

## 統計土壌物理学をめざして

筑波大学農林工学系

弓 削 善 夫

土壌物理学の初期には、僅かな観察の資料をもとに、いろいろの土壌の物理的性質をとらえようとするモデルや理論が提唱された。しかし、その多くのは統計物理学的な考察に欠けていて、決して満足すべきものではなかった。近代科学技術の普及とあいまって、土壌の研究においても、機械観測を充実して、土壌の物理的諸現象をできるだけ正確に、詳細に観測する努力が始まった。これらの資料の集積とその解析こそ、土壌の諸現象の挙動を明らかにするオーソドックスな道であったし、今日も変りがない。

しかし、浸透論など直ちに適応される圃場の諸問題の研究が著しく進展したのに対して、この適応からはずれた複雑な問題、たとえば土壌構造の定量的取扱という基本的な問題は、最近まで一般には正面からの研究の対象とはならなかった。この種の問題は、一層の資料の集積と観察の深化によってのみ解明されるという立場がとられてきたように思う。上に述べた様な努力が基本的に重要であるとしても、土壌中の諸現象はきわめて複雑であるため、その理論的な研究の進展は我々が望むよりもはるかに遅々たるをまぬがれない。とはいえ、近年に至り、各分野の研究の進展によって、土壌などの不均一系の基本的な諸現象について重要な情報が得られている。たとえば、土壌物理学の分野においては、不飽和浸透のメカニズムの研究である。また他分野においては、統計物理学にもとづいたランダムな不均一材料の物性についての研究である。

それでは、土壌の諸物性をとらえるためには、どのようなモデルが最も適当なものと考えられるのであろうか？ そもそも、土壌というものは一般に不均一な多相材料の一種である。最も理想的な場合には、土粒子を分散媒、間ゲキを分散質とする二成分の分散系と考えることができる。この意味で、通常の土壌は不規則な内部構造をもったランダム不均一材料であるといえる。ただし、土壌の複雑な内部構造をすべて考慮に入れることは事実上不可能であり、理論的解析を容易にするために、二相分散系を土壌のモデルとして採用する。土壌のようなランダムな不均一系の性質を論ずる際には、通常統計的な均一性を仮定する。統計的に均一な土壌とは、間ゲキ径が試料サイズよりも十分に小さく、そのうえ試料のどの部分をとっても、間ゲキ部分と土粒子部分の体積比とか間ゲキの大きさ、形、配列状態などがほとんど同一のもの

をさす。なお、間ゲキや土粒子の形が球状でない場合や実質部が団粒よりなる場合には、それらの方位の分布が問題になるので、統計的均一性ととも統計的等方性の概念を導入することが必要である。

一般に土壌の物理性を支配するおもな要因は、まず土粒子、空気あるいは水の物性値、ついでそれらの存在割合、さらに土粒子の大きさと形である。特に物性に影響を及ぼす最も重要な要因が間ゲキ率であることは何人にも異存はないであろう。それでは、間ゲキの大きさや形を別にすれば、間ゲキ率だけですべてが決定されるのであろうか。否、間ゲキや土粒子の幾何学的配置、いわゆる phase geometry も影響するのである。しかし、土壌の物性に対する phase geometry の役割については、その重要性が認識されはじめたのもごく最近のことで、比較的容易なランダム不均一材料の場合が、ようやく近似的に解明されつつあるにすぎない。

ランダムな不均一材料の物性を研究するためには、不規則な系の統計物理学が必要になる。この場合に、最も基本的な問題は、土壌の不規則なあるいは無秩序な幾何学的構造、すなわち phase geometry をどのようにとらえ数学的表現にもっていくかである。これを適切に表現するためには、確率的な性格と幾何学的な性格をかねそなえた幾何確率モデルを導入する必要がある。その最も有効な手法が percolation model である。浸透 (percolation) 理論はこのような不規則系のための統計理論としては、最も素朴なしかも基本的な理論である。これは不規則な媒質中における粒子もしくは流体のランダムな運動を統計的に扱う理論である。浸透理論の対象は必ずしも物理的な粒子や媒質に限られるわけではない。実際、多孔体の乾燥過程の研究、土壌の熱伝導の研究、地震の研究など、統計物理学の分野のみならず、各方面に広く応用され、成果があげられつつある。

これまで仮説や理論はひどく虐待され中傷されてきたように思う。しかし、それなしには土壌物理学の進展はありえない。それが土壌物理学において重要であるということには疑問の余地がないし、それらはときに一連の難問に思わぬ光をあてるものであることを、物理学や化学の歴史が証明している。いまや観測と経験という踏みかためられた地盤をはなれ、“土壌とは一体なんであるか”を統計物理学的観点から積極的に考えなおしてみる時期にきているように思われる。