

土壤という世界

—レイチェル・カーソン著『沈黙の春』第五章—

楠瀬健昭

[まえがき]

ここしばらく、レイチェル・カーソンの『沈黙の春』を原書で精読しているが、半世紀前の著作とはいえ、これを過去の遺物として片づけることはできない。核によって一瞬のうちに地球そのものが破壊される。あるいは温暖化によって徐々に地球が人類にとって居住不能の地になる。こうした恐れを誰もが抱いていると思われるが、人間が合成してきた化学物質が、人間をはじめ動物の体内と、水・空気・土壤と植物などの環境中に、蓄積することによって、やがては人類滅亡をもたらす可能性もないとはいえない。『沈黙の春』を読みながら、漠然と、そういう不吉な予感を持っていたが、雑誌『世界』(岩波書店)十一月号と十二月号に連載された「ミツバチの警告（上）（下）」(岡田幹治)を読んだとき、あらためてカーソンの警告は、残念ながら現在においても、耳を傾けるべきものであるとの感を強くした。ミツバチが世界的に大量死している最大の原因是、ネオニコ系農薬の使用にあるのではないかと、岡田氏は指摘している。かつて、カーソンがDDTに代表される有機塩素系殺虫剤とマラチオン、パラチオンなどの有機リン酸系殺虫剤の危険性を訴えたのと、まったく同じ状況に思える。今回は、『沈黙の春』第五章を翻訳したものをお掲載する。その中で、カーソンは土壤の世界を解説し、土壤が農薬汚染された場合における植物への影響を語る。新潮文庫版で、すでに翻訳出版されていることは承知している。できるだけ原文に忠実に訳すことにしたため、日本語としては読みづらい箇所もあると思われるが、もう一度、足元から私たちの環境を見直すための第一歩になればと考えている。

* * *

斑状に大陸を覆う土壤の薄い層は、私たち自身の存在や陸にいるすべての他の動物の存在を左右する。もしも土壤がなければ、私たちが知っているような陸上植物は育たないだろう。そして、植物がなければ動物も生存できないだろう。

しかしながら、農業を基盤としている私たちの生活が土壤に依存しているとしても、土壤もまた同様に生物に依存しているともいえる。というのは、まさに土壤の起源と、その本質の維持は、生きている植物や動物と密接に関係しているからである。土壤は生物が作ったものであるともいえる。はるか遠い昔に、生物と非生物との驚くべき相互作用の結果、土壤は生まれた。熔岩流という形で、火山が土壤のもととなっている物質を吐き出し、大陸のむきだしの岩の上を流れる水が、最も硬い花崗岩さえも磨滅させ、霜や氷の蟻が岩を割り打ち碎くことで、母材は集められた。それから生物が創造的な魔法を働かせはじめ、徐々にそれら不活性な物質を土壤に変えた。まず地衣類が岩を覆い、酸を分泌することによって、岩石を崩壊させる手助けをし、他の生物が宿る場所を作った。地

衣類が粉々に崩れたもの、微小昆虫の外皮、そして海から陸上に出現し始めた動物相の残骸によって形成された土壤、つまり純然たる土壤の小さな窪みにコケが定着した。

生物は土壤を形成するだけではない。信じられないくらい豊富で多様性のある生物が、土壤中に存在している。もし、そうでなければ、土壤は生命のない不毛なものであろう。無数の生物が土壤中に存在し活動することによって、土壤は地球を覆う緑のマントルを養うことができる。

土壤は絶えず変化していて、始まりも終わりもない循環に加わっている。岩石が崩壊し、有機物が腐食し、窒素や他の気体が雨となって降ってきて、新しい物質が絶えず提供されている。同時に、生物の一時的な使用のために借用され、奪い取られている物質もある。空気や水から得た元素を、植物が使うのに適した形に転換するという、微妙で非常に重要な化学変化が、絶えず進行している。これら全ての変化の中で、生物は活性剤である。

土壤という暗い世界に存在する、おびただしい生物についての研究ほど魅力的な研究は、ほとんどない。しかも、その研究は、ほとんどされていない。土壤の生物同士、土壤の生物と土壤の世界、土壤の生物と地表の世界、それらを結びつける糸について、私たちは知識不足である。

もしかしたら、土壤中でもっとも不可欠な生物は、もっとも小さなものかもしれない。すなわち、目に見えない多数のバクテリアと、糸のような菌類である。存在度を統計すれば、ただちに天文学的な数字となる。茶さじ一杯の表土には、何十億というバクテリアが含まれているかもしれない。バクテリアはきわめて小さいが、肥沃な土壤一エーカーの、地表から一フットの深さまでにいる多数のバクテリアの総重量は、千ポンドにもなるかもしれない。放線菌は、長い糸のようなフィラメント状に成長するが、バクテリアよりはいくぶん数が少ない。それでも、バクテリアより大きいので、所定量の土壤中における総重量は、バクテリアとほぼ同じかもしれない。藻類と呼ばれる小さな緑の細胞とともに、これらは土壤中の微小な植物を構成している。

バクテリア、菌類、藻類が、腐食をもたらす主なものである。それらは植物や動物の残渣を、それらの構成成分である無機物に還元する。土壤や空気や生きた組織中を移動する、炭素や窒素のような化学元素の大きな循環運動は、この微小植物なしでは成り立たない。たとえば、もし窒素固定作用をするバクテリアがいなければ、窒素が含まれた空気の海に取り囲まれていても、植物は窒素不足で枯れてしまうだろう。他の有機物は二酸化炭素をつくり、その二酸化炭素は炭酸として、岩を分解するのを助ける。またほかの土壤の微生物は様々な酸化・還元を行い、それによって鉄、マンガン、硫黄のような無機物は、植物が利用できるような形に変えられる。

微少なダニやトビムシと呼ばれる飛べない昆虫も、とてもなく多く存在している。それらは、体は小さいが、植物の残渣を分解し、林床の落葉落枝をゆっくりと土壤に転化する際に役立つ。この微小な動物の役割に関する、特殊化は信じられないくらいである。たとえば、数種のダニはトウヒの落葉でのみ育つ。ダニは落葉に隠れて内部の組織を食いつくす。そして、ダニが完全に成長すると、細胞の外側だけが残る。毎年落葉する植物材料の膨大な量に対処するという、本当に信じがたい仕事は、土壤と林床に住むいくつかの昆虫のものである。昆虫は葉を柔らかくして消化する。そのことは分解物質が表土と混ざるのに役立つ。

こうした大量の、微小ではあるが絶えず働く生物の他に、もちろん大型のものも多くいる。なぜなら、土壤にはバクテリアから哺乳類まで、ありとあらゆる生物がいるからだ。暗い地表下の層に

ずっと住んでいるものもいる。地下室で、冬眠するか、ライフサイクルの一時期を過ごすものもある。巣穴と地上の世界を自由に行き来するものもいる。概して、こうした生物が土壤に生息する効果は、植物成長のあらゆる段階で、土壤を空気にさらすこと、土壤の排水と水の浸透の両方を改善することである。

土壤中に生息する大きな生物の中で、おそらくミミズほど大切な生物はいないだろう。七十五年以前、チャールズ・ダーウィンは、*The Formation of Vegetable Mould, through the Action of Worms, with Observation on Their Habits* と題された本を出版した。その中で、彼は、土壤を運搬する、地質作用因子としてのミミズの基本的な役割を、はじめて世界の人々に理解させた。つまり、地表面の岩石は、ミミズによって地中から送られてきた、最も有望なところで毎年一エーカー当たり何トンもの量となる、細粒土壤に徐々に覆われる。同時に、葉や草に含まれている多量の有機物（六ヶ月で平方ヤード当たり二十ポンドもの量）が穴に引き下ろされ、土壤に組み込まれる。ダーウィンの計算によれば、ミミズの労働のおかげで、土壤層の厚さは十年間で一インチから一、五インチ増える可能性がある。ミミズの役割は、これだけではない。ミミズの穴は土壤を空気にさらし、土壤の水はけを良い状態に保ち、植物の根が伸びるのを助けている。ミミズの存在により、土壤中のバクテリアの硝化作用が増大し、土壤の腐敗は減少する。有機物質はミミズの消化管を通過するうちに分解され、土壤はミミズの排泄物により豊かになる。

その結果、こうした土壤の世界は、編み合わされた生命の網で構成されている。それぞれの生命は何らかのかたちで、その他のものと関係している。生物は土壤に依存しているが、逆に土壤は、土壤の中の生物が栄える限りにおいてのみ、地球の不可欠な要素である。

ここで私たちが直面する問題は、今までほとんど考慮されていないものである。有害性化学物質が、土壤の「殺菌剤」として直接導入されるか、森林の林冠と果樹園と耕作地に染み透るとときに致命的な物質を受け取る雨に乗って運ばれるかして、土壤に運び込まれる際、土壤に生息する信じられないほど多くの、きわめて重要なこれらの生物はどうなるのか。たとえば、有機物を分解するという、不可欠な機能を持っているかもしれない「益」虫を殺さないで、潜伏性幼生期段階の害虫を殺すために、私たちが広域スペクトルの殺虫剤を使用できると考えるのは妥当であろうか。あるいは、木が土壤から栄養分を抽出するのを、菌類は支援するという有益な関係があるのに、多くの木の根に生息する菌類を殺さずに、私たちは非特定の殺菌剤を使うことができるであろうか。

包み隠さず言えど、この土壤の生態系というきわめて大切な問題を、科学者でさえ、おおむね軽視してきたが、害虫を防除するものは、ほぼ完全に無視してきた。化学薬品による昆虫の防除は、土壤が毒物の導入という手段による、どのような侮辱にも反撃することなしに耐えられるし、耐えるだろうという想定で、進められてきたようだ。まさに、土壤という世界の性質は、ほとんど無視してきた。

これまで行われてきたわずかな調査から、土壤に対して殺虫剤が影響を及ぼしているという状況が、徐々に浮かび上がっている。調査結果が必ずしも一致しないことは、驚くに値しない。というのは、土壤のタイプは大いに異なるので、ある種の土壤で損害をもたらすものが、別の土壤では無害である可能性はある。軽量の砂土は腐植土よりも、はるかに大きな被害を受ける。化学薬品を組み合わせて使用する方が、単独で使用するよりも害を及ぼす。結果は違っても、多くの科学

者の側に不安感をもたらすほど、害を与えていいるという確実な証拠が、十分に蓄積している。

ある条件下では、まさしく生物界の中心にある化学変換と転換が影響を受ける。硝化作用は、大気中の窒素を植物が利用できるようにするが、その一例である。除草剤二、四-Dは硝化作用を一時的に妨害する原因となる。フロリダ州での最近の実験では、リンデン、ヘプタクロル、およびBHC（ベンゼンヘキサクロリド）は、土壤に入ってわずか二週間で、硝化作用を減少させた。BHCとDDTは、散布されて一年後、かなり有害な影響を及ぼした。他の実験では、BHC、アルドリン、リンデン、ヘプタクロル、およびDDDはすべて、窒素固定バクテリアがマメ科植物に必要な根粒を形成するのを阻止した。菌類と高等植物の根との間の、奇妙だが有益な関係は、決定的に引き裂かれた。

時には、その問題は、自然が遠大な目標を達成するための、個体群の微妙なバランスを狂わせるという問題である。ある種の土壤生物の爆発的な増加は、他の生物が殺虫剤によって減少しているときに生じた。その結果、被食動物に対する捕食動物の関係を乱すことになる。このような変化は、土壤の代謝活性を容易に変え、土壤の生産性に影響を与える。そのような変化によって、以前は抑制されていた潜在的に有害な生物が、自然の制御から逃れ、害虫の地位を得ることもありうる。

土壤中の殺虫剤について忘れてはならない、もっとも重要なことのひとつは、数か月ではなくて数年間も、殺虫剤が残留することである。アルドリンは、痕跡として、あるいはディルドリンに変換されたものとしてより豊富に、四年後に検出された。シロアリを駆除するのに十分なトキサフェンが、散布されてから十年間砂土に残留する。ベンゼンヘキサクロリドは、少なくとも十一年間、より有毒な誘導体ヘプタクロルは、少なくとも九年間、残留する。クロルデンは散布されてから十二年後、元の十五%量、検出された。

どうやら、数年間にわたって殺虫剤を適度に散布することによって、土壤中に膨大な量が蓄積されるようである。塩素化炭化水素は分解されにくく、長く持続するので、それぞれの散布は、ただ単に以前の散布からの残存量に追加される。「一エーカーにつき一ポンドのDDTでは無害である」という古い言い伝えは、もしも散布が繰り返されるならば、意味がない。ジャガイモの土壤には、一エーカーにつき最大で十五ポンドのDDTが、トウモロコシの土壤では、最大十九ポンドのDDTが含まれているとわかった。調査中のツルコケモモの湿地には、一エーカー当たり三十四、五ポンド含まれていた。リンゴ果樹園の土壤は、汚染の頂点に達しているように思える。それは年に散布される割合と、ほぼ歩調をあわせる割合でDDTが蓄積するからである。一つの季節でさえ、果樹園では四回もしくはそれ以上散布されるので、DDT残留物は最大三十～五十ポンド蓄積するかもしれない。何年にもわたって散布は繰り返されるので、木と木の間の範囲では一エーカー当たり二十六～六十ポンド、木の下では最大百十三ポンドにもなる。

ヒ素は、事実上永久に土壤を汚染する、典型的な例を提供する。成長するタバコに噴霧剤として使用されたヒ素は、四十年代半ばより有機合成殺虫剤に取って代わられたが、合衆国で栽培されたタバコから生産された煙草のヒ素含有量は、一九三二年から五二年の間に三百%以上増大した。後の研究では、六百%もの増加が明らかになった。ヒ素毒生物学の権威ヘンリー・S・サタリー博士は、ヒ素に代わり有機殺虫剤が大部分使用されるようになったが、タバコは植物としてヒ素を吸収し続けていた、というのは、タバコ畑の土壤には、毒性の強い比較的不溶性の毒物であるヒ酸鉛の残留

物が、今や完全にしみ込んでいたからである、と主張する。ヒ酸鉛は、水溶性のヒ素を放出し続ける。サタリー博士によれば、タバコ畑の大部分の土壤は、累積的でほとんど永久的な汚染を被っている。ヒ素系殺虫剤が使用されていない東地中海諸国で栽培されるタバコには、ヒ素含有量のそのような増加は見られない。

それゆえ、私たちは第二の問題に直面している。私たちは土壤に何が起きているかに关心を寄せるだけでなく、汚染された土壤から、どの程度殺虫剤が吸収され植物組織に取りこまれているか、についても思いを巡らさなくてはならない。多くは土壤のタイプ、作物、殺虫剤の性質と濃度によって違う。有機物が多い土壤は、他のものよりも少ない量の毒物を放出する。ニンジンは、調査された他のどんな作物よりも、大量の殺虫剤を吸収する。使用された化学薬品がリンデンだとしたら、ニンジンは、土壤中に存在するよりも高濃度のものを、実際に蓄積する。将来、特定の食用作物を植える前に、土壤中の殺虫剤を分析することが必要になるかもしれない。そうでなければ、農薬を散布されない作物が、土壤からだけで、市場に出すのに適さないほどの殺虫剤を吸収する可能性がある。

まさにこの種の汚染が、少なくとも、毒性のある殺虫剤が使用された果物や野菜を購入するつもりのない、大手の離乳食製造業者にとって、際限のない問題を生み出している。そのメーカーに最大の問題を引き起こした化学物質はベンゼンヘキサクロリド（BHC）であった。BHCは植物の根と塊茎によって吸収され、気の抜けた味とカビ臭さによって、その存在がわかる。二年前にBHCが使用されていたカリフォルニア州の農場で栽培されるサツマイモは、残留物を含んでいて受け入れられなかつた。ある年に必要な、すべてのサツマイモの契約を、企業はサウスカロライナ州で結んでいたが、一年で、作付面積の大部分が汚染されているのがわかり、多大な金銭的損失を出して、一般市場で購入せざるをえなかつた。長年にわたって、様々な果物と野菜が様々な州で栽培され、拒否されざるをえなかつた。もっとも厄介な問題は、ピーナッツに関するものであった。南部諸州では、ピーナッツは通常、綿花と交代に栽培されている。ところが、その綿花にBHCが大規模に使用されている。その後、この土壤で栽培されるピーナッツは、かなりの量の殺虫剤を吸収する。実際、はつきりとわかる気の抜けた味とカビ臭さを取り込むには、ほんの微量で十分である。その化学物質はナッツに浸透し除去されることはない。加工処理は、カビ臭さを取り除くどころか、ときにはカビ臭さを倍加させることもある。BHCの残留物を除外すると決めた製造業者に開かれた唯一の道は、BHCを散布されるか、BHCで汚染された土壤で栽培された、すべての生産物を拒否することである。

ときには、BHCは作物自体を脅かす。土壤中に殺虫剤汚染がある限り、作物にとって脅威であり続ける。殺虫剤の中には、根の発達を遅らせ、苗木の成長を抑制して、たとえばマメ、コムギ、オオムギ、ライムギのような、敏感な植物に影響を与えるものもある。ワシントン州とアイダホ州のホップ生産者の経験は、ひとつの例である。一九五五年の春の間、これらの生産者の多くは、イチゴネゾウムシを防除するための大規模な計画に着手した。この害虫の幼虫はホップの根に多く見られるようになっていた。農業専門家と殺虫剤製造業者の助言により、ホップ生産者は防除剤としてヘプタクロルを選択した。ヘプタクロルが散布されてから一年以内に、散布された畑のつるは、しづみ枯れていた。農薬が散布されていない畑では何も問題はなかった。被害は散布されている畑

と散布されていない畑との境界線で止まった。莫大な費用をかけて、山にはホップが植え直されたが、さらに一年経つと新しい根も枯れていた。四年後、土壤は依然としてヘプタクロルを含有していて、科学者はどれだけ長く汚染された状態が続くのか予測できず、その状態を是正することもできなかった。連邦農務省は一九五九年三月になってやっと、土壤処理という形でヘプタクロルは使用が認められると宣言する、という異常な状況にあるのに気がつき、遅ればせながら、そのような使用のための登録を撤回した。その間、ホップ生産者は法廷で求めることのできる、あらゆる救済策を求めた。

農薬散布は続けられ、ほぼ消滅させることのできない残留物が、土壤に蓄積し続けているので、面倒なことになるのは、ほとんど間違いない。これは、土壤の生態を議論するために、一九六〇年シラキュース大学で会合を持った専門家集団の一致した意見である。これらの人たちは、化学物質や放射能のような、強力でほとんど知られていない道具を使用する危険性を、次のように総括した。

人間の側が少し間違った動きをすれば、その結果、土壤の生産性は崩壊するかもしれません、節足動物が支配権を得る可能性はある。