉内を摂食中のヒメヘソイレコダニの成体。
楕円形の粒が糞

たの片足の下におよそ一〇〇〇匹ものササラダニがいる計算になります。種類も多く、日本では五〇〇種以上が知られています。非常に頑丈なカニのはさみのような口器を持っており、これで硬い落ち葉や枝もガリガリとかみ砕いてしまいます。ササラダニのもう一つの特徴として、ときには体の四分の一近くにもなる非常に大きな両開きの扉のような肛門があげられます。かみ砕かれた落ち葉はササラダニのお腹の中で大きな円形のハンバーグのような塊になり、この扉から次々に押し出されるのです。確かに、このくらい大きくなければたちまち痔になってしまうに違いありません。

このようにして、ササラダニは落ち葉をこつこつとかみ砕き、土に帰す仕事をしているのです。そして、落ち葉の中にもぐり込み、中をきれいに食べてしまい、代わりに自分の糞を詰めていくものがたくさんいることもわかってきました。こうしてできた落ち葉のハンバーグの詰め合わせ弁当が土の中にたくさんあるというわけです。みなさんも一度探してみてはいかがでしょうかでしょう。

(福山研二)

土の中は水抜きパイプがいつぱい

空から降ってきた雨が地面に到達するとうなるかは皆さんよくご存じですね。アスファルトで舗装された道路に水がしみ込むことはありませんが、土には水が徐々にしみ込んでいきます。土の中には水抜きパイプの役を果たす穴がいつぱい開いているからです。ただし、その場所の状態によって水のしみ込み方がかなり違います。踏み固められた土の道（歩道）では雨が降るとくぼみに水たまりができますが、人がめつたに通らない所、例えば森の土では、水たまりができることなどないくらい、水はすばやく地面に吸い込まれていきます。いろいろな実験結果から計算すると、森の土ではバケツ一杯の水（約四割）を一平方メートルの広さにしみ込ませるのに五秒もかかりませんが、歩道では一分半以上かかります。このような違いは土の中の穴の量や大きさ、形が違ふことによつて起きます。穴の量が多く、大きな穴が長くつながっているほうが水がよくしみ込むのです。

では、土の中にはいったいどれくらい穴が開いているのでしょうか。歩道のような固い所では多くても全体積の五割前後ですが、森の土では八割にもなることがあります。また、歩道の土は虫眼鏡や顕微鏡で見なければわからないような小さい穴ばかりですが、森の土には人の指が楽々入るような大きいものから、歩道と同じような小さなものまで、さまざまな大きさ・形のものが存在します。だから森のほうが水がしみ込み

やすいのです。これは、歩道は歩くと硬く感じますが、森の土はふかふかしていて、足を踏み入れるとまるでクッションの上を歩いているような感じを受けることからわかります。

森の土に大小さまざまな穴がたくさんあるのは、土の中にいる生き物たちの活動のためです。その生き物たちの活動を支えているのが森の地面を覆っている落ち葉です。例えば、アリやミミズ、ヤスデなどのような動物たちは、土の中で自分たちが生活する場として穴をつくりまわります。さらに、落ち葉や落ち葉のかげらが混ざった土を食べ、糞としていろいろな大きさや形をした軟らかい土の塊をつくり出します。この塊がたくさん集まると、いろいろな大きさの穴のあるふかふかした土ができあがるのです。また、木の根が腐ったあとも水の通り道になります。これに対して、歩道の土は、餌になる落ち葉の層がないため土の中の生き物たちの活動が少なくなると、人が歩いて、いつも踏み固めているから小さい穴ばかりになってしまうのです。

ところで、地面の中にしみ込んだ雨水はどうなるのでしょうか。水は重力の働きで地表面から地下に向かって流れようとしています。しかし土の中の穴には、その大きさに応じて水を引っ張る力（毛管張力）が働きます。この力は穴が小さいほど強いので、小さな穴に入った水はそのままにとどめられます。一方、大きな穴は相対的にこの力が弱いので、水は地下にしみ込みやすくなります。こうしてしみ込んだ水は地下水となって山にためられ、ゆっくり流れ出すわけです。すなわち森の土の中の水抜きパイプは「緑のダム」の入り口として重要な役目を果たしているのです。

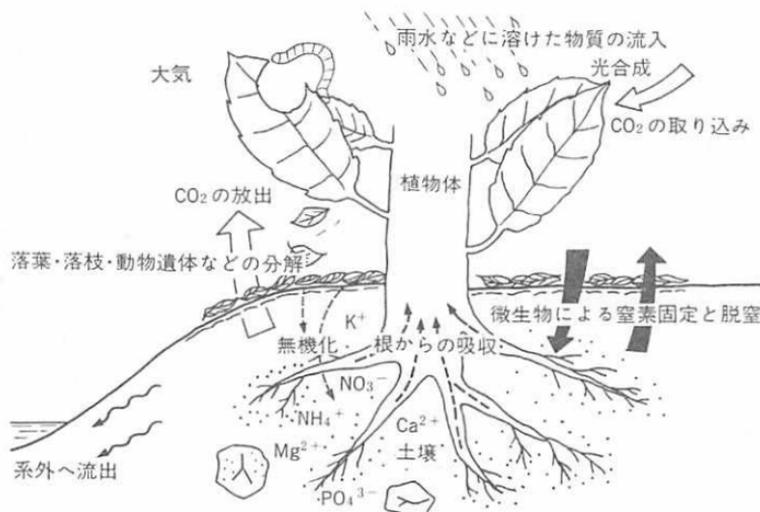
（田中永晴）

「土に帰る」は流転の始まり

植物は太陽エネルギーを使って空気中の炭酸ガスを固定して炭水化物をつくりまわします。炭水化物はいろいろな形になって植物の生命を支えています。植物が死ぬと土壌中の生き物が餌として体に取り込みます。取り込まれた炭素はこれらの生き物が分解し、炭酸ガスとして空気中に還元され、また植物に取り込まれます。どんな物質も、このような「サイクル」で地球という閉鎖した場で循環しているのです。

物質循環のようすは、物質によりさまざまで、まだ未知のことが数多く残っています。最近では地球全体の環境問題や気候の温暖化との関連で、炭素、窒素、イオウなどが話題にのぼります。

これらは気体・イオン・固体の三態をとりながら、大気・海洋・陸上を地球規模で循環しています。一方、ガス態にならないものはイオンとなって水に溶けて大気・海洋・陸上を循環しています。陸上の生態系に限ると、ガス態になる炭素や窒素は光合成や窒素固定といった生物の働きを通じて生物体に取り込まれ、そこから生物・大気・土壌という三つの部分を循環します。岩石の風化や雨に溶けて土壌に達する元素の一部は水とともに流失し、ある部分は植物に吸収されます。植物や、それを食べる動物の遺体は地表で分解して再び土壌中に蓄積し、元素は生物と土の間で再循環しています。つまりガス態になる物質も、ガス態にならない物質も、陸上生態系では生物とそれを取り巻く大気や土との間で、生物の営みを通じて循環しているのです。



陸上生態系における物質循環の模式図

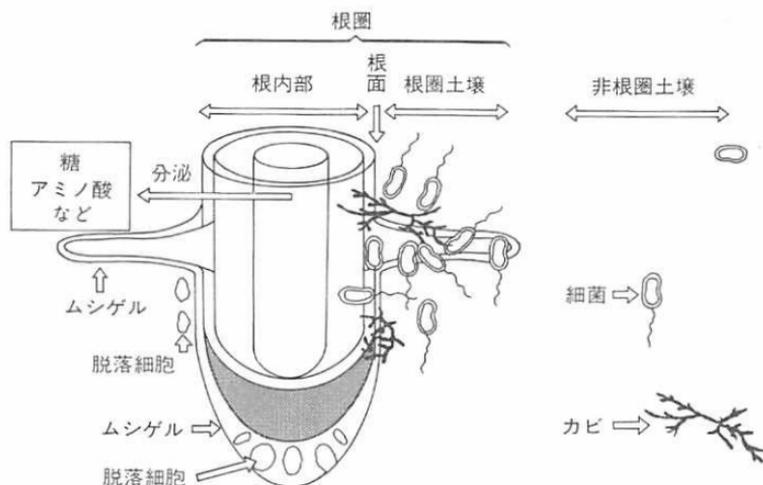
森林の物質環境について述べると、一般に、熱帯林では分解が速いために地上部への物質の蓄積割合が高く、回転の速い循環の姿であり、寒冷地の森林では分解が遅いために土壤への蓄積割合が高く、ゆっくりと回転する循環の姿といわれてきました。しかし研究が進むにつれてそうとは限らないことがわかってきました。熱帯林にも分解速度の遅い貧栄養な森林があったり、冷涼な地域でも分解速度が比較的速く、養分の豊かな森林があったりします。つまり物質により、あるいは森林を支える土の性質によって、乏しい物質を速く回転させて何とかやりくりしていたり、多くあるものをせいたくに回転させていたりといった、そんなさまざまな循環のスタイルがあるのです。生物が死んで「土に帰る」ときから始まる物質の循環が、土を舞台にして絶えず起こっているのです。

(松浦陽次郎)

地下の大繁華街

作物の地上部は見えても、地下の根は見えません。実は根の周りでは養分や水・空気を求めて根、微生物、土壤動物が助け合いせめぎ合っているのです。

播種後四か月目のライ麦ひと株の根の全長が五〇〇^{cm}以上、全表面積が二〇〇^{cm}平方以上という記録もあります。とにかく細い根を地下二^m前後まで縦横に張り巡らし、土を抱え込んでいます。旺盛な生育をしている根は土壤から活発に無機養分や水を吸収するので、特に土壤中を移動しにくいリン酸などでは、離れた土壤からの補給が追いつかず、根の周囲に養分欠乏帯がしばしばつくられます。一方、根は成長に伴って老化した細胞をアカやフケと同様に脱落させ、生きた細胞からはムシゲルと呼ばれる粘性の高分子物質やアミノ酸、糖などを分泌します。面白いことに無菌の根に比べて、菌の付着した根からはこれらの有機物がたくさん放出されます。あたかも微生物が根をしゃぶって有機物を吸い出すかのように、作物が光合成で固定した炭素の二二〜四〇%も根から放出されます。こうして根の表面と周囲は微生物の餌となる有機物が比較的に豊富なので、微生物が高密度に群がっています。このような土壤は微生物の生育環境として異質なので、根圏と呼び、根から離れた土壤を非根圏土壤と呼んで区別しています。一般的な畑一〇^gには生体重で約七〇〇^{mg}の土壤生物が存在し、そのうち細菌が二〇〜二五%、カビが七〇〜七五%、ダニなどの動物が五%以下



根圏の構造

を占めます。微生物の生育しうる空間は、畑全体では根圏よりも非根圏土壌で圧倒的に多いので、全微生物量は非根圏土壌のほうが多くなります。しかし、狭いとはいえ根圏には餌の有機物が比較的豊富なため、非根圏土壌よりも微生物が高密度に存在します。例えば、非根圏土壌の土壤粒子や有機物破片の総表面積のうち微生物の被覆しているのは約〇・〇二%だけなのに、根の表面ではその一〇%前後に達します。通常飢餓状態におかれている非根圏土壌の微生物に比べると根圏の微生物は活発で、種類も異なり、根から供給される有機物を用いて、空中窒素の固定、植物成長ホルモン様物質の合成、難溶性リンの溶解、植物病原菌の抑制などを行っています。こうした地下の繁華街ともいえる根圏の微生物活動を高めて上手に制御し、肥料や農薬を節約して作物生産を高める技術開発が今注目されています。

(西尾道徳)

V

植物と土

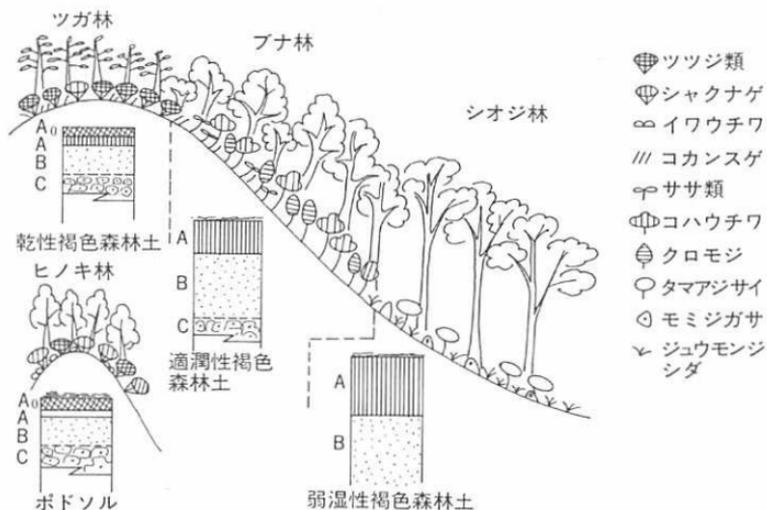
植物を見れば土がわかる

森林の植物構成や分布は地形、土壌など環境条件と深い関係があります。この関係を知っておくと、地形の違いから生えている植物を予想できるし、植物を見れば土壌がわかります。少しトリックをこらんにいれましょう。

植物に必要な水や養分を土壌から得るので、水や養分の量、通気・透水性のような土壌の性質はとても重要で、土壌と森林群落の間には一定の関係があります。左の秩父山地の天然林の分布図では、沢から尾根に向かつていろいろな森林が地形位置や土壌に対応しているようですがよくわかります。山脚部の湿った深い土壌には、湿润立地を好むタモの一種のシオジ林が、逆に尾根の乾いた浅い土壌には、乾燥に強いツガ林が、そして山腹にはブナ林が分布し、そこは適度な湿り気を持った適潤性土壌となります。

ブナやツガのような高木の下生えを林床植物といいます。この林床の植物もツツジ類からジユウモンジシダまで、乾燥に強いとか、十分な水や養分を必要とするとか、通気・透水性を好むなど、それぞれ固有の立地特性に応じて分布し、地形を介して土壌と林床群落との間に密接な対応関係を見せます。

環境条件を植物や植物群落によって推定する、いわゆる指標植物群落の考え方は古くからありますが、秩父山地の森林やその林床群落はそれぞれ土壌を示すよい指標群落といえます。とりわけツツジ類を主とした



秩父山地落葉広葉樹林帯の森林と土壤 (前田ら 1952, 宮川 1982により作図)

尾根の林床群落やタマアジサイ、ジュウモンジンダの多い山脚部の林床群落は、二次林や人工林にもそれぞれの土壤とよく結び付いて出現するので、土壤に対する指標価値がとても高いといえます。秩父山地では空中湿度の高い急峻な尾根に林床にシャクナゲを伴ったヒノキ林が分布します。この群落はポドゾル(厚い堆積腐植層と表層に灰白土層を持った強酸性土壤)との結び付きが強いもので、尾根でこの林を見つけるとポドゾルの出現を予測できますし、林の広がりにはポドゾルの出現範囲を知るよい手がかりになります。

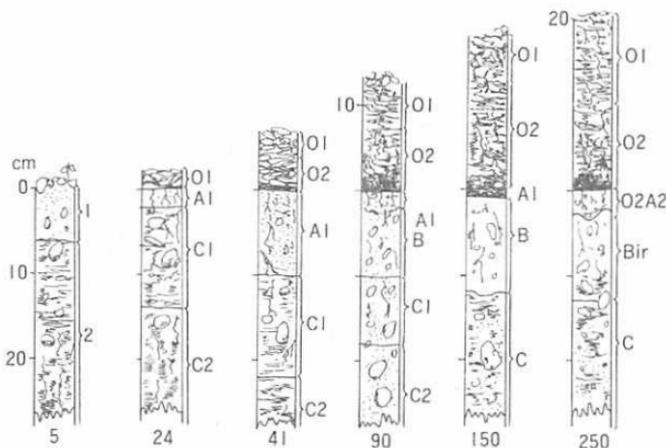
林床植物にはツツジやシャクナゲのほかにもきれいな花をつける植物がたくさんあります。森林や花を鑑賞しながら土壤を予想してみるのを楽しみでもあります。

(宮川 清)

森から土が生まれる

母なる大地という言葉があります。生命をはぐくむ、それが土なのです。では、この土はどのようにして生まれてくるのでしょうか。土を手にとってよく見ると、大きささまざまな粒から成り、砂粒のようなものから植物の腐った破片、動物の死がいや抜け殻まであることに気づくでしょう。土は岩石が風化して養分になり、そこに植物の生活が始まり、それを食べる動物がやってきてつくり出されるのです。植物や動物が風化した岩石に生命を吹き込んで土をつくり出しているともいえます。この動物や植物の働きかけが土を岩石から区別するいちばん大きな違いで、「土は生きている」ともいえるわけです。

では、土が生まれてから土らしくなるまでにはどのくらいの時間がかかるのでしょうか。磐梯山は今から約一〇〇年前に噴火して広い地域が泥流で覆われ荒地になってしまいました。一〇年もたつとカバノキ・ハンノキ・マツのような荒地地でも育つ植物たちが生えてきますが、地面はまだ荒れたままで元の磐梯山をつくっていた材料のままです。その後木が大きくなるにつれて落ち葉がたまり、それを餌にする小動物や微生物が集まってきました。この落ち葉が層になり、よく分解された層（L層）ができるのは二〇年後ころになります。磐梯山では五〇年後ころにはうっそうとしたマツ、カバ、ハンノキの森林になっていたようです。ただし、土壌の生成にはもっと時間がかかり、一〇〇年後の現在、やっと生物の活動が活発なA層ができて始



土の誕生から発達までの一例 (F.C. Ugotini)

米国アラスカの氷河跡での土の発達の様子。下の数字は氷河がなくなつてからの経過年数

たところ。三〇〇年下の部分はまだ風化の進まない砂や礫のままです。二〇〇年経った浅間山の例でも砂などの材料の層は四〇センチ程度から始まるので土壌ができるには大変長い時間がかかります。森林もまわりのブナ林と同じようになるまでにはまだまだ時間がかかるようです。外国の例では土らしい顔ができあがるには数百年以上かかることもあります。

最近日本だけでなく世界各地でさまざまな理由で開発が進み、森林が荒れ地になる場所が増えており、土がなくなってしまう危険性があります。植物や動物の絶え間ない「努力」で土は育ち、土のおかげで植物や動物たちも生きているのです。「母なる大地」と呼ぶにふさわしい土になるには大変長い時間がかかります。現在「生きている」土を大切に扱ってほしいものです。

(森貞和仁)

土の中の銀行

秋は実りの季節です。種子は植物の近くや、鳥や風などで運ばれて遠く離れた地面に落ちます。これらの種子の、あるものは発芽し、また動物の食料になり、一部は何年もの間土の中にとどまったのちに発芽したりといろいろです。土の中にはいつも多くの種子が蓄えられていて、その量は親植物からの供給量と発芽や死亡などの消耗量との関係で増えたり減ったりしているのです。このような種子の集団をシードバンク、つまり種子銀行と呼んでいます。また、土の中で生きている種子を埋土種子といいます。

それでは土の銀行にはどれだけの種子が「貯金」されているのでしょうか。除草しない畑で雑草の埋土種子を調べた例では、一〇㌥当たりジャガイモ畑で一六〇〇万粒、小麦畑で三八〇〇万粒、大豆畑で八八〇〇万粒ありました。森林の場合には土の上に積もった落葉層や腐葉層の種子も埋土種子として扱いますが、アカマツ林やシイ林、ブナ林、アオモリトドマツ林の調査例では、広さ一平方㌥、深さ一〇㌥の中に約一〇〇〇粒、一〇㌥では約一〇万粒の多種類の種子が報告されています。いずれも広い面積を考えると大変な数になります。

種子銀行の中には、次の発芽の季節までの短い期間だけとどまっている種子と、長期間とどまっている種子とがあります。長い寿命が確かめられている例として次のようなものがあります。ナガバギシギシは埋

まっつから五〇年後に五二%の種子が発芽しました。そのほかのギシギシの仲間では八〇年間、タデの仲間では五〇年間生存していた記録もあります。また、オオバコやスベリヒユ、シロザなど雑草には寿命の長い種子を持つものがたくさんあります。

樹木の種子ではホオノキで二三年後に九六%の種子が発芽し、このほかにも二三年以上生きていたものにエゴノキやヌルデ、ネムノキなどがあります。また、ニセアカシアやウルシ属、フヨウ属などでは三九年間の生存が記録されています。これらの例は実験的に確認されたもので、状況証拠からの判断では数十年を超えるものが多数報告されています。

土の表面近くの種子は季節がくると発芽します。発芽には適度の水と温度が必要で、光を必要とするものもあります。土はこれらの条件を備えて絶好の発芽床となります。適した条件が与えられなくてもすぐには発芽しない種類、つまり種子が休眠している種類もあります。例えば、キイチゴの種子は母体から離れたのちに落ち葉の下や土の中で温かい時を過ごし、次に冬の寒さを経験して初めて春の適度な温度で一斉に発芽できます。発芽するには土の布団に抱かれて準備する必要があります。

このように、土は種子の発芽力を維持し、発芽の準備をさせ、発芽の好適条件を整えます。植物は土に生きています。種子の命も土なしではありえないのです。

(横山敏孝)

落ち葉は森林の命綱

毎年、秋になると各地の行楽地は紅葉狩りにぎわいます。赤や黄色、褐色に変化した広葉樹の葉は半年間の寿命を終え、風に揺られて落ちていきます。マツやシイなどの常緑樹は一度に葉を落としますが、寿命のきた葉が少しずつ落葉しています。そのため森林の土壌の表面はいつも落ち葉で覆われています。

では、地表にはどのくらい落ち葉がたまっているのでしょうか。それは葉の落ちる量と分解の速さによって決まります。日本の森林は一畝に年間三〜四ト落葉し、厚さにして五センチほどになります。熱帯では六〜八ト、一方、寒帯では二〜三ト落葉します。そのほかに枝や樹皮が一〜二トほど、ときには落ち葉と同じくらいの量が落ちてきます。落ち葉のたまる量は場所によって異なり、同じ山でも尾根のような乾きやすい所では厚く、谷筋の湿った所ではあまりたまりません。平均すると日本のような温帯では一五ト程度、熱帯では五トほど、逆に寒帯では五〇ト以上もたまっています。このことから、落ち葉が分解して土に帰る時間を計算すると、熱帯では一年以内に、温帯では四、五年、寒帯では二〇年以上かかることになりました。

では、落ち葉の分解はだれが行っているのでしょうか。落ち葉を初めに分解する主役はきのこやカビです。積もった葉を一枚ずつはがしてよく見るとそのようすがわかります。落ち葉は褐色や、白や黄色あるいはそれらのみだら模様になっています。落ち葉にきのこの菌糸が取りつき広がっているのです。きのこの菌糸が

落ち葉の組織の中に入り込み、酵素を出して組織を分解し、落ち葉の成分を変化させます。その結果、落ち葉の色は変わり、組織が壊れて柔らかくなります。また、大豆が発酵して納豆になるように、成分の変化に伴い味も変わるのでしよう。ミミズやダニなど土壌中の虫たちが落ち葉やきのこの菌糸を盛んに食べるようになります。ミミズに食べられた落ち葉は細かくかみ砕かれ、糞になります。こうして落ち葉はどんどん細かくなります。さらにバクテリアが死んだ菌糸や糞を分解します。このようにきのこやバクテリアなどの微生物とミミズやダニなどの虫たちが次々とリレーして落ち葉をせっせと分解していくのです。

落ち葉が分解されるとその成分は二酸化炭素になり大気中に広がると同時に、窒素やリン、カリウムなどは土壌の水に溶けて、森林の養分、栄養源になります。落ち葉がたまらない熱帯の森林では、たくさん落ちた葉はすぐに分解されて養分となり、再び木に吸収されます。分解の速さが熱帯の大きな木の成長の速さを支えるカギです。反対に寒帯では木の成長も落ち葉の分解も遅く、たまった落ち葉が養分の貯蔵庫になっています。ですから熱帯の木を切ると森林が回復しにくい原因はここにあります。

木にとって落ち葉は決して損失ではありません。土壌中の生き物たちの協力によって再び自らの養分となります。落ち葉がなくなると土壌の生き物だけでなく、木自身も養分が不足し栄養失調となるでしょう。一般に養分の少ない森林土壌にとって、落ち葉は養分を効率的にやりくりするための命綱といえるのです。

(高橋正通)

植物と土の水争い

植物にとつての食べ物、炭酸ガスで、日中に気孔を開いて大気中から取り込みます。しかし同時に、植物の生育に不可欠な水が気孔から大気中へ出ていってしまいます。高く大きく枝を張る樹木では、その量は一日に数十リットルにも及びます。水を求めて移動することのできない植物は、この水を土中に張り巡らせた根から吸収します。湿った軟らかい森の土や水をたたえた田んぼから得るのは、そんなに難しいことではないでしょう。しかし植物は、コンクリートのすき間のわずかな土や岩山の岩の裂け目でも、根を張り水を奪い、驚くべき生命力で生育します。もちろん土も一方的に水を与えているばかりではありません。種子が芽生えても、生育に必要な水を土から奪えないときはしおれて枯れてしまいます。土と植物は四六時中この水の綱引きを戦っているのです。ここでは、綱を引く力を両者で比べてみて、どちらに軍配を上げるか考えてみましょう。力の単位には、便宜上圧を使うことにします。

まず土です。雨が降っているときの地面や水を張った田の土には力はありません。ほぼ0と考えていいでしょう。雨がやめば、水は重力で下方へ抜け落ちていき、表面張力で土にくっついた水だけが残ります。このときの力は○・○五〜○・一気圧くらいです。ついで、地面からの蒸発や植物の吸水によって水が奪われますが、しばらくは安定した状態が続き、圧はあまり上がりません。土がその力を発揮するのはもう少しあ

とで、ある量を超えて水が奪われると急激に圧が上昇するようになります。植物がしおれるときの土壤の含水量、いわゆるしおれ係数は、土の種類によって値が違いますが、おおよその近辺になります。

次に植物です。綱を握って引いているのは葉の生きた細胞で、根や茎、幹には引く力はありません。葉の細胞には、いろいろな物質の溶け込んだ溶液（細胞液）が詰まっていて、浸透圧が生じています。これが綱を引く原動力です。薄い細胞液では小さく、濃い細胞液では大きくなります。一方、細胞を包む細胞壁には通常、中の水を押し出そうとする力（膨圧）が生じています。したがって、綱を引く力は、細胞液の浸透圧から細胞壁の膨圧を差し引いたものとなります。蒸散によって細胞が脱水されると、細胞液は濃くなり浸透圧は上昇します。また、細胞の体積が減少するので膨圧も低下し、綱を引く力はますます大きくなります。もちろん植物によって差はありますが、蒸散のさかな日中では数十気圧にもなる場合があります。

では軍配です。ここで勝敗のカギを握るのは、細胞壁の膨圧です。植物がその形状を保ち、生育するには膨圧が不可欠で、これを失うと植物はしおれます。いくら脱水して綱を引く力を蓄えても、枯れてしまえば植物の負けです。しおれる一歩手前まで脱水されたとすると、膨圧はほぼ0で、植物の力は浸透圧に等しくなります。したがって、そのときの浸透圧が土の水の表面張力より大きければ植物の勝ち、小さければ土の勝ちということになります。勝敗を分けるこの浸透圧は数気圧から数十気圧とさまざまですが、その値の大小は種や品種の乾燥に対する強さをよく反映しており、興味深い現象です。

（丸山 温）

はげ始めると止まらない

琵琶湖の南に位置する田上山周辺は昔からはげ山地帯として有名で、流出する土砂のために下流域では災害が絶えませんでした。この地域から琵琶湖に注ぐ川はみな天井川で、かつての土砂流出の激しさを物語っています。一方、古文書によれば、千数百年前にはこの一帯はスギ・ヒノキの大木が生い茂る、うっそうとした森林であったようです。それがどうして木一本ないはげ山になってしまったのでしょうか。もともとこの山塊はもろく、花崗岩が地下深くまで風化した崩れやすい地質です。それでも地面が森林で覆われ、広げた枝葉や根、地面の落葉層がしっかりと土を保護していれば問題はありませんでした。ところが平城京の相次ぐ大火で建築用材が不足し、この田上山から大量のスギ・ヒノキ材が運び出されました。また薪にするための燃料材の伐出や陶土の採取によっても山は荒らされ続けたようです。

森林が消失すると、それまで地表面を覆っていた落葉層も洗い流され、むき出しになった表土が侵食され始めます。地下深くまで基岩が風化した山では、ひとたび始まった侵食は加速度的に進み、とめどなく崩壊を繰り返しました。表土が安定しないために新たに植物が根づくこともできません。

温暖多雨な日本では、森林が破壊されてもある程度までは自然の回復力で立派に再生できます。しかし悪条件が重なり、ある限度を超えると不毛の山となってしまうのです。森林の消失に伴って、何百年も何千年

もかけてできた土壌が、ほんの数年の間に消えてしまうことも珍しくありません。田上山は、まるで西部劇に出てくるインディアンの砦のように、木が一本も見当たらず、奇岩が連なっていました。

明治時代以後に行われた植林によって、現在ではマツを中心とした森林ができてつつあり、花崗岩の白い地肌も目につかなくなりました。一部はげ山が残っている場所、植えてから約四〇年たったマツ林、一〇〇年生以上の天然ヒノキが残っている場所の三か所の土のようすを比較したのが上の図です。



森林の回復と土

はげ山では表土が洗い流されて土らしい土がありませんが、マツ林では生物の活動が最も活発なA層（腐植土層）ができてつつあります。ヒノキ林のような一人前の土になるまでにはまだまだ長い年月が必要ですが、むちゃな伐採を繰り返さなければ確実に土も回復していくでしょう。このように日本でははげ山の緑化が進み、その面積は減少してきました。しかし熱帯諸国では焼畑や放牧の跡地、伐採跡地に植生が回復しないケースが多く、はげ山の面積は増加する傾向にあります。地球全体の緑資源を考えると、このような熱帯林の減少は重大な問題であり、早急な対策が必要です。（鳥居厚志）

土を変える植物

日本では北海道の亜寒帯林から沖縄の亜熱帯林まで、生育する植物は変化に富んでおり、それに対応するようにさまざまな種類の土を見ることができません。例えば関東北部や東北地方では、湿った土ではサワグルミ、シオジ、トチノキなどが、また乾いた土ではツガ、ヒメコマツなど、中間の土壌にはブナが生育しています。

このように、土の種類によって生育する植物はおおまかに決まっています。しかし、そうはいつでも植物なしに土の生成が考えられないのも当然です。土と植物は互いに影響しあいながら成熟していくからです。なかには植物が積極的に土を変えていくことがあります。日本ではヒバの林でその例が見られます。

アスナロの仲間のヒバは東北地方を中心に分布しているヒノキ科の針葉樹で、この林の下には表層が白くなった土、ポドゾルができやすいといわれています。ポドゾルは寒い所に多い、養分が少ない土壌なので、ポドゾル土壌生成には寒冷気候が必要であると長く考えられていました。ところがより暖かい所でもブナの林をヒバ林に変えるとポドゾルになることが発見されました。ということは、ヒバがポドゾルをつくっているわけです。

一般に、広葉樹に比べて針葉樹の落葉は分解されにくいといわれています。ヒバも同様で、分解不良の落

葉はしだいに厚い層を地表に形成していきます。この厚い有機物の層は非常に酸性が強い性質（pH三〜四）を持っています。酸性の原因は有機物が分解してできた有機酸で、そのなかには鉄やアルミニウムを包みこんで（キレート作用という）水に溶けた形にする物質も含まれます。この物質には、ポリフェノールというベンゼンの仲間やポリサツカライドというデンプンの仲間が知られています。雨水が有機物の層を通るとき非常に濃厚な有機酸を含んだ水となります。濃厚な溶液は下層に移動し、土壤に赤みをつけている鉄を流し出すので白い土になるのです。

有機物が厚く積もることが条件の一つなので、ポドゾルはこれまで分解が遅い寒い所で見つかることが多かったのですが、暖かいニュージーランド北島のカウリーという針葉樹の下にもできていますし、もつと驚いたことに熱帯の、しかも広葉樹のラワン的一种、カプルという木の下にもできていたことが知られてきました。どちらの木も土壤の生物によって分解されにくい構造の葉を持っていると考えられています。

植物も自分の家をつくる権利を持っています。自分の家をより過ごしやすくするようにいろいろとつくり替えることもします。ヒバやカウリー、カプルにとっては、ほかの植物には住みにくいポドゾルが楽しいわが家なのでしょう。ポドゾルの例以外にも植物が土壤を変えていくことはよくあります。生き物の世界にはいろいろ教えられることが多いものです。

（池田重人）

もつと広がる？あこがれの湿原

湿原という言葉から、皆さんはどんな風景を思い浮かべますか。きっとそれは美しい花が咲く平坦な草原、尾瀬ヶ原のようなものに違いありません。尾瀬ヶ原は日本を代表する湿原の一つですが、ほかにも釧路湿原のように河川の後背湿地から発達したものや、苗場山湿原のように山頂緩斜面に形成されたものなど、さまざまな湿原があります。これらの湿原は、どのようにしてできたのでしょうか。

湿原とは文字どおり湿った草原を意味しますが、そこは過湿であるため、微生物による植物遺体の分解が進まず、泥炭となって堆積します。泥炭の堆積が進むと、いわゆる湿原植物以外は生育しにくくなり、湿原特有の景観をつくり出すのです。こうして形成された湿原は、成因からみて陸化型・沼沢化型に、生育する植物からみて低層湿原（代表種……ヨシ）・中間湿原（ヌマガヤ）・高層湿原（ミズゴケ）に分けられます。

これまで湿原形成の過程としては、湖↓沼↓低層湿原↓高層湿原というヨーロッパにおける陸化型のモデルが教科書やパンフレットなどで紹介され、信じられてきました。しかし、このモデルの代表のようにいられている尾瀬ヶ原は、ボーリング調査などの結果によると、湖から生まれた証拠は得られず、川がつくった平野に発達したものらしい、ということがわかってきました。日本だけでなく世界でも、典型的な陸化型の湿原はむしろ少ないのです。



傾斜地湿原——苗場山小松原湿原

これに対して釧路湿原は沼沢化型の湿原で、縄文時代の温暖期に上昇した海面が徐々に下がっていくにつれて河川の自然堤防の内側に湿地が形成され、しだいに泥炭が堆積してできたものです。面積的に見ると、世界の湿原の大半がこの型であるとされています。また、苗場山湿原のような傾斜地の湿原は、地形から考えても湖がもとなる先のモデルは当てはまらず、湧水などによる過湿の環境でできた沼沢化型の湿原であるといえます。この型には多量の積雪が関係しているようです。またこのような場所の土壌には鉄の層ができやすく、水の通りを悪くするため過湿になりやすいことも湿原形成を加速しています。

これらの湿原は、最終氷期終了後、約一万年の間に急速に泥炭を堆積して形成されたといわれています。つまり、そのところに泥炭生成の気候条件がそろって、湿原が拡大していったわけです。この条件は今も大きく変わっていませんから、泥炭の堆積はなお続いていると考えられます。傾斜地湿原では、地形的に湿原の拡大を妨げるものが少ないので、下方に向かつて広がるようすがよくわかります。

今、花粉化石などによって、湿原がどうしてできたのか、どのくらいのスピードで広がっているかを調べていますので、近々もっと詳しいことがわかると期待されています。

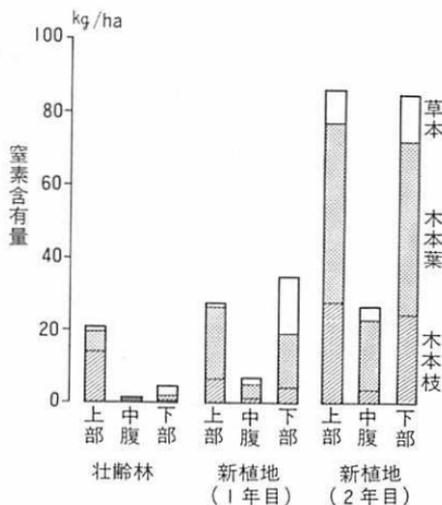
(池田重人)

森の定期預金

森林を伐採すると、森林が持っていた養分の一部は木材として持ち出されます。また山に残された枝葉も二、三年のうちにあらかた分解されます。ですから伐採を繰り返すと養分がなくなってしまうはずですが、実際には森林の下生え、林床植生がシヨックアプソバーの役割を果たしています。林床植物は地表面を保護して土壌の流亡を抑制する働きも担っていますが、ここでは、植物の生育に不可欠な窒素をめぐる林床植物の役割について考えてみましょう。

土壌中の窒素の大部分は、植物が直接には吸収できないタンパク質のような有機態窒素として存在しています。有機態窒素は、落葉・落枝などの有機物が土壌動物や微生物の働きで分解される過程でアンモニア態、さらに条件が良ければ硝酸態の窒素（両方あわせて無機態窒素と呼びます）に変化し、植物に吸収されます。乾燥ぎみの土壌ではアンモニア態が、湿りぎみの土壌では硝酸態窒素が多い傾向が見られます。ところが、硝酸態窒素は水に溶けやすいため、植物に吸収されなければ森林から流出するおそれがあります。一般に森林土壌の無機態窒素は有機態窒素の数%以下と少なく、しかも温度や水分の条件に左右されて変化します。そのため、森林伐採による地温の上昇に伴って有機物の分解や窒素の無機化が著しく活発になります。

栃木県下の約七〇年生のヒノキ林と、これに隣接している伐採跡の新植地の例を見てみましょう。斜面上



林床植物の地上部窒素含有量の変化

部の土壌はやや乾いた褐色森林土で、林床植生はツツジ類などです。斜面中腹は適潤性の褐色森林土ですが、急傾斜のため林床植物はわずかししか見られません。斜面下部も適潤性褐色森林土ですが傾斜はゆるく、キイチゴ類などが優占しています。このようなヒノキ林を伐り、再びヒノキを植栽したところ、壮齢林に比べて林床植物が旺盛に繁茂して、その窒素含有量が驚くほど増加しています。もしも、林床植物がなかったらどうでしょう。林床植物に蓄えられるはずの養分は流出し、露出した土壌は激しく侵食を受けてしまいます。アメリカで広葉樹林を皆伐して除草剤をまき、植物の発生を抑えた流域の渓流水の成分を計測したところ、

硝酸態窒素やカルシウムなどの濃度が二年以上にわたって数十倍に高まったという研究結果もあります。

林床植物は、森林に光が入らなくなると消失することもあります。普通は成熟した森林でも全植物体量の数%から、多い場合は二〇%くらいはあるといわれています。このように林床植物は、伐採跡地のような若い林では主役として、成熟した森林では地味な存在ではありません。地表面の保護や物質循環、さらに養分の流出防止に重要な働きをしています。

(加藤正樹)

食べたいものだけいただき！

植物は養分を土から吸収して成長します。この仕組みは高さ一二〇cmのセコイアでも二ミリのコケでも同じです。ところが養分がいくら土の中にあっても必要な量を吸収できないことがあるのです。

養分は土の中の水に溶けていますが、その養分は、①高い濃度側から低い方へ移動する拡散吸収、②細胞壁による陽イオン吸着吸収、③蒸散作用で水といっしょに吸収するマス・フロー吸収、④特定の養分を運ぶ物質による担体吸収などによって植物に取り込まれます。①～③は受動的ですので、養分濃度が高かったり、蒸散量の増加によって多量の水が吸収されると養分の吸収量は増加しますが、吸収される養分の組成は土壌溶液の養分組成に強く影響されます。それに対して④は積極的吸収であって、土壌溶液の養分濃度が細胞内の濃度より低い場合であっても養分を吸収したり、植物が要求する成分を選択的に吸収したりします。

植物の根の表面は電氣的にマイナスで、その大きさはCEC(陽イオン交換容量)で表されています。イネ科植物のCECはマメ科植物の数分の一です。CECの低いイネ科植物では、一価の陽イオン(K^+ 、 NH_4^+)の吸収に有利で、高いマメ科植物では二価陽イオン(Ca^{2+} 、 Mg^{2+})の吸収に有利です。事実マメ科植物の二価陽イオン要求量はイネ科の数倍で、要求に合った選択吸収にCECが強く関与していることがわかります。

土壌中の養分は、土壌溶液に溶けてはじめて吸収可能となりますが、植物の置かれた環境によっては、必要とする養分が不溶化していて吸収できず、植物の持っている通常の機能を活用しただけでは分量を確保できないことが起こります。そのような場合には、根から糖、アミノ酸、有機酸あるいは酵素などいろいろな化合物を土壌に分泌して、直接養分を利用できる形にしたり、根の分泌物を周りの土壌微生物に与え、替わりに微生物が溶かした養分を吸収したりします。例えば、麦はムギネ酸を分泌して鉄の吸収を高めています。微生物との共同作業では、菌根菌がリン酸の吸収を助けていますし、マメ科植物などでは根粒菌が空気中の窒素を利用できる形にしています。

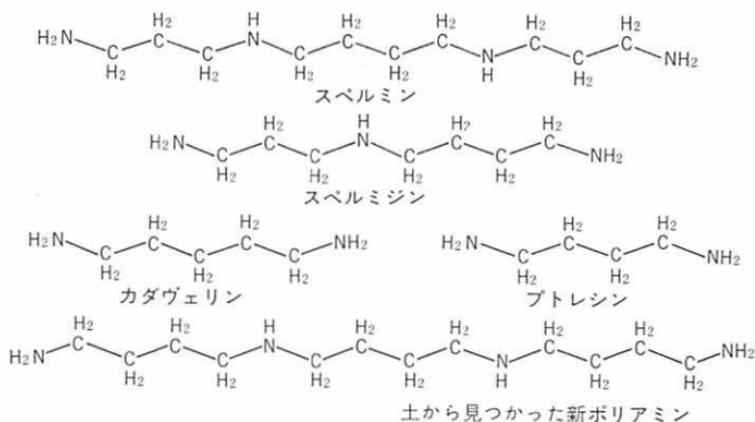
このように植物は養分の吸収に大変な努力をしていますが、一方で、人間のちょっとした無知が養分と養分との戦いをけしにけることとなります。というのは養分どうして譲り合いというか、足の引っ張り合いがあるのです。例えば、「作物よ立派に育ってくれ」と願いを込め、堆厩肥を過剰に施したりすると、土壌には Ca^{2+} 、 Mg^{2+} が十分にあるにもかかわらず、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} の欠乏が起こり、生育不良となることがあります。それは堆厩肥から多量に供給されたカリウム(K^{+})によって、土壌中の Ca^{2+} 、 Mg^{2+} の吸収が抑制されるためです。このように数種のイオンが同時に存在するときに相手のイオンの吸収を抑制する場合があります。抗作用と呼んでいます。きつ抗作用は、陽イオンどうし、または陰イオンどうしで発生し、同じ価電のものほど強く現れる傾向があります。

(赤尾勝一郎)

土から見つかった細胞増殖因子

十七世紀の後半、オランダの商人レーヴェンフックは、自ら考案し組み立てた顕微鏡の性能を試すべく、身の回りにあるものを手当りしだい台に乗せて観察していました。ある日、ヒトの精液を継続観察していた彼は、顕微鏡下に無色の結晶が析出してくる現象を見いだし、その観察結果をロンドン王立協会に於て有名な精虫に関する手紙の中で報告しています。一六七八年のことです。この結晶はきわめて塩基性の強い物質のリン酸塩であることがわかり、後年、この塩基性化合物は、精液（スペルマ）に由来することからスペルミンと命名され、二五〇年後にその構造が決定されました。以後、性質のよく似たスペルミン・プトシン・カダヴェリンといった強塩基性化合物が見いだされましたが、主として死体や腐敗物から分離されたため（ちなみにプトレシンは腐敗Ⅱプトレッセンス、カダヴェリンは死体Ⅱカダヴァーに由来した名）これらは死毒として恐れられ、当時の科学者たちの研究対象とはなりませんでした。

ところが、二十世紀になって、これら一連の強塩基性物質（ポリアミンと総称されています）が、微生物から植物、動物にいたるまで生命のある所に普遍的に存在すること、細胞の分裂増殖が活発に行われている組織ほどそれらの合成が盛んなこと、生命を担っている核酸やタンパク質の生合成や機能に深くかかわっていることなどから、生物にとって不可欠の細胞内因子であることが明らかにされてきました。



ポリアミンの化学構造

ところで、最近、日本の火山灰土壌から、これまで生物界での存在が知られていなかった新しいポリアミンが発見されたのです。化学構造は、レーヴェンフックが発見したスベルミンによく似ており、炭素の鎖が少し伸びただけのものです。現在のところ、火山灰土壌以外からは検出されていないことから、おそらく、植物や微生物などの遺体が完全に分解されず、腐植となって集積しやすいような土壌に特徴的に出現するものと考えられます。興味深いことに、ある土壌の断面を用いてこの物質の垂直分布を調べたところ、地表面から一メートル下の約二万年前の地層中にはかの種類のポリアミンよりもはるかに多く存在していました。ごく最近、マメ科植物と共生して空気中の窒素を固定する根粒菌の細胞内にこの物質が検出されています。二万年前の地層中に多量に集積していた事実は、当時その地域を覆っていた植物群落中、マメ科植物が圧倒的優位を占めていたことを示しているのでしょうか。この新ポリアミンの自然界での分布に関する今後の研究が待たれます。

(藤原伸介)

土にもやせ型・肥満型？

太った人とやせた人がいるように、土にも肥沃な土とやせた土があります。肥沃な土とは、土の性質を変えるための土壤改良をしたり肥料を用いたりしなくても、植物が健全に生育し、たくさん収穫が得られる土のことです。やせた土とは、施肥や土壤改良を行わないと植物が健全に生育しない、あるいは生育しても収穫があまり得られない土のことです。わかりやすく言うと、肥沃な土は「太った植物」を育てられるのに、やせた土はそのままでは「やせた植物」しか育てられません。なぜ同じ土でこのように生産力が違うのでしょうか。

人間と同じように、植物も生育するためには栄養が必要です。植物は炭素と酸素以外の必要な養分を土から吸収するので、土の中に十分な養分がないとうまく育ちません。また、たくさん養分があっても、根が吸収できるようなものになっていないと、植物はそれを利用することができません。例えば、リンは必要な養分の一つですが、土に含まれているリンの大部分は、アルミニウム、鉄、カルシウムに強く結合されていて、植物が利用しにくい状態になっています。植物が吸収利用できるような養分の形態を可給態と呼びます。可給態の養分は必要なだけあればよく、多すぎると場合によっては過剰障害が起きたり、病害虫におかされやすくなったりします。したがって、可給態の養分が、過不足なく貯蔵されていることが、肥沃な土の一つの

条件です。

植物体の七〇%以上は水であることからわかるように、水は植物の生育に不可欠であり、植物は根を通して土に含まれている水を吸収しています。また植物の根は呼吸をしているので空気も必要です。この水と空気のバランスが植物の生育には重要なのです。水や空気は土の中の孔隙に存在していますが、もし、すべての孔隙が水で満たされると空気がなくなり、大切な根が腐ってしまいます。孔隙とは、土の粒子や有機物などの固体の間にある孔隙のことで、その大きさはまちまちです。小さな孔隙は、土の粒子が互にくっついてできた集合体（団粒）の内部にあり、大きな孔隙は団粒と団粒の間にあります。〇・〇五^ミ以下の小さな孔隙は毛管力によって水を保持しやすく、大きな孔隙は、降雨などで水がたまっても、すぐに重力によって水が下に流れ去るので、空気で満たされやすい性質があります。ですから、土の中に小さな孔隙が多ければ水持ちが良くなり、大きな孔隙が多ければ水はけが良く、空気が多くなります。小さな孔隙が多いと、降雨があっても養分が流出しにくいので、土の養分保持力も高まります。また土の中に有機物が分解してできた腐植があると、養分保持力が高まり、団粒もできやすくなります。団粒構造が発達すれば大小の孔隙がともにも多くなるので、水と空気のバランスが良くなって、根の生育に好適な環境となります。

肥沃な土とは、根が健全に生育できるような環境を維持し、植物が必要なときに必要な量の養分と水を供給できる能力を持った土であるといえます。

（加藤直人）

花咲じいさんはなぜ灰をまいたか

畑に堆肥や厩肥きゅうひをまくと作物の成長が良くなります。このことから、昔は植物は土の中で液状になった有機物を根から吸収して生育するものと考えられていました。しかし、分析化学の進歩や光合成の発見により、植物は水と無機物（ミネラル）を根から吸収し、光のエネルギーを利用して有機物を合成するので、生育にほんとうに必要なのは無機物であることがわかりました。十九世紀のころ、ドイツのリービッチは、当時の研究を集大成して「無機栄養説」を確立し、それに基づいて化学肥料の製造が開始されました。野原や森林では、肥料を与えなくても植物が生育しますが、それは土にはもともと無機物が貯蔵されていて、徐々に土の中の水に溶け出して植物に吸収されるからです。しかし、畑では作物が育つと刈り取るので、その分だけ土の無機物が持ち出されてしまいます。その持ち出された無機物の補給に化学肥料が利用され、農業生産が飛躍的に向上したのです。

ところで、草や木を燃やすと、そのあとには必ず灰が残ります。植物に吸収された無機物は、植物体内で有機物と結合したり、イオンとなったりして植物の生育に役立っていますが、燃やすと空気中の酸素と結合して酸化物になります。この無機酸化物の混合物が灰で、リンやカリウムをはじめカルシウム、マグネシウムなど植物の生育に必要な元素が含まれています。薪や炭を使っていた時代には、灰は毎日の生活のなかか

ら出てきて、ごく自然に作物や木の根元にまかれたのではないでしょう。生育が良い植物の灰には、生育に必要な無機物がすべて含まれています。ですから、この灰を作物の根元に戻してやれば、作物は再びその無機物を吸収してよく生育します。「花咲じいさん」の民話は、このことが古くから語り継がれてきたことを示しています。「無機栄養説」は、このような経験から得られた知識を背景にして、近代化学の発展に支えられて登場したものといえます。リービッチは、まさに近代の「花咲じいさん」といえるでしょう。

さて、ここで誤解のないようにひと言断っておきますが、化学肥料などの無機物を十分に与えれば、堆厩肥などの有機物を与えなくてもよいということではありません。逆に、有機物を与えることを基本にして土が本来持っている力を引き出しながら、無機物の不足分を化学肥料で補うなどして自然と調和しながら作物をつくるのが大切です。土は鉱物が化学的に変化しただけでなく、植物や微生物などの生物の働きによってできたものであり、植物がよく育つ環境を維持するためには、有機物の供給が必要だからです。有機物が土の中に入ると、トビムシやダニなどの小動物や各種の微生物が活発に活動し、順次分解されます。最終的には、大部分が炭酸ガスと水になりますが、一部は分解しにくい腐植になります。腐植は土の粒子を結び付けて小さな孔隙に富んだ構造をつくり、軟らかく水持ちが良く、しかも水はけの良い土にします。また無機物はいろいろな形になって貯蔵され、土の中の水の無機物濃度が低くなると溶け出し、それを補います。こうして、土は永遠に植物をはぐくむ力を持ち続けることができます。

(尾和尚人)

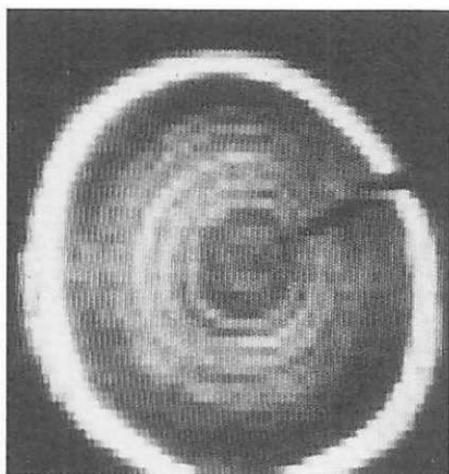
アジサイの色は何で変わる

梅雨時の雨上がり、庭先に咲くアジサイは蒸し暑さを忘れさせてくれます。一つの木に、咲き始めの白から青、終わりごろの赤紫とさまざまな色の花（がく片）がついているのも風情を増しているように感じられます。

ところが、海岸地方などでは花が青くならないものもあります。このような花には青い花よりアルミニウムが少ないことが五〇年以上前からわかっていましたが、最近になって色素（アントシアン）とある種の有機物質にアルミニウムが加わって安定した青い色が出るのだと証明されました。アルミニウムが少なくてpHが高い砂質土壌では、アルミニウムを吸収できないために青い花をつけれられないのです。アジサイは花の色を通じて、私たちに土壌からのメッセージを伝えているのだとも言えるでしょう。

私たちの心身の状態が顔色に表れるように、植物の色も環境によって変化します。カシの葉は干ばつにあうと赤く色づき、海岸に生えるヒルギダマシ（マングローブ）の葉は塩分が濃いと塩を吹き出して白くなります。重金属汚染地ではイネの葉が黄色くなり、大豆の茎には赤い斑点が出てくるなど、植物はそれぞれのやり方で苦しさを表現しています。

植物の生育には窒素、リン、カリウムのほかにもカルシウム、マグネシウム、イオウ、塩素、鉄、マンガ



木の幹のカルシウム分布 年輪と樹皮にカルシウムが集積している。

ン、ホウ素、亜鉛、銅、モリブデンなどが必要です。これらの元素がバランスよく供給されないと、植物は何らかの症状を示すようになります。トマトは窒素や鉄の不足で葉が黄色く、リン不足では葉の裏が赤く、カルシウム不足では果実の先が黒くなります。これらの症状は元素ごと、植物ごとに違うので、専門家や篤農家は作物を見ただけで土壤に何が足りず、何が多すぎるのかを言い当ててしまいます。農業の基本は、朝晩欠かさず作物の状態を見て回り、適切な管理をすることにあるのがおわかりいただけでしょう。

経験に頼っていた作物の栄養診断技術も最近では体系化されつつあり、また肉眼では見えない変化も機械の目を通して観察できるようになってきました。その範囲は細胞から個体、群落、さらに人工衛星を使った地球レベルのものにまで広がっています。細胞内や組織中の元素分布（写真）、葉のどこで光合成が盛んか、どの植物の蒸散量が多いかなど、カラー画像では一目瞭然です。しかし、恋人の気持ちを機械で測る人はいません。愛情をもって接しなければ植物の気持ちはわからないのです。

（久保井 徹）

植物のイタイイタイ病

豊橋からちよつと山中に入った所に富岡という町があります。この辺りの森林は近くの三河高原とは大變違つた姿をしています。林全体が低く、大きい木はほとんどアカマツでしかも林はまばらで、広葉樹はほとんどありません。もう少し細かく観察すると、ツゲのように海岸に多い種類が生えていたり、暖地性の植物や逆に寒地に多い植物が生育したりしています。この不思議な植物の分布は実はこの地域にある蛇紋岩の性質によると考えられています。

蛇紋岩はマグネシウムとケイ素と酸素を主な成分にした岩石で、ほかに多少の磁鉄鉱、クロム鉄鉱を含んでいます。日本では糸魚川から阿蘇につながる中央構造線沿いと北海道の脊梁山脈沿いに広い分布があります。では蛇紋岩だとしてこのような特異な植物が生育するのでしょうか。まず蛇紋岩が風化すると非常に細かな粒子、すなわち粘土が大変多い土壌ができます。粘土が多い土は水が多いと酸素欠乏になりやすく、反対であると乾きすぎになりやすいとされています。これが原因だとする人もいます。しかし、同じような粘土質の土壌で普通の森林となっている場所はいくらもありません。またマグネシウムの過剰障害を考える人もいますが、マグネシウムの量が他の土壌に比べてとび抜けて多いということはありません。

最後の説は蛇紋岩に含まれている多量のクロム、ニッケル、マンガン、コバルトなどの重金属とする意見

です。このような重金属は土壌の中での動きが遅く、蛇紋岩が風化して土壌になるとき、大量に存在する動きやすいマグネシウムは早々と流れ出してしまうので、残った重金属の濃度が増加するわけです。一方、通常の作物では体内の重金属、例えばニッケルの濃度が 100ppm で障害が起り始め、 1000ppm では枯れてしまいます。蛇紋岩の土壌では重金属が数%も含まれている例があります。

しかし、土壌の重金属が多くても障害が出ないことがあります。重金属は土壌の酸性度によって溶け出す量が違うからです。例えば同じような重金属量を持つ高知県の褐色の中性土壌、豊橋のチョコレート色の弱酸性土壌、群馬県至仏山の白い強酸性土壌を比較してみると、至仏山の土壌では周りと植生が極端に違うのに、高知県の例ではほとんど変わりません。土壌がアルカリ性に近づけば植物への影響が小さくなるのです。富岡町や至仏山で見られるような植物群を蛇紋岩植生とって生態学では特殊植生としています。石灰岩でも類似の植生群があります。

では蛇紋岩植生が重金属を好きなのかというと、そうではないようです。植物の世界は養分・水・光・生活空間の奪い合いのなかで成り立っています。したがって競争に強い植物は条件の良い場所を占領し、弱い植物は悪い条件の所に追いやられているのが実情のようです。土壌の性質が良好ではなく、重金属も多い蛇紋岩山地には、過当競争に負け、悪い条件でも生きていける性質を獲得した植物が、「イタイイタイ病」に悩まされながら、わい性化したり葉を細めたりしながらひっそりと生活しているのです。（森田佳行）

マツに良い土、マツが好きなた土

日本にはマツが七種ほどありますが、そのうち主なものはアカマツとクロマツです。クロマツは、海岸地帯によく見られるマツで、「白砂青松」の青松は普通はクロマツです。関東・中部以南では海岸地帯以外はほとんどアカマツ林といえます。さて、アカマツ林は、よく「スギは谷、中はヒノキで、尾根にマツ」といわれるようにやせ地や尾根筋などに多いようです。アカマツは本当にやせた土を好むのでしょうか。

このことを考える前に、木の成長を左右しているものは何かというと、まず水でしょう。もちろん限度はありますが、水が豊富であればあるほど成長が良くなることは、アカマツにおいても例外ではありません。ただ、ほかの主な木、例えばスギやヒノキと比べると反応のしかたが少し違います。スギは土の中の水分が豊富になると成長が大変良くなりますが、アカマツはそれほどありません。逆に言うと、土が乾いてもアカマツの成長はそれほど悪くならないわけです。このため、よくアカマツは乾燥に強いといわれるわけです。次に水と裏腹な関係として土の中の空気があります。一般に土の中では水が多くなれば空気は少なくなります。木の根も生きていますので、呼吸するために土の中のすき間や水に溶けている空気から酸素を取り入れなければなりません。アカマツは特にその必要量が多いようです。こうしてみると、アカマツはスギなどと比べると、乾燥していて土の中の水分が少ないような所でも、空気の流通がよければ、つまり尾根筋のよ

うな所でも、それなりに成長するといえます。そしてこのような所の土は養分が少なく、やせていることが多いのです。

ただし、もう一つ注意しておかなければならないのは、自然条件ではほかの植物との競争があり、アカマツのような日当たりの良い所を好むものは、ほかの植物があまり生えないような条件の悪い所に生育していることもあります。また、造林地では経済的な問題があります。アカマツなど木材価格が比較的安い木は、価格の高いスギやヒノキなどに肥沃な土地を譲り、自らはやせた土地で我慢することもあります。このように、実際に木が生えている所は、必ずしもその木の生育が最も良くなる所、つまり好む所とはいえません。多くの木にとって、最適な土というのはそれほど違わないのです。逆に言えば、ある土地に造林する種類は、木や土の特性をさまざまな条件のもとで考えて決定されているのです。

林業は農業ほど集約的な作業、つまり施肥や土壌改良などは、経済的な理由からほとんど行いません。したがって木を植えるときに、その土地に合った樹種を選んできたかどうか、その木がそこでうまく成長していけるかどうかのカギになります。造林樹種を選ぶ場合には材価などの経済性も重要ですが、ともかく木の本来持っている性質をよく理解し、また土地の条件、特に土の性質をよく知って、木と土をうまく組み合わせることが最も重要だといわれています。この考え方は適地適木と呼ばれています。

(赤間亮夫)

これがなければ土ではない―腐植

「肥沃な土のイメージは」と問えば、ほとんどの人は「黒っぽいふかふかした土」と答えるでしょう。事実こうした土は一般に肥沃なのですが、土に黒みとふかふかした感じを与えているのは腐植です。ではその実体はいったいどのようなものなのでしょう。

腐植とはひと言で言えば、植物や動物の遺体が、土壤中でいったん分解されたのち新たに合成されてきた、分子量が数万から数十万程度の暗色で無定型の高分子有機物ということが出来ます。地表に落ちた枝葉は、ミミズ、ダンゴムシ、ヤスデなどの小動物によって細かく碎かれ、あるいはカビやきのこ、細菌によって分解されていきます。ところで植物体は、糖、デンプン、セルロースなどの炭水化物、タンパク質、リグニンを成分としています。このうち炭水化物とタンパク質は、速やかに小動物・微生物の大好きな餌となり分解されます。しかし、リグニンだけは比較的分解されにくく、リグニンの本体部分を残しながら少し分解の進んだいろいろな化合物として残留します。一方、分解に参加した土壌動物や微生物もやがて寿命を終え、その体もまた分解され、タンパク質やアミノ酸をつくっていきます。こうしてできた変質リグニンやその分解物とアミノ酸あるいはタンパク質、さらにそのほかさまざまな微生物の代謝産物が再び結合してできた新たな高分子有機物、それが腐植なのです。腐植が土壌に固有の有機物であると言われる理由です。腐植は微

生物分解に対する抵抗性が高く、比較的安定して土壤中に存在していると考えられています。

さてこの腐植には、土に黒みを与えるほかにどのような働きがあるのでしょうか。土壤粒子が集まってできた団粒は、根に酸素や水あるいは養分を円滑に供給したり、土壤中のさまざまな微生物に安定したすみかを提供するうえで重要な役割を演じていることが知られています。先に述べた「ふかふかした手触り」とはこの団粒の発達した土にほかなりません。腐植はこの団粒の形成に欠かせない成分なのです。粘土、シルト、砂などが集合して団粒を形づくる際、土粒子どうしを互いにしっかりと結び付ける接着材の役割を腐植が果たしているのです。また腐植はほかの物質と結びつく活発なターミナルを多量に持つていて、土の中でマイナスの電気を帯びています。その電気量は種類にも異なりますが粘土鉱物の数倍から数十倍にも達します。この負に帯電した腐植は陽イオンとして存在するカルシウム、マグネシウム、カリウム、アンモニウムなどを引きつけて保持し、必要に応じて放出する機能を持つています。電気量が大きいので養分保持に果たす役割は大きく、腐植は土の中の一大養分貯蔵庫ということが出来ます。同時に腐植はそれ自体が徐々に微生物に分解されることによってもさまざまな養分を放出し、また有害なアルミニウムイオンを吸着し解毒する緩衝体として役立ったり、あるいは植物の成長を促進する効果があることも知られています。

このように、土に植物を育てるといふ土本来の能力を与えているのが腐植なのです。腐植は粘土鉱物とともに土を土たらしめている主役の一人ということが出来ます。

(太田誠一)

水が漏れないから水田？

畑では「水はけ」が重視されますが、水田では反対に「水持ち」が重視されます。これは、水持ちが悪いと用水がたくさん必要になり、土壌中の養分や肥料が流れてしまうからです。さらに頻繁な灌がいは稲に冷水害を引き起こします。水田が低地に多いのは「水持ち」という条件が容易に満たされるからにほかなりません。これが沖積平野に水田の多い理由です。

しかし、地下水位の低い台地上で、隣接する畑の水はけが良い場合でも、水田にするとしつかりと水をためられるようになります。そのうえ土壌の種類が異なっても水の漏れやすさ（減水深）を一日当たりほぼ一〜三センチにそろえられることが知られています。地下水位が高ければ「水持ち」が良いのはわかりますが、台地の上でも、水田にすると水が逃げにくくなるのはなぜでしょうか？

その答えは、水田と畑における土壌管理の違いにあります。畑では有機物、土壌生物によって団粒構造と呼ばれる土の集合体ができます。そうすると水は団粒のすき間を通って下へ抜けていきます。ところが、水田ではこの団粒構造がなくなってしまうのです。なぜかという水田で行う植付け前の代かき作業が水の中で土をバラバラにして沈降させるので、団粒が破壊されるからです。団粒が破壊されると土はベッタリとした壁のようになって、水を通すことのできるすき間が著しく減るのです。畦あぜにもかき混ぜた土を塗り

付けるので、水漏れは最小限に食い止められることとなります。粘土が多いと水持ちはよりいっそう良くありません。

これに加えて水田には、水を通しにくくするさらにミクロなしかけがあるのです。それは、水田土壤の中で起こる化学反応によります。つまり、水田土壤は稲作期間中いつも水をためているので酸欠状態になりますが、この条件のもとでは土壤にたくさん含まれている赤っぽい色をした酸化鉄の分子が青っぽい色の二価鉄と呼ばれる形に変化します。実は、この二価鉄が水漏れ防止にひと役買っているのです。酸化鉄の周囲も水分子で囲まれています。二価鉄では周りを囲む水分子の量がさらに多くなるので、二価鉄ができるとちょうどゼリーの中の水がじつと動けないように、水の通りやすさが極端に低下するというわけです。

ところで、水田土壤の間には、粘土分が少ないため、代かきを念入りに行っても水持ちが良くなる土壤があります。このような土壤では、水を吸収すると膨張する性質を持った粘土を土に混ぜたり、耕す層の下をブルドーザで踏み固めたりして、水田として適度な透水性を持たせるように土壤を改良します。

水田土壤は水の動き一つをとってみても、人間の営みによって、畑とは比べものにならないくらいコントロールされた耕地土壤であると言えそうです。

(鳥山和伸)

減反すると土が変わる

日本の農村風景を思い浮かべてみましょう。緑の山を背景にせせらぎが流れ、わらぶき屋根の農家が点在するなつかしい風景です。しかし、これだけでは風景は完成しません。忘れてならないものとして水田があります。しかし、現実はいメージとは異なり、最近の農村にはわらぶきの屋根が少なくなり、水田に混じって大豆が栽培されたり草が生い茂ったりしている所があります。これは米の生産過剰を避けるための減反政策によるもので、水田の一部が転換畑（水田を畑にして畑作物を栽培すること）や休耕田（耕作を放棄した水田）に変わった結果です。

ところで、転換畑の大豆は土壌を浅く耕し株間に土を寄せるとよくできます。逆に、耕起をやめた休耕田では雑草が生い茂り、再び水田として利用するときに雑草を除去するのに非常に苦労します。このように耕起の目的の一つに雑草防除があります。これから耕起による土壌の変化について説明しましょう。

耕起後の土壌はふつくらと盛り上がって見えます。これは耕起によって一つの大きな土の塊がたくさんより小さな土の塊に分解され、その土の塊の間に新たなすき間が生じた結果、すき間の分だけ土壌が盛り上がったためです。この耕起によりでき上がったすき間が空気や水の通り道になり、通気性や水はけの良い土になるのです。特に粘土の多い土壌では耕起の効果が大きいようです。

さて、家庭菜園では鍬やスコップを使って耕しますが、野菜をたくさん収穫しようと思ったら、できるだけ深く耕さなくてはなりません。これは、深く耕すと軟らかい土の量が多くなり、根の生育範囲が増大するため、養分や水分の吸収量が増す現象を利用したものです。したがって、作物をたくさん収穫するためには、深く耕すこと（これを深耕といいます）が重要です。

また、前の作物の刈株や根などの有機物を土の中にすき込むのも、耕起の一つの目的です。極端な例として、「天地がえし」と呼ばれる耕起法があります。一般に同じ作物を連作すると障害が発生することがあるので、これを防止するために表層の土（農地では作土といいますが）と下層土をこっそりひっくり返し、前の作物残渣とともに、作土中にいる有害な病原菌も地中深くにすき込んでしまうのです。耕起後新たに作土となった土壌には病原菌がほとんどいないため連作が可能となります。

さて、田畑に一つの特定の作物が栽培されているのが農村の風景です。特定の作物を広い面積でつくるために耕起という方法が昔から使われてきました。休耕田のように耕起をやめると、何種類もの雑草でいっぱいになります。同時に土壌の養分や水分の状態も変わります。

このような農地をもう一度もとに戻すためには大変なエネルギーを必要とします。ですから、農地は農地としていつまでも維持することが重要なのです。

（神田健一）

土の輸入大国—日本

一九八二年、アメリカのバーク土壤保全局長がNHKテレビに登場して、「我々は農産物だけでなく土も輸出しているのだ」と訴えました。「土も輸出」とはどういうことなのでしょうか。

一九七〇年代以降、世界的に食料供給のアメリカ依存度が高まってきました。アメリカも「世界のパンかご」を自認し、穀物を大增産しました。大平原の乾燥地を灌がいで穀倉地帯に変え、旧来の農地でも輪作や休耕は行わず、もっぱら輸出向けにトウモロコシや大豆をつくるようになりました。また、巨大な機械が走りやすいように防風林をつぶし、階段畑を広い傾斜畑に変え、しかも傾斜方向に畝付けするようになりました。実はアメリカは昔から風や水による土の侵食に苦しんでおり、土壤保全局はその対策に大変苦勞してきました。ところが「パンかご」化に伴う現象はことごとく侵食をひどくするものでした。一九八二年には約四〇〇〇万畝のアメリカの農地が許容基準を超える侵食を受け、これらの農地から毎年、一畝当たり二・五畝の土が失われていました。バーク土壤保全局長はこれを、「トウモロコシについて二畝の土を輸出している」と表現したのです。一九八七年にアメリカから一三五万畝のトウモロコシを買った日本は二六〇万畝の土を「輸入」したことになりますが、実は、もっとたくさん土を輸入しているのです。アメリカが生産したトウモロコシはアメリカの土の養分を吸って育つたものです。各国が輸出する農産物はいずれもそうし



トウモロコシ地帯の土壤侵食 (アメリカ)

た養分を含んでいます。先進国では農産物で運び出された土の養分を肥料で補給しながらうまく生産を続けていけるかも知れません。しかし、一九八〇年にタイの土から農産物に吸収された窒素は約五〇万ト、それ

に対し肥料で補給されたのは約一四万トにすぎません。三六万トの赤字ということですが、この赤字を埋めているのはその国の土に蓄積された養分にほかならないのです。このような発展途上国では養分の運び出しはまさに土の輸出なのです。一九八七年に、日本は四六九〇万トの食料を輸入し、そのなかには約九六万トの窒素と一五万トのリンが含まれていました。窒素について試算すれば、これは日本の農地の土、四億トに含まれる養分と同じ量です。(三輪啓太郎)

品目	輸入量	N 含量	N 輸入量	P 含量	P 輸入量
穀類	28187	0.01400	394.6	0.00290	81.7
いも類	323	0.00300	1.0	0.00050	0.2
豆類	5091	0.05600	285.1	0.00580	29.5
野菜類	1047	0.00112	1.2	0.00018	0.2
果実類	2255	0.00128	2.9	0.00017	0.4
肉類	1168	0.02900	33.9	0.00130	1.5
牛乳及び乳製品	1733	0.00500	8.7	0.00095	1.6
その他飼料原料	3604	—	114.1	—	17.8
計	43408		841.5		133.4

日本の輸入農産物とその中に含まれる窒素、リン(単位千トン、1987年度)

編集委員・執筆者一覽（五十音順） 執筆者

赤尾 勝一郎 生資研機能開発部窒素固定研究室長

赤間 亮夫 森林総研森林環境部主任研究官

新井 重光 農環研資材動態部廃棄物利用研究室長

荒木 誠 森林総研森林環境部主任研究官

池田 重人 森林総研東北支所育林部土壤研究室

石塚 和裕 森林総研森林環境部土壤化学研究室長

伊藤 治 農環研資材動態部主任研究官

井上 隆弘 農研七土壤肥料部畑土壤肥料研究室長

太田 健 農環研環境資源部土壤生成研究室

太田 誠一 森林総研北海道支所育林部土壤研究室長

大谷 義一 森林総研森林環境部主任研究官

大塚 紘雄 農環研環境資源部主任研究官

岡部 宏秋 森林総研森林生物部土壤微生物研究室長

小川 眞 森林総研生物機能開発部きのこ科長

小川 吉雄 茨城県農業試験場土壤肥料部

尾崎 保夫 農研七土壤肥料部水質保全研究室長

落合 博貴 森林総研森林環境部主任研究官

小野寺 弘道 森林総研東北支所育林部多雪地帯林業研究室長

小原 洋 農環研環境資源部土壤調査分類研究室

尾和 尚人 農環研資材動態部多量要素動態研究室長

粕淵 辰昭 北海道農業試験場生産環境部水田土壤管理研究室長

加藤 直人 農環研資材動態部多量要素動態研究室

加藤 英孝 農環研環境資源部土壤物理研究室

加藤 正樹 森林総研四国支所林地保全研究室長

編集委員

石塚 和裕 森林総研森林環境部土壤化学研究室長

大角 泰夫 熱研調査情報部研究技術情報官

陽 捷行 農環研環境管理部影響調査研究室長

- 金子 真司 森林總研森林環境部立地評価研究室
河合 英二 森林總研森林環境部防災林研究室長
河室 公康 森林總研九州支所育林部土壤研究室長
神田 健一 農環研環境管理部主任研究官
木方 展治 農研七土壤肥料部水質保全研究室
草場 敬 農環研環境資源部土壤生成研究室
久保井 徹 静岡大学農学部助教授
小林 繁男 森林總研森林環境部立地評価研究室長
小林 紀彦 野菜・茶試久留米支場病害研究室長
小前 降美 農工研地域資源工学部地下水資源研究室長
酒井 正治 森林總研森林環境部立地評価研究室
渋谷 知子 農環研環境生物部他感物質研究室
島田 謹爾 森林總研木材化工部木材化学研究室長
志水 俊夫 森林總研森林環境部水資源保全研究室長
庄司 次男 森林總研森林生物部主任研究官
大丸 裕武 森林總研森林環境部森林災害研究室
高橋 正通 森林總研森林環境部主任研究官
高原 光 京都府立大学農学部
竹内 睦雄 農工研造構部土地質研究室長
竹中 眞 農環研環境資源部土壤有機物研究室
田中 永晴 森林總研森林環境部主任研究官
谷 誠 森林總研森林環境部氣象研究室長
谷山 一郎 農環研環境資源部主任研究官
土屋 一成 野菜・茶試環境部主任研究官

寺師 健次

鹿児島県林業試験場育林部主任研究員

陶野 郁雄

国立公害研究所水質土壤環境部地盤沈下研究室長

豊島 正幸

東北農業試験場農村計画部主任研究員

鳥居 厚志

森林総研関西支所育林部土壤研究室

鳥山 和伸

北陸農業試験場水田利用部主任研究員

中井 信

熱研環境資源利用部主任研究員

中村 好男

東北農業試験場畑地利用部畑土壤管理研究室長

新島 溪子

森林総研森林生物部主任研究員

西尾 道徳

草地試験場環境部長

根田 仁

森林総研生物機能開発部きのこ生態研究室

能城 修一

森林総研木材化工部組織研究室

八田 珠郎

熱研環境資源利用部

原田 靖生

農研環境資源部土壤生化学研究室長

福田 正己

北海道大学低温科学研究所助教授

福山 研二

森林総研森林生物部昆虫生態研究室長

藤原 伸介

農研環境資源部主任研究員

堀田 庸

森林総研森林環境部土壤物理研究室長

松浦 陽次郎

森林総研森林環境部主任研究員

松永 俊朗

農研七土壤肥料部土壤診断研究室

丸山 温

森林総研森林環境部環境生理研究室

三浦 覚

森林総研森林環境部地質研究室

溝口 岳男

森林総研森林環境部養分動態研究室

三土 正則

農研環境資源部土壤調査分類研究室長

陽 捷行

農研環境管理部影響調査研究室長

宮川 清 森林総研森林環境部主任研究官

宮下 清貴 農環研環境生物部主任研究官

宮地 直道 北海道農業試験場生産環境部土壤特性研究室

三輪 睿太郎 農環研環境管理部資源・生態管理科長

村山 重俊 熱研環境資源利用部主任研究官

森川 靖 森林総研森林環境部環境生理研究室長

森貞 和仁 森林総研九州支所育林部土壤研究室

森田 佳行 森林総研森林環境部主任研究官

八木 一行 農環研環境管理部影響調査研究室

山田 一郎 農環研環境資源部主任研究官

横山 敏孝 森林総研森林環境部種生態研究室長

吉永 秀一郎 森林総研森林環境部地質研究室

米山 忠克 農研七土壤肥料部栄養診断研究室長

森林総研——森林総合研究所

農環研——農業環境技術研究所

農研七——農業研究センター

熱研——熱帯農業研究センター

農工研——農業工学研究所

生資研——農業生物資源研究所

野菜・茶試——野菜・茶業試験場

土の一〇〇不思議

一九九〇年二月十五日 初版発行

編集・発行——社団法人 日本林業技術協会

〒一〇二 東京都千代田区六番町七

電話 〇三・二六一・五二八一(代)

振替 東京 三・六〇四四八

印刷・製本——東京書籍印刷株式会社

会員用

