

土 壤 構 造 に つ い て

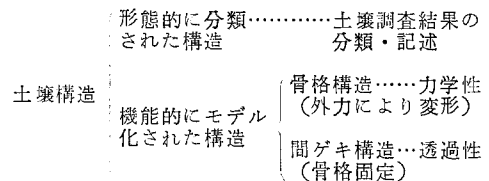
長 田 昇*

1. 土 壤 構 造 の 概 念

ここでは、土壌構造を「土壌の骨格を形成する、土粒子またはその集合体の空間的配列様式」といちおう定義する。一般に、農地土壌において、土壌構造は土壌肥沃性の鍵であるといわれている。¹⁾それは、土壌の肥沃性を支配する水と空気の運動が、土壌構造によって決まり、さらにそれによって土壌の諸機能が左右されるからである。また、最近の研究成果からも明らかなように、土壌の力学的挙動も土壌構造によって規定されることがわかってきている。²⁾このように、土壌構造は土壌の物理性に、ひいては力学性に密接に結びついているので、土壌の物理性の研究は、なんらかの形で土壌構造の研究につながっている。そこで、ここでは主として農地土壌の肥沃性に関係する、巨視的な土壌構造そのものに直接関連する部分について述べたい。

農地土壌の肥沃性をとらえる場合、それは土壌のもつ肥料の吸収・保持の機能、水や空気の流通性・保水性、耕うんの難易（テイルス）などの諸機能を総合判断した形で、肉眼的観察の結果として感覚的に土壌の形態的特徴がまずとらえられる。また、同時に土壌断面形態の調査結果を記述するためにも形態的特徴の分類が必要となる。したがって、ここから土壌構造の形態的分類の必要性が生じ、そこでおもに肉眼的観察によって形態分類が行なわれる。一方、土壌のもついろいろな物理的機能——たとえば、透過性・保水性・圧縮性・流動性など——を解明するために、土壌構造を単純化したモデルが要求される。たとえば、土粒子間間ゲキのもつれた糸のような間ゲキ構造を、半径の異なる毛管モデルでおきかえることが行なわれる。また、粒子形状を単純化して、球や板状のものの変形配列によって土壌構造を考えるような手段がとられる。このように土壌構造をモデル化することが、土壌構造の本質に接近する重要な方法となっている。

さらに、土壌構造は、土粒子の側からとらえられた骨格構造と、土粒子間の空間である間ゲキの側からみた間



図—1 土 壤 構 造 の 概 念

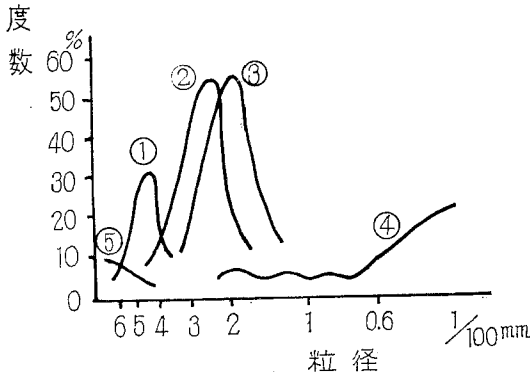
ゲキ構造との二つの側面をもっている。それらは相互関係をもち、土壌としてのひとつの本質の両側面をみることになるが、いまのところ相異った構造モデルとしてとらえられている（図—1）。おもに土壌の力学的挙動を問題にする立場では骨格構造を、透過性を研究する立場からは間ゲキ構造をとっている。そして、両者の見方の大きな相違は、一方が土壌構造を可動的な粒子系として考えているのに対して、他方は間ゲキを不動のものとしてとらえ、土粒子界面を流体のとれる壁と考える点にあるといえる。これは、いずれどこかで統一的にとらえられるべきものであろうが、現在の段階では骨格構造と間ゲキ構造の二つのモデルとして土壌構造がモデル化されているといえる。

ここでは、土壌肥沃性を直接対象としている実体的な土壌構造の研究成果から、つづいて形態的分類の現状について述べ、最後に透過性の問題を中心として関東ロームに関する研究成果について触れたい。

2. 団 粒 構 造 に 関 す る 研 究

土壌肥沃性の鍵としての土壌構造の像は、ウィリヤムスの牧草による団粒形成の学説以後、団粒構造に集約されている。³⁾わが国では、戦後、畑地土壌の肥沃性の問題について、とくに傾斜地土壌の侵食性の問題、また畑地かんがいなどによる土壌構造の変化の問題として、団粒構造の研究がさかんに進められてきた。一般に、団粒は水中篩別による耐水性団粒によって評価されている。その耐水性団粒の構成粒子が何か、という問題は、団粒の本質につながる問題であって、それは微細構造に関する研究⁴⁾に集約されていると考えられる。Wiegner法によって耐水性団粒の粒径分布を求めた結果（図—2）か

*三重大学農学部



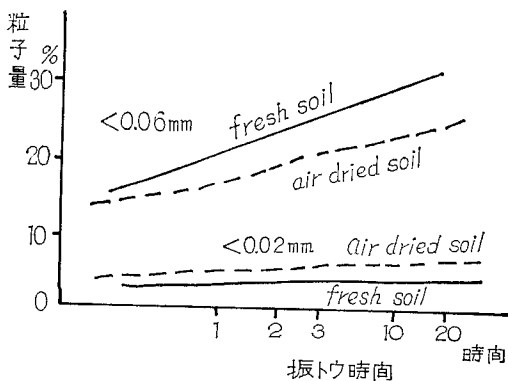
① Wet soil, 20 shook
 ② Wet soil, 42h shook
 ③ Air dried soil, 42h shook
 ④ Distribution of mechanical compositions
 ⑤ Air dried soil, 20 shook

図一 耐水性団粒の粒径分布曲線

(西ヶ原火山灰土壌 A層: 美園・須藤 1958)

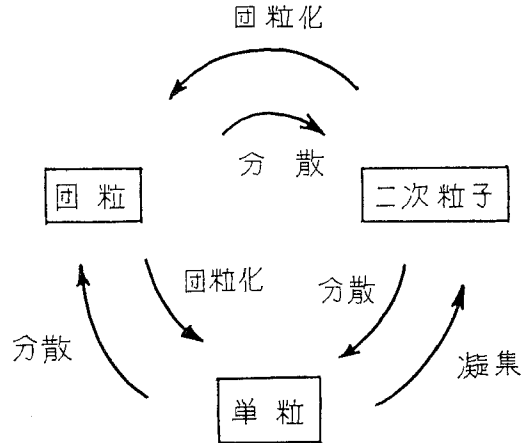
ら、次のようなことが認められた。

- (1) 耐水性団粒の分散過程は、団粒から単粒組成成分にいたる連続的な過程ではなくて、粒径0.06~0.02mmの領域に不連続的に集中している。
- (2) 粒度分析をした結果では、その粒径分布の山は消失している。したがって、0.06~0.02mmの“二次粒子”とよばれる粒子は、単粒ではなく一種の団粒である。それは、土壌生成過程で一次粒子が二次的に結合して形成されたものと考えられる。
- (3) さらに、振トウ数を増すことによって、その粒径範囲に粒子が集中する。振トウ時間の増加によって、0.06mm分散は急激に分散量が増すが、0.02mm分散はほとんど一定であり、“二次粒子”の量が増加することがわかる(図一3)。そこで、この二次粒子は耐水性の終極と考えられる。(最終団粒)



図一 振トウ時間と分散の関係

(小井火山灰土壌 B₁層: 美園・須藤 1958)



図一 構造性的変化 (美園・須藤 1958)

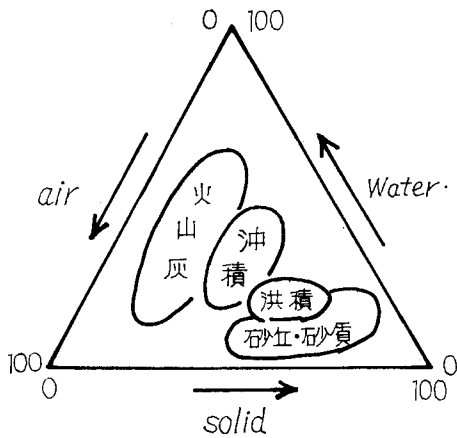
(4) 二次粒子の形成には、乾燥・湿潤のくり返しのよう な物理的過程が重要な役割を果していると考えられる。

そして、土壌の構造性的模式的な変化過程は、図一4のようにまとめられるが、二次粒子に集約される微細構造のもつ意義は大きい。団粒(土壌構造)が、微細団粒(二次粒子)と、それから構成される粗団粒(団粒)との二段階の構造としてとらえられていることは重要であり、微細団粒のもつ意味は最近の研究成果によっても確認されている。⁵⁾

つぎに、団粒形成を促進する土壌改良剤についての研究も進み、⁶⁾ クリリウムなどの合成高分子からなる改良剤の団粒形成機構に関する多くの研究成果もあげられている。一方、火山灰土壌ではその効果が小さい点が指摘されており、今後の問題点といえよう。そして、現在の段階では、ペントナイト・PVA混合による透水抑制効果とか、PVAの園芸的利用など一部の特殊な土壌改良効果を除いては、土壌構造改良に期待する改良剤の利用は少なく、土壌構造の研究手段として役に立っているといえよう。

3. 三相分布に関する研究

土壌構造を定量的に表わす指標としては、従来仮比重か、あるいは他の物理量を利用して間接的に指標とする方法が使われていた。しかし、最近実容積法⁷⁾などの普及とともに、圃場における土壌構造を量的に示す指標として三相分布が一般化し、土壌構造の有力な把握手段として認められている。三相分布は立地土壌学的にも土壌と植生との関係できわめて密接に結びついており、また、土壌生成との関連も深い。たとえば、固相は地質母材による特徴を明確に反映している。⁸⁾とくに、火山性と非火山性土壌の差は顕著に表示される⁹⁾(図一5)。さ



図一五 土壤生成と三相分布 (美國・川尻 1962)

らに、土壤水分系における統一的概念としての pF 概念が、土壤水分の状態量として高く位置づけられるように、三相分布は三相構造として巨視的な土壤構造を表わす構造量としての意義をもっている。¹⁰⁾ それは、土壤構造を単に団粒構造(粒子系構造)と単粒構造との相互関係の中だけでみるのではなく、土壤を土壤体としてとらえる立場から提起されている構造量で、土壤構造の研究手段としての意義も大きいものがある。そのような意味で、三相分布に関する研究は今後もなお発展がみられる分野といえよう。

4. 水田の土壤構造に関する研究

土壤構造を分類・記述する立場からの土壤構造の形態的分類の基礎は Zakharov (1927) の分類を修正した Nikiforoff (1941) の分類にあるといえよう。それは構成単位を塊状、粒状、柱状、板状の4つの基本的なタイプに分類している。

しかし、農地のほとんどが畑地であるような欧米における形態分類は、わが国の水田土壤にはそのまま適用できない。そこで、水田土壤を含めて、かつ土地改良的な意味も考慮して、わが国の農地土壤の分類基準も提案されている。¹¹⁾ それによると、水田土壤では、カベ状(泥状)構造がかなり一般的で、とくに粘土質水田に多い。また、排水改良の進んだ水田では、キレッツが垂直方向に大きく発達した柱状構造がみられる。その他に、水田土壤に特有な構造としてパン状、管状などの構造がとくにあげられている。¹²⁾

畑地における土壤構造の問題が、おもに粒状=団粒構造の問題として取り上げられてきたのに対して、水田では多収獲水田などの土壤構造の研究の中から、畑土壤にはみられない特有な土壤構造が浮き彫りにされてきている。とくに水田土壤では、水の運動(透水性・排水性な

ど)と土壤構造とが深い関連をもっていることが特徴的である。しかし、形態的土壤構造分類の点では、わが国の土壤特有の形でさらに整理されたものにまとめ上げられる必要があろう。また、観察の方法も直接感覚的な手法だけでなく、土壤薄片の顕微鏡観察の方法や、他の物理性を併用する方法などを入れて、機能的分類との接近をはかることが今後の研究課題といえる。

5. 火山灰土壤の土壤構造に関する研究

火山灰土壤、とくに関東ロームの物理的、力学的性質に関する研究によって、土壤構造の認識は機能的な側面からより明らかになってきた。その成果は、関東ロームだけでなく、土壤そのものの認識に関係している点で大きな研究成果といえよう。

土壤薄片による間ゲキ構造の顕微鏡観察の結果と、透過性を主とした物理性との比較研究によって、関東ロームの透水性における粗間ゲキの役割がはっきりした。¹³⁾ たとえば、表土と心土の比較についていえば、間ゲキ構造と透過性との関係から、表土と心土における水みちの質的な相違が明らかである(表一)。

表一 関東ローム表土と心土の大間ゲキの比較 (田淵ほか, 1963)

項 目	表 土 (農大 0cm)	心 土 (農大 80cm)
顕微鏡薄片観察	団粒状構造 団粒間ゲキ	カベ状構造 カベの中の大きな穴
色素浸入試験	団粒間ゲキの水みち	カベの中の管状の水みち
間ゲキ率	75% 多孔質	83% 多孔質
粗間ゲキ (>0.1mm)	14% 大間ゲキ多い	27% 大間ゲキ非常に多い
特大間ゲキ (>1mm)	0 なし	4% あり
限界径	0.4mm 太い	0.5mm 太い
限界間ゲキ量	5% 普通	4% 普通
飽和透水係数	2×10^{-2} cm/sec 大きい	3×10^{-2} cm/sec 大きい
限界性	100% 強い	30% 弱い
通気性増大係数	4 非限界間ゲキの透過性 小	60 非限界間ゲキの透過性 大

表からわかるように、表土、心土ともに間ゲキ率が大きく、大間ゲキが多く、透水係数もともに大きい。しかし、次のような相違がある。表土では、水みちは団粒間ゲキで、限界間ゲキが飽和透水時の水みちに相当し、その径変化は少なく均一性が強い。心土では、水みちは管状の間ゲキで、限界間ゲキの飽和透水時における役割はそれほど小さくなく、また水みちの径も変化していて均一性に乏しい。また、関東ロームの通気性の研究におい

て、通気性増大係数と土壌構造の関係を比較した結果によると、表-2にみられるようにそれは土壌構造の型にかなりよく対応していることがわかる。¹⁴⁾

表-2 通気性増大係数と土壌構造 (長田, 1963)

通気性増大係数	代表例	土 壤 構 造	
10 以下	火山性土壌 表 土	団粒構造性	微細な団粒が発達し、団粒間、団粒内間ゲキにも多い。
	鹿 沼 土	準 "	
約 10	砂質土壌	弱 "	団粒の発達が弱く、単粒構造に近い。
10 以上	火山性土壌 心 土	団塊構造性	粗大な団塊で構成され、団塊間間ゲキに大きいものがある。
	第3紀土壌		

このように、間ゲキ構造と透過性との関係から、関東ロームにおける土層の層位と土壌構造の関係が次のようにまとめられる¹⁵⁾ (表-3)。

表-3 関東ロームの層位と土壌構造の関係 (山崎ほか, 1963)

層	構 造	粗間ゲキの型
表 土	団 粒 状	粒子間間ゲキ
	堅 果 状	割 目 状
心 土	カ ベ 状	管 状

心土が地表に現われたり、あるいは地表に近づくことによって、乾燥の影響を受けてカベ状構造に割れ目を生じ堅果状構造から団粒状構造に変化する。粗間ゲキもその構造に対応して、管状のものから粒子間間ゲキのものに変る。そして、このような乾燥にともなう土壌構造の変化の非可逆的な過程は、風乾による土壌水分の自由化現象(表土化)によって説明される¹⁶⁾ (図-6)。

団粒状構造

カベ状構造

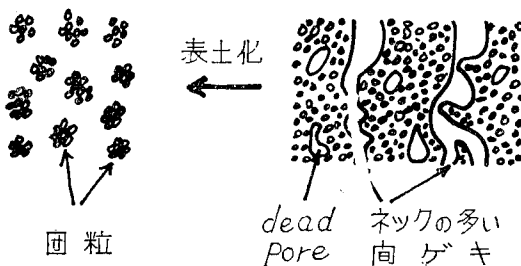


図-6 表土化の模式図 (竹中ほか, 1963)

このように、透過性、限界性、pF水分などの土壌の物理性と、土壌構造の顕微鏡観察の比較から、関東ロームの土壌構造、ことに間ゲキ構造をかなり明らかにする

ことができた。そして、物理性の測定と間ゲキ構造のモデル化が土壌構造の解明にとって、きわめて有力な手段であることもわかった。

そのほかに関東ロームの研究では、土粒子が一定の構造に固定されていて、その間ゲキ内で水分の運動が行なわれるという上述のような立場だけでなく、土壌を土・水・空気系としてとらえ、外力によって土粒子が変移・流動する現象(力学的挙動)を研究する立場からも大きな研究成果がえられている。たとえば、土壌の力学的挙動をpF水分とアッターベルグ限界を指標として整理し、土壌構造との関連づけがなされている。¹⁷⁾ また、力学的挙動をパーガス体で表わし、それに対応する土壌構造として土壌ゲルを骨格とするハチノス構造が想定されて、骨格構造のモデルが具体的な土壌構造に近づく方向で示されている。¹⁸⁾ さらに、土壌水分の変化に対応する土壌構造を土粒子の分散状態とpF概念によってとらえる考え方についても関東ロームの研究の中で具体化されている。¹⁹⁾ 一方、透水性と締め固めの関係から、土壌水分の可動性とともに、骨格構造の間ゲキ構造とを統一的にみる立場からの研究²⁰⁾ についてもいちじるしい成果がえられている。

6. ま と め

土壌構造に関する最近の研究成果は、次のようにまとめられよう。まず、粒状構造としての団粒構造の研究の中で、微細構造(二次粒子)の役割が明らかにされ、土壌体として土壌構造を把握する立場から三相構造が提起された。

また、土地改良の立場から土壌構造を機能的にとらえるために、形態的構造分類に水の運動様式などをとり入れて考える必要性が示された。

さらに、関東ロームの研究においてみられるように、土壌構造のもつ物理的機能を明確にして、その機能モデルを考えることの重要性が認識された。そして、このような機能モデルによってとらえられた土壌像と形態的に分類された土壌構造の関連、またいろいろな物理性・力学性との関係などが今後の研究課題として考えられる。

参 考 文 献

- 1) Baver, I. D. : Soil Physics, 3rd Ed., John Wiley & Sons, Inc., New York, p. 194, 1956
- 2) 山崎不二夫・須藤清次: 土の工学的挙動、—関東ロームを中心として—, 農上研別冊 No.14, p. 1, 1965
- 3) 農業科学研究所編: ウイリヤムス・科学的な農業耕作, 三一書房, 1951
- 4) 美園 繁・須藤清次: 土壌の微細構造に関する研究, 農技研報告B8, p. 213, 1958
- 5) レポート(松田 宏訳): 土壌物理(1964), 畑地農業振興会, 1968
- 6) 「土壌改良剤とその利用」特集号, 土壌の物理性, No.7, 1963

- 7) 美園 繁:実容積法による土壌物理性の測定, 日土肥誌, vol. 29, p. 67, 1958
- 8) 須藤清次:三相分布の土壌地理的関係と地理的役割について, 農土研別冊 No. 2, p. 66, 1961
- 9) 美園 繁・川尻美智子:土壌の全重量と実容積との相関関係(第7報), 日土肥誌, vol. 33, p. 162, 1962
- 10) 美園 繁・川尻美智子:土壌の3相構造に関する研究, ——圃場状態における3相構造——, 農技研報告B18, p. 49, 1967
- 11) 近藤鳴雄:農地工学に対する土壌断面形態調査の意義, 研究の資料と記録, No. 16, p. 90, 東大農地工学研究室, 1967
- 12) 青峰重範:多収穫水田の土壌条件, 農業技術, vol. 10, p. 297, 1955
- 13) 田淵俊雄ほか:関東ロームの大間ゲキと透過性との関係, 農土研別冊 No. 7, p. 53, 1963
- 14) 長田 昇:土壌の通気性に関する実験的研究(1), ——土壌の通気性について——, 農土研別冊 No. 7, p. 37, 1963
- 15) 山崎不二夫ほか:関東ロームの物理的性質, ——とくにその水分をめぐって——, 農土研別冊 No. 7, p. 1, 1963
- 16) 竹中 肇ほか:関東ロームの自由水分, 農土研別冊 No. 7, p. 61, 1963
- 17) 須藤清次・安富六郎:関東ロームの工学的特性(II), ——工学的指標と土壌構造——農土研別冊 No. 7, p. 98, 1963
- 18) 須藤清次ほか:固い土の力学的性質, ——土のレオロジ的構造(II)——農土論, No. 14, p. 21, 1965
- 19) 妹尾 学:土壌水エネルギー指数 pF による土壌構造の考察, 農土論 No. 14, p. 11, 1965
- 20) 多田 敦:関東ロームの締め固めと透水係数について, 農土論No. 14, p. 36, 1965

第11回シンポジウムについて

題 目 樹園地について

日 時 11月21日(金) 9:30~17:45

場 所 東京大学農学部 3号館 304号室

講 演(予定)

樹園地の気象	中川 行夫(園 試)
樹園地の機械化	田 辺 一(島根大)
りんご園の造成	篠 辺 三郎(弘前大)
みかん園の造成	竹 中 肆(東 大)
みかん園の土壌	古 賀 汎(四国農試)
柔園土壌について	永 井 政雄(蚕 試)