

めぐる水・不思議な土を知る講座 第3回「土の科学編」

土の科学の基礎

石橋 夏江

< 不思議な腐植の働き >

地中の有機物が分解されると、その一部は腐植となります。腐植は暗褐色の物質です、土の暗い色はこの物質の色によるものだと言われています。腐植の大きさは1nm(10⁻⁹m)~100nm(10⁻⁷m)です。このように非常に小さいため、粘土と同じようにコロイドとしての性質を持つのでマイナスの電気を帯びています。したがって腐植も粘土と同じように土の中でイオン交換体として働きます。また、多少の粘性があることが多いようです。腐植は酸やアルカリにより腐植酸、フルボ酸、ヒューミンという3種類の物質に分けることができます。腐植酸は褐色で土壤改良剤として利用できます。フルボ酸は透明な液体、酸は金属化合物と結びつく性質があります。そして、土のミネラルの中にはフルボ酸と結びつくことで河川を通り海までたどりつくものもあるのです。

腐植を構成するこれらの物質はまるでブドウ糖とかクエン酸のように化学式で単純に表現できる物質のように感じるかもしれませんが、実際は場所によって成分や組成は異なります。腐植は植物の難分解性の繊維質をはじめ多くの物質が様々な過程を経て分解されたのち再集積した物質と考えられています。分解される過程、再集積する条件(気温・湿度・再集積する物質の種類・地圧の強弱など)は一定ではないため、腐植のイオン交換体としての能力など性質にもばらつきがあります。

< イオン交換体 >

粘土も腐植も大変細かい粒子でできているためコロイドの性質を持っています。また粘土は結晶の特徴からマイナスの電気を帯びています。マイナスに帯電しているということはプラスの電気をひきつけます。イオンを引き付ける力は強固でないため割合簡単にその表面を離れます。(図3)粘土や腐植はプラスのイオンを引き付けるので陽イオン交換体と言います。植物の成長に必要な物質の多くがプラスイオンの形で土の中に存在しています。たとえばカリウム(K)やマグネシウム(Mg)などです。

土の能力を表す1つの目安に「保肥性」があります。肥料を保持する性質のことです。この能力は粘土や腐食のイオン交換能によってもたらされます。腐食や粘土のイオン交換の働きで保持されたプラスイオンが土の中の水に流れ出すと植物の根がそれを吸収することができます。プラスイオンが離れてしまった場合、粘土は表面が電気的にマイナスに傾くため新たなプラスイオンを吸着します。周りの土にプラスイオンがないときは水分中の水素イオン(H⁺)が吸着されます。このようにして過剰な養分は貯蔵し、植物が必要なときに供給する貯蔵庫の役割を果たしているのです。

陽イオン交換体がひきつけるのは肥料分になるものばかりではありません。金属はイオンになると必ずプラスイオンになります。金属は過剰に体内に入ると中毒を起こすので金属で汚染され

た水は危険です。量が少なれば土が金属イオンを吸着して水を浄化してくれますが、たくさんの金属を土のなかに蓄えてしまうと徐々に地下水や河川などに金属を再流出させ、汚染し続けるという大変始末の悪い事態になってしまいます。足尾銅山事件や、イタイタイ病(カドミウム中毒)などでは河川や魚介類の汚染だけでなく土壌の汚染も深刻でした。汚染された土をきれいにするのは今のところ難しく、土を丸々取り除いてどこかへ埋めるなどして処理するのが一般的です。

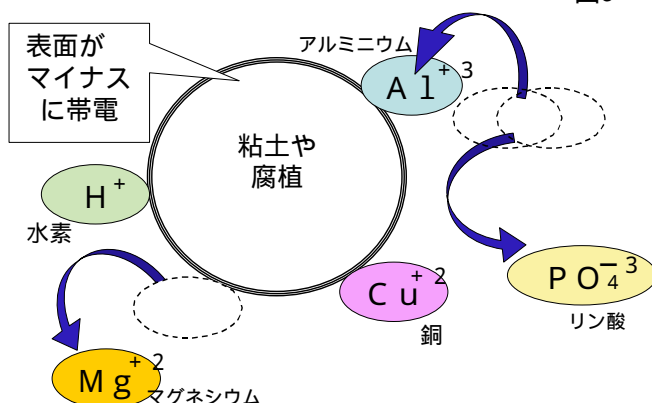
公害の話といえば酸性雨も土に影響を与えます。池や湖などの閉鎖系の水域に酸性の雨がどんどん降るとその水は短期間で酸性に傾きます。一方、土は酸性物質(=プラスイオンがその性質を持っている)をひきつける腐植や粘土の働きですぐに影響が現れにくいとされています。これを土の化学的緩衝能といいます。

しかしこの化学的緩衝能も無限に酸性を中和しきれないわけではないので陽イオン交換容量の大きな土でも強い酸性の雨に何年もさらされれば、プラスイオンを吸着しきれなくなって土そのものが酸性になります。すると土中の微生物のバランスも崩れ、酸によって地中の通常は溶け出さないような成分も溶け出します。当然植生に大きな影響がでると思われれます。

今まで腐植と粘土は同じようにイオン交換体として働くというお話をしてきましたが、やはり、その能力には違いがあります(図4)。このグラフは100g

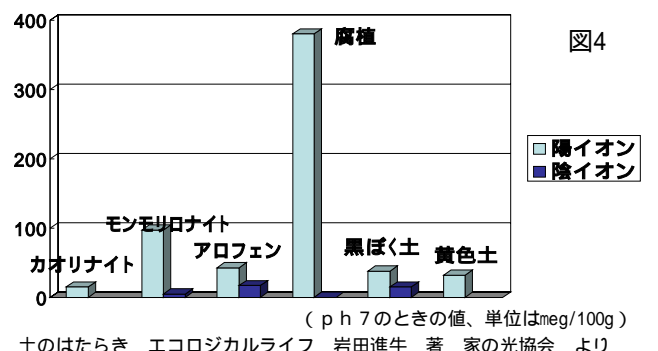
イオン交換体の仕組み

図3



粘土と腐植の陽イオン・陰イオン交換容量

図4



あたり何ミリグラムのイオンを交換する能力があるかを示したものです。左から三つは粘土鉱物の種類です。右の二つは日本でよく見られる土の種類で黄色土は一般的な畑の土、黒ぼく土は有機物を大量に含んでいる土です。ご覧になると分かるように腐植の陽イオン交換量はダントツであることがわかります。もちろん腐植の性質は均一なものではないので陽イオン交換量が資料によって数値に若干違いがあります。それでも粘土鉱物や土本体と比べると群を抜いています。

腐植の研究はまだ十分にされていません。今後、更なる研究の結果、もっとすごい力も発見されるかもしれません。

< 土の三相のバランス >

土のことを知るために土の固相について注目してみました。これで本当に土について理解することができたかという、どうもこれだけでは不十分なようです。固相の割合は変えずに気相と液相のバランスを変えるだけで植物の生育が全然違ってきます。液相が多い場合、根が十分に成長できずにやがて植物全体が枯れてしまいます。逆に気相が多い場合は水分を求めて根が地下深くへ縦に伸びますが、十分な水分が得られないとやがて植物は枯死します。では固相が多いとどうなるでしょうか？ 気相も液相も少ないということは土の粒の間に隙間が少ないということで、極端に言えば踏み固められた道の土などです。

このように土にどんなに腐植や粘土や植物の養分になる物質が含まれていても、三相がバランスを欠いた状態だと植物は成長できないのです。

< 土の粒と団粒構造 >

森林やよく手入れされた庭などの土をよく見ると土が塊になっているのを見かけます。いわゆる「土くれ」というものです。あのような人間の手でつまめる大きさの塊とは別にもっと微細な塊が土の中に存在しています。土の一粒一粒がくっついて塊を形成しています。これを土の団粒構造といいます。団粒同士がさらにくっついて更に大きな(といってもシルトや粘土粒からみればの話ですが)団粒を構成していきます。このように団粒構造が発達している土と団粒構造が発達せずに土の粒が独立して存在する土とを図で表したものが図5です。団粒構造が発達していないほ

うの土はギュウギュウで隙間が少ないですね。一方、団粒構造が発達した土のほうは粒と粒がくっついていたり、隙間もあります。ここが三相のバランスという点で、ポイントになります。粒と粒がくっついていたり水は溜まることができます。隙間が空いたところでは水が入ってきても流れてしまい空気が入り込んできます。つまり液相と気相、両方がバランスよく存在できるのです。

< 団粒構造の役割 >

土の通気性がよいということは水はけがよいということです。保水性と水はけを両立するというのは難しそうですが見事に両立する団粒構造というのは非常に優れた自然のメカニズムだと思っています。

団粒構造が発達していない土は耕して粒と粒の間が離れるようにすると、粒が独立しているの風が吹いたときにはさらさらと吹き飛ばされてしまいます。雨が降ると水が土にしみ込む際に土の粒と粒を引き寄せ、空間をつぶしてしまいます。雨が降る度に土の粒と粒の間隔が狭くなり、固相の多い固い土になってしまいます。こういう土では植物の育ちが悪くなります。一方、団粒構造が発達した土というのは隙間が適度にあるので柔らかいです。

団粒構造が発達しているところには多様な生き物が生存できます。これはとても土にとって重要なことです。ミミズ、昆虫、藻類、菌類、原生動物など土の中にはわたしたちの想像を超えた多くの生物が生きています。特に微生物は小さな団粒構造の中で棲み分けができます。乾燥したところが好きなものや嫌いなもの、酸素が必要なものや逆に嫌いなものなど様々だからです。住環境の好みだけでなく土の中で担っている役割もそれぞれ違います。こう

した生き物の多様性を維持する機能も団粒構造にはあります。

< 団粒構造はどうしてできるの? >

団粒構造は土の粒同士がくっついてできています。どのようにして土の粒はくっつくのか、実は説がいろいろあります。その中から3つ紹介したいと思います。

一、粘土や腐植は水分を含むと粘性を持ちます。そのため周りにある植物の繊維質などを絡めこんで団粒になるという説。

二、微生物自身が粘土や腐植などの粒に引っついてしまい土粒を引き寄せられている。または微生物の出す分泌物などで土粒同士を引っ付けるのではなかといい説。

三、土壌動物の働きで土粒同士がくっついているという説。ミミズはお尻だけを地表にだして糞を排出し、それが小さな塚のような形状になります。この塚は比較的雨の浸食にも強い土塊です。その他肉眼で見られる生き物は土の中の自分の棲み処が土に埋まらないように粘液や糞などで棲み処の壁を固めたりしています。このような働きが団粒の形成に一役買っているのではないかといい説です。

ここに挙げた説は一般的なもので3つの説には共通点があります。どの説も生物が関与してくるという点です。もうひとつはあまり乾燥してはだめだということです。粘土や腐植は水分があってはじめて粘性という性質がでてきます。微生物や土壌動物も乾燥したところを好むものもいますが、ある程度の水分はなくては生きていけません。

< 団粒が壊れるとき >

団粒構造はそれほど堅牢な構造物というわけではありません。自然界では、壊れてもまた独立した土の粒が団粒構

土粒の隙間と団粒構造

団粒構造が発達していない

団粒構造が発達している

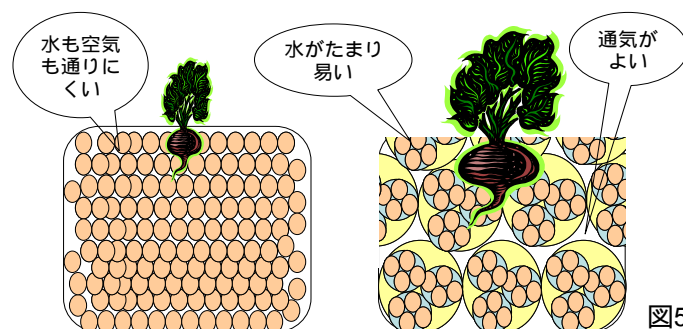


図5

造に取り込まれているようです。しかし、回復が難しいほど団粒構造が壊れてしまうことが観察されています。ひとつは砂漠化した土地の土、もうひとつは省力化された大規模農場の土です。

砂漠化した土は過度に乾燥しています。そこでは、団粒はばらばらになり風が吹くと容易に運ばれてしまいます。その例が毎年中国から飛来する黄砂です。土と一言で言いますが、植物が育つもっとも養分に富んだ表土は地球の薄皮のような存在です。それが吹き飛ば

されてしまった後に、人間がいくら灌漑し、植林などして土地を再生しようとしても、なかなか難しいものです。

団粒構造は押しつぶされると壊れます。アメリカなどの大規模農場で使用するトラクターは巨大です。マンモストラクターで耕運するのは団粒構造を押しつぶして破壊し、機械で土を耕しながら壊れた団粒をばらばらに砕いているようなものなのです。そのうえ化学肥料や農薬を大量に散布します。病気を防ぐため土壌消毒剤も散布します。

そうした土にミミズやいろいろな微生物などの生き物が生息できるでしょうか？ こうした農法を続けた土の団粒構造は破壊され、団粒構造を再構築するメカニズムも奪われて、サラサラした砂のような土になってしまうそうです。土というのは複雑なシステムなので壊れてしまうと元に戻すのは難しくなります。

ぶち土曜講座報告 2

イギリスにおける科学コミュニケーション： 科学、市民、そして対話

岡橋毅 (ウォリック大学院社会学部博士課程)

先日「ぶち土曜講座」で発表させていただいた。本稿では、発表の内容を補足しつつまとめてみたい。

理解から参加へ

イギリスは、日本と同じように科学技術立国を目指す国だ。しかし、特に1990年代に狂牛病(BSE)や遺伝子組み換え作物(GMO)などが社会的に大きな問題となり、市民と科学の関係の様相は大きな変化をみせている¹。そうした世相に合わせるように、近年、市民のための科学コミュニケーションの必要性が政府や科学者コミュニティの中から言われるようになってきている²。もちろん、市民と科学の関係を指摘した金字塔は、1985年にRoyal Society(英国学士院)から出されたレポート「科学の公衆的理解(Public Understanding of Science)」だった。しかし、ここ十年ほど活発化しているPublic Understanding of Scienceの議論³のなかでは、公衆の科学知識や意識の「欠如」を強調し、一方的に「理解」をもとめる教条的な態度は「欠如モデル」(Wynne⁴)として批判されるようになった。市民の理解の向上を訴えるやり方はもう古いものとされている⁵。

「理解(understanding)」に取って代わり、近年の科学政策関連の報告書で登場頻度が高いのが、市民のawareness(意識)やengagement(参加)そしてdialogue(対話)などという言葉だ。これらのキーワードを

「欠如モデル」の擬態だと批判できなくもないが、双方向的な科学コミュニケーションを目指していく方向自体は間違っていないだろう。また、市民会議などの実践的な試みが行われはじめており、まさに、イギリスの科学コミュニケーションは「理解」から「参加」へという転換期を迎えているといえる⁶。

科学館

科学コミュニケーションの実践は多岐にわたるが、ここでは科学館(Science Centre)に注目してみる。近年、イギリスでは新しい科学館が多く建設されてきた。このブームの原因は、先に述べたように科学コミュニケーション活動の需要が高まっていることもあるが、直接的には世紀末宝くじのMillennium Projectから相当な額の資金が当てられたことや、Wellcome Trustという世界有数の生命医療科学系の財団から支援があったことが大きな原動力となったと思われる。余談になるが、豊富な資金力を持ったWellcome Trustはイギリスの科学コミュニケーション・シーンにおいて絶大な影響力を持っている⁷。

世紀の節目にイギリス各地に建設された新しい科学館の特徴をいくつかあげてみる。まず、ほとんどの科学館が独特のネーミングと、近未来的な建築を擁する。また、どこも来館者の視点を重視し、教育と娯楽の融合をめざしている。こうした努力がいつそう必要

な理由のひとつは、多くの新しい科学館が、寄付や入館料を中心に経営されていることがある。次の特徴は、それぞれの科学館のテーマがはっきりしていることだ。科学館の名称を挙げながら列挙してみると、地球をテーマにしたDynamic Earth、海をテーマにしたDeep Blue、植物をテーマにしたEden Project、生命をテーマにしたCentre for Lifeといった具合だ。また、最先端の科学技術の情報を提供しようとしているところや狂牛病や環境問題、MMRという予防接種など、論争になっているテーマを積極的に扱っているところなど多くの科学館の特徴といえる。そして、どの科学館も地域の大学や学校、コミュニティと協力してこうという姿勢が強くみられる。

いくつか具体的に紹介したい。まず、ロンドンにあるWellcome Gallery⁸。一階のAntennaは、科学技術に絡む時事ニュースの展示だ。新しいニュース、あるいは市民の関心に合わせた展示なので、訪れる度に配置や内容が変わっていく。二階のwho am I?では、人間のアイデンティティがテーマだ。例えば、さまざまな動物の脳の標本、遺伝病やDNAについての説明、睡眠薬や風邪薬、抗鬱剤などの様々な薬のコレクション、アレルギーや恐怖症についての説明などを通して来館者自身に人間とは何か、自分とは何かと問いかけてくる仕掛けになっている。最上階のin futureは、ゲーム感