

## フィールド・サイエンスとしての土壌学

久馬 一 剛\*

## Soil Science as a Discipline in the Field Science

Kazutake KYUMA\*

\* Professor Emeritus, Kyoto University and University of Shiga Prefecture

## 1. はじめに

フィールド・サイエンスの重要性が再認識されている。生態学、環境科学、エアリア・スタディ（地域研究）など、研究対象が地域特異性をもち、かつ多くの要因をはらみ、したがって多くのディシプリンによる探求が必要とされながらも、究極的には対象の全一的理解 (holistic understanding) が求められるような領域においては、しばしばマルチディシプリナリーな現地研究（フィールド・スタディー、オンサイト・リサーチ）が主要な研究手法として採用され、その研究の全体はフィールド・サイエンスとして位置づけられることになる。環境問題や地域紛争など、解決を迫られている複雑で緊急な問題があまた存在する今日の世界で、フィールド・サイエンスはこれらの問題解決のための研究に当たることを求められ、その負託に応えようとするれば、上述した対象の全一的理解が必須となる。

土壌学は気候、母材、地形、生物、時間など多数の要因の相互作用によって生成され、そのため極めて地域特異性の高い土壌を研究の対象とする学問分野であって、広い意味の生態学の中に位置づけることができる。そのことはまた土壌学がすぐれてフィールド・サイエンスとしての性格を備えていることを意味するものでもある。ここでは、土壌学がさらに強くフィールドを指向すべきことを、幾つかの事例について検証してみたい。土壌学の一分科としての土壌物理がその例外たり得ないことはあらためていうまでもない。

## 2. 現地調査に始まる土壌研究

土壌図の作成や土壌の生成・分類などの研究は、現地での土壌調査を基軸として進められる。気候・母材・地形・植生・土地利用（人為）など景観要素と土壌との対応を考慮しながら、ペドン（土壌断面）の形態を詳細に

記載し、ポリペドン（あるいは土壌個体）として同じ作図単位に属すべき土壌の分布範囲を現地で確定するのが土壌調査である。これがフィールド・サイエンスとして位置づけられることに何の疑いもない。

腐植組成や粘土鉱物の研究など化学的、鉱物学的な手法を用いてもっぱら実験室内で行われる土壌の研究においても、そのサンプルは必ず上のようにして現地で記載・分類された土壌から採取されたものであり、現場の諸条件によって規定された土壌生成の産物として地域特異性を色濃くもつことを避けられない。

簡易な方法による土壌の肥沃度の検定が行われ、その結果と作物の種類や目標収量などに基づいて施肥の適量を勧告する土壌診断事業がかなり普及してきているが、これを可能にしているのも現場での土壌調査と分類である。わが国では、土壌分類の最低のカテゴリーは土壌統であるが、必要に応じてさらにそれを細分した土壌区を設けている場合もある。この分類上最も均質な土壌単位をベースにすることで土壌診断が成り立っているのである。残念ながらわが国での土壌分類名の一般への普及度は極めて低いので、診断を受ける農民自身が自らの農地の土壌統名あるいは土壌区名を知らない場合がほとんどであるが、土壌診断の歴史の長いアメリカでは、農民が自らの土地の土壌統名を知っていることが多い。

このように、土壌の基礎的な研究から最も実用的な局面にいたるまで、そのベースにあるのは現場における土壌の調査・分類であり、土壌学がフィールド・サイエンスの一分野であることは明らかである。いかなる研究においてもそこで用いられた土壌サンプルは、それが採取された特定の土地に由来し、研究の成果が直接適用されるのもその同じ土地である。この土壌のサイトスペシフィックな性格は、そのまま土壌サンプルの変異の大きさをも意味しており、そのためにサンプリングの手法や、研究結果を適用すべき範囲、すなわちサンプルの代表

\* 京都大学名誉教授・滋賀県立大学名誉教授

キーワード：フィールド・サイエンス、土壌学、土壌調査、岩石風化と養分放出、土壌炭素隔離

性についての十分な吟味が必須となるのである。土壌の化学的研究においてすらそうであるが、土壌粒子の空間的配置が問題となる土壌の物理性研究においては、サンプルのサイトスペシフィックな性格がミクロのレベルまでいっそう重視されなければならず、そのために物理性研究においては現場で採取された不攪乱コアが試料として用いられるのが普通である。

問題は、土壌学の中で研究をしている人たちが、ここに述べたような土壌学のフィールド・サイエンス性をどこまで明確に認識しているかという点にある。筆者自身の反省点を述べれば、わが国の土壌学がながく農芸化学の中に位置づけられてきたことが、土壌学を、化学を主とする実験室的な研究領域として認識させることになり、土壌が本来フィールドにおいて多くの景観要素（あるいは生成因子）の相互作用の総体として生成されたものであるとの認識を希薄にさせる一要因となってきたのではないかと危惧される。そのことが最も顕著に現れているのは土壌学教育における実験・実習の中身である。旧来の農芸化学の中では化学実験ばかりが重視されて、林地や農地においてどのように土壌を調査し記載するかという基本的な部分の実習が極めておろそかにされてきたといわねばならない。その中であって、土壌物理がわが国における灌漑稲作の重要性から、農業土木分野を主体として担われ、その実務的要請からフィールドの学として教育と研究がなされてきたことの意義は大きい。

以下には、土壌学がフィールドへの回帰を必要としている研究の事例について考えてみたい。

### 3. 岩石の風化による養分の放出速度

岩石の風化によって年間どれほどの養分が放出されているのか、という質問を投げかけられたとして、われわれはそれに答えることができるであろうか。天然の養分供給力を知ることは、自然生態系の健全さを評価するうえでも、農地生態系の養分管理を適正化するためにも極めて大切であり、土壌学研究者が受けて立たねばならない設問である。しかし、われわれはこれに的確に答えるすべを知らない。

一つの答え方として、かつて若月(1985)が試みたように、海洋における養分元素の貯留量、年間の河川からの養分元素の海洋への流入量などをもとに、全球の陸地全体の平均値としてヘクタールあたりの各養分元素の放出量を算出するというのがある。しかしこれはあくまで粗っぽい全球平均値であって、特定の生態系についての問題に答えることはできない。その後 Wakatsuki ら (1992, 1993) は、次に述べるハーバードブルークにおける研究と同様、小流域を対象として母岩、土壌、河川水、降水の

間の元素のマスバランスと重回帰計算法に基づく簡易な方法を提案しているが、なお適用しうる対象に限定がある。

筆者の目に触れた限りにおいて、上の設問に最も正確に答えているのは、アメリカ東北部ニューハンプシャー州のハーバードブルークで実施された研究である。ハーバードブルークというのは文字通り小さな川であるが、この川の集水域全体を一つの試験地として、長期にわたる、広い範囲の研究者を網羅した、大がかりな研究が1963年に開始され、現在もなお続けられている。この研究の目的は天然の落葉広葉樹林生態系の生産量や物質循環量を定量的に把握することにあり、方法としては小流域法といわれる方法が採用されている。これは一つの小流域を注意深く選ぶことによって、生態系全体のエネルギー、水、物質の収支を、雨と雪の量と溶存成分の組成、流域から流れ出す川の水の量と、溶存成分の組成、浮遊物の量と組成の測定から定量的におさえようとする方法である。もちろんそれだけでなく、生態系内部での物質やエネルギーの動きについても研究が行なわれており、土壌学者をも含め、多数の植物および動物生態学者、地球化学者らの協同作業が必須である。1977年に出版されたこの試験地における最初の12年間の研究成果 (Likens *et al.*, 1977) は多くの貴重なデータを含んでいるが、ここで引用するのは年間のカルシウム収支図である。図1がそれであるが、この一枚の収支図を書くためにどれほど多くのデータを集めなければならなかったかがわかるだろう。

この収支図を書く場合にも、土の中での岩石や鉱物の風化量は直接測定できないために、系全体の年間の損失量 ( $13.9 - 2.2 = 11.7 \text{ kg ha}^{-1}$ ) と、植物体と落葉枝層の年間増分中へのカルシウム取り込み量 (地上部  $5.4 +$  根  $2.7 +$  落葉枝  $1.4 = 9.5 \text{ kg ha}^{-1}$ ) の合計  $21.1 \text{ kg ha}^{-1}$  をもって、風化量の推定値としている。またこれだけの量のカルシウムを解放するためには、この地域の变成泥岩  $1.5$  トンの風化が必要であったとしている。

フィールド・サイエンスには、こういう地面を這い回り回るような研究の積み重ねが必須である。それは一見労多くして功少なしの印象を与えるかもしれないが、小器用な室内での実験とは比べ物にならない大きな価値をもっていると筆者は考える。フィールド・サイエンスとしての土壌学は、このように地味ではあるが容易に他の追従を許さないような研究をこそ高く評価し、若い研究者が喜んでフィールドへ向かうことを奨励すべきであると考えられる。

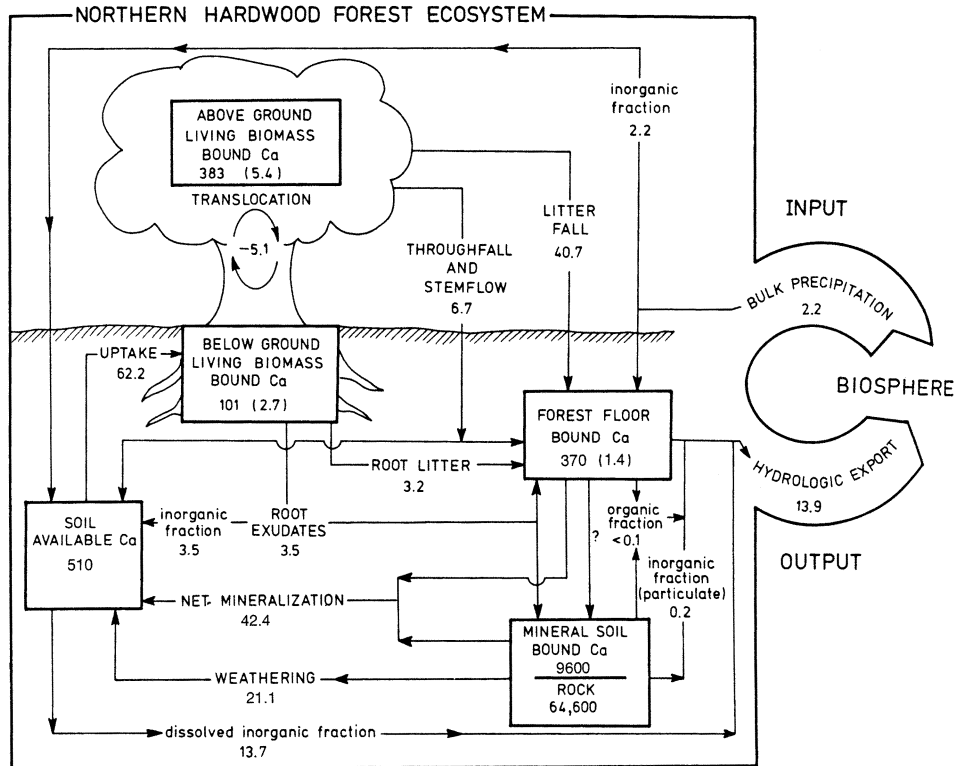


図-1 ハバードブルーク試験地落葉広葉樹林生態系におけるカルシウムの年間収支  
現存量  $\text{kg ha}^{-1}$ , フラックス  $\text{kg ha}^{-1} \text{y}^{-1}$ ; カッコ内は年間増分

#### 4. 土壌への炭素隔離量 (carbon sequestration) の評価

地球温暖化問題が大きく取り上げられるようになってすでに 20 年近い時間が経過した。しかし現在でも、わが国をはじめ多くの先進諸国では、1997 年の京都プロトコルの設定した炭酸ガス放出量削減目標には到底届きそうになく、両極における氷床の縮小、生物の生息域の変化など、地球の温暖化が現実の問題となりつつあることを示す各種の兆候が見られるようになっている。

土壌中への有機炭素の隔離 (sequestration) は地球温暖化対策として極めて重要な位置を占める。IPCC の第 3 次報告書 (2001) にある土壌有機炭素の総貯留量 1,500 Pg は、大気中の二酸化炭素の約 2 倍、植生バイオマスの約 3 倍に相当し、海洋表層水に溶存する炭素量を上回るとされている。しかし、この推定値そのものもおお小評価である恐れが大きく、土壌深層までの総貯留や無機炭酸塩としての蓄積を考慮すれば優に 3,000 Pg を超える可能性があるともいわれている (伊藤, 2002)。

土壌の有機炭素隔離の重要性がこれほど喧伝されてい

るにもかかわらず、土壌研究者のこの問題への取り組みは、必ずしも活発であるとはいえないように思われる。とくに土壌の炭素隔離に対する北半球寒帯、亜寒帯圏の寄与は極めて大きいとされているが、この地域のツンドラ、泥炭などに関する調査・研究が近年活発化しているとはいいがたい。一例としてカナダの数字を挙げれば、カナダの土壌有機炭素総貯留量 260 Pg の約 80% はこれらのツンドラや泥炭中にあるとされている (Tarnocai, 1998)。しかるに、世界全体の土壌炭素の評価に使われているこれらの土壌は、寒帯 (極圏) で僅かに 48 ペドン、亜寒帯圏で 260 ペドンに過ぎないという。世界の土壌有機炭素貯留量の推定に使われているペドンの総数はデータベースによって数千から二万に及ぶが、それらペドンの分布にみられる大きな偏りは、到底確度の高い全球的な評価を可能にするものではないと考えられる。それに加え、従来の多くの土壌調査データの中には粗大有機物、石礫量、容積重など、分析によって得られた有機炭素含有率を面としての土壌有機炭素貯留量評価に換算するためのデータを欠いている場合が多いという問題もある。

土壌炭素貯留量の推定のためには多くの炭素循環モデルが提案され使用されている。全球的な評価のためには最終的にはモデルに頼らざるを得ないと思われるが、これらのモデルによる推定結果は、どれほど多くの現場における測定データがモデル構築の基盤を支えているかによって大きく左右されよう。土壌の研究に携わるものには、まず質の高い現場データをできるだけ多く提供することが求められているのである。

単純な有機炭素の測定は、現在わが国の多くの大学で行われているようなソフィスティケイティドな研究としては顧みられない恐れがあるが、世界と人類にとってこれほど重要性の高い研究を等閑に付してよいとは思われない。土壌学がフィールドの学としてその基本に帰り、現場でファーストハンドなデータを取得するために地道な努力を積み重ねることこそ、現在最も必要なことではなかろうか。

### 引用文献

- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2001): *Climate Change 2001: the Scientific Basis*. Cambridge Univ. Press. Cambridge, U.K.: 944.
- 伊藤昭彦 (2002): 陸上生態系機能としての土壌有機炭

素貯留とグローバル炭素循環. 日本生態学会誌, **52**: 189-227.

- Likens, G.E., Bormann, F.H., Pierce, S.R., Eaton, J.S. and Johnson, N.M. (1977): *Biogeochemistry of a Forested Ecosystem*. Springer-Verlag New York, Inc. New York, U.S.A.: 146.
- Tarnocai, C. (1998): The Amount of Organic Carbon in Various Soil Orders and Ecological Provinces in Canada. In R. Lal, J.M. Kimble, R.F. Follett, and B.A. Stewart (Eds.) *Soil Processes and the Carbon Cycle*. pp. 81-92. CRC Press. New York, U.S.A.
- 若月利之 (1985): 土と海と人と. 化学と生物, **23**: 408-414.
- Wakatsuki, T. and Azwar Rasyidin(1992): Rates of Weathering and Soil Formation. *Geoderma*, **52**: 251-264.
- Wakatsuki, T., Azwar Rasyidin and Naganawa, T. (1993): Multiple Regression Method for Estimating Rates of Weathering and Soil Formation in Watersheds. *Soil Sci. Plant Nutr.*, **39**: 153-159.

受稿年月日: 2004年11月16日

受理年月日: 2004年12月21日