

土壌圏の科学 物質循環の要として -
Science for soil-cosm As a core of material circulation

宮崎 毅
Miyazaki Tsuyoshi

1. はじめに

土壌中では、物質循環が不断に行われている。この循環を科学的に明らかにすることは、地球環境問題、いのちと共生問題を論ずるうえで不可欠であり、ブラックボックスのままに据え置くことは許されなくなった。こうした“土壌における物質循環の科学”の重要性に鑑み、2002年に土壌物理学会は「**土壌の汚染と浄化-土壌物理学の貢献-**」というシンポジウムを開催した。土壌化学分野、土壌生物科学分野、建設会社技術研究分野、土木工学分野を交えた活発な議論を通し、この問題には、物理的、化学的、生物的側面の全てが絡んでいること、および、浄化工法などの応用科学がはるかに先行している中での基礎科学の役割を認識することが必要であること、などが指摘された。2003年には、学術会議第5部の地盤環境工学専門委員会において、土木系学科で化学や生物学の教育・基礎研究を行うシステムを整備すべき、という提言「**地盤環境工学の新たな展開**」を纏めた。どちらにも直接関わった私としては、農業土木学においてこそ、先取的にこの課題を取り上げ、将来への指針を示すべきだと考えている。そこで、**蓄積された土壌物理の手法と知識を生かしつつ、化学や生物学とどのように連携・協力していけば良いのか**を、具体的テーマに沿って論じてみたい。

2. バイオベンティングにおける新知見

土壌中に強制的に空気を送り込んで、好気性微生物を活性化させ、周囲に存在する汚染物質を分解し、環境を浄化する技術である。汚染物質として軽油を用い、火山灰土と砂質土でバイ

オベンティング効果を調べた所、確かに微生物は活動的になり、軽油の減少効果が見られたが、微生物数はほとんど増加しなかった(須甲ら2004)。別のフィールド実験で、秋冬の農地の土壌微生物数を調べた折にも、土壌微生物の活性を表す炭酸ガスの発生率が大きく変動したが、やはり微生物数の分布はあまり変化しないことを確認している(藤川ら2000)。土壌微生物が関与する土壌中の物質移動モデリングでは、**土壌微生物数の増減より存在する微生物活性の変化を重視すべき**であり、微生物活性の温度依存性などが重要と考えている。

3. バイオクロッキングの通説と新知見

土壌微生物に栄養物質を与えることで土壌間に目詰まりを起こす現象は、バイオクロッキングと総称される。土壌中の水、基質、酸素などの移動現象に微生物作用を関連付けた初期のモデルでは、基質と酸素を消費して微生物が増殖することを重視していた。しかし、実験的な研究が進み、むしろ微生物の作用は増殖ではなく、微生物活性とその結果生まれるガス状物質の影響の方が大であった(関ら1998)。そのことを考慮した土壌中の水移動モデルは、未完成である。廃棄物処理場のクレイライナーにおけるバイオクロッキングも実際の問題として注目されている(Kamonら2002)。**微生物が関与する物質移動のモデリングこそ、土壌物理学が化学や生物学と連携・協力すべき、新たな基礎的分野**と考えている。

4. ファイトリメディエーションでの疑問

植物に土壌中の重金属など有害物質を吸収

させ、土壌圏外へ排除する手法である。どの植物がより多く重金属を吸収するか、という喫緊の課題が先行し、植物による重金属吸収のメカニズムは、今後の基礎的研究に委ねられている。最近のヒマワリを用いた Cd 汚染土壌浄化の研究では、不飽和土壌中に吸着された Cd が水と共に植物根に吸収される現象を観察したが、植物根が存在しない土壌中では、吸着された Cd は水と共に動くことはなさそうであった。植物根が分泌する有機酸が Cd を可動化し、吸収を助けたものと理解している（綿井ら 2004）。ファイトリメディエーションのモデリングでは、**植物根が分泌する有機酸の働きと Cd 吸収の相関を解明することが重要と**考えている。

5. メタンガスの発生放出の不均一性

炭酸ガスやメタン、亜酸化窒素が地球温暖化ガスとして非難的になっている。ところで、これらのガスの出所で、よく分からないのが土壌からの放出量である。例えば、湿原からのメタン放出総量は、92 Tg/年から 237 Tg/年までの推定幅があり、数値の信頼性が乏しい。そこで、まず実際の湿原地下水中のメタンガス存在様子を調べてみたら、通説と異なり、大部分が気泡状で存在することを突き止めた（常田ら 2004）。次に不攪乱湿原試料を実験室内に移動して長期精密測定を行うと、どうやら気泡状のメタンガスが、不連続的に大気へ放出されるメカニズムが分かってきた。過去にこの種の詳細な報告は無く、目下、鋭意計測中である。**気泡状ガス放出のような不均一な物質移動のモデリングが特に重要と**考えている。

6. 水循環で見落としていたこと

土壌にしみ込んだ雨水は、一部は地表面から蒸発し、植物に吸収されれば蒸散する。残りは地下へ浸透する。あまりにも単純な水収支構造であり、我々の知らない事はもうあまり残っていないと思われる。そこで、試みに、**ゼロフラックス面**を追いかけてみた。つまり、土壌中の

水が上向きと下向きに分かれる分岐面を克明に追いかけて、上向きの水移動の総量が土からの総蒸発量に等しいことを確認してみた。ところが、驚いたことに、総蒸発量は実測値のほうがかなり大きいのである（坂井ら 2004）。いったい、厳密な土壌物理学のどこに穴が開いていたのか、不思議であった。よくよく調べてみると、**ゼロフラックス面というのは、液状水ばかり追いかけているのであり、水蒸気移動量を見落としていた**のである。

7. 未解明な、その他の物質循環

炭素は 17200 億 t が土壌中に保持されており、それは大気中炭素の 2.3 倍に当たるといふ（赤江 2003）。窒素は、有機態窒素 3000 億 t、無機態窒素 1600 億 t が土壌中に存在する（木村 1991）。土壌中の総炭素量と総窒素量から地球の C/N 比の値を単純計算すると、 $17200 \div 4600 = 3.74$ となる。温帯の農耕地や水田土壌の C/N 値は平均 10.0 位に収束するので、総量で言えば土壌は炭素不足である。リンは 960 ~ 1600 億 t、イオウは 2700 億 t が土壌中に存在するといふ（木村 1991）。これらの物質以外に Sr や Co など核廃棄物、揮発性有害物質、高分子化合物、その他多くの微量・超微量元素が土壌中に存在し循環している。土壌中の物質移動科学では、これら物質毎の移動特性や吸着特性を明らかにすることも求められている。

8. なぞだらけの物質循環 結びに換えて一

ヘラクレイトスは、「万物は流転する」と説き、2500 年後、我々が今再び「物質は循環する」ことを科学の対象としている。しかもなお、なぞは深い。ここで触れなかったエネルギー移動も重要である。専門分野を超えた連携協力は単純ではないが、是非進めたい。

引用文献：須甲ら、農土論集 229:29-36,2004、藤川ら、農土論集 208:19-28,2000、Seki ら、Eur. J. Soil Sci. 49: 231-236,1998、Kamon ら、Soils and Found. 42(6) 79-91,2002、綿井ら（本学会発表）、常田ら、土壌の物理性（印刷中）、坂井ら（本学会発表）、赤江、土壌の物理性 94,1-2,2003、木村、農土誌 59(7) 53-61, 1991