

# 土壌の物理性

第59号

1989年10月

---

巻頭言	実験科学と予測科学の協調	久保田 徹	1
報文	30周年記念シンポジウム「現代の土壌物理とその展開」より		
	土の変形、強さ、硬さ	吉田 昭治	2
	土壌構造悪化の面からみた農耕地土壌の圧縮特性	加藤 英孝	7
	土の長期浸透現象について	古賀 潔	17
	近赤外反射分光法による土壌水分の定量分析	谷山 一郎・芝山 道郎	28
	亀裂が発達した粘土質圃場における水移動現象のモデル化	井上 久義	35
	総合討論		52
土粒子			
	土壌の物理性改善効果の指標化	木村 悟	58
編集後記			

---

土壌物理研究会

土壌の物理性

Soil Phys. Cond. Plant Growth, Jpn.



## 巻 頭 言

### 実験科学と予測科学の協調

久保田 徹\*

現在、世界の多くの農業地域では、最大限の食糧生産と経済効率を追求してきた結果、土壌資源の劣化と消失が進行している。農耕地レベルで見ると、肥料・農業への依存、有機物土壌還元の見直し、区画拡大と機械化などによって土壌生産力、土壌生態機能の鍵とも言うべき土壌構造のポテンシャルが低下し、管理しにくい土壌、侵食し易い土壌が増大しつつある。また、地球規模においては、森林伐採、土壌侵食、土壌乾燥化が進行し、二酸化炭素濃度上昇による気候変動や汚れた酸性雨が地力の減耗、大規模土壌消失、土壌酸性化をもたらすことが懸念されている。有限の土壌資源に生じつつある、このような土壌の質の変化が将来もたらすものを予測し、人為的復元の可能性を見据えて、土壌の利用と保全の調和をはかることは、私達農業研究技術者に課せられた大きな課題である。そして、農業土木、土壌肥料、農業機械という研究対象と手法の異なる分野の人が集う土壌物理研究会は、これに取り組むため相互に学ぶ多くのものがある。特に、物質の移動・循環・変化のモデル化を目指す予測科学としての土壌物理と、その場となる土壌構造の評価・制御を目指す実験科学としての土壌物理が協調することによって真に将来を予測し、それにこたえる対策技術が可能になると思われる。この二つの科学が乖離することなく、相互に理解し、補完し合う場として本研究会の役割は大きい。さらに、土壌資源の価値は生命活動を支えている点にある。この生物と土壌のかかわりを物理の立場から掘り下げる姿勢も、上記の取り組みに欠くことは出来ないであろう。

世界的な土壌劣化の一つに畑地下層土の圧密がある。最近ポーランドで開かれた国際土壌圧密会議に参加した。土質力学を含む土壌物理、農業機械、土壌管理・調査等の関係者が多数集い、作物生産への影響、農業機械の改良方向、気象・土壌条件とのかかわり、さらには土壌生態系機能への影響が討議された。私の受けた印象は、日本の土壌物理の研究は、問題の抽出や手法において国際的に劣らないということである。しかしながら痛感した事は、欧米諸国に比べて、長期の圃場実験成果を殆ど持たないことであり、分野間の分担協業研究にも乏しいことである。このような重みのある実証的データ、専門性に裏付けされたデータを積み上げてこそ、土壌資源や生産力、および技術の評価と予測が可能になる。この問題の克服には相互の理解と話し合いが大事である。また、土壌保全・土地開発整備等の調査研究事業やプロジェクト研究に対して積極発言することか必要であろう。

私達、日本の農業研究技術者は最近とみに忙しい。逼迫した農業情勢を反映し、困難な時代にあるが、このような時代こそ、将来を洞察するための心のゆとりを培うことが望まれる。土壌物理研究会が本来同好者の集いであるという原点を忘れないで、楽しさ、研究の喜び、ひととの触れ合いを尊び、温りのある研究会に育って行くことを念じている。

\* 土壌物理研究会会長・農業環境技術研究所

## 土の変形、強さ、硬さ

吉 田 昭 治\*

Deformation, Strength and Hardness of Soils

Shoji YOSHIDA

Faculty of Agriculture, Niigata University

## 1. はじめに

日本農業をとりまく内外事情から米「過剰」がとりざたされてから、減反とともに水田の汎用耕地化が問題とされている。水田の汎用化にあたっての土壌物理的課題の一つは、耕盤の問題であろう。

耕盤は、水田においては浸透抑制層としての役割と同時に、農作業機の支持層としての役割が期待される。しかし耕盤による過度の浸透抑制は稲作にとってマイナス効果となる。また畑ではむしろ耕盤の存在は不利になり、畑を水田に還元したときは再び耕盤の造成が必要となる。岩大工法は火山灰土の透水生を制御することを可能にした。これに学んで、耕盤の透水性を自由にコントロールしつつ、所定の支持力をもつような農地基盤造成技術の開発は、困難を予想されるが、土壌物理の大きな課題の一つと思われる。この技術を確認するには、まず耕盤の形成機構が現段階よりも定量的関係にまで究明される必要がある。ここでは、この課題と関連のある土の変形、強さ、硬さについて、相互の関連性については不十分なまま、また多分に主観的に（一般にまだ認められていないことや、十分な研究結果に基づかない仮定的なことを含むという意味で）述べ、耕盤の問題へのアプローチとしたい。以下で対象とする土は粘性（時間効果）を示さない固い土とする。

## 2. 土の変形

2-1. 土の歪について：土を力学的連続変形体とみなしたとき、土は大変形性、非線形性、異方性をもち、さらに土は粒状体からなることからダイレイタンス（「せん断応力」による体積変化）という特性をもっている。また、金属塑性は非圧縮性として扱われるが、土

は拘束圧の影響を強く受け、圧縮性を示す。このような特性をもつ土の変形挙動の法則性をつかむには、歪の表現が適切、合理的である必要がある。土についても微小変形を扱う問題では、弾性体での微小歪（公称歪） $\bar{\varepsilon}$ で十分であろうが、長さの伸縮率が10%以上になるといくつかの問題が生ずる。土の変形を表すには次のような理由から対数歪が適切であると思われる<sup>1)</sup>が、現在の土質力学では土の塑性論以外ではまだ統一的につかわれていない。(1) 弾性体では応力0に対応して歪0の状態が一義的に決まるから、長さ $l$ の要素内の歪が一様であるとして、歪0状態の基準長 $l_0$ が一義的に決まる。従って微小変形では、この $l_0$ によって定義した公称歪 $\bar{\varepsilon} = \Delta l / l_0$  ( $\Delta l = l - l_0$ , 圧縮歪を正とする)が適当である。しかし土のように歪0の状態が一義的にきまらない材料については、任意の時刻 $t$ の長さ $l$ を基準にして、これから $dt$ 間の増分歪 $D\varepsilon$ を

$$D\varepsilon = -Dl / l$$

で定義したほうがよい<sup>2)</sup>。対数歪 $\varepsilon$ はこれを積分して

$$\varepsilon = \int_{l_0}^l D\varepsilon = \int_{l_0}^l -Dl / l = \ln(l / l_0)$$

として得られる。

(2) 大変形に対しても対数歪は加算性が正確に成り立つ。即ち、長さが $l_1 \rightarrow l_2 \rightarrow l_3$ と変化するとき各過程の歪は、 $\varepsilon_{1-2} = \ln l_1 / l_2$ ,  $\varepsilon_{2-3} = \ln l_2 / l_3$ であるから、これを加算すると $\varepsilon_{1-2} + \varepsilon_{2-3} = \ln l_1 / l_2 + \ln l_2 / l_3 = \ln l_1 / l_3$ となり、これは定義により $\varepsilon_{1-3} (= \ln l_1 / l_3)$ に等しい。公称歪では歪が10%ぐらいでも、加算性に無視できない誤差が生ずる。

(3) 等積変形は、公称歪によるとそのポアソン比 $\bar{\nu} = 0.5$ で表されるとされているが、歪が大きくなるにつれて $\bar{\nu} > 0.5$ となってしまう(例、歪10%で $\bar{\nu} = 0.54$ ) (図-1)。これに対し、対数歪では歪の大きさにかわらず、等積変形の時常に正確にポアソン比 $\bar{\nu} = 0.5$ となる。

\* 新潟大学農学部 〒950-21 新潟市五十嵐二の町8050  
土壌の物理性 第59号 P. 2~6 (1989)

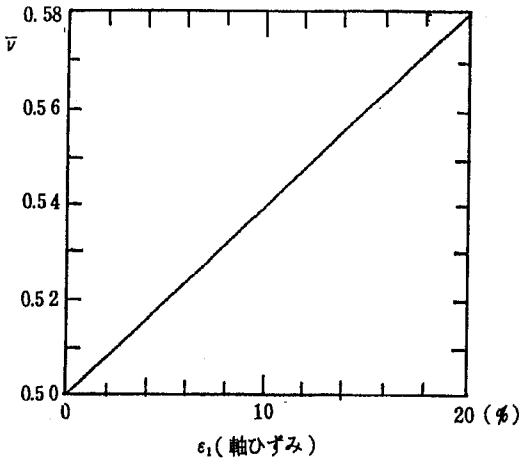


図-1 等積変形における公称ひずみによるポアソン比  $\bar{v}$  ( $>0.5$ )

(4) もっと基本的なこととしては、応力はテルソン量として一般性をもつから、応力-歪関係もテルソン量間の関係として定式化されて始めて一般性をもつことができるが、公称歪では、歪10%程度でも実際的にもテルソン量を形成しなくなる。このような意味でも土の歪は(増分歪→)対数歪によったほうが一般性をもつ。このような扱いは、現在の土質力学では土の塑性論以外ではかならずしも一般的になっていない。

2-2. 土の応力と変形について：土は弾塑性の性質と大変形性をもつので、載荷過程と徐荷過程では不可逆性を示す。また普通の弾性体では引張り応力によって伸び歪を示すが、土の場合は引張りに対する抵抗力はほとんどないことと大変形性をもつことによって、他の方向の応力条件によって圧縮応力が働いている方向にでも大きな伸びを示す(例えば、三軸圧縮試験におけるいわゆる伸長試験は軸圧を  $\sigma_a$ 、側圧を  $\sigma_r$  として  $\sigma_a < \sigma_r$  なる荷重によって、軸圧  $\sigma_a$  に抗して伸びる形をとる。)このような変形挙動に対しては、塑性力学などの連続体力学で扱われる平均圧縮応力  $p$  と偏差応力  $s$  が適切であると考えられる。この場合、圧縮変形と伸び変形には、それぞれ偏差応力成分の正と負(圧縮側を正にとる)が対応することになり、自然である(図-2)。現在の土質力学では、土の塑性論的扱い以外では、偏差応力は一般に用いられず、せん断応力系として主応力比  $\sigma_1 / \sigma_3$  や主応力差  $\sigma_1 - \sigma_3$  がとられているのが普通である。この結果、ダイレイタンスは平均圧縮応力(=平均主応力)一定下の主応力比による体積歪として定義されている<sup>3)</sup>。これに対してダイレイタンスを偏差応力による体積歪として定義すると、等方性変形体では偏差応力に対しては等

積変形しか生じないから、偏差応力による体積変化(ダイレイタンス)は異方変形体で生ずるものとみなされる。この考え方で応力-歪関係を構成すると、応力-ダイレイタンス関係はこれから演繹的に導くことができる<sup>4)5)</sup>。

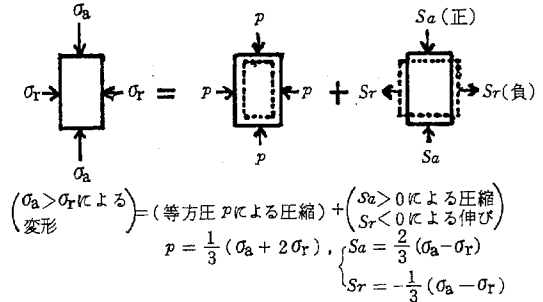


図-2 等方圧  $p$  と偏差応力  $s$  による変形

### 3. 土の強さ

一般に材料の強さは破壊に対する抵抗として定義するのが適切であろう。そうすれば、強さは破壊の概念から定義するのが論理的ということになる。破壊は土質力学ではせん断破壊を指し、降伏は一般には弾性から塑性へ移行する応力点を指すが(図-3)、土質力学ではモール・クーロンの破壊基準、モール・クーロンの降伏条件というように、しばしば破壊と降伏の概念が混用されている。この両者を区別するには、破壊failureは、fracture(破壊、破損)、rupture(破断)や一定応力下のflow(塑性的流動)のいずれによっても、元の固体的な材料特性を示さなくなる状態であると解釈すると、土を完全剛塑性体か弾完全剛塑性体と仮定した場合には、降伏状態=破壊状態となる。このことが降伏と破壊の概念の混用の理由であると思われる。

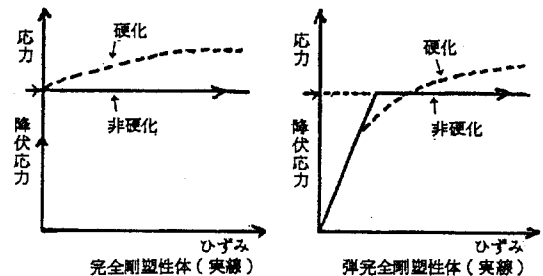


図-3 降伏応力

3-1. 土の強さと変形：土の強さは、せん断強さ  $\tau$  として、固体摩擦則の形式で定義され、モール・クーロンの式  $\tau = c' + \sigma' \tan \phi'$  などで表される。た

だし  $c'$  : 粘着力係数,  $\phi'$  : 内部摩擦角,  $\sigma'$  : せん断破壊面に働く有効圧縮応力。

土質地盤などの安定・破壊問題は、土の塑性論の有限要素法解析以外では、完全剛塑性体として扱われ、破壊に至る変形は考慮されず、破壊の限界時の応力条件のみで議論される。しかし変位を大きくとれる土のリングせん断試験などの要素試験では、図-4のような応力-変位関係が得られる。最近の厳密な平面ひずみねじりせん断試験<sup>6)</sup>や歪軟化をも考慮にいたれた有限要素法解析<sup>7)</sup>を参考にして、図-4にみられる土の変形過程について、単純化し過ぎるきらいがあるかもしれないが、次のように解釈すると分かりやすいと思われる。

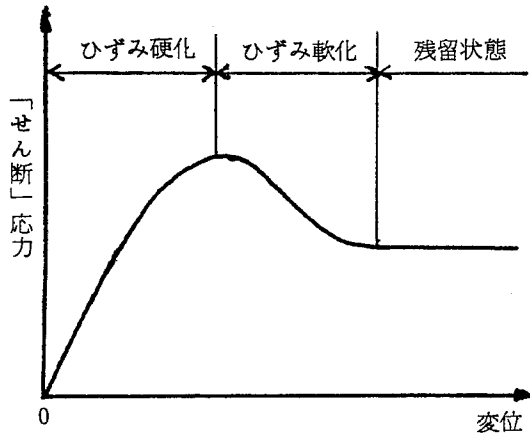


図-4 土の変形過程

1. 歪硬化過程は歪が一樣に生ずる過程、
2. 歪軟化過程は局部的にせん断帯 (shear band) ができ、これが発達する過程、
3. 残留状態は、体積一定でせん断変形が進む状態ともみなされ、先のせん断帯が発達した結果、連続した一枚のせん断破壊面または薄いせん断層が形成された状態。(これはややおもいっきった仮定であるが、体積が一定の定常なせん断変形が成り立つには、薄い一定のせん断帯の形成が必要条件になると考えた)。なお、固い土の三軸圧縮試験などでは2.の過程の初期にぜい性的な破壊が生じる。

3-2. 土の強さの微視的発現機構: 土のせん断強さの物性的な微視的機構は、砂質土では、土粒子間の固体摩擦とインターロッキング、充填密度により説明される。粘性土ではより複雑になり、粘土粒子間の物理化学的結合(端-端、端-面、面-面結合)と、この結合を強化する結合物質(非晶質のFe, Si, Alの酸化物、炭酸塩、有機物など)による膠結作用によるとされる<sup>8)</sup>。これは次

の耕盤の硬さの発現機構と共通するものと考えられるが、現在はまだ定性的解釈が主で、一部間接的な定量的データで説明が与えられている段階と考えられる。

#### 4. 土の硬さ、その定義と測定法

様々な物質の硬さの概念を物理的に定義することは難しいようである。例えば、岩石では摩擦、反撥、押し込み、引掻き硬度などが、それぞれ実用的試験法と対応してきめられている<sup>9)</sup>。土の場合、土の硬度の測定法として山中式硬度計、SR-2型土壌測定器、コーン・ペネトロメータなどが代表的に実用されている。土質では標準貫入試験のN値などが代表的であろう。ここにもみられるように、土の硬さは物理的内容に基づき定義は難しいだけに、一般的使用を獲得した測定法によって逆に定義した方が実際的でありそうである。

土壌物理で多く用いられる山中式硬度計の硬度やコーンペネトロメータのコーン指数は、土の強度定数( $c'$ ,  $\phi'$ )と関連づけられようが、この理論、実証研究の難しさもあり、進んでいない。また両者の測定値の間に関連があるはずであるが、この実証的研究は少ないようである。畑土壌の表層について、貫入抵抗値の一種であるCBRと山中式硬度 $q_r$ (底面積当りの抵抗値の換算値,  $\text{kgf/cm}^2$ )、コーン指数 $q_c$ との関係を求めたもの<sup>10)</sup>から両者の関係を求めてみると、 $q_r \approx 1.19q_c$ となり、測定条件にもよると思われるが、両者の相関が高いことがうかがえる。

ここで両者の特性を考察してみると、山中式は、土壌断面を大気に解放して、その表面の硬度を測定するから、土壌の構造・緻密さを直接反映した硬さを測定していることになろう。これに対し、コーンペネ法は土層に直接深く貫入した時の抵抗を測定することになるから、測定対象の土自体が土かぶり圧による拘束圧を受けており、コーンは側方からこの土圧を受けるから、この硬度は拘束圧の影響を強く受けることになり、その力学的内容はやや複雑になる。しかし農作業機に対する地耐力自体も深さに応じた拘束圧を受けるから、地耐力を問題にした硬度測定にはコーンペネ法が直接的であると考えられる。

#### 5. むすび: 耕盤の形成機構と造成技術について

作土の直下に形成される硬い、ち密な層をすき床層(盤)、盤層、硬盤、耕盤などと呼ばれ、その定義や用い方は必ずしも統一されていないようである。

すき床層という用語は、水田<sup>11)</sup>でも畑<sup>12)</sup>にもみられ、ともに耕起作業などの家畜や農作業機の踏圧によって作土の下に形成される硬い、緻密な層ぐらいの意味で

用いられている。盤層については、明瞭な定義は見受けられないが、水田のすき床層と同様な意味か<sup>13)</sup>、この層にさらに活性鉄やマンガンが集積して一層ち密になった層を指すものとしている例<sup>11)</sup>がある。

耕盤は、水田の場合に多く用いられているようであるが、畑にも用いられている<sup>14)15)</sup>。ここでは、耕盤は水田の作土の直下に耕起や浸透水の作用のもとに特制的に形成される硬い、緻密な層を指すことにする。

水田の耕盤は、水田の保水性を高め、農作業機の支持層としての役割を果たすが、耕盤が発達し過ぎると過度に浸透を抑制し湿田化し、作物根の伸長を阻害する。耕盤の浸透性、硬さともに適度であることが必要である。

耕盤の形成機構については、シロカキ作業や水中均平作業中の微細土粒子の沈積による緻密化、農作業機による破碎・転圧作用、溶脱による鉄やマンガンの作土下への集積などがあげられているが、理論的、実証的には十分明らかではない。岩大工法の研究<sup>16)</sup>で解明されたように、土の浸透性と硬さ、強さを反映する土構造の指標的性質は同じではない。浸透性を左右するのは粗孔隙の量だけでなくその連続性であり、転圧に対する抵抗は構造単位の結合の強さである。耕盤の固相率はあまり差がなくても、コーン指数では大きく違うように、耕盤の硬さ(地耐力)は、緻密さ(密度)のみでは測れず、土粒子間の結合力の強さという質的差異から明らかにされる必要があろう。また、水田の土壌型(地下水位の高低)によって鉄などの集積層の位置、発達具合が違う<sup>17)</sup>からこれと耕盤形成との関係の問題もある。さらに、水田の地耐力は土壌水分の影響を強く受ける<sup>18)</sup>ことから、この土粒子間の結合力についての理論には、耐水性微細団粒の結合様式との違いなど、水分とのかかわり方が組み込まれる必要があろう。

粘土・水系の分散・凝集機構の研究はかなり定量的に扱うところまで発展した<sup>19)</sup>。この延長線上に耕盤の形成機構が解明され、さらに耕盤造成技術の発展が期待される。

(以上、参考にした多くの文献を一々記さなかった点、引用も不十分、不正確なことをお詫びする)

## 引用文献

- 1) 吉田昭治：17回土質工学会，189-182(1982)
- 2) 吉村慶丸：塑性力学(共立)(1957)
- 3) 松岡 元：Soils and Foundations,14 (3),13 -24(1974)
- 4) 吉田昭治：農土論集,75,42-49 (1978)
- 5) -----：Soils and Foundations,20 (1),1-11 (1980)
- 6) 龍岡文夫：Soils and Foundations,26 (1),65-84
- 7) 田中忠次：分かりやすい土質力学(土質工学会),203-243 (1987)
- 8) ヤング, ワーケンチン：土質工学の基礎(鹿島出版),239-267 (1975)
- 9) 山口, 西松：岩石力学入門(東大出版)149-169 (1967)
- 10) 吉田 力：農土論集,104,25-29 (1983)
- 11) 川口桂三郎・喜田大三：土肥誌,28 (3),11-15 (1957)
- 12) 山田 忍：土壌の物理性,10,31-38 (1964)
- 13) 米田茂男：土壌の物理性,10,20-30 (1964)
- 14) 佐藤清美：土壌の物理性,10,39-55 (1964)
- 15) 多田 敦：土壌の物理性,53,29-35 (1986)
- 16) 徳永光一：山崎不二夫編 土壌物理(養賢堂),248-260 (1969)など
- 17) 山崎不二夫：農地工学(上),(東大出版),50-58 (1971)
- 18) 滝嶋康夫：土壌の物理性,16,10-15 (1967)
- 19) 赤江剛夫：農土論集,133,37-56 (1988)

## Summary

It is an important problem in soils physics to develop a technique making hard pans which have suitable permeability and sufficient bearing capacity for working machine in paddy fields. The fundamental properties ( deformation, strength and hardness) of soils concerning this technique are reviewed, partially including the author's speculation.

- 1) On the basis of the considerations on the relation between incompressibility and poisson's ratio, logarithmic strain is reasonable to express deformation of soils.
- 2) It is preferable to adopt deviatoric stress tensor rather than principal stress ratio or principal stress differences in order to express shear stress for soils.
- 3) A process of deformation to failure of soils can be expressed by the simplified model: generation of uniform strain, deformation of shear band and formation of a continuous shear failure band.
- 4) It is very difficult to physically define hardness of soils, so that it is practical to define it by the methods of measurement which are widely applied.
- 5) To develop the technique making hard pans so that their properties can be controlled, such investigations will be required on the relation between hardness and not only density of soils but also qualitative differences of bond force among soil particles, and on the physical relation between soil moisture and bond force among soil particles.

(Soil phys. Cond. Plant Growth, Jpn., 59, 2 - 6, 1989)



## 土壤構造悪化の面からみた農耕地土壤の圧縮特性

加 藤 英 孝\*

Susceptibility of Agricultural Soils to Structural Degradation by Compressive Forces.

Hidetaka KATOU

Division of Soil Science, National Institute of Agro-Environmental Sciences  
Tsukuba, Ibaraki, 305 Japan.

### 1. はじめに

近年の農業機械の大型化や不耕起栽培の導入など耕作方法の変化は、農耕地における下層土のコンパクションの進行や表層直下の浅い位置での圧密層の形成をもたらしている。形成された圧密層ではかさ密度(bulk density)の増加とそれに伴う土壤硬度の増大、粗孔隙の減少と透水性低下による排水不良・ガス拡散の悪化など土壤物理性の劣悪化がみられ、結果として多湿年に作物の生育阻害や収量低下の生じることが多い<sup>1, 18)</sup>。このような圧密化による土壤物理性の悪化を未然に防ぐ合理的な土壤管理法を確立するためには、圧縮応力等の外力による土壤構造の悪化過程と土壤構造の悪化が進みやすい土壤条件の解明が必要である。

ここでは、まず農耕地土壤の圧密化を加速する要因と圧密化による土壤物理性悪化の例を示し、土壤の圧縮特性を体積変化の面および孔隙径分布とそれに関連する性質の変化の面から整理する。つぎに、圧縮による体積(またはかさ密度)の変化自体は土壤構造悪化のよい指標とは必ずしもならないことを指摘し、孔隙径分布の変化の受けやすさの点から土壤の圧縮されやすさを評価することを試みる。また、土壤の圧密化回避のために今後解明されるべき課題について考察する。

### 2. 農耕地土壤の圧密化と土壤物理性の変化

最近の農耕地土壤の圧密化・構造悪化の進行の直接的

農業環境技術研究所土壤管理科

〒305 つくば市観音台3-1-1

土壤の物理性 第59号 P. 7~16 (1989)

かつ最大の要因の一つは農業機械の重量化である。農業機械の重量化は、タイヤ・サイズの増大により平均接地圧が一定に保たれた場合でも下層土の圧密化を進行させる働きがある。等分布荷重を受ける半径 $R$ の円板面の中心の下方深さ $z$ での土壤中の垂直圧縮応力 $\sigma_z$ は次のFröhlichの式によって近似的に表わされる<sup>2)</sup>:

$$\sigma_z = q(1 - \cos^2 \theta) \quad [1]$$

ただし、 $q$ : 円板面での平均接地圧、

$\lambda$ : 応力集中係数(土性および含水率に依存)、

$$\theta = \tan^{-1}(R/z)$$

[1]式によれば、 $q$ が一定に保たれた場合でも、総荷重の増加( $R$ の増加)により任意の深さの土壤に働く圧縮応力は増加する。すなわち、平均接地圧が同じであれば荷重が大きいほど土壤中の応力はより深くまで伝達される<sup>17)</sup>。この結果、下層土にかかる圧力や下層土の圧密化に対しては平均接地圧よりも機械の総荷重の方が影響が大きい。

車両走行時の車輪のすべりによるせん断・ねり返しも土壤構造の悪化をひどくする要因の一つである。Daviesら<sup>4)</sup>によれば、車輪のすべりは車軸荷重の増加以上に土壤の透水性を低下させる効果があり(Table 1)、また車輪のすべりを受けた土壤ではせん断強さの増加がみられた。

車輪のすべりの際に働くせん断応力は、また圧縮時の土壤の体積変化にも影響を与える。Critical State Soil Mechanicsの理論<sup>7, 8)</sup>によれば、圧縮の際にせん断力が同時に働くと土壤は究極的にはcritical state(限界状態)とよばれる状態に達し、平均圧縮応力、偏差応力

Table 1. Relative effects of tractor weight and wheelslip on the water-entry rates\* (after Davies *et al.*<sup>4)</sup>).

	Untreated land	Rear axle load = 16.8kN		Rear axle load = 30.8kN	
		Nil slip	31.4% slip	Nil slip	30.3% slip
Water-entry rate (cm h <sup>-1</sup> )	71	7.6	0.01	2.7	0.06

\* Boxworth clay loam soil, tyre pressure = 110kPa.

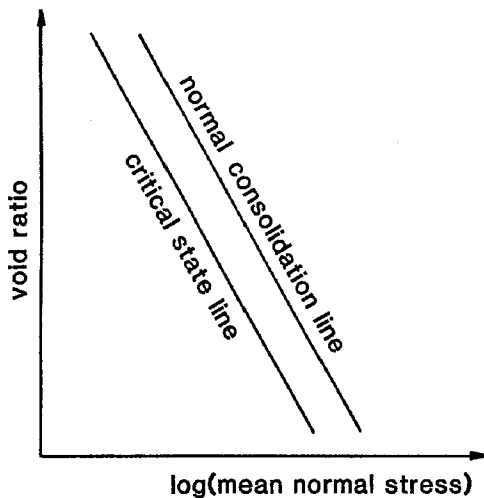


Fig. 1. Volume change of soil by compression with and without shear, represented by the critical state line and the normal consolidation line, respectively (schematic).

(せん断に關係) および間隙比が一定のまま流動する。この限界状態に対する間隙比- $\log$ 平均圧縮応力曲線は正規圧密曲線より低間隙比側にある (Fig. 1)。このため間隙比の小さい状態にあった土壤に比較的小さな平均圧縮応力と比較的大きな偏差応力が働く場合を除いて、車輪のすべり等によるせん断力は土壤の圧密化をさらに進める方向に作用する<sup>7, 8)</sup>。排水不良などにより土壤が多水分状態にあると、この効果はさらに大きいものと考えられる。

このような圧密化による土壤物理性の悪化は、i) 土壤硬度の上昇などかさ密度の増加に伴うもの、およびii) 粗孔隙の消失など土壤の孔隙径分布の変化に関連するものの二つの種類に大別される。

Table 2 は比較粘質なラジアード土壤 (ブラジル・サンパウロ州, Oxic Rhodustalf) および微細団粒の発達したサンゴタルド土壤 (同ミナスジェライス州,

Acrustox) の土壤硬度が土壤水吸引圧、および層位分化や耕作に伴うかさ密度の増加によってどう影響されるかをみたものである。両土壤とも、耕盤層ではかさ密度および土壤硬度が作土層のそれぞれ1.13倍および3~4倍に達し、吸引圧の上昇による硬度の著しい増大が見られた。またサンゴタルド耕地下層土は耕作により隣接林地下層土に比べてかさ密度は1.05倍になった(0.7kgf cm<sup>-2</sup>の圧縮応力による圧縮にほぼ相当) に過ぎないにも拘らず、土壤硬度は吸引圧によっては (例えばpF3.6) 約2倍に増加することが認められた。これらは、圧密化によるかさ密度のわずかな増加が土壤硬度の著しい上昇をもたらしていることを示している。

一方、透水性やガス拡散特性はかさ密度じたいより土壤の孔隙径分布の変化を通じて圧密化の影響を被る土壤物理性であり、これらに対しては比較的粗な孔隙の減少の効果が大きい。土壤の相対ガス拡散係数  $D/D_0$  を気相率に対してプロットすると、指数関数的な曲線が得られることが多い。このため、粗孔隙率あるいは気相率のわずかな減少が土壤中のガス拡散の深刻な悪化につながる場合がある。ラジアード耕地土壤の耕起区作土および不耕起区表土のガス拡散係数を測定した例 (加藤・吉田・箱山, 未発表) では、両土壤の間隙率の差がわずか0.04 cm<sup>3</sup> cm<sup>-3</sup>であったのに対し  $D/D_0 = 0.02$  となる土壤水吸引圧は耕起区作土でpF1.7, 不耕起区表土でpF2.9と大きな差が見られ(このときの気相率は両土壤とも0.21 cm<sup>3</sup> cm<sup>-3</sup>)、後者ではガス拡散不良となる頻度の大きいことが推定された。

圧密化によって生じる排水不良、ガス拡散の悪化や土壤硬度の上昇は、作物栽培のための培地としての土壤の好適性を損なうことが多い。Fig. 2 は土壤の有効水分範囲が土壤硬度およびガス拡散不良によって制限されるさまを "non-limiting water range (NLWR)"<sup>12, 15)</sup> によってみたものである。ラジアード土壤の例では、耕起区作土ではpF1.8-3.7の範囲がNLWR ( $D/D_0$  が0.02以上、土壤硬度が1.2MPa以下<sup>12)</sup>) に相当したのに

Table 2. Penetration resistance of two Brazilian soils as affected by soil water potential and different management practices (H. Katou, K. Yoshida and S. Hakoyama, unpublished results, 1988).

Soil	Depth (cm)	Clay content (%)	Bulk density ( $\text{Mg m}^{-3}$ )	Penetration resistance (MPa) <sup>a</sup> at matric potentials of				
				-9.8kPa	-31kPa	-98kPa	-390kPa	
Lageado (Oxic Rhodustalf)								
arable (C.T.) <sup>b</sup>	topsoil	0-5	64.4	1.15	0.26	0.37	0.53	1.1
	plowsole	16-21	67.3	1.31	0.82	1.1	1.8	3.1
arable (N.T.)	topsoil	0-5	62.9	1.27	0.59	0.68	1.3	2.9
São Gotardo (Acrustox)								
arable (C.T.)	topsoil	1-6	91.1	0.94	0.22	0.30	0.36	0.67
	plowsole	25-30	92.3	1.06	0.95	1.2	1.6	2.4
	subsoil	45-50	92.4	0.96	0.35	0.48	0.54	1.3
forest	subsoil	45-50	90.8	0.91	0.25	0.37	0.39	0.66

<sup>a</sup> Average of duplicate measurements with a Yamanaka-type penetrometer.<sup>5)</sup>

<sup>b</sup> C. T.: conventionally tilled; N. T.: no-tilled.

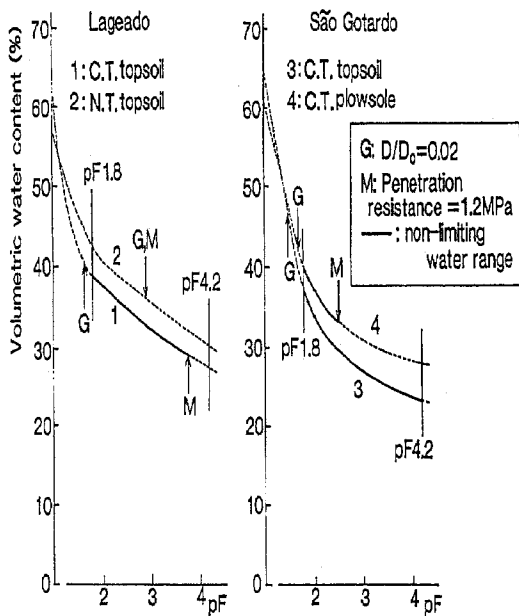


Fig. 2. Restriction of available water range of Lageado (Oxic Rhodustalf) and São Gotardo soils (Acrustox) by mechanical resistance and poor gas diffusion. C. T.: conventionally tilled; N. T.: no-tilled (H. Katou, K. Yoshida and S. Hakoyama, unpublished results, 1988).

対し、不耕起表土ではガス拡散の悪化と土壌硬度上昇のためにNLWRは見出されなかった。またサンゴタルド土壌の耕盤層では土壌硬度上昇のためにNLWRはpF 1.8-2.5の範囲に限られた。

このように土壌の圧密化は作物根の伸長阻害をもたらす可能性が大きく、また圃場の排水不良を通じた土壌侵食や土壌病害発生の危険性の増加も懸念される。土壌の透水性低下による排水不良は同時に、多湿時のねり返し等による土壌構造破壊を加速することが予想され、かりに圧密化がやがて一種の“平衡”状態に達するとしても、その時の土壌の状態はかなり劣悪なものになっている可能性が大きい。

### 3. 体積変化からみた農耕地土壌の圧縮特性

体積(またはかさ密度)変化の面からみた土壌の圧縮特性の評価は、通常衝撃的または静的な荷重を用いた締固め試験によって行われる。圧縮の際に土壌からの排水がない場合には、与えられた締固めエネルギーあるいは圧縮応力に対して圧縮後のかさ密度が最大になる含水比(最適含水比)が土壌ごとに存在する。最適含水比のもとで圧縮された土壌の水分飽和度はおよそ80%程度であり<sup>9)</sup>、土壌が同じであれば、締固めエネルギーあるいは圧縮応力が高いほど最適含水比は小さく圧縮後のかさ密度は大きい(Fig. 3)。したがって、与えられた含水比が最適含水比となるような圧縮応力の小さい土壌(例えば砂質土壌)ほど、圧縮後のかさ密度は大きくなりやすい。

石井・徳永<sup>10)</sup>は静的荷重による圧縮の際の最適含水比に相当する土壤水吸引圧と圧縮応力との関係をいくつかの土壤について求めた。それによれば、圧縮応力が同じであっても、最適含水比に相当する土壤水吸引圧は土壤ごとに異なり、ねり返した赤黄色土壤のように構造の破壊された、圧縮応力に対する骨格抵抗の小さいと考えられる土壤ほど大きかった。

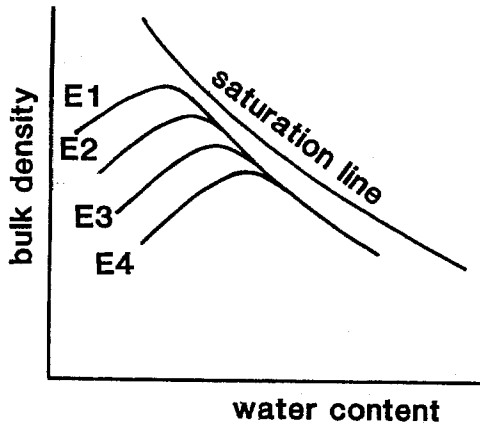


Fig. 3. Dry bulk density-water content curves for different compaction efforts ( $E1 > E2 > E3 > E4$ ) (after Hillel<sup>9)</sup>).

圧縮後のかさ密度が圧縮時の土壤含水比に依存することは、異なる含水比のもとでの間隙比（またはかさ密度） $-\log$  圧縮応力曲線の比較からも認められる。Larson<sup>14)</sup>は含水比の異なる風乾細土充填土壤（初期土壤水吸引圧は5～100kPa）を静的荷重により圧縮し、得られるかさ密度 $-\log$  圧縮応力曲線がたがいにほぼ平行であり、含水比が大きいほど高かさ密度側によることを示した。これらは土壤が湿っている時ほどみかけの先行圧縮応力、あるいは圧縮に対する土壤の降伏応力が小さくなることを意味する。

比較的大きな圧縮応力により排水を伴いながら土壤が圧縮される場合には、土壤の初期含水比のかさ密度あるいは間隙比に対する効果は圧縮応力が増すにつれてだいに見られなくなる。茨城農試黒ボク土水田作土の不攪乱試料を圧縮した例<sup>11)</sup>では、圧縮応力が $2.6 \text{ kgf cm}^{-2}$ 以下の範囲では初期吸引圧が小さい試料（圧縮前 $pF1.5$ ）の方が初期吸引圧の大きい試料（圧縮前 $pF3.0$ ）より同一の圧縮応力に対する間隙比が明らかに小さかったのに対し、 $15.4 \text{ kgf cm}^{-2}$ の圧縮応力のもとでは両者の差は認められなかった（Fig. 4）。このような圧縮時の体積変化には土壤の水分飽和度が関係しているものと考えられる。

圧縮による土壤構造の悪化程度を評価するには、孔隙率やかさ密度の変化など土壤の体積変化に着目するだけでは十分ではない。かさ密度自体は土壤の透水性やガス

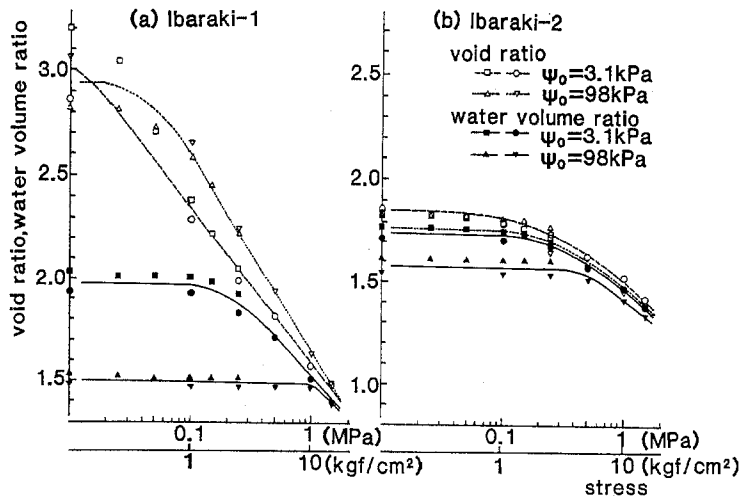


Fig. 4. Void ratio and water volume ratio versus applied stress curves for Ibaraki paddy soils (humic Andosols) with different initial matric suctions ( $\psi_0$ )<sup>11)</sup>. Ibaraki-1: topsoil; Ibaraki-2: plowsole.

拡散特性など孔隙径分布に関係する性質のよい指標には必ずしもならないこと、圧密化の際には体積が一定のまま土壌マトリクスの変形が生じて物理性が悪化することがあること、また圧縮による体積減少率や圧縮指数、先行圧縮応力などの値は圧縮後よりも圧縮前の土壌の状態を強く反映することなどがその理由である。

#### 4. 圧縮による土壌の孔隙径分布および関連する性質の変化

土壌を静的荷重によって圧縮すると、圧縮応力が増すにつれて土壌中の孔隙は粗孔隙から細孔隙へと逐次的に崩壊・消失する。仲谷ら<sup>16)</sup>は川里灰色低地土転換畑作土、栃木多湿黒ボク土転換畑作土およびすき床土（初期吸引圧は pF1.9~2.6）を 1.0~15.3 kgf cm<sup>-2</sup> の間の5段階の圧縮応力で圧縮し、これらの土壌では pF1.5以下の吸引圧で脱水される粗孔隙は 2.6~5.1 kgf cm<sup>-2</sup> の圧縮応力により完全に消失し、15.3 kgf cm<sup>-2</sup> の圧縮応力のもとでは pF2.5以上に相当する孔隙も減少すること、またそれに伴って数オーダーにおよぶ飽和透水係数の低下が生じることを示した。

同じ初期土壌水吸引圧をもつ土壌を同一の圧縮応力のもとで圧縮しても、消失する孔隙の径の範囲や圧縮後の飽和透水係数は土壌ごとに異なる。Fig.5 および Fig.6には、初期吸引圧を pF1.5または pF3.0にそろえたのち 2.6 kgf cm<sup>-2</sup> または 15.4 kgf cm<sup>-2</sup> の圧縮応力で圧縮した時の不攪乱水田土壌試料の水分特性曲線の変化<sup>11)</sup>を示した。土壌類型や土性を異にする各土壌とも、比較的粗な孔隙の崩壊・消失にともなって低吸引圧部分の土壌水分特性曲線の平坦化がみられた。しかし、圧縮の影響を受けた孔隙の大きさは土壌ごとに異なり、初期吸引圧 pF1.5、圧縮応力 15.4 kgf cm<sup>-2</sup> の条件では細粒黄色土作土 (Fig.5(b)) は pF3.8の吸引圧で脱水する孔隙にまで圧縮による崩壊・消失が生じて土壌水分特性曲線が平坦化したのに対し、粗粒質の灰色低地土下層土 (Fig.6(b)) では pF2.5またはそれ以下の吸引圧で脱水する孔隙が失われたに過ぎなかった。また、同じ条件で圧縮した後の飽和透水係数も  $4.4 \times 10^{-6} \sim 1.9 \times 10^{-8} \text{ cm s}^{-1}$  の範囲にわたり (Table3)、圧縮によって水分特性曲線が平坦化する吸引圧の範囲が広い土壌ほど小さな値が得られた。

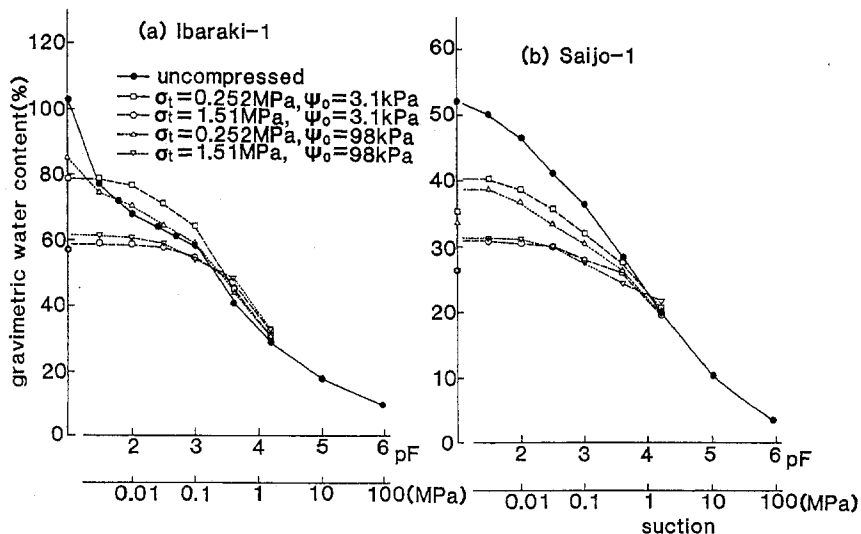


Fig. 5. Effects of compression on the soil water characteristic curves for Ibaraki-1 (topsoil, humic Andosol) and Saijo-1 (topsoil, fine-textured Yellow soils)<sup>11)</sup>.  $\sigma_t$ : applied stress;  $\psi_0$ : initial matrix suction.

## 加藤：土壤構造悪化の面からみた農耕地土壤の圧縮特性

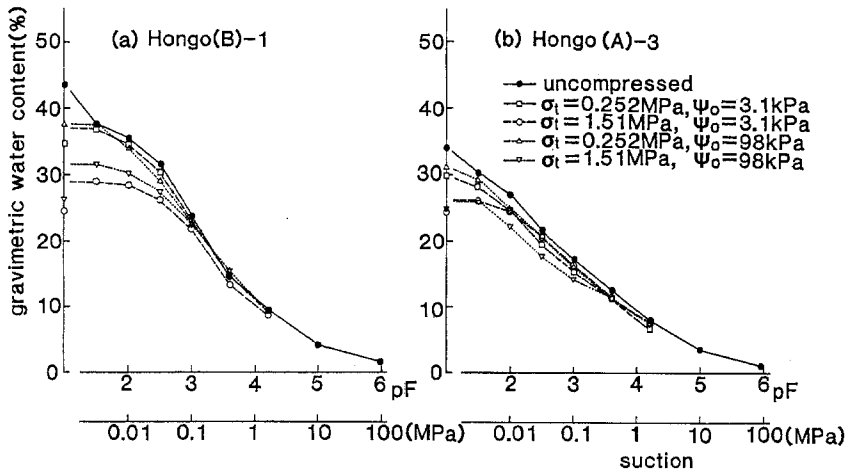


Fig. 6. Effects of compression on the soil water characteristic curves for Hongo(B)-1(topsoil, coarse-textured Gray Lowland soil) and Hongo(A)-3 soils (subsoil, coarse-textured Gray Lowland soil)<sup>11)</sup>.  $\sigma_t$ : applied stress;  $\psi_0$ : initial matric suction.

圧縮によって崩壊・消失する孔隙の径の範囲や圧縮後の飽和透水係数の違いは、土壤構造悪化の受けやすさの土壤間差異を反映したものと考えられる。このような孔隙径分布に関連する性質の圧縮による変化と、先行圧縮応力や圧縮指数などの体積変化に関するパラメータ (Table 3) との間には、しかし直接的な関係は見られなかった。すなわち、圧縮によって大きな体積変化を示す土壤ほど圧縮後の土壤物理性が悪いとは限らなかった。したがって、体積変化に加えて、孔隙径分布に関する性質の変化など土壤構造悪化の受けやすさの点からも土壤の圧縮されやすさを定義・評価する必要がある。

##### 5. 構造悪化の受けやすさに着目した土壤の圧縮感受性の評価

飽和に近い状態で排水を伴いながら土壤が圧縮される場合には、土壤の構造悪化の受けやすさは圧縮応力による土壤の間隙水圧の増大の点から評価することが可能である<sup>11)</sup>。

湿った、不飽和な土壤が圧縮応力  $\sigma_t$  によって圧縮されると、間隙内の空気は間隙空気圧が大気圧に等しくなるまで土壤から排除されるのに対し、間隙内の水 (土壤水) は間隙水圧  $u$  が  $u \leq 0$  の間は土壤中で再分配されるだけで排水は生じない。このため、 $u > 0$  となるに十分

なほど  $\sigma_t$  が大きければ、土壤はやがて水で飽和される。水で飽和した土壤からの排水をとまらぬ圧縮 (圧密) に対しては、次のTerzaghiの式が適用される<sup>21)</sup>：

$$\sigma_t = u + \sigma_o \quad (2)$$

ただし、 $\sigma_o$  は有効応力。圧密の進行とともに  $u$  は次第に減少し、圧密終了時には  $u = 0$ 、 $\sigma_t = \sigma_o$  の状態に達する。しかし、この定式化からは圧縮による土壤の孔隙径分布の変化についての情報は得られない。

ここで間隙水圧  $u$  は、土壤に圧縮応力が加えられることによる間隙水圧の増加を表わす重荷 (overburden) ポテンシャル  $u_p$  ( $\geq 0$ ) と、土壤マトリクスに対する水の親和性に起因するマトリック・ポテンシャル  $u_m$  ( $\leq 0$ ) の和として表しうることに注意すると、

$$u = u_p + u_m \quad (3)$$

[3] 式は圧縮終了時 ( $u = 0$ ) でも、 $u_p$  の値は必ずしも 0 にはならないことを示唆する。さらに、圧縮終了時のマトリック・ポテンシャル  $u_{m_f}$  と重荷ポテンシャル  $u_{p_f}$  の間には次の関係がある：

$$u_{m_f} = -u_{p_f} \quad (4)$$

Table 3. Effects of compression on volume and hydraulic conductivity of undisturbed paddy soils (from Katou *et al.*<sup>10</sup>).

Soil	Clay content (%)	Initial void ratio	Apparent (preconsolidation) pressure ( $\times 100\text{kPa}$ )	Compression index	Saturated hydraulic conductivity after compression ( $\text{cm s}^{-1}$ )
Ibaraki-1(topsoil) Andosol	31.8	3.04	<0.1	0.74	$6.5 \times 10^{-7}$
Saga-1(topsoil) Gray Lowland soil	37.7	1.32	1.5	0.33	$4.4 \times 10^{-8}$
Saijo-1(topsoil) Yellow soil	36.7	1.40	0.35	0.42	$1.9 \times 10^{-8}$
Hongo(A)-3(subsoil) Gray Lowland soil	2.0	0.90	2.1	0.22	$4.4 \times 10^{-6}$
Hongo(B)-1(topsoil) Gray Lowland soil	9.3	1.10	0.77	0.32	$1.4 \times 10^{-6}$

Initial suction = 3.1kPa(= pF1.5), applied stress = 1.51MPa(= 15.4kgf  $\text{cm}^{-2}$ ).

土壌がこのとき水で飽和しているならば、 $-u_{m_i}$ より小さい吸引圧 ( $u_{m_i}$ より大きいマトリック・ポテンシャル) で脱水される孔隙は存在しないはずなので、 $-u_{m_i}$  ( $=u_{p_i}$ ) は圧縮によって水分特性曲線が平坦化する吸引圧の上限に等しい。そこで、孔隙径分布の変化の受けやすさの点から、土壌の圧縮感受性  $\chi$  を次式で定義することができる<sup>11)</sup> :

$$\chi = u_{p_i} / \sigma_i \quad [5]$$

$\chi$  は圧縮応力に対する土壌の抵抗への骨格構造の寄与の小ささを表す値であり、きわめて堅固な非圧縮性土壌に対する値 ( $\chi=0$ ) から、骨格構造をまったく欠き、完全に水で飽和した圧縮性土壌に対する値 ( $\chi=1$ ) の間の値をとると予想される。

$\chi$  の値は、i) 圧縮試料と未圧縮試料の水分特性曲線を比較し、両者が合流する吸引圧  $\phi_{*w}$  から  $\chi = \phi_{*w} / \sigma_i$  として、または ii) 圧縮終了時の試料の含水比と未圧縮

Table 4. Susceptibility of undisturbed paddy soils to compression as evaluated from the changes of the soil water characteristic curves and from the final soil water suction in the compression process<sup>11)</sup>.

	Changes of soil water characteristic curve			Final soil water suction in the compression process		
	$\phi_{*w}$ (MPa)	pF value corresponding to $\phi_{*w}$	$\chi^a$	$w_f$ (%)	$\phi_{m_f}$ (MPa)	$\chi^b$
Ibaraki-1	0.16	pF 3.2	0.11	54.2	0.14	0.092
Saga-1	0.62	pF 3.8	0.41	35.9	0.39	0.26
Saijo-1	0.62	pF 3.8	0.41	26.5	0.55	0.37
Hongo(A)-3	0.031	pF 2.5	0.021	22.7	0.025	0.016
Hongo(B)-1	0.098	pF 3.0	0.064	22.8	0.087	0.058

Initial suction  $\phi_0 = 3.1\text{kPa}(=pF1.5)$ , applied stress  $\sigma_i = 1.51\text{MPa}(=15.4\text{kgf cm}^{-2})$ .

$\phi_{*w}$ : soil water suction above which soil water characteristic curves for compressed and uncompressed samples join each other;  $w_f$ : final water content of the soils in the compression process;  $\phi_{m_f}$ : final soil water suction corresponding to  $w_f$ .

<sup>a</sup> Calculated as  $\chi = \phi_{*w} / \sigma_i$ . <sup>b</sup> Calculated as  $\chi = \phi_{m_f} / \sigma_i$ .

試料の水分特性曲線とから圧縮終了時の試料の吸引圧  $\phi_{mf}$  を求め、 $\chi = \phi_{mf} / \sigma_t$  として得ることができる。前者の方法は  $\phi_{sw}$  の値は除圧後の膨潤によって影響されず、したがって  $\phi_{sw} = \phi_{mf} = u_{pi}$  であるとの仮定に、また後者の方法は吸引圧範囲  $\phi \geq \phi_{mf}$  には水分特性曲線に対する圧縮の影響が及ばないとの仮定にそれぞれもとづいている。

Table 4 には初期吸引圧  $pF1.5$ 、圧縮応力  $15.4 \text{ kgf cm}^{-2}$  の条件で圧縮した水田土壤について求めた  $\phi_{sw}$ 、 $\phi_{mf}$ 、および  $\chi$  の値を示した。圧縮条件が同じであっても  $\phi_{sw}$  や  $\phi_{mf}$  の値は土壤ごとに異なり、 $\phi_{mf}$  を通じて求めた  $\chi$  の値は  $0.016$  (粗粒質灰色低地土下層土) から  $0.37$  (細粒黄色土作土) の範囲にわたった<sup>11)</sup>。また、たがいに独立に求めた  $\phi_{sw}$  と  $\phi_{mf}$  の値は比較的良好一致した。このことは、圧縮によって消失する孔隙の径の範囲が、圧縮前の土壤水分特性曲線と圧縮終了時の土壤の含水比とから推定できることを意味する。

Fig. 7 は圧縮による土壤水分特性曲線の変化を模式的に示したものである。圧縮応力が増加するにつれて土壤の含水比は曲線Bに沿って変化し、圧縮応力  $\sigma_t$  のもとでは圧縮終了時の含水比  $w_f$ 、土壤水吸引圧  $\phi_{mf}$  にいたる。除圧後の吸水・膨潤により土壤はいくぶん体積を回復し、圧縮土壤に対する土壤水分特性曲線 (曲線C) は

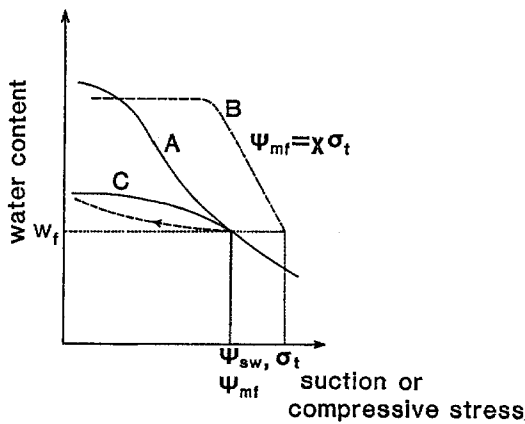


Fig. 7. Schematic illustration of the alteration of the soil water characteristic curves by compression<sup>11)</sup>. A: soil water characteristic curve for uncompressed soil; B: water content versus applied stress curve in the compression process; C: soil water characteristic curve for compressed soil.

未圧縮土壤の水分特性曲線 (曲線A) と吸引圧  $\phi_{sw}$  で合流する。理想的には  $\phi_{sw}$  は  $\phi_{mf}$  に等しく、 $\phi_{mf}$  は  $\phi_{mf} = \chi \sigma_t$  の関係によって土壤の圧縮感受性  $\chi$  に結びつけられる。

Fig. 8 にはこうして求めた  $\chi$  と圧縮後の土壤の飽和透水係数との関係を示した (初期吸引圧  $pF1.5$ 、圧縮応力  $15.4 \text{ kgf cm}^{-2}$ )。ここに示した水田土壤の例では  $\chi$  の値が大きいほど圧縮後の飽和透水係数が小さい傾向が明らかに認められた。また、このような大きな圧縮応力によって圧縮される場合には、 $\chi$  の値や圧縮後の透水係数は、圧縮前歴や圧縮の際の体積変化の大きさよりも土壤類型や土性の違いの影響をより強く受ける傾向があった。

$u = 0$  の条件をはずすと  $\chi$  は Croney and Coleman<sup>3)</sup> の load factor  $\alpha$  に等しくなる。load factor は土壤水の全ポテンシャルに対する重荷ポテンシャルの寄与を表わすために導入されたものであり、

$$\phi = \phi_0 + \alpha P \quad [6]$$

ただし  $\phi$  : 荷重による圧力  $P$  を受けているときの土壤水ポテンシャル、

$\phi_0$  : 荷重がないときの土壤水ポテンシャル。

Groenevelt and Bolt<sup>6)</sup> によれば、load factor は荷重による圧力  $P$  のもとの土壤の収縮曲線の勾配との間に次の関係がある :

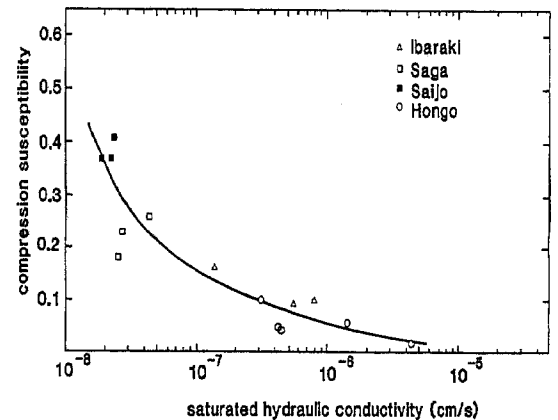


Fig. 8. Relationship between compression susceptibility and saturated hydraulic conductivity after compression for paddy soils (compressive stress =  $1.51 \text{ MPa}$ , initial suction =  $3.1 \text{ kPa}$ ).



$$\alpha(\theta, p) = p^{-1} \int_0^p (\partial e / \partial \theta)_{\theta=\theta} dp \quad [7]$$

とくに、Pが0に近づくときは、

$$\alpha(\theta, 0) = (\partial e / \partial \theta)_{p=0} \quad [8]$$

ただし、e : 土壌の間隙比、

$\theta$  : 土壌の体積含水比。

[7], [8]式によれば、正規収縮に近い収縮を示す土壌ほど $\alpha$ の値は大きい。Fig. 8に示した14種の土壌についてpF1.5~3.0の間の収縮曲線の平均勾配 $\Delta e / \Delta \theta$ と $\chi$ の値の関係を求めた結果<sup>11)</sup>では、 $\Delta e / \Delta \theta$ の方がやや大きな値を示す傾向があったものの、両者の間には1%水準で有意な正の相関があった。これらの結果から、正規収縮しやすい土壌ほど、孔隙径分布の変化の点からみれば圧縮による構造悪化を受けやすい土壌であると結論される。

## 6. おわりに

きわめて大きな圧縮応力を受ける場合を除けば、圧縮前の土壌の状態が生じる変形に大きな影響を与えうる。孔隙径分布およびそれに関連する性質の変化の点では、土壌を団粒化させて正規収縮にくい状態に保っておけば、圧縮の際の土壌構造悪化の軽減が期待される。圧縮の際の団粒のせん断破壊は土壌の水分飽和度に依存し、間隙水圧の変化を伴う<sup>13)</sup>。圃場における車輪のすべり等によるねり返しの影響とともに、不飽和状態における土壌構造の安定性を塑性変形に対する抵抗性の面から説明する必要がある。

他方、圧縮後の土壌構造の自然回復には膨潤・収縮作用の寄与が大きいとされている。圧縮時の構造悪化の受けやすさとこれらの自然回復作用との間の関係を明らかにすることも残された課題の一つである。また、深耕に代表される土層の物理的攪乱がもたらす影響を明らかにし、それが適切でありうる土壌条件を同定すること、さらに圧密層の形成による土壌の生化学的環境の変化と溶脱への影響等を解明することも、適切な土壌管理法の確立や土壌の資源的価値の維持のために重要と考えられる。

## 引用文献

- 1) Cannell, R. Q. 1985: Reduced tillage in north west Europe - review. *Soil Tillage Res.*, 5, 129-177
- 2) Carpenter, T. G., Fausey, N. R. and Reeder, R. C. 1985: Theoretical effect of wheel loads on subsoil stresses. *Soil Tillage Res.*, 6, 179-192
- 3) Croney, D. and Coleman, J. D. 1953: Soil moisture suction properties and their bearing on moisture distribution in soils. In *Proc. 3rd Int. Conf. Soil Mech. Foundation Eng.*, Vol. 1, p. 13-18
- 4) Davies, D. B., Finney, J. B. and Richardson, S. J. 1973: Relative effects of tractor weight and wheelslip in causing soil compaction. *J. Soil Sci.*, 24, 399-409
- 5) 土壌物理性測定法委員会(編) 1972: 土壌物理性測定法, p. 308-313, 養賢堂, 東京
- 6) Groenevelt, P. H. and Bolt, G. H. 1972: Water retention in soils. *Soil Sci.*, 113, 238-245
- 7) Hettiaratchi, D. R. P. 1987: A critical state soil mechanics model for agricultural soils. *Soil Use Manage.*, 3, 94-105
- 8) Hettiaratchi, D. R. P. and O'Callaghan, J. R. 1980: Mechanical behaviour of agricultural soils. *J. Agric. Eng. Res.*, 25, 239-259
- 9) Hillel, D. 1980: *Fundamentals of Soil Physics*, p. 357-360, Academic Press, New York
- 10) 石井和夫・徳永美治 1971: 土壌圧縮に及ぼすトラクタ走行の影響(第4報) 圧縮応力と最適含水比との関係. *土肥誌*, 42, 447-452
- 11) Katou, H., Miyaji, K. and Kubota, T. 1987: Susceptibility of undisturbed soils to compression as evaluated from the changes in the soil water characteristic curves. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 33, 539-554
- 12) 小財 伸・遅沢省子・久保田徹 1987: 「根生育非制限有効水分域」による熊本県主要畑土壌の物理機能評価. *土肥要旨集*, 33, 2
- 13) Larson, W. E. and Gupta, S. C. 1980: Estimating critical stress in unsaturated soils from changes in pore water pressure during confined compression. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 44, 1127-1132
- 14) Larson, W. E., Gupta, S. C. and Useche, R. A. 1980: Compression of agricultural soils from eight soil orders. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 44, 450-457
- 15) Letey, J. 1985: Relationship between soil physical properties and crop production. In *Advances in Soil Sci-*

- ence Vol. 1, Ed. B. A. Stewart, p. 277 - 294, Springer-Verlag, New York
- 16) 仲谷紀男・A. E. G. Dos Reis・加藤英孝・前田乾一  
1983: 圧縮が転換畑土壌の物理性に及ぼす影響. 土壌の物理性, 48, 2-7
- 17) Soane, B. D., Blackwell, P. S., Dickson, J. W. and Painter, D. J. 1981: Compaction by agricultural vehicles: a review. II. Compaction under tyres and
- 18) Soane, B. D., Dickson, J. W. and Campbell, D. J. 1982: Compaction by agricultural vehicles: a review. III. Incidence and control of compaction in crop production. Soil Tillage Res., 2, 3-36
- 19) Taylor, J. H., and Burt, E. C. 1987: Total axle load effects on soil compaction. J. Terramech., 24, 179-186
- 20) Taylor, J. H., Burt, E. C. and Bailey, A. C. 1980: Effect of total load on subsurface soil compaction. Trans. ASAE, 23, 568-570
- 21) Yong, R. N. and Warkentin, B. P. 1975: Soil Properties and Behaviour. p. 223-228, 318-321, Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam

### Summary

Increasing use of heavy machinery in intensive arable production has increased the probability of compaction and structural degradation of agricultural soils. Examples are given in this paper to show that relatively small increase in soil bulk density and small loss of air - filled porosity upon compaction could result in appreciable increase in mechanical resistance and serious deterioration of gas diffusion in the soils.

Volume change characteristics of soils under compressive stress are affected by soil water content as well as structural stability of the soils. It is stressed that the magnitude of the change in total porosity (or bulk density) of soils depends upon the previous history of compression and is not always a useful index of the soil physical state after the compression. Determination of soil water characteristic curves for compressed and uncompressed soils has revealed that even when soils with the same initial suction are compressed with the same magnitude of compressive stress, the size of the pores lost or collapsed differs significantly among the soils. Compression susceptibility  $\chi$  of soil is introduced to explain the different response of the soils in the alteration of pore size characteristics and defined as

$$\chi = u_{vt} / \sigma_t$$

where  $u_{vt}$  and  $\sigma_t$  are the overburden water pressure at the end of compression, and the applied stress, respectively. Soils which exhibit normal shrinkage over a wide range of water content have in general greater values of  $\chi$ , and are expected to be liable to structural damage by compression.

The need for research on the destruction of soil structure by shear forces as well as on the environmental consequence of soil compaction is briefly discussed.

(Soil Phys. Cond. Plant Growth, Jpn., 59, 7-16, 1989)

## 土の長期浸透現象について

古賀 潔\*

Some Phenomena in Prolonged Water Percolation through Soils

Kiyoshi KOGA

Faculty of Agriculture, Iwate University, Iwate

## 1. はじめに

土の透水性は基本的には水みちの大きさ、数と連続性によって決まる。透水性を経時的に変化させる内部機構としては、①飽和度の変化、②膨潤・分散、③微生物の消長、④充填密度の変化等が考えられる。またこれらの変化をひきおこす外部的要因としては、⑤水質、⑥水温、⑦荷重、⑧水理条件等があげられる。

著者は水田、溜池、アースダムなどの遮水層の耐久性を確認する目的で、締固め土の透水性の長期変動を室内実験によって調べている。本報では締固め土における①から③の現象についていくつかの実験例、および④についての解析例を紹介する。

## 2. 供試土

本報で用いた3種の粘質土の主な物理性を表-1に示す。戸沢粘土(A土壌と略記)は盛岡市近郊の草地の心土で、粘土およびシルト含量の高い残積土である。滝沢火山灰土(B, C土壌)はともに岩手大学滝沢農場の心土である。C土壌は砂分が多いが、B土壌より新しい堆積でアロフェンに富み火山灰土の性格がより強い。

試料は自然含水比から目的の締固め含水比( $w_m$ )まで乾燥して、内径10cmのモールド中につめ、ランマー<sup>1)</sup>を用いてJIS標準エネルギーで締固めた。これをモールドに入れたまま、乾燥を防ぎながら養生した後、下方か

表-1 供試土の理工学性

Properties of soil samples

試料名 Soil samples	戸沢 A Tozawa	滝沢(2) B Taki zawa	滝沢(1) C Takizawa
真比重 $G_s$	2.73	2.76	2.80
自然含水比 $w_f$ %	32.5	82.0	98.4
液性限界 $w_L$ %	59.2	97	145
塑性限界 $w_P$ %	26.8	66.6	78
塑性指数 $I_P$	32.4	30.4	67
最適含水比 $w_{opt}$ %	29.3	65	68
最大乾燥密度 $\rho_{dmax}$ g/cm <sup>3</sup>	1.46	0.916	0.847
粒径 $\sim 5 \mu\text{m}$	56.0	31.0	26.0
分 5 $\sim 74 \mu\text{m}$	29.5	54.3	12.6
分 74 $\sim 420 \mu\text{m}$	8.6	10.6	28.5
布 420 $\mu\text{m} \sim 2 \text{mm}$	5.9	3.7	30.2
% 2 $\sim 4.76 \text{mm}$	0.0	0.4	2.8
分散剤 (懸濁液 1000 mlあたり)	珪酸ソーダ 結晶溶液 20ml	ポリアルキルスルホン 酸ソーダ 2 ml	1N HCl 40ml
国際土壌学会法分類	LiC	CL	SCL
統一土質分類	CH	VH <sub>2</sub>	VH <sub>2</sub>

\* 岩手大学農学部 〒020 盛岡市上田三丁目18番8号  
土壌の物理性 第59号 P. 17~27 (1989)

ら毛管上昇飽和させて透水試験に供した。

### 3. 飽和度上昇に伴う透水性の変化

A土壌を  $w_m = 20.3\%$  ( $\ll w_{sp}$ ) で締固め、透水期間中に随時飽和度 ( $S_r$ ) と浸出水の電気伝導度 (EC) を測定した結果を図-1に示す。 $S_r$  の測定は25~100 cm $\cdot$ H<sub>2</sub>O 程度の水圧を供試体に加え、封入空気の圧縮量を測定する方法で行った。詳細は別報<sup>2)</sup>を参照されたい。供給水には煮沸脱気した逆浸透水\*を用い、実験は1.3℃の恒温水槽中で行った。 $S_r$  ははじめ急上昇し100%に漸近する。透水係数 ( $k$ ) の上昇は  $S_r$  の上昇とよく対応しているが、 $S_r$  が100%に達した後は直ちに低下に転じている。なお同様の測定をB土壌でも行っているが透水開始直後には  $k$  が停滞または減少する例もみられた。<sup>3)</sup>

以上のことから、 $k$  を低下させる何らかの現象が透水開始当初から存在し、初期には  $S_r$  上昇による  $k$  の押し上げ効果に隠されていたが、 $S_r$  が100%に達してその効果がなくなると、直ちに  $k$  の低下となって表れたものと考えられる。従来の研究を参考すると、このメカニズムは土の膨潤、分散によるものと考えられる。

### 4. 膨潤、分散、凝集と透水性の変化

膨潤、分散による  $k$  低下の機構<sup>4)</sup> は次のように考えられる。

① 膨潤による  $k$  の低下：団粒などの土塊の内部へ水が侵入し、土塊の体積を増加あるいはこれを崩壊させる。その結果、水みちとなっている土塊間の粗大な間隙が狭窄化する。膨潤は土塊内部と外部の間隙の溶質の濃度差により、ある程度時間をかけて進行するものと考えられる。

② 分散による  $k$  の低下：水みちに接する土粒子がもとの位置から離れ、主として水流により移動して水みちの狭窄部などに堆積して浸透を阻害する。また、膨潤は分散を促進する。

外国の塩類土壌の研究からは、土壌のNa吸着率 (ESP) および浸透水の塩類濃度が高い場合は膨潤の寄与が大きく、それらが低い場合は分散の寄与が大きいといわれている<sup>5)6)</sup>。ここでは、膨潤と分散のどちらが供試土の  $k$  を低下させる主要な原因であるかを検討した。

#### (1) 実験装置

3. で述べた押し下げ効果のみを取り出すためには、 $S_r$  を初めから100%にして実験をする必要がある。こ

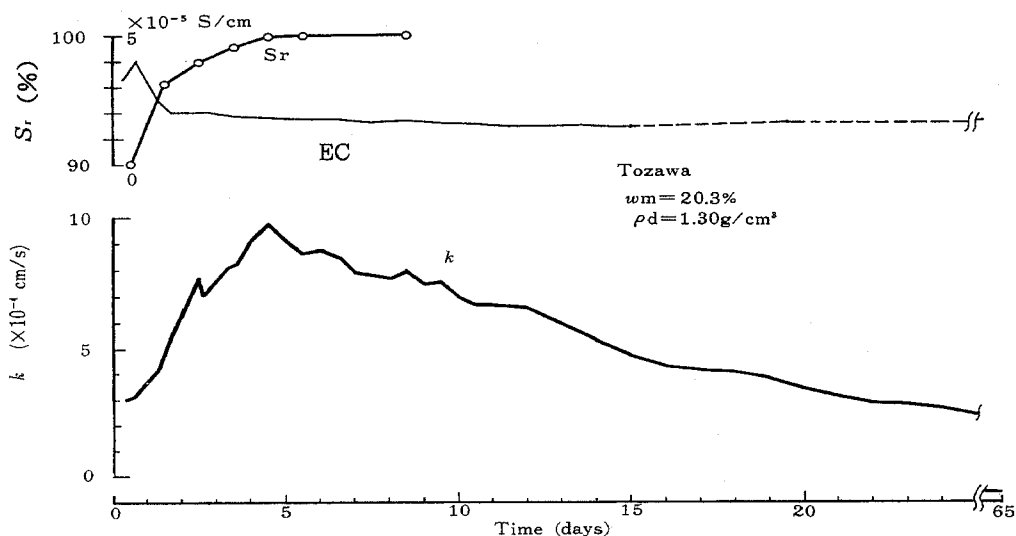


図-1 透水による  $S_r$ ,  $k$  の変化  
Variation of  $S_r$  and  $k$  during prolonged percolation

\* 水道水を濾過膜で精製したもので、蒸溜水よりやや不純物が多い水である。

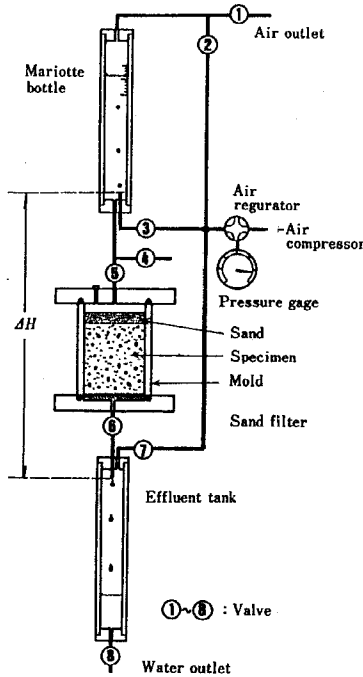


図-2 背圧装置付透水試験機

Permeability apparatus with back pressure

ここでは締固めた供試体に適した方法として、背圧を加える方法<sup>7)</sup>をとった。図-2の装置を用いて供試体全体を高圧のもとにおき、間隙空気を圧縮、溶解させる。この装置を用いると、大気圧のもとで  $S_r$  が85%以上の場合は  $7 \text{ kgf/cm}^2$  の背圧ではほぼ完全な飽和状態にすることができる。なお、図中の  $\Delta H$  は水頭差であり、透水中は一定に保たれる。

(2) 実験方法

A土壌を  $w_m = 25.3\%$  ( $< w_{opt}$ ) で締固め、2本の供試体を作製した。毛管飽和させた後、1本はそのままとし、他の1本は間隙体積と同量の  $0.5 \text{ N NaCl}$  水溶液を浸透させ、人工的な塩類土壌に変えた。これにより処理土の体積は1.5%膨張した。これらの供試体を前述の透水試験器に組み込み、背圧を  $7 \text{ kgf/cm}^2$  まで上昇させた。これにより  $S_r$  はほぼ100%になった。浸透水には超純水に殺菌剤としてクロラミンTを加えたものを用い ( $7 \times 10^{-5} \text{ mol/l}$ )、水頭差一定で透水実験(無処理土の動水勾配  $i=2.38$ ,  $\text{NaCl}$  処理土の  $i=11.65$ )を行った。実験は一定時間透水してから休止し、翌日の同時刻にまた一定時間透水する操作を繰り返す方法(間断透水と呼ぶ)とした。また、供試体を通じた浸出水のECも測定した。なお、供給水のECはおおむね  $8 \times 10^{-5} \text{ S}$

$\text{/cm}$ であった。

間断透水を行った理由は次のとおりである。

本項の冒頭で述べた説によれば、もし膨潤が  $k$  低下の原因であるとすれば透水休止期間中にも間隙の狭窄化が進行し、透水を再開した場合は  $k$  は図-3 aのように測定を中止した時より低い値から始まると予測される。また、分散が原因であるとすれば  $k$  の低下は透水時間中のみに限られ、図-3 bのような結果になると予測される。

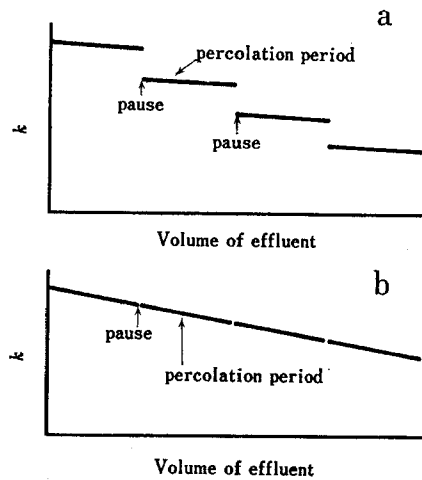


図-3 間断透水による  $k$  変動の予測  
Two estimated patterns of  $k$  change by the intermittent percolation

(3) 実験結果

図-4, 5に結果を示す。 $k$ の連続線は1回の透水を、また線間の不連続は透水休止中であることを表す。マリOTT瓶の目盛りの読み取りは透水開始後1, 5, 10, 15, ...分に行ったが、はじめの1分間には間隙水圧の変化など非定常的な現象が起きている可能性もあるので、図ではこの1分間のデータは除外してある。これらの図では  $k$  は対数目盛りでプロットしてある。従って、図上の縦方向の距離が  $k$  の低下割合を表している。なお、図-5の1.1 lに現れた急上昇は実験操作のミスによるものであるが、その後の経過に大きな影響は与えていない。

無処理土では、1回の透水による低下割合が大きい、休止による回復も大きい。この傾向は初期に顕著である。低下の割合は間断透水の回を重ねるにつれて減少してい

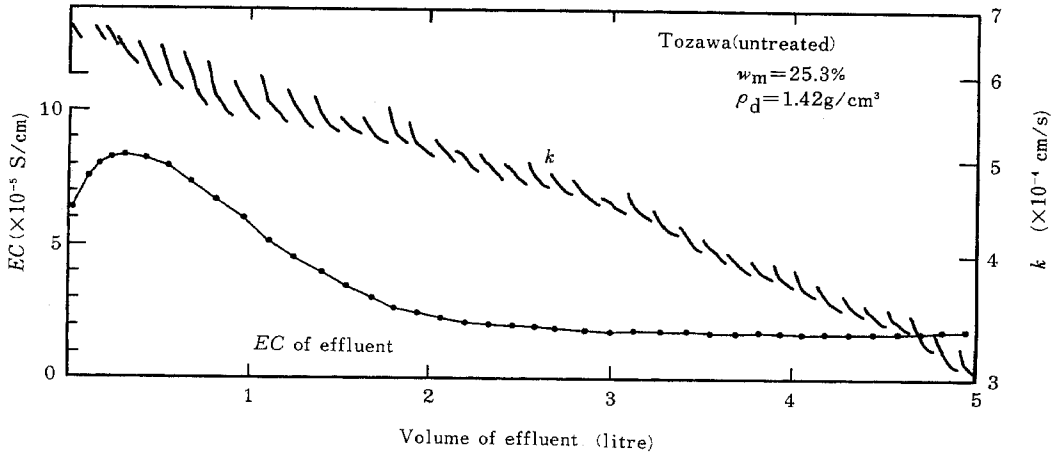


図-4 間断透水試験の結果 (無処理土)  
Result of intermittent percolation through untreated soil

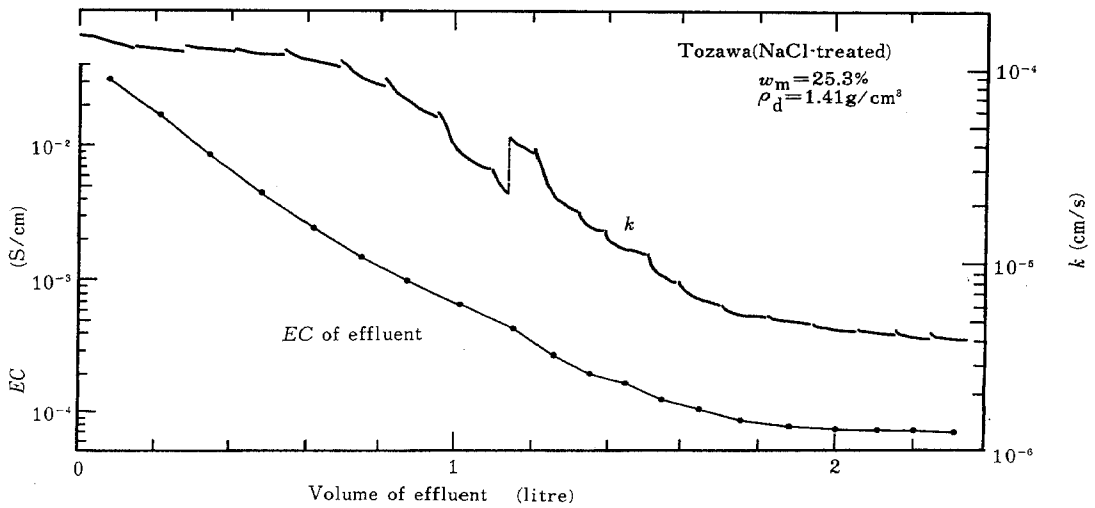


図-5 間断透水試験の結果 (NaCl-処理土)  
Result of intermittent percolation through NaCl-treated soil

くが、回復の割合も減少していくため、長期的に全体をみると $k$ は単調に低下している。一方、NaCl処理土は累積浸透量( $Q$ )が0.6~1.8 lの区間で $k$ の低下が激しく、また全体的に休止による $k$ の回復は少ない。透水実験終了後に供試体高さを測定し開始時の高さと比較したところ、無処理土では0.1%の圧縮、処理土では2.2%の膨張が認められた。なお両供試体とも全期間を通じて、浸出水中に粘土粒子などの懸濁物は認められなかった。

#### (4) 考 察

実験結果を図-3の予測と比べると、透水中の $k$ の低下という点では両供試体ともbと一致する。従って、いずれにも $k$ の低下に分散が大きく寄与した可能性がまず考えられる。

無処理土で表れた休止による $k$ の回復は予測しなかったことである。この回復の原因としては $S_v$ の増加はほとんど考えられないから例えば、透水中に水流によって機械的に分散され水みちの狭窄部などに移動して透水を阻害したり懸濁状態となって大きな粘性抵抗を生じていた土粒子が、休止中には凝集して沈降したり、周辺の土壁に固着して、透水を阻害する役割を減じたことが考えられる。すなわち、通常の粒度試験等において分散が不十分な場合には、攪拌している間は土粒子の凝集が妨げられて懸濁状態となるが、静置すると土粒子が凝集して早く沈降する。これに類似した現象が間隙中でも起こっているものと思われる。

そこで、無処理土の透水実験において土粒子は間隙水中で分散しやすい状態だったのか、凝集しやすい状態だったのかを検討するため、次の方法で分散試験を行った。まず、前述の無処理土と同じ条件で間断透水実験を行い、浸透流出水を採取し、保存した。次に無処理の土壌試料に加水してペースト状に練り、上述の浸出水とともに試験管に入れて振とうし、静置して凝集・分散の状態を経時観察した。また、最後に試験管中の試料を円心分離して上澄み液のECを測定した。その結果 $EC=9\sim 2\times 10^{-5}S/cm$ では土粒子の大部分は8分以内に凝集沈降し、4時間以内に上澄みはほとんど透明になった。このことから $k$ の低下は物理化学的には凝集しやすい環境の中で進行していたことが明らかとなった。従って、 $k$ の低下の原因は水流による機械的な分散であり、休止による回復は土粒子の凝集によるという前述の考察を支持する結果が得られた。

一方、NaCl処理土の $k$ は、透水開始当初から無処理土の4分の1と低かった。これはNaCl置換中の膨潤によるものと考えられる。また、 $k$ の顕著な低下が0.6 l付近から突然始まったのは間隙水中のイオン濃度の低下

の影響が表れたためと考えられる。そこで、透水実験終了後の供試体から採取した試料と各種の濃度に調製したNaCl水溶液を用いて無処理土と同様の観察を行った。その結果、 $k$ の急低下が始まった $EC=5\times 10^{-3}S/cm$ に対応する試験管では、4分で大部分の土粒子が沈降し、30分後には上澄みはほとんど透明になった。上澄みの濁りが8時間以上継続するようになるのは $EC=1\times 10^{-4}S/cm$ 以下になってからであり、図-5では1.6 l以降の段階に対応する。このことから $k$ の低下は処理土においても凝集しやすい環境で進行していたことがわかる。それにも関わらず、処理土では無処理土のような休止による $k$ の顕著な回復がみられなかったことから、処理土の $k$ 低下に対する分散の寄与は小さかったものと考えられる。従って処理土の $k$ が透水中に低下した原因としては、膨潤および団粒の崩壊が考えられる。しかし、実験結果は膨潤について立てた図-3 aの予測とも異なる。従って、膨潤が予想より急速で透水中の短時間(例えば7回目、0.8~0.9 l区間は40分)にほぼ完了したことも考えられるが、浸透流により団粒の崩壊が促進されたことが $k$ 低下の主要な原因であると判断した。

#### 5. 微生物活動が透水性に与える影響

ここでは微生物活動による $k$ の低下はどの程度か、またその活動の条件を温度と栄養の面から検討した。

##### (1) 微生物の活動が顕著に表れた例

C土壌を最適含水比で締固めて2本の供試体を作製した。毛管上昇飽和の後、室温(22°C)のもとで1本には超純水、もう1本には0.1%砂糖水を浸透させた。その結果は図-6のように前者の $k$ は緩やかな上昇→急上昇→平衡の経過を示したのに対し、後者の $k$ は初めから急低下し最後にはガスを発生するに至った。

##### (2) 「温度のみ良好」、「温度・栄養とも良好」の比較

B土壌を締固めて( $w_m=73.9\%>w_{op}$ )、毛管上昇飽和の後恒温槽中で脱イオン水を浸透させた。温度ははじめの9日間までは21°C、9日以降は1.3°Cに切り替えた。 $k$ が平衡した後95日目に温度を21°Cに上げたところ、図-7のように $k$ の不連続は生じたがその後の動きには変化が認められなかった。なお、図中の1.3°Cの $k$ は粘性の温度補正を行って21°Cに換算してある。上述の不連続の原因は不明であるが、モールドの熱膨張により供試体との間に隙間ができた可能性がある。また、9日目の不連続は封入空気の熱収縮により水みちが拡大したためと思われる。次に、179日目に供給水を0.1%砂糖水に切り替えたところ、 $k$ は1週間後から明確に低下

した。

(3) 栄養のみが良好な場合

A土壌を締固めて ( $w_m = 19.5\% < w_{opt}$ ), 毛管上昇飽和の後1.3°Cの恒温槽中で脱イオン水(クロラミン

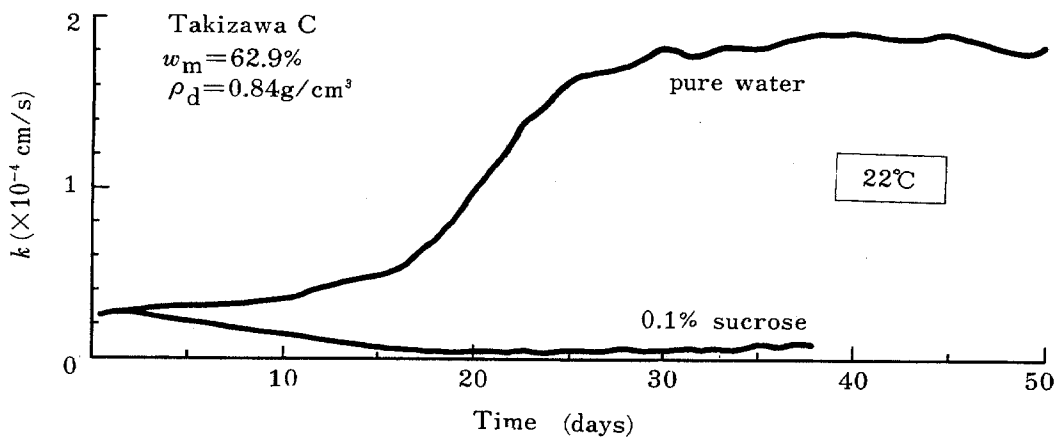


図-6 微生物による透水性低下の一例  
A typical reduction of  $k$  by microorganisms

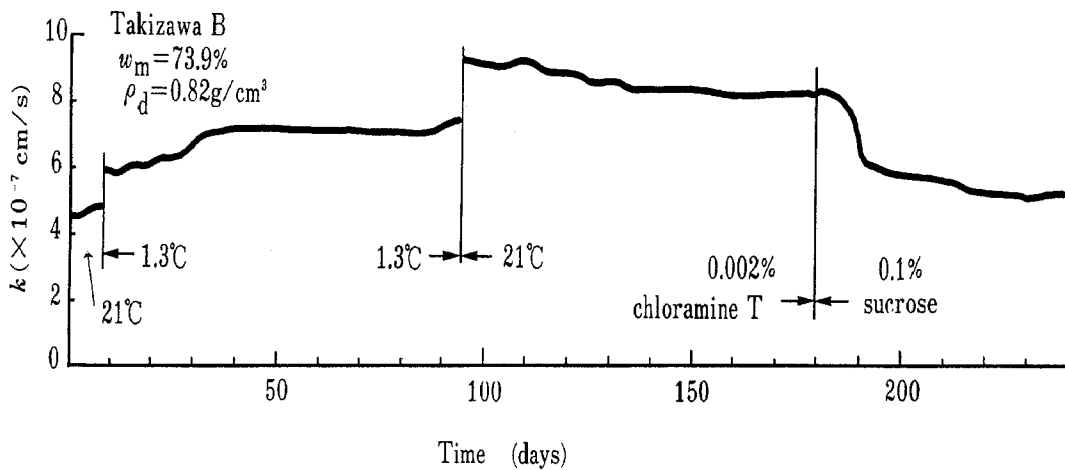


図-7 温度、栄養条件が  $k$  に与える影響  
Effect of temperature and nutrition on  $k$



を添加)を浸透させた。図-8に示すように $k$ は急増した後、急低下して、70日目以降はほぼ平衡した(この急増は $S_r$ の上昇、急低下は土粒子の分散によると考えられる)。そこで107日目に供給水を0.1%砂糖水に切り替えたが、切り替えた後の $k$ は、切り替え前にも認められたきわめて緩やかな低下傾向の延長線上の変化にとどまった。

以上1)~3)の実験例はいずれも有機物が乏しい心土であるが、その量や質は異なるであろう。また微生物

そのものの検討を行っていないので、十分な考察はできないが、これらの結果をまとめると表-2のようになる。

表から、 $k$ の低下は温度と栄養の2つの条件がそろったときに生じていることがわかり、これはGupta<sup>8)</sup>が砂で得た結果と一致している。また、逆に低温または栄養を絶つことにより微生物活動はかなり抑制できることもわかった。浸透の純粋に物理的側面を研究する際には参考となろう。

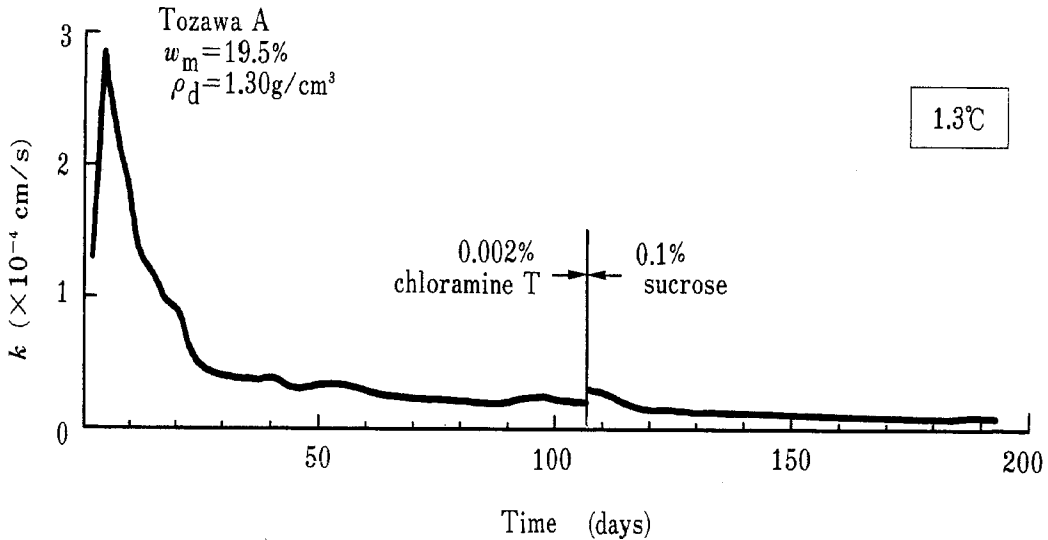


図-8 低温条件下での栄養の効果  
Effect of nutrition on  $k$  under low temperature

表-2 温度、栄養条件と透水性の変化  
Effect of temperature and nutrition of influent water on the variation of permeability

試料	A	A	B	B	B	C	C
温度条件	×	×	×	○	○	○	○
栄養条件	×	○	×	×	○	○	×
$k$ の変化	→	→	→	→	↓	↓	→

○: 良好, ×: 不良      ↓: 低下, →: 不変

6. 透水による圧密と透水性の変化

浸透水は土粒子に対し流れの方向に力を及ぼす。この力は透水力、浸透水力<sup>9)</sup>等と呼ばれる。この力が十分大きい場合は土の骨格が圧縮される。この現象は浸透圧密<sup>10)</sup>と呼ばれる。締固め土についての実験結果は別報<sup>11)</sup>を参照されたい。ここでは筆者が最近誘導した圧密方程式<sup>12)</sup>を用いて、水田の代かき土壌の圧密による透水性の変化をシミュレートした結果を示す。

(1) 圧密方程式

土層厚の変化および土粒子の自重を考慮にいれ、公称ひずみで表現した圧密方程式は次式で表される。

$$\frac{\partial \bar{\varepsilon}}{\partial t} = c_{v_0} \cdot \frac{\partial^2 \bar{\varepsilon}}{\partial z_0^2} + \frac{dc_{v_0}}{d\bar{\varepsilon}} \cdot \left( \frac{\partial \bar{\varepsilon}}{\partial z_0} \right)^2 - \frac{\gamma_0'}{\gamma_w} \cdot \frac{dk_0}{d\bar{\varepsilon}} \cdot \frac{\partial \bar{\varepsilon}}{\partial z_0} \dots\dots(1)$$

ここで、 $\bar{\varepsilon}$  : 公称ひずみ  
 $t$  : 時間  
 $z_0$  : 原始座標 (圧密前に土層上端からとった距離。これに対し圧密中、圧密後の距離は流動座標  $z$  と呼ぶ)

$c_{v_0}$  : 圧密係数,  $c_{v_0} = \frac{k_0}{\gamma_w \cdot m_v}$

$k_0$  : 原始座標による透水係数

$m_v$  : 体積圧縮係数,  $m_v = \frac{d\bar{\varepsilon}}{d\sigma'}$

$\sigma'$  : 有効応力

$\gamma_0'$  : 圧密前の土の水中単位体積重量

$\gamma_w$  : 水の単位体積重量

公称ひずみとは圧縮中の土層各部の層厚が圧縮前 (初期状態) と比べて減少した割合で、分数ひずみとも呼ばれる。上式で  $\bar{\varepsilon}$ 、 $c_{v_0}$ 、 $k_0$ 、 $m_v$  は  $z_0$  と  $t$  の関数である。 $k_0$  はこれまで述べてきたように種々の要因で変化するが、ここでは圧縮による変化にのみ注目して  $k_0 = f(\bar{\varepsilon})$  として扱う。

圧密中の土層全体の透水性は層下端における浸透流速  $v_{0.01}$  で評価され、これは次式で表される。

$$v_{0.01} = \left[ c_{v_0} \cdot \frac{\partial \bar{\varepsilon}}{\partial z_0} - \frac{\gamma_0' \cdot k_0}{\gamma_w} \right] \dots(2)$$

$z_0 = H_0$

ここで、 $H_0$  は初期土層厚さである。

(2) 係数の決定

(1)式を解くためには①土の応力とひずみの関係、②透水係数とひずみの関係が必要であり、ここでは足立<sup>13)</sup>の室内代かき実験の結果からこれらの関係を求めた。その結果、沖積粘土質土壌の圧縮性と透水性を次式で近似することとした。

$$\sigma' = 0.003182 \cdot [\exp(4.583 \bar{\varepsilon}) - 1] \quad (\text{kgf/cm}^2)$$

(1 kgf/cm<sup>2</sup> = 98.1 kN/m<sup>2</sup>)

$$k_0 = 1.852 \times 10^{-6} \cdot \exp(-5.506 \bar{\varepsilon}) \quad (\text{cm/s})$$

(3) 計算方法

計算は代かき層の初期厚さを10cm、湛水深を3cmとし、代かき層下端の水圧が0cm・H<sub>2</sub>Oとした場合 (ケース1)、代かき層下端の水圧が13cm・H<sub>2</sub>Oとした場合 (ケース2)、およびケース1において  $\gamma_0' = 0$ とした場合 (ケース3) について行った。ケース1は浸透圧密と自重による圧密が複合した場合であり、ケース2は自重のみによる場合であり、ケース3は浸透圧密のみの効果をみるために設定した仮想的な場合である。

(4) 計算結果と考察

ケース1の圧密過程の計算結果を図-9に示した。沈下および透水性の低下は約20日にわたって進行する。また、圧密終了後の土層中の乾燥密度  $\rho_s$  の分布は図-10に示すように、上端で粗、下端で密となり透水係数  $k$  の分布もこれに対応する。図には足立による  $\rho_s$  の測定結果も示してあるが、計算結果はこれによく一致している。

ケース2、3については時間-沈下曲線のみを図-9に記入し、おもな結果を表-3にケース1とともに示した。同表でわかるとおりこの例の場合、沈下、透水性低下への寄与は、浸透圧密の方が自重圧密よりも大きいことがわかる。この計算例より湛水深が増加したり土層底面の水圧が減少する場合は浸透圧密の効果はさらに増加することになる。

表-3 定常状態の計算結果の比較  
 Comparison of the three cases

項目	Case 1 自重+浸透	Case 2 自重のみ	Case 3 浸透のみ
Settlement cm	2.11	1.01	1.68
Water velocity 10 <sup>-7</sup> cm/s	6.26	0.00	8.17
Mean $k$ 10 <sup>-7</sup> cm/s	3.80	9.19	5.23
$\bar{\varepsilon}$ on bottom %	40.3	17.8	35.5

注) 初期状態の透水係数は  $18.5 \times 10^{-7}$  cm/s  
 Case 1: self weight + seepage force  
 Case 2: self weight, Case 3: seepage force

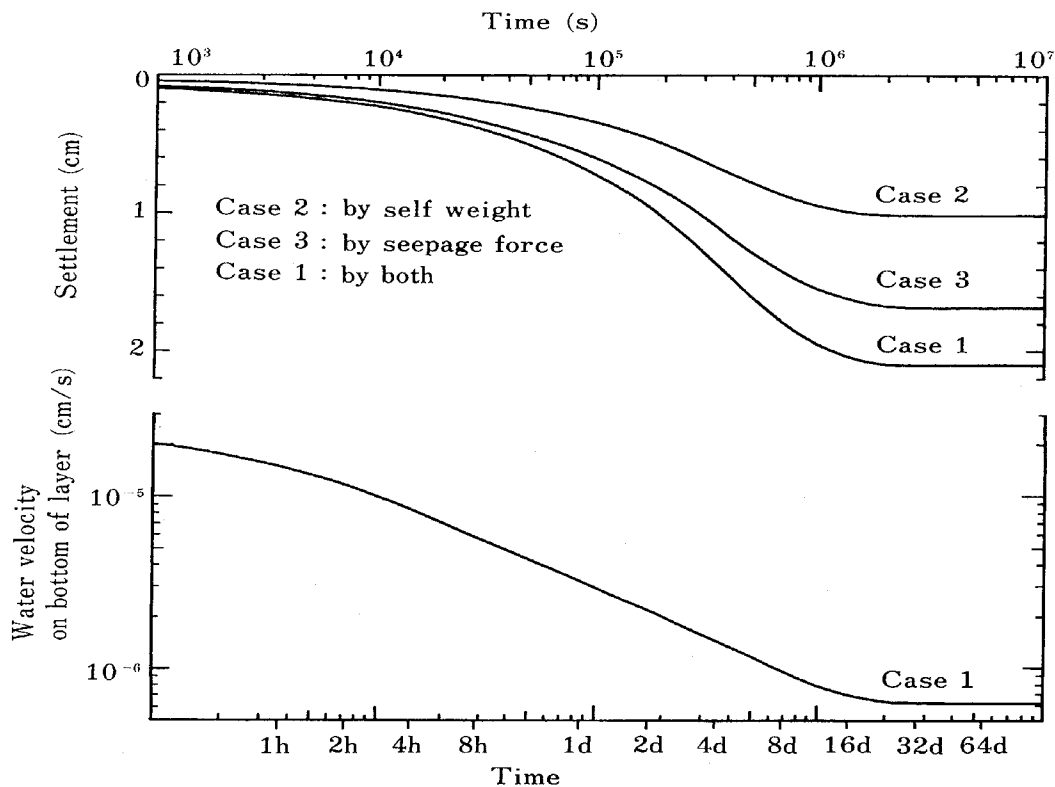


図-9 代かき土の時間-沈下, 流速曲線  
Time-settlement curves and time-velocity curve of puddled soil

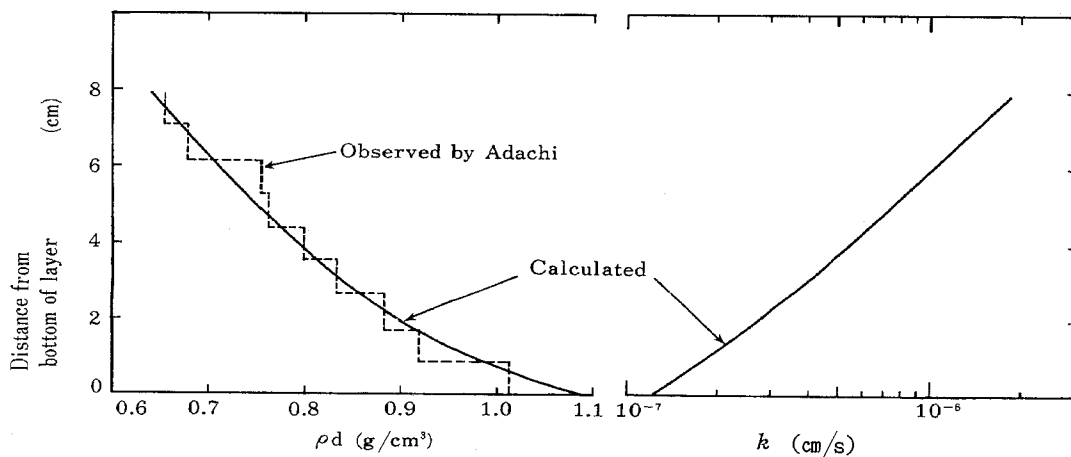


図-10 圧密終了後の  $\rho_d$ ,  $k$  分布 (ケース1)  
Distribution of  $\rho_d$  and  $k$  after the completion of consolidation by self weight and seepage force

## 7. おわりに

本報では長期間の浸透による土の透水性の変化について、その機構を極力分離して示すことをねらった。ここで紹介した実験例は準飽和の締固め土に限られており、乾湿の繰り返しや亀裂、根孔などに特徴づけられる不均一性の水みちでおこなわれる、実際の農地の長期浸透問題とはかなりの隔りがある。また締固め土に限っても、その構造や透水性は締固め含水比によって激しく変化することを念頭におく必要がある。

しかし、現地調査や室内実験の透水性の計測は通常短時間に限られ、それらの結果から長期的予測を求められることもあろう。本報が参考になれば幸いである。

研究の遂行にあたり、農業工学研究所の足立一日出氏には実験データの利用を快諾していただいた。また、岩手大学徳永光一教授には種々助言、激励をいただき、1983～88年度の卒業研究専攻生諸氏には実験遂行と取りまとめに多大な協力をいただいた。記して感謝の意を表します。

## 参 考 文 献

- 1) 古賀 潔：新型突固め装置の開発とその評価，土質工学会論文報告集，Vol. 27, No. 2, pp. 118-122 (1987)
- 2) 古賀 潔：透水による封入空気の減少と透水係数の変動：農土論集，No. 131, pp. 69-77 (1987)
- 3) 古賀 潔：透水係数の長期変動について，農土論集，130, pp. 61-67 (1987)
- 4) Park, C.S. and O'Connor, G.A. : Salinity effects on hydraulic properties of soils, Soil Science, Vol. 130, pp. 167-174 (1980)
- 5) Frenkel, H., Goertzen, J.O. and Rhoades, J.D. : Effects of clay type and content, exchangeable sodium percentage, and electrolyte concentration on clay dispersion and soil hydraulic conductivity, Soil Sci. Soc. Am. Jour., Vol. 42, pp. 32-39 (1978)
- 6) Pupsky, H. and Shainberg, I. : Salt effects on the hydraulic conductivity of a sandy soil, Soil, Sci. Soc. Am. Jour., Vol. 43, pp. 426-433 (1979)
- 7) Bjerrum, L. and Huder, J. : Measurement of the permeability of compacted clays, Proc. 4th Int. Conf. Soil Mech. Found. Eng. 1, London, England, pp. 6-8 (1957)
- 8) Gupta, R.P. and Swartzendruber, D. : Flow-associated reduction in the hydraulic conductivity of quartz sand, Soil Sci. Soc. Am. Proc. 26, pp. 6-10 (1962)
- 9) 吉田昭治：浸透水力について，土質工学会論文報告集，Vol. 14, No. 1, pp. 89-94 (1974)
- 10) Imai, G. : Development of a new consolidation test procedure using seepage force, Soils and Foundations, Vol. 19, No. 3, pp. 45-60 (1979)
- 11) 古賀 潔：浸透圧密した土（定常状態）の解析について，昭和63年度農土大会要旨集，pp. 302-303 (1988)
- 12) 古賀 潔：三笠型一次元圧密方程式についての2, 3の考察，土質工学会論文報告集，Vol. 29, No. 2, pp. 196-201 (1989)
- 13) 足立一日出：代かきによる浸透抑制効果の実験的研究，農土論集，Vol. 135, pp. 1-8 (1988)

## ABSTRACT

The factors which change the permeability ( $k$ ) of soils was examined on three compacted inorganic cohesive soils.

During prolonged percolation the degree of saturation ( $S_r$ ) was measured by a back pressure method developed by the author. On an initial stage, the water percolation induced a rapid increase in  $S_r$  and  $k$ , but when  $S_r$  reached 100%  $k$  began to decrease immediately. This phenomenon suggested that there was a factor which decreased  $k$  at the beginning of percolation.

An intermittent percolation method was adopted to examine the contribution of dispersion and swelling to the reduction of  $k$ .  $k$  of untreated soil specimen decreased during the period of percolation, but it recovered with the pause of percolation. The reason of this reversibility of  $k$  might be attributed to the flocculation of soil particles which had been dispersed by water flow during the percolation period. Whereas the reversibility of  $k$  of 0.5N NaCl-treated specimen was not significant. The reduction of  $k$  of NaCl-treated specimen might be mainly caused by swelling and/or

destruction of aggregates.

The reduction of  $k$  by microorganisms was significant when nutrient matter was dissolved in influent water and the temperature was 21°C, but it was not so in the case of no nutrient and/or 1.3°C.

The reduction of  $k$  which followed consolidation by self weight and/or seepage force was calculated using a new equation of one-dimensional consolidation. The effect of seepage force was superior to that of self weight in the case that simulated the experimental results of puddled soil performed by Adachi.

(Soil phys. Cond. Plant Growth, Jpn., 59, 17-27, 1989)

## 近赤外反射分光法による土壤水分の定量分析

谷山 一郎\*  
芝山 道郎\*

Soil-Water Determination by Near-Infrared  
Reflectance Spectroscopy with Fiber Optics

Ichiro TANIYAMA  
Michio SHIBAYAMA

National Institute of Agro-Environmental Sciences

## 1. はじめに

土壤水分を低水分から高水分域まで、非破壊的に連続して測定できる方法は限られている。さらに、その測定値はさまざまな要因による影響を受け、正確な値を求めるには煩雑な手段を要する<sup>1)</sup>。

そうした中で、Bowersら<sup>2)</sup>は、1965年に近赤外反射法による土壤水分測定を試みた。しかし、当時は破壊測定しかできず、測定装置が大型かつ高価であり、土壤の粒径や有機物含量の影響を受け、測定精度が低いことなどからその後は省みられていなかった。近年、分光光度計の精度の向上、小型化などにより、食品、セメントおよび石炭など工業プロセス分野においては、粉体表面の水分測定に近赤外反射法が有効と認められるようになった<sup>3), 4)</sup>。また、光ファイバーの開発などエレクトロニクス関連技術の進歩にともない、医用機器分野では光ファイバーを使用した接触式の表面測定が行われるようになった<sup>5)</sup>。土壤分野では、Alessiら<sup>6)</sup>が、発光ダイオードを光源とし、土壤水分と平衡させたガラスビーズの屈折率の変化による可視光量の増減を光ファイバーを通して光度計で読み取り、土壤水分を測定しようと試みた。最近では赤外光を透過する光ファイバーが開発され<sup>7)</sup>、直接、土層中の水分測定が可能となった。

筆者らは、芝山ら<sup>8)</sup>が野外における中赤外スペクトル測定のために開発した赤外分光光度計を利用して、土壤水分測定の可能性について検討をおこなってきた。その

結果、土層中水分の定量が可能であるとの見通しを得た<sup>9), 10)</sup>。ここでは、近赤外反射分光法による土壤水分測定の原理、装置、測定上の問題点およびこれからの研究や開発方向について紹介する。

## 1. 測定原理

分子を構成している原子は、絶えず平衡位置の周りを振動している。さらに、一定波長の光を吸収することにより、原子対間の振動エネルギーを増加させる。吸収した光の周波数は分子振動の周波数と等しく、この吸収を基準振動による吸収という<sup>10)</sup>。

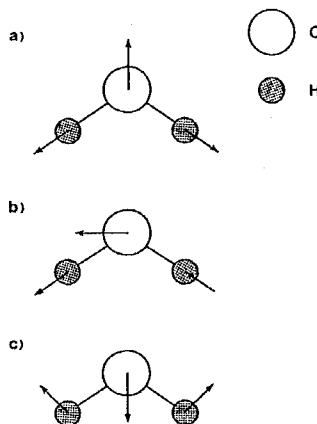


図-1 水分子の基準振動<sup>10)</sup>

a) 対称伸縮振動, b) 逆対称伸縮振動,  
c) 変角振動

Normal mode vibration of a water molecule.  
a) symmetrical stretching vibration, b) reverse symmetrical stretching vibration, c) deformation

\* 農業環境技術研究所 〒305 つくば市観音台3-1-1  
土壤の物理性 第59号 P. 29~34 (1989)

水の場合、図-1に示したように、基準振動にはH-O結合が同時に伸縮する対称伸縮振動、逆位相で伸縮する逆対称伸縮振動および結合角が増大したり減少したりする変角振動がある。伸縮振動の基準振動による吸収波長は3 $\mu$ m、変角振動の基準振動では6 $\mu$ m付近にある。近赤外領域では、基準振動の波数の2倍、3倍(波長では1/2、1/3)近くに生ずる倍音振動(1.45や0.97 $\mu$ mなど)と、基準振動間および倍音振動間の結合振動による吸収(1.94や1.19 $\mu$ mなど)がある(図-2)<sup>11)</sup>。これらのうち、土壌水分の測定では2 $\mu$ m以上の吸収は強度が強すぎ、1.2 $\mu$ m以下の吸収は強度が弱いため、1.94 $\mu$ mの結合音か1.45 $\mu$ mの倍音による吸収を利用するのが適当である。一般には、多水分の測定には1.45 $\mu$ m、少水分には1.94 $\mu$ mの吸収が利用される。

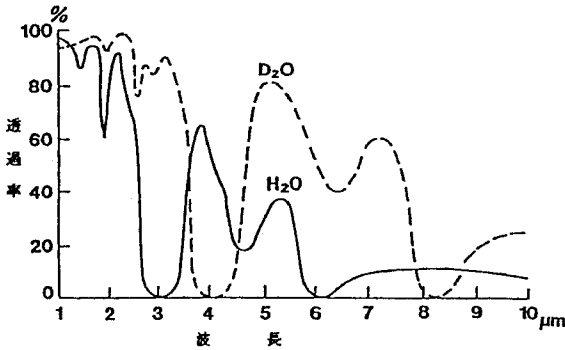


図-2 水の赤外吸収スペクトル(厚さ0.042mm)<sup>11)</sup>  
Infrared absorption spectra of H<sub>2</sub>O and D<sub>2</sub>O.  
(Thickness of layer : 0.042mm)

近赤外反射光の測定には、反射スペクトル法、拡散反射法、高感度反射法およびATR法などがあるが、土壌水分の測定には反射スペクトル法が用いられる。反射スペクトル法の反射光は物体表面の乱反射光と拡散反射光が混合したものであり、理論的解析が不可能であるとともに、差スペクトルによる定量化が困難である。そこで、データの統計的処理によって定量化をおこなう必要がある。

2. 測定装置と信号処理

近赤外反射光の測定において、基礎的なデータを得るには、ベックマン社製ダブルビーム積分球式分光光度計UV-5240を、光ファイバーを用いた測定には、農業環

境技術研究所計測情報科で開発中の赤外分光光度計を使用して、0.7から2.5 $\mu$ mまでの反射スペクトルを得た。

図-3に、土壌水分測定用の赤外反射光測定装置の構成の概略を示した。この装置は、赤外光を発生する光源部、光を土壌表面、または反射光を分光光度計に導く光ファイバー部、分光光度計、そして分光光度計全体を制御し、スペクトルを記録するパーソナルコンピュータを使用した制御部からなる。

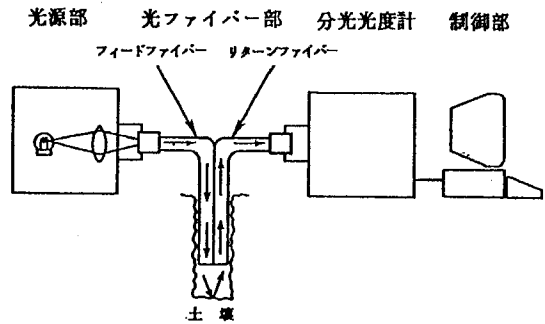


図-3 光ファイバー装着型赤外反射分光光度計の構成図

Block diagram of infrared reflectance spectrophotometer with fiber optics.

光源にはハロゲンランプを用いた。光ファイバーは住田光学社の石英ガラス製で長さ150cm、一本の直径50 $\mu$ mの素線を数百本束ねた直径0.5mmのもので、光を光源から土壌表面に導くフィードファイバーには12本、反射光を分光光度計へ伝達するリターンファイバーには6本束ねたものを使用した(図-4)。ファイバーケーブル先端の外側にフィードファイバーを、それに取り囲まれるような形で内側にリターンファイバーを配置した。ウレタン緩衝材でファイバー間を充填し、外側をステンレスのカバーで覆い、さらにその外側にプラスチック製のガイドを装着した。

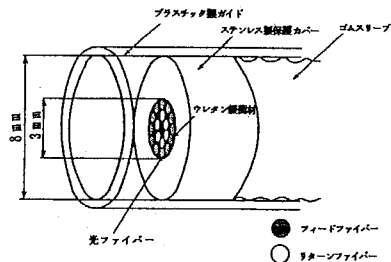


図-4 光ファイバー先端部の構造  
Structure of the optical fiber's top.

この光ファイバーの近赤外光の透過スペクトルを図-5に示した。透過率は近赤外領域全体で75%以上、水分測定に必要な1.4から2 $\mu\text{m}$ では90%以上であり、土壌水分の測定に支障はない。

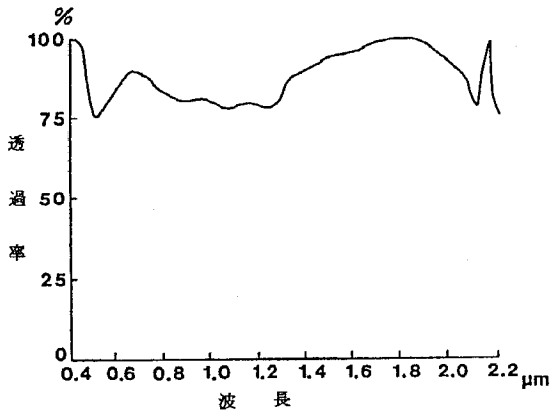


図-5 光ファイバーの透過スペクトル

Transmittance spectrum of the optical fiber.

光ファイバー先端部と土壌の距離は2から3mmで最も高い反射率が得られ、測定誤差が少なかった(図-6)。反射光の測定において土壌表面の乱反射の影響を避けるには、土壌表面に光ファイバーを密着させるのが望ましいが、その場合、反射光量が少なく、測定誤差が大きくなる。光源の光量を増加させれば、ある程度この問題は解決するが、次に述べる輻射熱による土壌温度上昇の問題が新たに持ち上がる。

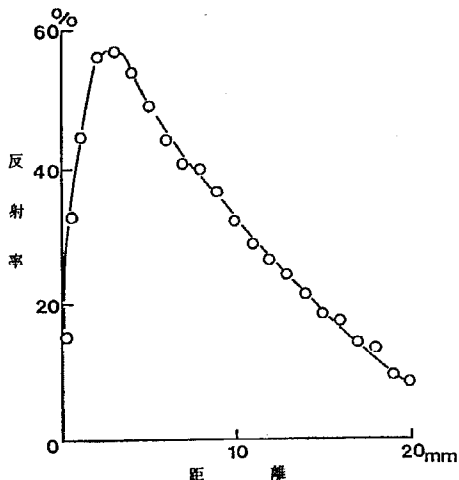


図-6 光ファイバー先端部-土壌間の距離と1.94 $\mu\text{m}$ の反射率の関係

Percent reflectance vs. distance between soil surface and top of optical fiber.

光源の光強度が強いとその輻射熱によって、土壌表面温度が上昇する。図-7は光ファイバーからの出射光の強度が、pF2水分の腐植質黒ボク土の表面温度に及ぼす影響の時間変化をみたものである。2.3mWではほとんど土壌表面の温度変化はないが、8.8mWでは、3秒で2 $^{\circ}\text{C}$ の上昇を示した。

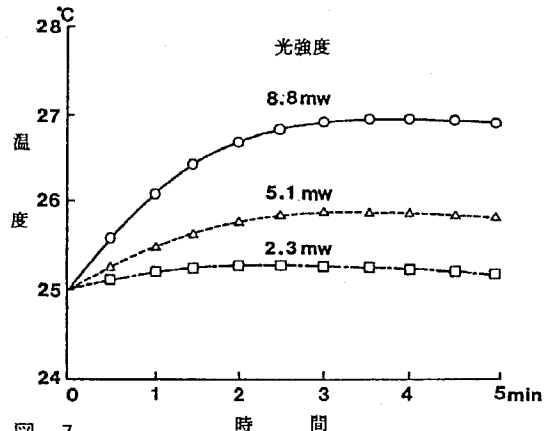


図-7

Effect of light intensity at the optical fiber's top on soil surface temperature.

土壌表面温度の上昇は土壌水分の変化をもたらすと考えられるので、極力温度上昇を避けることが望ましい。したがって、この光ファイバーの場合、光強度を3mW以下に抑えるか、照射時間を短くすることが必要である。この中間赤外分光光度計では、一回の測定に5秒程度の時間が必要である。しかし、最近熱線吸収フィルターを内蔵した冷光源が開発されており、この装置の利用が有効と考えられる。

繰り返しの測定精度は高く、11回の繰り返して、土壌水分が最大容水量のとき、1.94 $\mu\text{m}$ での反射率の相対標準偏差、1.3%というのが最も大きい値であり、そのほかの場合は1%以下であった。

得られるデータの精度を向上させるには、分光光度計の性能を改良する方法と出力信号に処理をおこなう方法とがあり、ここでは後者を採用した。スペクトル信号をパーソナルコンピュータに取り込み、適応化平滑化法により信号の雑音を除去し、ピークを検出した。さらに、必要があれば、波形の歪をガウス・ザイデル法で補正し分離をおこなった<sup>13)</sup>。これは、水分が少なく、水以外の吸収ピークが近くに存在する場合に有効であるが、今回、使用する機会が少なかった。食品成分の定量の際には、変数としてスペクトルの微分係数が使われることがある。しかし、水のように吸収ピークが大きい場合には、ピークの高さで十分である。



## 3. 測定上の問題点

供試土壌は多腐植質黒ボク土, 腐植質黒ボク土, 淡色黒ボク土, 褐色森林土, 褐色森林土造成相 (マサ土),

赤色土である。2 mmのふるいを通した風乾試料を使用した。また, 対照用標準試料としてカオリンおよびベントナイトを使用した。その主な性質を表-1に示した。

土壌・粘土	産地	全炭素 %	色(湿)	土性	比表面積 m <sup>2</sup> /g	最大容水量 cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup>	容積重 cm <sup>3</sup> /g
多腐植質黒ボク土	栃木県今西市	20.2	7.5YR1.7/1	CL	5.2	0.73	0.58
腐植質黒ボク土	茨城県つくば市	3.1	2.5YR2/1	CL	54.0	0.69	0.65
淡色黒ボク土	茨城県つくば市	2.5	7.5YR3/3	SL	91.7	0.65	0.79
褐色森林土	栃木県南那須町	0.8	10YR4/4	SL	91.8	0.63	0.88
赤色土	沖縄県名護市	0.3	2.5YR4/8	LiC	31.0	0.55	1.13
褐色森林土(マサ土)	福島県郡山市	0.1	2.5Y6/3	LS	7.8	0.49	1.34
カオリン	コロンビア	0.0	10YR8/1	HC	17.0	0.66	0.97
ベントナイト	山形県大江市	0.0	2.5Y8/1	HC	11.4	0.77	0.62

表-1 供試試料の性状

多腐植質黒ボク土からマサ土にかけて, 有機物含量が減少し, 色は黒から褐色を経て赤色土の赤そしてマサ土や粘土の白色になっている。最大容水量は粘土を除いて, 順に低下し, それとは対照的に容積重は増大している。比表面積はB. E. T. 法で測定しているため, 外表面積だけが測定され, 有機物の多い土壌や2:1型粘土鉱物を含む土壌では全表面積よりも小さい値となっていると考えられる。例えば, 久保田は供試試料と同じ産地のベントナイトの全比表面積は500 m<sup>2</sup>/g 以上あると報告している<sup>13)</sup>。

図-8に腐植質黒ボク土の水分飽和度の違いによるスペクトルの変化を示した。1.45と1.94 μm に水の吸収ピークがあり, 水分の増加とともにピークが低下している。また, 全体のベースラインそのものも水分増加によって低下する傾向がある。

図-9に同じ腐植質黒ボク土の水分飽和度と1.94 μm および1.7 μm の反射率の関係を示した。水分飽和度が高くなるにしたがって, 反射率は指数関数的に減少するが, そのばらつきはやや大きく, 決定係数r<sup>2</sup>は0.911と低い。しかし, 1.7 μm と1.94 μm の反射率の変動の傾向が類似している。

そこで, 風乾水分の土壌とカオリンの粒径と1.94 μm の反射率の関係をみたのが図-10である。カオリンはそのままでは反射率が高すぎるので, カーボンを混ぜて着色し, 水分を加えて焼成したものを砕いて粒径をそろえた。土壌および粘土ともに粒径が大きくなるにしたがって反射率は低下する傾向がある。しかし, 水の吸収波長域ではない1.7 μm の反射率との比(反射率比)をとる

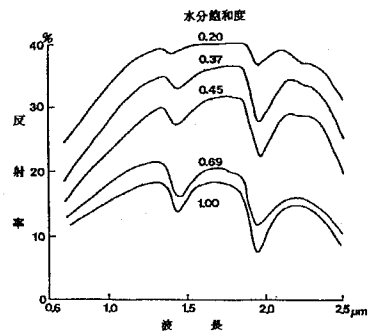


図-8 腐植質黒ボク土の近赤外反射スペクトル  
Near-infrared reflectance spectra of Andosol at various moisture contents.

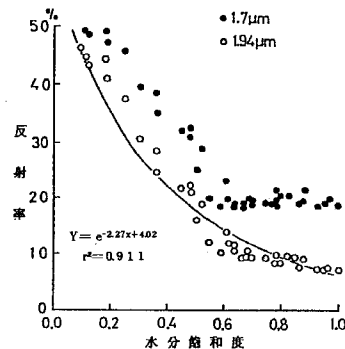


図-9 腐植質黒ボク土の土壌水分飽和度と  
近赤外線反射率の関係

Percent reflectance vs. saturation ratio of Andosol.

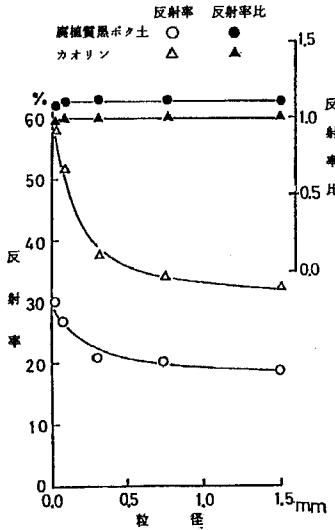


図-10 土壌およびカオリンの粒径と反射率および反射率比の関係  
Percent reflectance and reflectance ratio vs. particle size.

と、粒径が異なっても、反射率比はほぼ一定であることがわかった。そこで、腐植質黒ボク土の水分飽和度と反射率比の関係をとると指数曲線関係が認められ、決定係数は0.967 まで上昇し、ほぼ定量化に満足できる値を得た。

すなわち、水分吸収波長の反射率は土壌試料の粒径など表面状態が一定しないための外乱の影響を受け、測定誤差が生じる。しかし、外乱は測定波長と水による吸収の影響を受けない波長（比較波長）にほぼ同じ割合で影響を与えることから、測定波長と比較波長の反射率の比である反射率比をとることによって、外乱の影響を除去することができる。食品成分分析の分野では、この外乱の影響を、微分スペクトルをとることによって回避している<sup>14)</sup>。

温度は理論的にはピーク位置や強度に影響を与える。純水の赤外吸収スペクトルは、温度が低いほど、ピーク位置が高波長側にずれ、吸収が弱くなる。これは、温度が低下すると、水分子が分子の集合体であるクラスターを形成し、構造が変化するためであると考えられている<sup>15)</sup>。しかし、図-11に示したように、土壌温度が通常の測定温度範囲(10~50°C)では反射率は影響を受けず、一定の値を維持していた。これは、少水分のとき、反射率は高いが、水が少ないため、そして多水分のときは、反射率が低いので温度の影響が現れにくいことによると

考えられる。Williamsら<sup>16)</sup>は、近赤外法による小麦粉のタンパク質および水分の定量におよぼす温度の影響を調べ、温度範囲が23から39°Cでは、温度の上昇とともにタンパク質含量は低く見積られるが、水分の定量値はほとんど変化しないことを見いだしている。

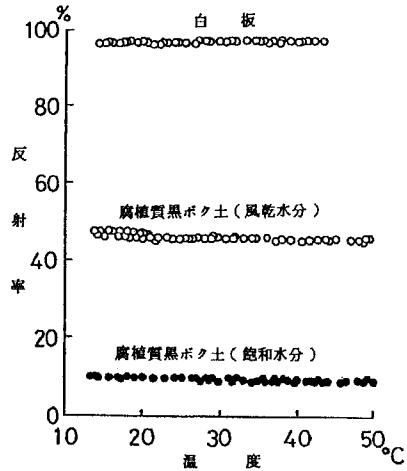


図-11 温度と1.94 μmの反射率の関係  
Percent reflectance vs. temperature of white plate and soils.

土壌溶液のイオン濃度やイオン種の違いは1.0から1.2 μm付近の反射率に影響を及ぼす。Choppinら<sup>17)</sup>は、カチオンやアニオンが水和することによって水の構造が変化するためと考えている。イオン種によって、濃度がピークの増減に及ぼす影響はさまざまである。しかし、水分の吸収域や比較波長域には影響しない(図-12)。

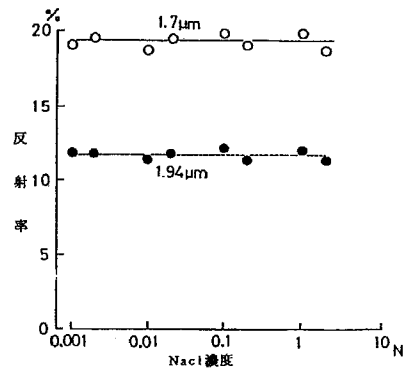


図-12 腐植質黒ボク土の土壌溶液NaCl濃度と近赤外線反射率の関係  
Percent reflectance vs. NaCl concentration of soil solution.

図-13に4種類の土壌の水分飽和度と反射率比の関係を示した。すべての土壌で両者は指数関係があり、決定係数は0.95以上の値を示し、十分定量が可能である。しかし、誤差は多水分で少水分に比べて大きい。例えば、腐植質黒ボク土では、水分飽和度0.5以下での決定係数は0.973、0.5以上では0.915であった。

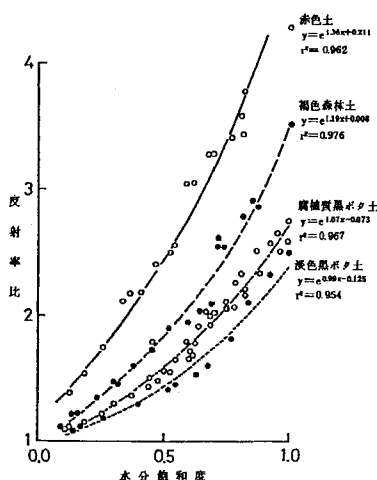


図-13 土壌の水分飽和度と反射率比の関係  
Reflectance ratio vs. saturation ratio of soils.

また、土壌ごとに回帰曲線の係数とy切片が異なっており、土壌別の検量線の作成が必要である。回帰曲線の係数は、風乾土の比較波長である $1.7\mu\text{m}$ の反射率と高い正の相関関係があった。この反射率は一般的には、有機物含量が高く、明度が低いものほど、低い値であった。しかし、明度が同じであれば、比表面積が大きいものほど低い傾向がある。例えば、カオリンとベントナイトを比較すると、明度はどちらも同じ8であるが、全比表面積はベントナイトがカオリンよりも30倍近く大きく、反射率はカオリンの半分以下である。すなわち、表面積が大きい試料ほど、表面構造が複雑であり、赤外光の吸収が大きく、反射率が低くなると考えられる。

#### 4. これからの研究方向

測定装置の小型・軽量化をはかることによって、簡易土壌水分計としての利用が考えられる。すでに、工業プロセス分野ではフィルターチョッパー方式の水分計が使用されており、最も軽量の隔測型ものでは、検出器と変換器あわせて4kgのものがある。

また、光ファイバー先端部に装着可能な集光レンズが入手でき、スポット面積の拡大・縮小、スリット光への

変換が可能である。したがって、測定面積が $\text{数mm}^2$ から $\text{数10cm}^2$ までの範囲で測定可能である。

さらに、測定時間が短くできるため短時間の水分変化、例えば、浸潤過程の解析にも利用できるであろう。

近赤外法は、アミノ基やカルボキシル基の赤外吸収を利用して、食品分野で穀類や粉ミルクなどのタンパク質、炭水化物、脂質や糖などの定量に用いられている<sup>18)</sup>。渡辺ら<sup>19)</sup>は、風乾土壌の全炭素と全窒素の定量が可能であるが、Ca, K やリン酸などの定量は不可能であると結論している。現場の測定では、水分の吸収ピークが大きな妨害要因となることが考えられるが、データの処理によっては精度の高い定量が可能となるであろう。

また、赤外分光光度計のスペクトルの分解能をFT-IRの導入などにより向上させ、さらに光ファイバーの赤外光透過域を広げて測定波長を拡張することによって、気相中のガス濃度の測定などに利用できる可能性がある。

#### 引用文献

- 1) 矢部勝彦: 土壌水分の測定法, 土壌の物理性, 41, 90-94 (1980)
- 2) Bowers, S. A. and Hanks, R. J.: Reflection of radiant energy from soils, *Soil Sci.* 100, 130-138 (1965)
- 3) 北沢元彦: 赤外線水分計測における三色彩形の採用とその実際, 計装, 26, 69-73 (1983)
- 4) 小宮健作・飯田 裕: 食品分野におけるオンライン成分分析, 計測と制御, 27, 993-997 (1988)
- 5) 清水克彦・佐藤信敏・川野 淳: 経皮的ビリルビン測定法の基礎的検討, 産婦人科・新生児血液, 7, 139-144 (1983)
- 6) Alessi, R. S. and Prunty, L.: Soil-water determination using fiber optics, *Soil Sci. Soc. Am. J.* 50, 860-863 (1986)
- 7) 宮下 忠・片山祐三: 透過性をきわめた光ファイバー, 科学, 55, 359-368 (1985)
- 8) 芝山道郎・秋山 侃・棟方 研: 圃場生体情報総合計測システムの開発, グリーンエナジー計画成果シリーズ, 15, 104-183 (1988)
- 9) 谷山一郎・芝山道郎・石原 暁・前田乾一: 近赤外線反射法による土壌水分測定, 日土肥講演要旨, 32, 2 (1986)
- 10) 谷山一郎・芝山道郎: 光ファイバーを利用した近赤外線反射式土壌水分測定装置の開発, 日土肥講演要旨, 33, 9 (1987)
- 11) 錦田晃一・岩本令吉: 赤外スペクトルと測定の原理, 赤外法による材料分析, 41-68, 講談社サイエンティフィック (1986)
- 12) 福島邦夫・宮沢辰雄: 近赤外吸収スペクトルの化学への応用, 化学の領域, 増刊54, 27-53 (1973)

- 13) 南 茂夫：科学計測のための波形データ処理, 1-238, CQ 出版 (1986)
- 14) 久保田 徹：火山灰土壌の界面化学的研究, 農技研報 B, 28, 1-74 (1976)
- 15) Norris, K. H. and Williams, P. C. : Optimization of mathematical treatment of raw near-infrared signal in the measurement of protein in hard red spring wheat. I. Influence of particle size, Cereal Chem. 61, 158-165(1984)
- 16) Fornes, V. and Chaussidon, J. : An interpretation of the evolution with temperature of the  $\nu_2 + \nu_3$  combination band in water, J. Chem. Phys. 68, 4667-4673 (1978)
- 17) Williams, P. C., Norris, K. H., and Zarowski, W. S. : Influence of temperature on estimation of protein and moisture in wheat by near-infrared reflectance, Cereal Chem. 59, 473-477 (1982)
- 18) Choppin, G. R. and Buijs, K. : Near-infrared studies of the structure of water. II. Ionic solutions, J. Chem. Phys. 39, 2042-2050 (1963)
- 19) 岩本陸夫・魚住 純：近赤外分光法による食品の非破壊品質測定, 日食工誌, 32, 685-695 (1985)
- 20) 渡辺和彦・津高寿和・藤中邦則：近赤外分光法による土壤養分分析の可能性の検討, 日土肥講演要旨, 33, 14 (1987)

### Summary

A near-infrared reflectance spectrophotometer with optical fiber was developed to determine soil moisture content in soil layer. The major components of the measurement system were a halogen lamp, a feed and return fiber optic cable, a spectrophotometer, and a personal computer as a system controller. Light was induced in a feed optical fiber to soil surface and reflect ray was also induced in a return optical fiber to spectro-photometer.

The percent reflectances of soil surface at 1.94  $\mu\text{m}$  wavelength were correlated with the soil moisture contents. However, soil particle size deviation affects the percent reflectance. To remove this influence, a reflectance ratio (reflectance at 1.7  $\mu\text{m}$ /1.9  $\mu\text{m}$ ) was adopted as dependent variable of moisture content instead of percent reflectance. The reflectance ratio was not affected by soil temperature range 10 to 50  $^{\circ}\text{C}$  and salt concentration of soil solution. Reflectance ratio vs. soilmoisture content curves were best fit for exponential curve. Furthermore, each soil appears to have a unique moisture-reflectance curve. It was concluded that this technique of soil moisture measurement is feasible and deserved further research.

(Soil phys Cond. Plant Growth, Jpn., 59, 28-34, 1988)

## 亀裂が発達した粘土質圃場における 水移動現象のモデル化

井上 久義

Modelling of water movement in a clayey agricultural  
field with shrinkage cracks

Hisayoshi INOUE

National Research Institute of Agricultural Engineering

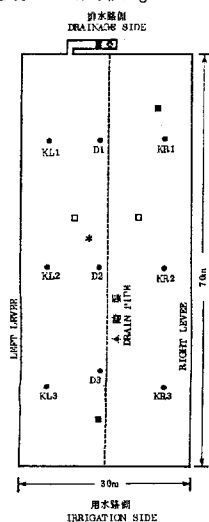
### 1. はじめに

圃場中には、乾燥亀裂や、虫・小動物または植物根に由来する穴など、いわゆる大孔隙が存在することが多く、この大孔隙が土壌中における水や溶質の移動に極めて重要な役割を果たしている。

このような現象の定量的表現は、土壌中での大孔隙の存在状態やその連続性をどのように表すのか、また、大孔隙を伝わる水の流れ方をどう表現するのかなど、基本的な問題がまだ明らかになっていないため、これまでいくつかのモデルが提案されてきたが、まだ、完成されたとはいえない。

圃場全体での水移動に果たす亀裂などの大孔隙の役割をモデル化するに当たっては、一つ一つの大孔隙の存在状態や、それを伝わる水の移動特性から圃場全体を推定することはほとんど不可能である。このため、大孔隙の役割を圃場全体として捉え、モデル化し、これを評価していくことが重要となる。

この報告では、この考え方に基づき、亀裂が発生した粘土質圃場を対象として、この亀裂網が圃場における水移動に果たす役割のモデル化をおこなった結果について以下報告する。



- 圃場表面亀裂測定用プロット(1×1m)  
OBSERVING PLOT FOR CRACKS OF SOIL SURFACE(1×1m)
- 心土亀裂測定用プロット(1×1m)  
OBSERVING PLOT FOR CRACKS OF SUBSOIL(1×1m)
- \* テンシオメータ  
TENSIO METERS
- 圃場内水位測定用観測孔(φ=0.15m)  
MEASURING HOLES FOR GROUND WATER LEVEL IN THE TEST FIELD
- ◎ 暗渠排水量測定用自記水道メータ  
FLOW METER FOR PIPE DRAINAGE DISCHARGE
- 表面排水量測定用三角堰  
MEASURING WEIR FOR SURFACE DRAINAGE DISCHARGE

図-1 試験圃場の概要

Fig. 1 Outline of the test field and observing points

## 2. 対象とした報告の特性

## (1) 圃場の概要

対象としては、農業工学研究所内にある、広さ70m×30mで、深さ0.7mにビニル底を持つ有底試験圃場を

用いた(図-1)。この試験圃場は、1977年(昭和52年)に、重粘土の沖積水田心土を充填して造成した圃場で、その暗渠配置は次の通りである。まず、本暗渠は、圃場造成時(1977年)に、圃場底上、長辺方向中央に、管径60mmの暗渠管が1本埋設された。さらに、弾丸暗渠

表-1 圃場の土壌の物理的特性

Table 1 physical properties of soil in the test field

	DEPTH (m)	STRUCTURE	DRY DENSITY (kg/m <sup>3</sup> )	SOLID RATIO (%)	TEXTURE	VOLUMETRIC WATER CONTENT(%)			HYDRAULIC CONDUCTIVITY(cm/s)	
						SATURATED	3.2KPa (pF1.5)	100KPa (pF3.0)	SATURATED	3.2KPa (pF1.5)
PLOWED LAYER	0~0.12	CRUMB	1.15	47.8	LiC	52.2	46.1	33.9	0.6~2.0 ×10 <sup>-3</sup>	2.1 ×10 <sup>-7</sup>
SUBSOIL	0.12~0.7	PRISMATIC	1.46	54.2	HC	45.8	45.4	42.6	0.6~1.0 ×10 <sup>-6</sup>	1.8 ×10 <sup>-7</sup>

(直径100mm)は、1980年2月に本暗渠と直行する方向に、深さ0.35m、約1.2m間隔で設置された。この圃場は、1978~1980年は水田、1981~1984年は大豆を主とした畑として利用され、この報告で述べる各種試験をおこなった1985~1986年にかけては、裸地状態で管理した。

## (2) 土壌の特性

表-1には、試験圃場の土壌の物理的特性を示す。この圃場の土層状態は、大きく作土と心土とに分けることができた。作土は、厚さ0.1m程度しかないが、屑粒化しており、その透水係数は、10<sup>-3</sup>~10<sup>-4</sup>cm/sオーダーと比較的高い値を示した。一方、心土には、圃場底にま

で達する乾燥収縮に伴う亀裂が約0.2m間隔に存在し、その構造は大きな角柱状構造を示した。しかしながら、心土マトリックス部分は、壁状構造でpF1.5(-3.2KPa)等価径以上の大きな孔隙はほとんど存在せず、その透水係数も10<sup>-6</sup>~10<sup>-7</sup>cm/sオーダーと極めて小さな値を示した。

## (3) 試験圃場における降雨排水の実体

表-2には、試験圃場における、1985年4月~10月までの降雨に伴う排水の実体を示す。この表にみられるように、本圃場からの表面排水率は、降雨量が非常に多い場合を除いて多くの場合が1%以下で、表面排水がほと

表-2 試験圃場の降雨排水特性

Table 2 Hydrological property of the drainage from the test field

DATE	RAINFALL (mm)	PIPE DRAINAGE DISCHARGE (mm)	REQUIRED TIME FOR PIPE DRAINAGE DISCHARGE (h)*	EFFICIENCY OF PIPE DRAINAGE DISCHARGE (%)**	EFFICIENCY OF SURFACE DRAINAGE DISCHARGE (%)***
APR. 20	9.0	3.5	2.0	39.0	0.0
APR. 23	51.0	36.4	1.5	71.3	1.4
MAY 20	39.5	12.6	13.5	31.8	0.2
MAY 24	25.0	10.7	3.5	47.4	0.5
MAY 29	22.5	2.7	12.5	12.3	0.3
JUNE 13	33.5	22.1	14.0	65.9	0.3
JUNE 18	88.5	65.1	12.0	73.6	6.4
JUNE 24	27.0	23.0	6.5	85.0	0.2
JUNE 27	188.5	91.5	5.0	48.5	40.7
JULY 14	23.5	17.3	0.5	80.3	0.4
AUG. 10	25.5	2.9	0.5	11.4	0.0
AUG. 30	80.0	31.1	7.5	38.9	10.5
SEP. 28	28.0	22.7	11.0	81.0	0.2
TOTAL	628.0	341.6		54.4	5.4

\* Required time until the pipe drainage discharge begins after the time when the rainfall began  
 \*\* Ratio of the pipe drainage discharge to the rainfall  
 \*\*\* Ratio of the surface drainage discharge to the rainfall

んど生じていないといえる。これに対して、暗渠排水率は、降雨量の70~80%にも達することがあり、この圃場では、降雨のほとんどが暗渠によって排除されているものといえる。

図-2には、本圃場からの降雨排水のハイドログラフの一例を示す。暗渠排水量は、5月24日、25日の降雨とも、降雨開始後速やかにピーク流量に達し、降雨パターンに暗渠流量がかなり鋭敏に対応している。このことから、圃場に降った雨が極めて迅速に、暗渠流として圃場から排除されていると言える。

#### (4) 試験圃場における水の流れ方

以上の特性から、本圃場における水の流れ方は次のように考えることができる。まず、本圃場の降雨排水は、そのほとんどが暗渠によっておこなわれ、また暗渠流量は、降雨開始後速やかにピーク流量に達するということから、土壤中を暗渠に向かって水が迅速に移動しているといえる。この時、心土マトリックスの透水係数は極めて低く、一方、心土には圃場底まで達する亀裂が約0.2m間隔に発達していることから、この迅速な水の移動は、亀裂を伝わる水の流れによるということが出来る。つまり、本圃場では、降った雨が心土亀裂へと流れ込み、この亀裂を伝わり迅速に暗渠へと移動するという水の移動構造が考えられる。

本圃場において推定されるこのような水移動をモデル化するに当たっては、これを確認し、量的に表現していく必要がある。このため、以下の3点について調査・実験をおこなった。以下、その結果について述べていく。

- ① 圃場内の亀裂の存在状態、および存在量。
- ② 土壤中の水の移動経路、およびそれを伝わる水の流れの物理的特性。
- ③ 暗渠流量変化からみた圃場全体での水の移動特性。

### 3. 亀裂の状態

亀裂の存在状態は、土壌の垂直断面上、および、深さ0.1、0.25、0.6mの各水平断面上の亀裂をスケッチすることにより把握した<sup>3)</sup>。

測定は、圃場の攪乱による影響を防ぐため、すべての試験が終了した1986年5月におこなった。スケッチは、土壌断面上に、糸で0.1m幅にメッシュを切った1m×1mの大きさの木枠をかぶせ、枠内に存在する亀裂の位置と幅を正確に方眼紙上に記録するという方法でおこなった。亀裂の長さの推定は、根の長さを推定するとき用いられるNewman-Marshの方法によった<sup>4,7)</sup>。これは、ある領域内に存在する亀裂の長さが長いほど、その

領域にかぶせたメッシュ線と亀裂との交差する数が多くなる、という考え方をNewmanが確率論的に展開したもので、ある領域に存在する亀裂の長さは、次式で推定することができる。

$$R = \frac{\pi \cdot A_r \cdot N}{2 \cdot M} \dots \dots \dots (1)$$

- R : 領域内に存在する亀裂の長さ  
 A<sub>r</sub> : 領域の面積  
 N : 領域にかぶせたメッシュ線と亀裂の交差点数  
 M : 領域にかぶせたメッシュ線の総延長

図-3には、試験圃場の垂直断面および水平断面上の亀裂の存在状態を示す。本圃場の心土には、圃場底にまで達する亀裂の発達がみられた。この亀裂は、弾丸暗渠よりも浅い部分では、それより深い部分よりもかなり密に発達している傾向が窺えた。

表-3には、心土水平断面上に発達した亀裂の長さを示す。亀裂の長さは、弾丸暗渠よりも浅いところでは20m/m<sup>2</sup>、深いところでは10m/m<sup>2</sup>あり、その幅はいずれも1~2mm程度であった。これらの数字を用いて計算すると、この圃場全体に存在する心土亀裂量は、約20~40m<sup>3</sup>となり、圃場全体体積の1.5~3%を占めることになる。また、弾丸暗渠より深い部分では7~15m<sup>3</sup>となり、深さ0.35m以下の圃場体積の1~2%を占めるものと推定される。

### 4. 土壌ブロック中の水の流れ方

亀裂が発達した土壌中の水の移動経路を確認し、その水の流れ方の物理的特性を知るために、山崎ら<sup>8)</sup>の方法を参考として圃場に図-4に示すような不攪乱土壌ブロックを設定し実験をおこなった<sup>2)</sup>。ブロックの大きさは5m×1.44mあり、ブロック中央には深さ0.35mのところには弾丸暗渠が1本通っている。土壌ブロック側面には、水に浸した粘土を塗り付け、その上にビニルシートを貼付けた後埋め戻し、実験中、水が横に逃げないように処理をした。一方、端面は堀削による攪乱部分をソイルナイフなどで取り除き、亀裂の開口部の潰れなどが生じないように処理をした。

実験は、図のピットA、Bに水を貯め、両水面高に差を与えることによって水をブロック内に横浸透させ、その流量を測定するという方法でおこなった。ピット内の水位の与え方は、深さ0.35mに弾丸暗渠が存在するこ

井上:亀裂が発達した粘土質圃場における水移動現象のモデル化

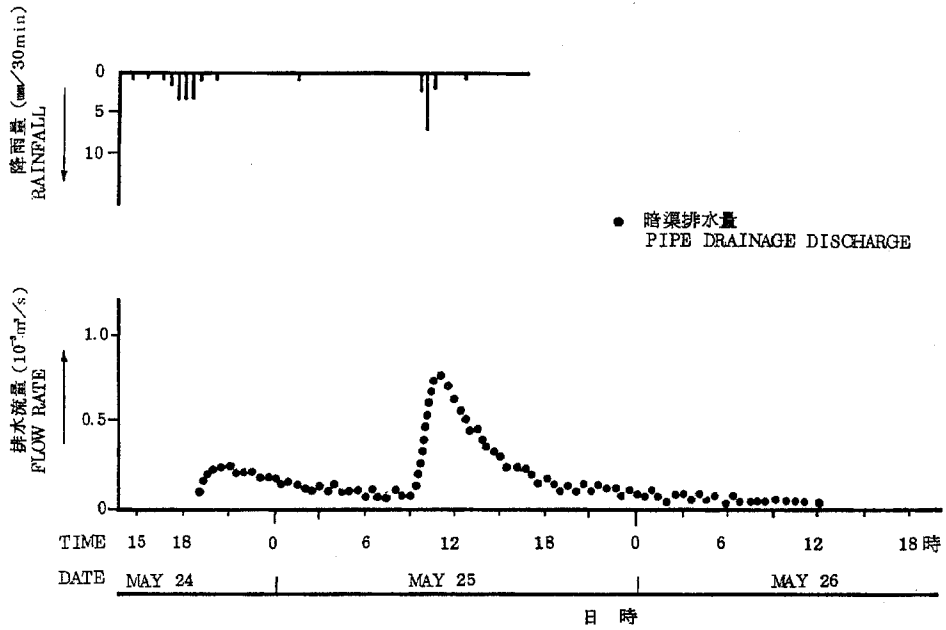


図-2 試験圃場からの降雨排水特性

Hydrograph of drainage discharge from the test field by rainfall

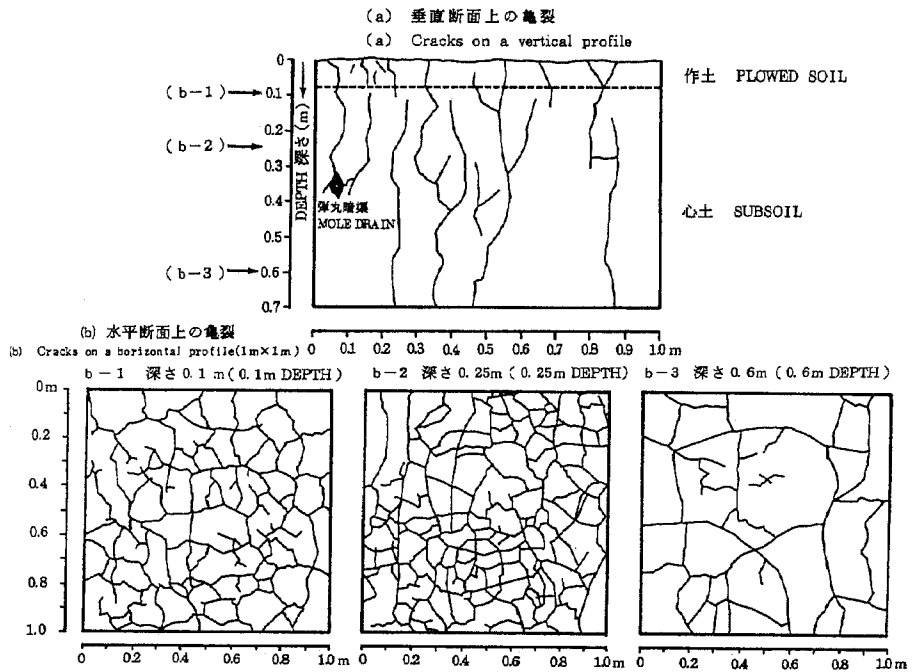


図-3 心土亀裂の発達状況 (1×1m)

Cracks in the subsoil of the test field



表-3 心土水平断面上の亀裂の発達状況  
 Table 3 Development of cracks on the horizontal sections  
 of the subsoil in the field

DEPTH (m)	LENGTH OF CRACKS (m/m <sup>2</sup> )	WIDTH OF CRACKS (mm)
0.1	18.0	1~2
0.25	22.8	1~2
0.6	10.1	1~2

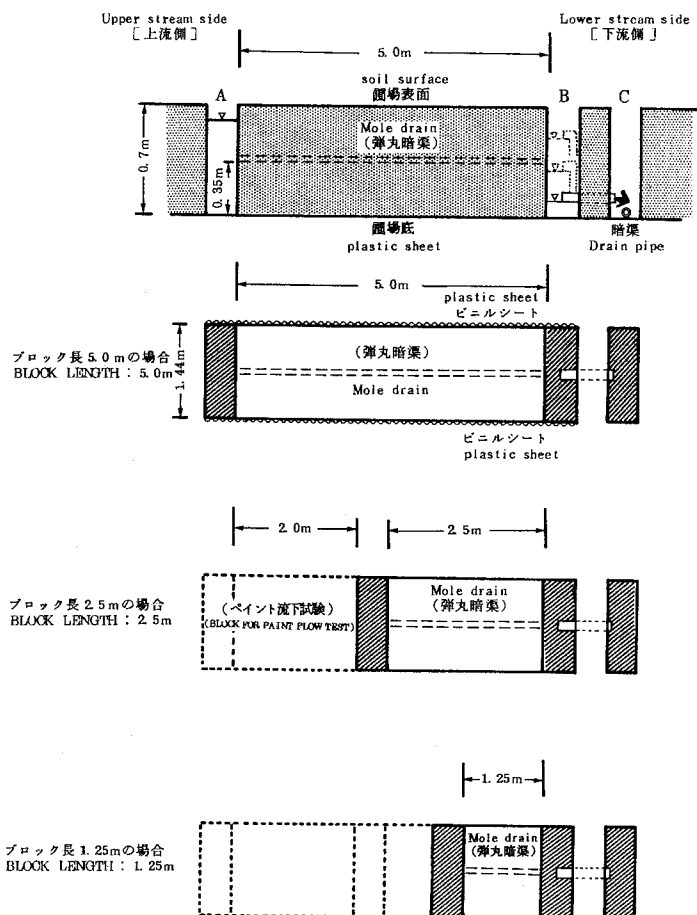


図-4 横浸透試験ブロックの概要

Outline of the soil blocks for the lateral flow test

とを考慮して、弾丸暗渠が常に水面下に存在する場合（下流側水深0.45m）と、弾丸暗渠が常に水面上にある場合（下流側水深0.2m）の二通りを設定した。横浸透流量の測定は、上流側初期水深を下流側水深+0.1mとして、上流側水深が低下する中での浸透流量の変化を追跡した。なお、この時、上流側水深の低下は極めて遅いため、流量測定時での水位差でそれぞれ定常状態が成立しているものとしてデータを取り扱った。ブロック長5mにおける上記の実験の終了後、ブロック長をさらに2.5m、1.25mとして同様の実験をおこなった。

以上の横浸透試験の終了後、上流側に残った長さ約2mのブロックを用いて、これに5～6倍に薄めた水溶性白色ペイントを流し、ブロック内水みちの調査をおこなった。調査は、白色ペイント流下後、上流側から0.15、1.15および2.0mの各点で、土壌断面上の染色部分をスケッチする方法で行った。

この実験は、1986年4～5月にかけておこなった。この実験期間中（約1ヶ月）、土壌ブロックの乾燥を防ぐため土壌ブロックを浸水状態で維持したが、心土の亀裂の変化はほとんど認められなかった。

表-4 土壌ブロックの透水性

Table 4 Hydraulic conductivity of the soil block (cm/s)

(a) BLOCK LENGTH : 5.0m

DIFFERENCE OF WATER LEVELS $H_1 - H_2$ (m)	WATER LEVEL IN THE LOWER PIT $H_2$	
	0.45m	0.17m
0.13	————	$5.4 \times 10^{-2}$ cm/s
0.12	————	2.4
0.11	————	2.1
0.10	————	1.8
0.09	$1.2 \times 10^{-1}$ cm/s	1.5
0.08	1.2	————
0.07	1.3	————
0.06	1.4	————
0.05	1.5	————
0.04	1.5	————
0.03	1.6	————

(b) BLOCK LENGTH : 2.5m

DIFFERENCES OF WATER LEVELS $H_1 - H_2$ (m)	WATER LEVEL IN THE LOWER PIT $H_2$	
	0.41m	0.20m
0.10	————	$4.2 \times 10^{-2}$ cm/s
0.09	$5.6 \times 10^{-2}$ cm/s	4.4
0.08	5.9	4.5
0.07	6.1	————
0.06	6.4	————
0.05	6.5	————
0.04	6.6	————

(c) BLOCK LENGTH : 1.25m

DIFFERENCES OF WATER LEVELS $H_1 - H_2$ (m)	WATER LEVEL IN THE LOWER PIT $H_2$	
	0.46m	0.21m
0.13	————	$3.2 \times 10^{-2}$ cm/s
0.12	————	3.3
0.11	————	————
0.10	————	3.3
0.09	————	3.3
0.08	$3.6 \times 10^{-2}$ cm/s	————
0.07	3.7	4.0
0.06	————	4.1
0.05	4.3	————
0.04	4.4	————
0.03	————	————
0.02	4.8	————
0.01	5.5	————

(H<sub>1</sub> : Water level in the upper pit)

図-5には、白色ペイント流下後の、土壤ブロック断面の染色状態を示す。図中の実験は染色された亀裂を、点線は染色されなかった亀裂を示す。また、ハッチング部分は染色された亀裂壁面を示す。白色ペイントを流下させた時、染色されるのは亀裂および弾丸暗渠のみで、土壤マトリックス部分はまったく染色はみられなかった。つまり、この土壤ブロックでは、亀裂と弾丸暗渠が非常に有効な水みちとして機能していることがわかる。

表-4は、この土壤ブロックの水の流れやすさを、ダルシー側が成り立つものとしてDupuit-Horchheimerの式(2式)から求められる透水係数値で評価した結果を示す。

これから、この土壤ブロックの水の流れやすさは、透水係数にして $10^{-1} \sim 10^{-2} \text{ cm/s}$ 程度となることがわかる。この値は、心土マトリックスの透水係数が $10^{-6} \sim 10^{-7}$

$$Q_b = \frac{K_b \cdot W_b \cdot (H_1^2 - H_2^2)}{2 \cdot L_b} \dots (2)$$

$Q_b$  : ブロックからの流出量 ( $\text{cm}^3/\text{s}$ )

$K_b$  : ブロックの透水係数 ( $\text{cm/s}$ )

$W_b$  : ブロックの幅 (cm)

$L_b$  : ブロックの長さ (cm)

$H_1$  : 上流側水深 (cm)

$H_2$  : 下流側水深 (cm)

$\text{cm/s}$ しかないことを考えると、水みちとしての亀裂や弾丸暗渠の存在により、土壤の透水性が極めてよくなっていることを示している。

図-6には、水位が高く弾丸暗渠が水みちとして機能する場合の動水勾配と浸透流速との関係を示す。ここで、流速は横浸透水のほとんどすべてが、直径0.1mの弾丸暗渠のみを流れるものとして求めた値である。また、動

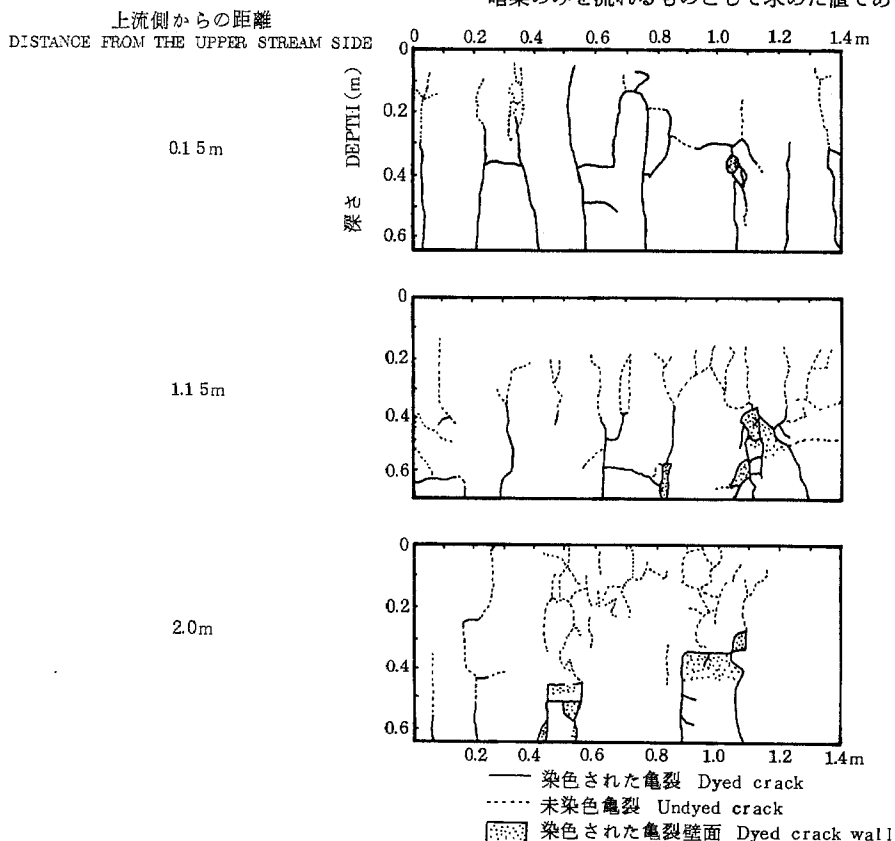


図-5 土壤ブロック内の亀裂の存在形態

Dyed pattern by the paint on the profiles of the soil block

水勾配は、上・下流間の水位差を土壌ブロック長で除した値である。この場合には、流速が大きく、また、動水勾配が増加すると流速が次第に頭打ちとなる傾向がみられることから、ダルシー的な流れ方は示さないものと推定される。ただし、この時、ブロック長を変化させることにより、動水勾配と流速の関係が別々の曲線として現われ、両者の関係は試料の大きさの影響を強く受けていることがわかる。このことから、弾丸暗渠が水みちとして機能する場合には、水の流れ方を現場サイズよりも小さな試料を用いて定量的に表現することが難しいものと考えられる。

図-7には、水位が低く、心土亀裂のみを水が流れる場合の動水勾配と流速の関係を示す。この場合には、ブロック長の変化によらず、両者の関係は1つの曲線として表現される。つまり、心土亀裂網を伝わる場合の水の流れの現れ方は、試料の大きさの影響を受けがたく、少なくとも今回の実験の最小長(1.25m)あれば表現し得るものと考えられる。そして、この時の水の流れ方は、初期の動水勾配が小さいところでは流速は急増するものの、それ以降は、動水勾配と流速の関係はほぼ直線関係となる。このことから、心土亀裂網を伝わる水の流れ方は、概ねダルシー的な特性を示すものと考えられ、この

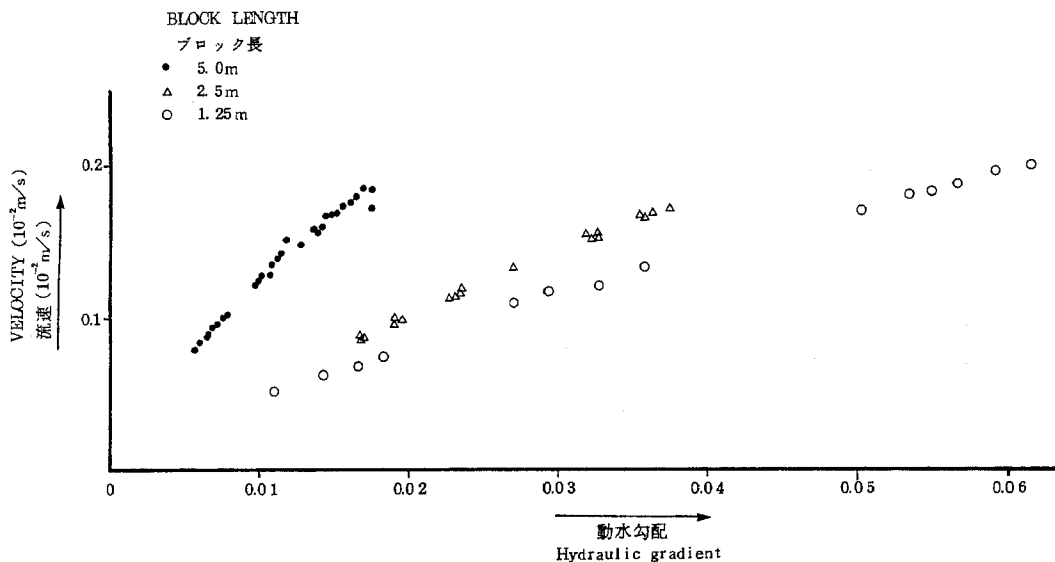


図-6 弾丸暗渠内流速と見かけの動水勾配の関係

Relation between estimated velocity of water flow through the mole drain and apparent hydraulic gradient

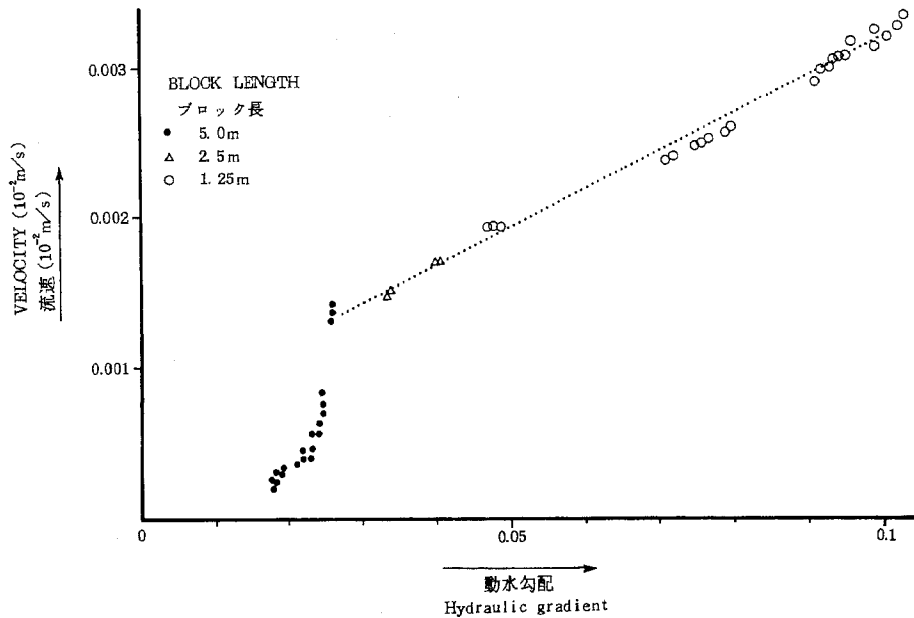


図-7 心土亀裂のみを水が流れる場合の流速と動水勾配の関係  
Relation between velocity of water flow through  
the subsoil cracks and apparent hydraulic gradient

時の透水係数は、前の結果から  $1 \sim 5 \times 10^{-2} \text{ cm/s}$  程度となるものと推定される。なお、この場合にみられる、初期の流速の急増については、今後、より精密な実験によって明らかにしていく必要がある。

#### 5. 試験圃場における暗渠流量の遞減特性

圃場レベルからみた水移動特性に強く影響を受ける暗渠排水量変化、特にその遞減特性に注目し、圃場全体からみた水移動特性を把握した<sup>3)</sup>。試験は、圃場に湛水が生じるまで灌水し、ほぼ一昼夜放置した後、表面排水口を開いて湛水を排除し、湛水面と圃場表面がほぼ一致した時点で暗渠口を開き、その後の暗渠流量を追跡するという方法でおこなった(暗渠排除試験)。暗渠流量の測定は、日記水道メータによった。また、暗渠流量測定中、予め圃場に設置しておいた9個の観測孔(直径約0.15m、図-1)において、圃場内水位の変化も併せて経時的に測定した。

図-8は、暗渠開放後の暗渠流量の遞減曲線を示す。

この遞減曲線は大きく二つの部分に分けることができる。一つは、暗渠開放後約3時間経過時から10時間経過

時までの間にみられる部分で、暗渠流量は、時間にほぼ比例して低下していく。以降、この部分を線形低下部と呼ぶものとする。他の一つは、暗渠開放後約10時間経過時以降にみられる部分で、いわゆる、指数関数的な曲線を描いて低下していく。以降、この部分は、指数低下部と呼ぶものとする。

図-9には、暗渠開放時から開放後6時間経過時までの、圃場中央における観測孔内水位変化を示す。この水位の低下は比較的速く、心土マトリックスの透水性が極めて低いことから、これは、亀裂内に発生する水位とみなすことができる。また、この水位は、暗渠開放後少なくとも6時間経過時まではいわゆるカマボコ型の水面形を示さず、場所によらず、畦畔側でも暗渠直上でもほぼ一様な低下を示した。さらに、線形低下が開始する暗渠開放後約3時間経過時には、圃場内水位は地表下約0.1mの作土と心土の境界付近に位置している。このことから、線形低下および指数低下の遞減特性を示す暗渠排水は、心土部分からの排水とみなすことができる。

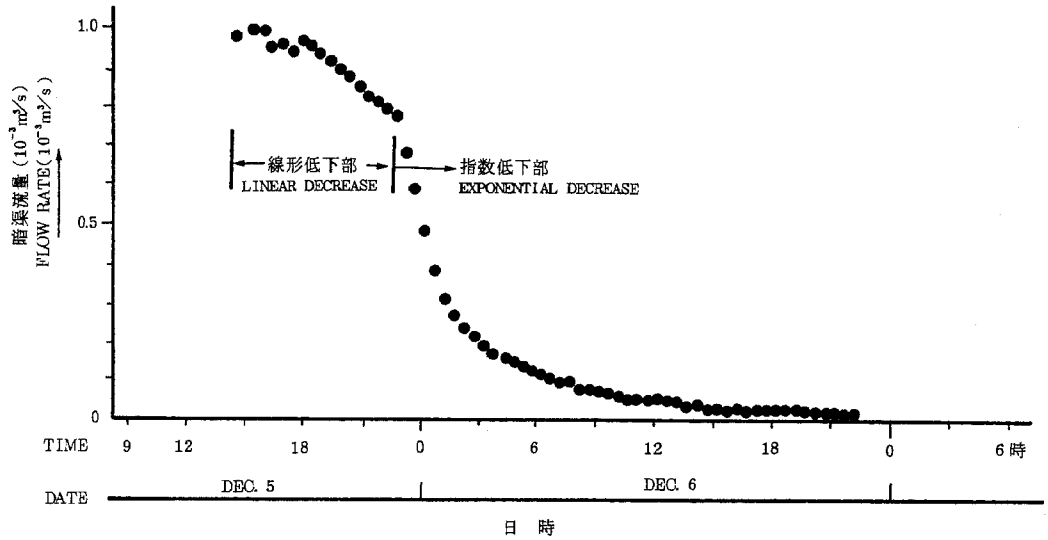


図-8 暗渠排水試験における暗渠流量の通減曲線  
 Recession curve of the pipe drainage discharge  
 in the pipe drainage test

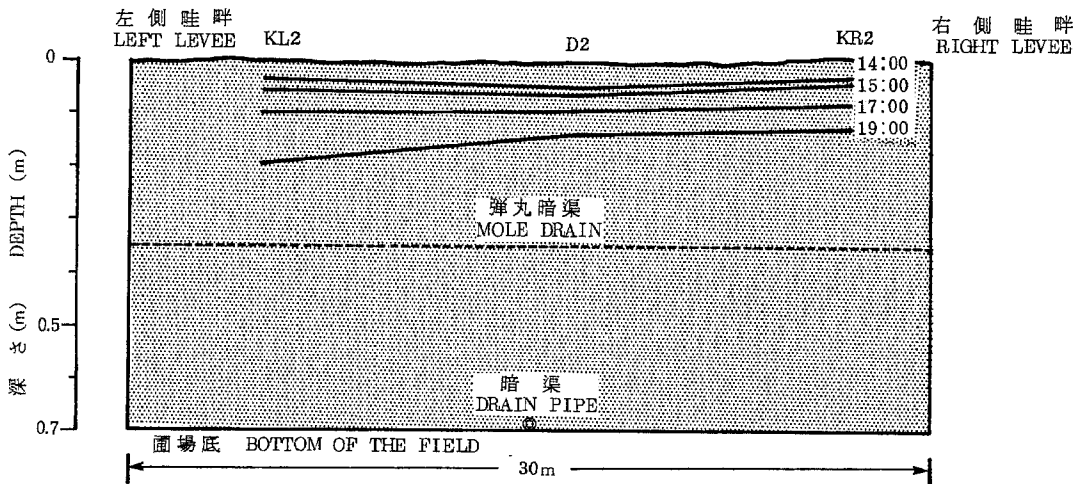


図-9 圃場中央における水位変化  
 Change in water level at the center of the test field

## 6. 亀裂が発達した粘土質圃場における水の移動特性

## (1) 線形低下部の水の移動特性

線形低下部の遞減特性は次のように表すことができる。

$$Q = Q_0 - C_0 \cdot t \dots (3)$$

$$Q \cdot dt = -A_w \cdot dh \dots (4)$$

$Q$  : 暗渠流量 (  $m^3/s$  )

$Q_0$  : 初期暗渠流量 (  $m^3/s$  )

$C_0$  : 係数 (  $m^3/s^2$  )

$A_w$  : 圃場内水面面積 (  $m^2$  )

$t$  : 時間 (  $s$  )

$h$  : 圃場内水位 (  $m$  )

ここで、(3)式は暗渠流量が時間に比例して低下することを示し、(4)式は、圃場内水位が場所によらずほぼ一様に低下することから、暗渠からの排水量 ( $Q \cdot dt$ ) により圃場内水位が  $dh$  だけ低下することを示している。この時、圃場内水面面積 ( $A_w$ ) の値は、水のほとんどすべてが亀裂のみを伝わり流れ、また、圃場内水位は亀裂内水位とみなし得ることから亀裂の占有面積とみなすことができる。

(3)式を微分すると(5)式となり、これを(4)式に代入すると  $Q \sim h$  の関係を示す微分方程式(6)式が得られる。

$$dQ = -C_0 \cdot dh \dots (5)$$

$$C_0 \cdot A_w \cdot dh = Q \cdot dQ \dots (6)$$

この(6)式を、 $h=0$ の時  $Q=0$  となるという初期条件の下に解くと、その解は(7)式ようになる。

$$2 \cdot C_0 \cdot A_w \cdot h = Q^2$$

$$Q = (C_1 \cdot h)^{1/2} \dots (7)$$

$$\text{ただし、} C_1 = 2 \cdot C_0 \cdot A_w$$

このように、線形低下部では、暗渠流量が圃場内水位の平方根に比例するという関係が導かれる。これは、水が貯ったタンク底に設置した小オリフィスからの流出の際にみられる関係と同様な関係である。

ここで、暗渠排水試験の線形低下部を最小自乗法で近似すると(8)式のように表される。

$$Q = 1.076 \times 10^{-3} - 8.6 \times 10^{-9} \cdot t \dots (8)$$

また、この式から  $Q \sim h$  の関係を求めると(9)式となり、この時、圃場内水面面積 (圃場内亀裂占有面積、 $A_w$ ) は  $96.0 m^2$  となる。前述の亀裂量調査から弾丸暗渠より浅い部分の亀裂の長さは約  $20 m/m^2$  であるので、これらの値から亀裂幅を求めると約  $2 mm$  と推定される。この値は、心土亀裂幅 ( $1 \sim 2 mm$ ) とほぼ一致する。

$$8.61 \times 10^{-9} \times 96.0 \cdot h = 0.5 \times Q^2 \dots (9)$$

さらに、(8)、(9)式から  $h \sim t$  の関係を導くと(10)式のようになる。

$$h = 6.05 \times 10^5 \cdot (1.076 \times 10^{-3} - 8.61 \times 10^{-9} \cdot t)^2 \dots (10)$$

図-10には、(10)式で求められた圃場内水位の低下と実測値との比較を示す。圃場水位の低下の計算結果は、圃場での実測値よりも若干速いものの、低下傾向は両者ほぼ一致している。また、遞減曲線の線形低下部と指数低下部の境界となる暗渠開放後10時間経過時の圃場内水位をこの式から求めると  $h \approx 0.35 m$  となる。この値は試験圃場の弾丸暗渠設置位置に当たる。つまり、線形低下部では、水みちとしての弾丸暗渠の影響を強く受けているものと推定される。

不攪乱土壌ブロックを用いた実験により、弾丸暗渠が水みちとして機能する場合には、この弾丸暗渠を伝わり、迅速な水の移動が生じることがわかっている。この時の水の移動速度が暗渠からの排水能力を大きく超える場合には、圃場内水面はフラットな形に近ずき、圃場内水位は場所によらず一様に低下する。加えて、この時の暗渠からの流量変化は、オリフィスからの流出の際に見られ特性と類似した特性を示すようになる。つまり、線形低下部の暗渠排水特性は、本圃場における暗渠排水能力と、それを超える弾丸暗渠を伝わる迅速な水移動により生じた現象であろうと考えられる。そして、圃場内水位が低下して、弾丸暗渠が水みちとして機能しなくなると、暗渠排水特性はまったく別なものへと移行する。

## (2) 指数低下部の水の移動特性

指数低下部は、前項の考察から、圃場内水位が弾丸暗渠以下となり、水が心土亀裂のみを流れる場合の排水特性と考えることができる。不攪乱土壌ブロックを用いた実験から、心土亀裂のみを水が流れる場合には、その流

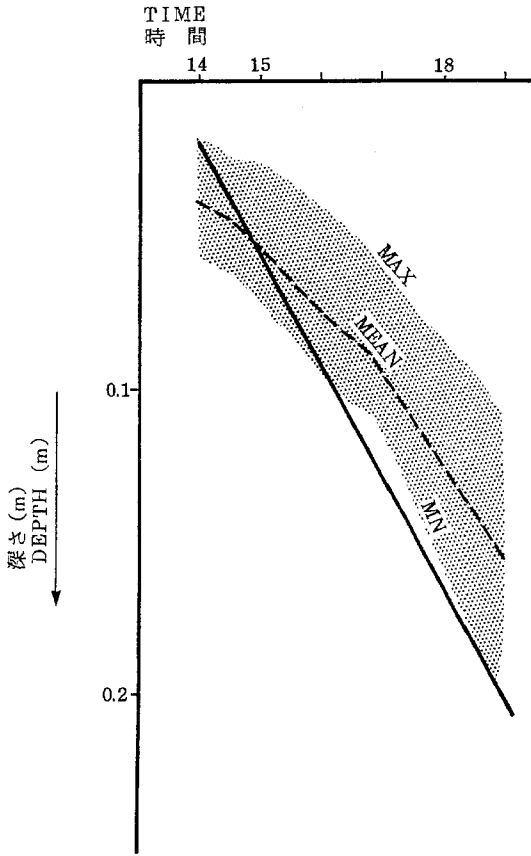


図-10 暗渠排水試験中の圃場内水位の変化  
Change in water level in the field during the pipe drainage test

これは概ねダルシー流となることが明らかとなっている。そこで、指数低下部は、水がダルシー的に圃場内を流れる場合の排水特性であるとして以下の解析を進める。

ダルシー則が成り立つ場合、非定常状態の暗渠流量及び圃場水位変化はGloverの式<sup>1)</sup>で表される。これは、(11)式の微分方程式の解析解で、暗渠が不透水層上にある場合の暗渠流量と暗渠中間部での水位の経時変化は、それぞれ(12)、(13)式で表される。初期流量は、長堀ら<sup>2)</sup>は定常状態のHooghoudtの式(14)式)が適用されるとし、さらに、長堀ら<sup>3)</sup>はこれらの式を用いてライシメータからの暗渠流量を推定し、実測値とよい適合を得たことを報告している。

$$F_e \cdot \frac{\partial h}{\partial t} = K \cdot \frac{\partial}{\partial x} \left( h \cdot \frac{\partial h}{\partial x} \right) \dots (11)$$

$t = 0$  の時  $h = H_0$   
 $x = 0$  の時  $h = 0$

$$\frac{h}{H_0} = \left( \frac{9 \cdot K \cdot H_0}{2 \cdot F_e \cdot L_p^2} + 1 \right)^{-1} \dots (12)$$

$$\frac{Q}{Q_0} = \left( \frac{9 \cdot K \cdot H_0}{2 \cdot F_e \cdot L_p^2} + 1 \right)^{-2} \dots (13)$$

$$Q_0 = \frac{4 \cdot K \cdot H_0^2}{L_p} \cdot L_d \dots (14)$$

- $F_e$  : 排水可能孔隙率 (m<sup>3</sup> / m<sup>3</sup>)
- $K$  : 圃場の透水係数 (m/s)
- $H_0$  : 初期圃場内水深 (0.35m)
- $h$  : 圃場内水深 (m)
- $Q_0$  : 初期暗渠流量 (m<sup>3</sup>/s)
- $Q$  : 暗渠流量 (m<sup>3</sup>/s)
- $L_d$  : 暗渠の長さ (70m)
- $L_p$  : 暗渠の間隔 (30m)

非定常状態での暗渠流量変化は、(13)式に示すように  $(at+b)^{-2}$  という関数形で表される。そこで、この関数形を用いて、指数低下部の暗渠流量変化を最小自乗法により近似すると、この曲線は(15)式のように表される。これは、図-11に示すように実測曲線に非常によく適合する。ただし、この時、指数低下が始まる時間を  $t = 0$  としている。

$$Q = (2.36 \times 10^{-3} \cdot t + 32.8)^{-2}$$

$$= 9.30 \times 10^{-4} \cdot (7.20 \times 10^{-5} \cdot t + 1)^{-2} \dots (15)$$

ここで、暗渠の間隔 ( $L_p$ ) を30m、暗渠の長さ ( $L_d$ ) を70m、そして、初期水深 ( $H_0$ ) を0.35mとすると、(14)、(15)式から  $K$  (圃場の透水係数) =  $8.13 \times 10^{-2}$  cm/s また、(13)、(15)式から  $F_e$  (排水可能孔隙率) = 0.02 という値が求められる。前述の不攪乱土壌ブロックを用いた実験での心土亀裂のみを伝わる場合の透水係数 ( $K_b$ ) は、 $1 \sim 5 \times 10^{-2}$  cm/s であった。上式から求められた圃場の透水経過 ( $K$ ) は、この  $K_b$  の値と比較すると若干大きいもののオーダー的には一致する。一方、この指数低下部の排水は、弾丸暗渠より深い心土部分からの排水であり、心土マトリックスには表-1に示すように PF1.5(-3.2KPa) 相当以上の粗孔隙はほとんど存



在しない。このことから、指数低下部の排水に寄与する孔隙量(排水可能孔隙率 $F_v$ )は、弾丸暗渠以深の心土亀裂量とほぼ一致するはずである。そして、亀裂量の調査から、弾丸暗渠以深の心土亀裂の容積率は1~2%と推定され、上式から求められた排水可能孔隙率( $F_v = 0.02$ )は、この心土亀裂容積率とほぼ等しくなる。

このように、指数低下部は、弾丸暗渠より深い心土部

分からの排水と考えることができ、この時の水の流れ方は、非定常ダルシー則を表わすGloverの式で非常によく近似することができる。そして、この時求められる係数值( $K, F_v$ )も圃場の状態をよく反映している。このことは、指数低下部では水はダルシー的に流れるという仮定の正しさを立証するものであり、この場合の透水係数は $10^{-2}$  cm sオーダーであろうと推定される。

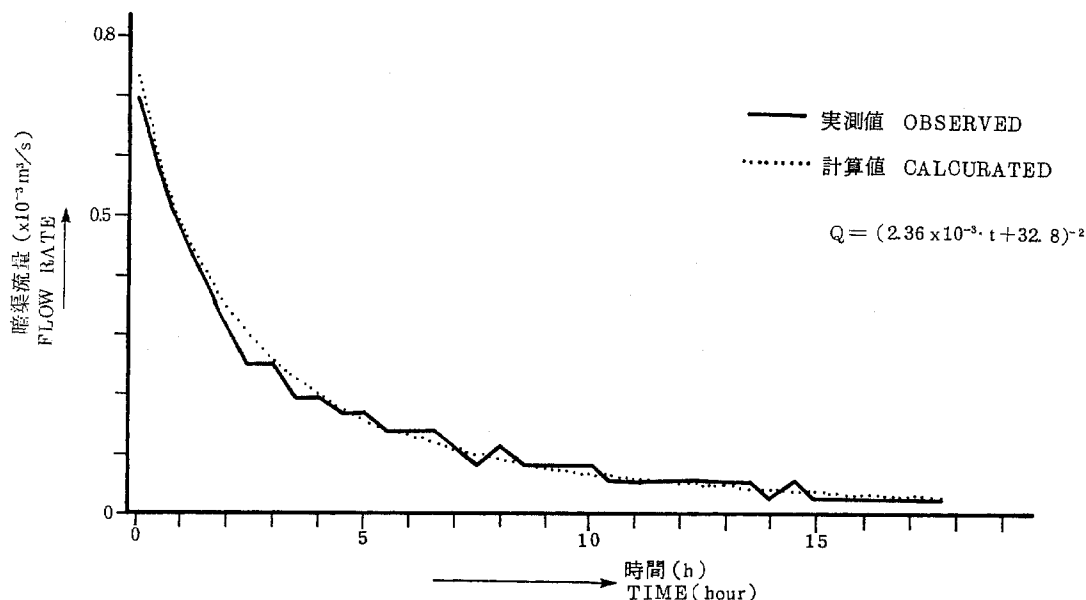


図-11 指数低下部のGloverの式による近似

Approximation of the exponential decrease in the recession curve of pipe drainage test

### (3) 降雨に伴う暗渠流量の遞減特性への適用

図-12に、1985年に降った雨のうち表面排水が生じるような大きな降雨(4降雨)に伴う、試験圃場からの暗渠流量の遞減曲線を示す。この図にみられるように、いずれの降雨の場合も、暗渠排水試験の時と同様に暗渠流量の遞減曲線は、線形低下部と指数低下部の二つに分割することができた。

表-5には、4降雨のそれぞれの遞減曲線について、線形低下部および指数低下部の各々を(3)、(3)式で近似させた結果を示す。いずれの場合も実測値と計算値の誤差は、暗渠排水試験における誤差と同程度かそれ以下となり、(3)、(3)式で非常によく近似されていることがわかる。なお、図-13には、計算結果の一例(6月18日降雨の場合)を示す。

表-5に示すように、線形低下部の近似によって求められた直線の勾配は、 $-5 \times 10^{-9} \sim -1 \times 10^{-8}$ と、暗渠排水試験の場合( $-8.61 \times 10^{-9}$ )とほぼ同程度の傾きを示し、また、圃場内水面面積( $A_w$ )も $70 \sim 110 \text{ m}^2$ と、暗渠排水試験結果( $96 \text{ m}^2$ )と同様の値を示した。一方、指数低下部の近似によって得られた圃場の透水係数( $K$ )は、 $4 \sim 7 \times 10^{-2} \text{ cm/s}$ となり、暗渠排水試験や不攪乱土壌ブロックを用いた実験から求められた透水係数とオーダー的に一致した。さらに、排水可能孔隙率( $F_v$ )はいずれの場合も約2%となり、圃場内亀裂量とほぼ等しくなる。このように、自然降雨の場合も、本試験圃場での暗渠に向かう水の移動は、圃場内水位により弾丸暗渠が水みちとして機能する場合(線形低下部)と心土亀裂のみを水が流れる場合(指数低下部)の二つに分けることができる。加えて、これらを近似した時に求められる

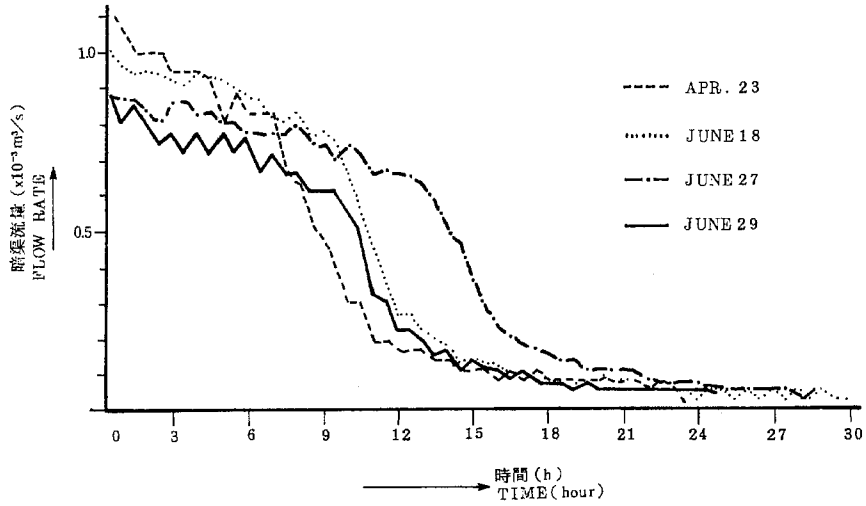


図-12 降雨排水時の暗渠流量の遞減特性  
Recession curves of pipe drainage discharge by rainfall from the test field

表-5 試験圃場における暗渠流量遞減曲線の関数同定  
Table 5 Identification of function for recession curves of the pipe drainage flow from the test field

		APRIL 23	JUN 18	JUN 27	JUN29	PIPE DRAINAGE TEST
LINEAR DECREASE	$Q=at+b$					
	a	$-1.15 \times 10^{-9}$	$-6.69 \times 10^{-9}$	$-5.34 \times 10^{-9}$	$-7.26 \times 10^{-9}$	$-8.61 \times 10^{-9}$
	b	$1.09 \times 10^{-3}$	$1.01 \times 10^{-3}$	$9.03 \times 10^{-4}$	$8.65 \times 10^{-4}$	$1.08 \times 10^{-3}$
	$A_w(m^2)$	73.8	108.9	109.1	73.6	96.0
	ERROR	$8.39 \times 10^{-10}$	$5.28 \times 10^{-10}$	$4.58 \times 10^{-10}$	$1.08 \times 10^{-9}$	$7.61 \times 10^{-10}$
EXPONENTIAL DECREASE	$Q=(at+b)^{-2}$					
	a	$1.67 \times 10^{-3}$	$2.06 \times 10^{-3}$	$2.11 \times 10^{-3}$	$1.88 \times 10^{-3}$	$2.36 \times 10^{-3}$
	b	$3.72 \times 10^{-1}$	$3.55 \times 10^{-1}$	$3.70 \times 10^{-1}$	$4.55 \times 10^{-1}$	$3.28 \times 10^{-1}$
	$K(cm/s)$	$6.32 \times 10^{-2}$	$6.94 \times 10^{-2}$	$6.38 \times 10^{-2}$	$4.22 \times 10^{-2}$	$8.13 \times 10^{-2}$
	$F_e(\%)$	0.025	0.021	0.020	0.018	0.020
	ERROR	$4.22 \times 10^{-9}$	$4.45 \times 10^{-9}$	$6.78 \times 10^{-9}$	$1.72 \times 10^{-9}$	$8.45 \times 10^{-9}$

$A_w$  : Area of water surface in the field  
 $K$  : Estimated hydraulic conductivity  
 $F_e$  : Estimated effective porosity  
 ERROR : (calculated value - measured value)<sup>2</sup>/number of data

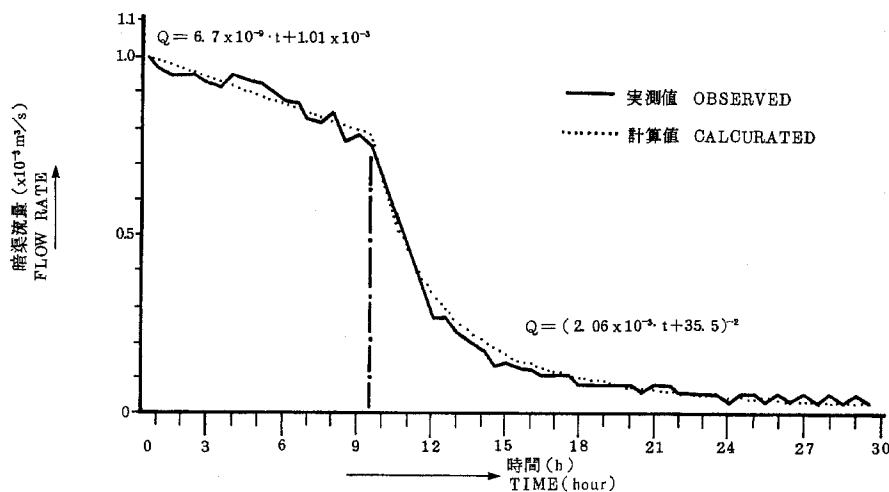


図-13 降雨による暗渠流量遞減曲線の実測値と計算値の比較 (1985年6月18日データ)  
Comparison between calculated and observed recession curve  
of pipe drainage discharge by rainfall (1985 June 18)

$A_w$ ,  $F_e$ ,  $K$ などの係数値は暗渠排水試験の時と大きな差はなく、(3), (13)式で表わされる圃場内の水移動は自然降雨の場合も十分再現性があり、圃場内に生じる水移動現象を十分な精度で説明しているといえる。

## 7. まとめ

本報告では、圃場における水移動に果たす亀裂などの大孔隙の役割の定量的な表現方法を確立するために、亀裂が発達した粘土質圃場での排水時の水移動現象に着目し、圃場における水移動メカニズムを解明した。このために、対象圃場の状態や降雨排水の実態を調査することによって心土亀裂などの大孔隙の存在状態と排水時のその役割を特定し、それを伝える水の流れの物理的特性を不攪乱土壌ブロックを用いた実験により明らかにした。さらに、圃場全体からみた水移動現象の物理的特性を暗渠流量の遞減特性から明確にし、これに大孔隙の特性がどのように反映しているかを検討することにより、圃場の水移動に果たす大孔隙の役割のモデル化をおこなった。この結果、圃場における水移動に関して次のようなことがわかった。

- ① 試験圃場内の水移動は、圃場内水位の高低によって二つのメカニズムにより生じている。
- ② 圃場内水位が高い場合には、弾丸暗渠が水みちとして機能し、極めて迅速な水移動が生じる。この結

果、暗渠流量は時間に比例して低下し、タンク底に設けた小オリフィスからの流出の際にみられる流出特性と同様な特性を示す。

- ③ 圃場内水位が低い場合には、心土亀裂のみを伝わり水が移動し、この時の水の流れはダルシー流となる。なお、この場合の透水係数は $10^{-2}$  cm/sオーダーとなる。

本報告で検討した成果は、一試験圃場内での現象をモデル化したものに過ぎないが、亀裂などの大孔隙を伝える水の流れ方の物理的特性については、かなり正確に表現し得たものと考えられる。しかしながら、亀裂などの大孔隙を伝える水の流れ方のより詳細な特性、マトリックスと大孔隙の相互作用など明らかにできなかった問題が残存しており、モデルを一般化するためには、今後こうした諸問題を解決していく必要がある。

## 謝 辞

この報告は、土壌物理研究会シンポジウムで発表した内容を整理したものであり、シンポジウムにおいて発表の機会を与えていただいた土壌物理研究会事務局各位に感謝の意を表します。また、本研究の遂行に当たって、常に温かい御指導、御鞭撻いただいた岩田進午博士(茨城大学)、長谷川周一博士(農業環境技術研究所)、宮崎毅博士(東京大学)、粕淵辰昭博士(北海道農業試験

場)の各氏には心から謝意を表します。

なお、本報告は、農林水産省の「転換畑を主体とする高度畑作技術の確立に関する総合的開発研究」において得られたデータの一部を使用した。

#### 引用文献

- 1) Dumn, L. D. : Drain spacing formula, Agric. Eng., 35, 726-730 (1954)
- 2) 井上久義・長谷川周一・宮崎毅: 亀裂が発達した圃場における水の横浸透, 農土論集, 134, 51-59 (1988)
- 3) 井上久義: 亀裂が発達した粘土質圃場における暗渠排水特性, 農土論集, 137, 25-33 (1988)
- 4) Marsh, B. a · B. : Measurement of length in random arrangement of lines, J. App. Ecol., 8, 265-267 (1971)
- 5) Newman, E. I. : A method of estimating the total length of root, J. App. Ecol., 3, 139-145 (1966)
- 6) 長堀金造・高橋強・天谷孝夫: 埋設深さによる暗渠の排水特性—笠岡湾干拓干陸ヘドロ地の農地基盤整備に関する基礎的研究 (IV) —, 農土論集, 57, 1-7 (1975)
- 7) 長堀金造・高橋強・天谷孝夫: 非定常状態における暗渠排水特性—笠岡湾干拓干陸ヘドロ地の農地基盤整備に関する基礎的研究 (VI) —, 農土論集, 60, 1-6 (1975)
- 8) 山崎不二夫・八幡敏雄・竹中肇・田淵俊雄: 北海道小向の暗渠排水における心土亀裂の役割, 農土研究, 30, 427-434 (1963)

#### Summary

In this paper, following aspects are discussed so as to describe quantitatively the role of cracks on water movement in a clayey agricultural field with shrinkage cracks.

- (1) Hydrological properties of drainage according with rainfall events.
- (2) Quantitative estimation of the cracks which developed in the field.
- (3) Physical properties and routes of water flow through an undisturbed soil block (1.5m×5.0m).
- (4) Physical properties of water flow in the entire field estimated by recession curve of drain flow.

A test field was 30m×70m in area and has a impervious plastic sheet at 0.7m deep. A drain pipe, 60mm in diameter and 70m long was installed on the sheet and mole drains, 100mm in diameter, were constructed at about 0.35m deep and at 1.2m spacing. Soil texture was heavy clay (48%). Soil profile was able to be divided into two layers, plowed layer (about 0.1m thick) and subsoil. The subsoil had large prismatic structure due to shrinkage cracks penetrating to the bottom of the field. Matrix of the subsoil showed a massive structure and saturated hydraulic conductivity was no more than the order of  $10^{-6}$  to  $10^{-7}$  cm/s. Results of the experiments are as follows.

- (1) Most of rain water was drained from the field by pipe drainage. The pipe drainage started soon after beginning of rainfall, and the drain flow responded quickly on the rainfall patterns.
- (2) In the subsoil of the field, cracks 1-2mm wide developed and the length of the cracks on horizontal sections was  $20\text{m}/\text{m}^2$  at the depth shallower than the mole drains and  $10\text{m}/\text{m}^2$  at the depth deeper than the mole drains. From these value, volume of the cracks could be estimated 1.5-3 % of the volume of entire field, and 1-2 % of the volume of the field deeper than 35cm.
- (3) Experiment by using the undisturbed soil block showed that water flowed only along the mole drains and cracks. When the water table was high and water flowed mainly along mole drains, rapid and non-Darcian flow occurred. On the other hand, when the water table was low and water flowed along only cracks, the flow showed Darcian property and the hydraulic conductivity was in the order of  $10^{-2}\text{cm}/\text{s}$ .
- (4) Recession curve of the flow of the pipe drainage could be divided in to 2 parts. When water table was high, flow rate of the pipe drainage decreased linearly with time. This was similar

to flow property from an orifice of a water tank, and was interpreted by rapid flow along the mole drains. On the other hand, when water table was low and water flows along the cracks, the flow rate decreased exponentially with time. This could be described very well by the equation of unsteady Darcy flow, and volume of the cracks and hydraulic conductivity was calculated 2% and in the order of  $10^{-2}$ cm/s respectively.

From these results, it can be said that most of water flowed only along the mole drains and the crack in this clayey field, and that when the water flows along the cracks, the flow showed Darcian property and the hydraulic conductivity was in the order of  $10^{-2}$ cm/s.

(Soil phys. Cond. Plant Growth, Jpn., 59, 35-51, 1989)

## 〈土壌物理研究会30周年記念シンポジウム〉

### 「現代の土壌物理とその展開」

#### 総 合 討 論

座長 石井 和夫（農研センター），安富 六郎（茨城大農）

#### 【座 長】

まず、5人の方々からの御講演に対してそれぞれに討論を致したいと思います。次に、30周年記念シンポジウム「現代の土壌物理とその展開」という課題を踏まえて、今後の土壌物理の展開方向について、会場の皆さん方から忌憚のない御意見を拝聴したいと思います。吉田さんは大変形に関する力学の問題について。物体のいろいろな変形、それに伴う破壊または破断に関する一般的なお話。次に、等方性と異方性の問題。最後に実際の問題としての耕盤の力学的な取り扱いをどういうふうにするか。特に、その硬さをどういうふうに測定したらいいか。その事例としてペネトロメーターと山中式硬度計との力学上の差を述べられた。そして、力学をもう少しいろいろな面に、シロカキの力学、分散、凝集などの問題にまで実用的に応用していきたいということが全体的な視点になっていたと思います。

加藤さんは、現在の力学的土壌構造論の重要性について。圧縮の感受性の概念、この値が大きいほど骨格構造の寄与が小さい。つまり外力を土壌構造が支えるという意味でそれが全体的な内圧にどのように寄与しているか。その係数をここで説明されたと思います。また、骨格構造を如何にして形成させるかということが土壌保全、土壌の管理などにとって今後非常に重要である。そういう意味で、土壌物理的な視点が非常に重要だということを強調された。

そして、そのことは、圃場の適切な土壌管理法の確立と土壌の資源的価値の維持のために重要である。

古賀さんは、土の長期浸透について。非火山灰土または火山灰土の透水係数の低下を緻密に観測して、これらの透水係数の低下について、膨潤、土粒子の分散移動、浸透による圧密現象、そのほか微生物の影響などから精密な考察をされた。特に、古賀さんは、応力歪を透水係数と関係づけられた。これは、非常にユニークなもので

はないかと思います。

谷山さんは、赤外線の利用した土壌水分の定量的な測定について。これはハイテク技術といえ我々が通常容易に観測できなかった問題に対する1つのアプローチであると思います。とくに、これは非破壊での測定ということですので、今後こういう測定方法がもっと実用化されるならば、今まで不可能であった観測が可能になるのではないかと思います。

井上さんは、亀裂が発達した粘土質圃場での水分移動のモデル化について。大孔隙の役割を定量的に評価して、モデルを確立された。また、オリフィス流とダルシー流とに分けて、粘土質圃場におけるそれぞれの流れの性質を分析された。以上、5課題についての質問をお願いします。

#### 【宮内（愛媛大農）】

加藤さんに。農耕地土壌の圧縮特性ということになると、現地での外力としてはコンバイン、田植え機などの作業機械による振動を伴った繰り返し載荷状態があると思います。これと、加藤さんの述べられたつき固め、衝撃的な外力による結果あるいは圧密による結果というような純静的荷重による圧縮特性との関係はどのように考えるのでしょうか。また、平均接地圧が同じであれば、載荷重が大きいほど深くまで応力が伝わるという表現をされましたが、これは、載荷面積が広いということでしょうか。

農耕地土壌ですから、ある土層の深さ方向の圧縮特性という場合には、その外力による応力そのものよりも、応力に起因するエネルギーの蓄積と散逸という面からのほうが理解しやすいのではないかと考えますけれども。

#### 【加 藤】

振動と繰り返しの載荷の問題は、御指摘のとおりです。これに関しては実験をしておりません。ただし、実験室内での結果というのも、現場の実際の圧縮と関係はありますので、実際の現象と合わない点があった場合、その点がどういうふうに影響しているのかというのを詰めて

いくのも一つの方法であるとは思いますが。応力に起因するエネルギーの蓄積と散逸という観点からは、まだ考えた事はありません。

#### 【宮内】

圧縮の感受性が土壌の構造と関連するという場合の土の構造というのはどのようなものでしょうか。

#### 【加藤】

この場合の土壌の構造とは土壌粒子の配列状態ということですか。

#### 【山路(東大農)】

谷山さんに。測定している土壌の深さはどのくらいまでのものと理解してよいのでしょうか。また、風蝕の問題をきっかけにして、水分測定装置の開発を始められたということですが、どのような問題があったのでしょうか。

#### 【谷山】

私の測定は、実際の土層内に挿入してというものではなくて、2mmふるいを通した均一な土壌に光ファイバーを差し込んでというものです。したがって、実際の圃場では土壌構造がもっと不均一でしょうから、それが測定データに大きく影響することは考えられます。

また、水分測定装置の開発の動機についてですが、風蝕の解析をする時に、極表層からの水分分布の把握が必要になったということがそれです。ほとんど風乾に近い水分状態から、1cmあるいは2cm下のかなり湿った水分状態までの分布を知りたい。何か適当な測定方法はないか。そういうことで、広い範囲の水分が測定できて、しかも、非常に微小な部分のものでも測定が可能だという測定法を開発してみたいということになったわけです。

#### 【取出(東大農)】

古賀さんに。透水係数と歪との関係が一価関係が決まるということについてもう少し詳しい御説明をお願いします。

#### 【古賀】

透水係数と歪との函数関係を求めるのに、一番しっかりした方法は、標準圧密試験により各荷重の圧密が終了した後でそれぞれに透水試験を行うというものです。この場合、間隙比と透水係数との函数関係でもよいわけです。実は、私が講演で紹介した例は農土試の足立一日出さんのデータを使わしていただいたものです。シロカキ実験に関するデータですが、沈定した状態での密度の分布と水圧の分布が示されたものです。

水圧の分布と密度の分布がわかりますと、有効応力の分布が計算できます。応力と歪の関係がその結果から得られる。一方、間隙率と透水係数の関係も示されていた。

それから透水係数と歪の関係式を求めました。

きっちりやろうということになると、圧密試験によらなければなりません、シロカキ土のようなゆるい土壌の場合は、こういった方法でも求めることができます。

#### 【座長】

イオン添加した土壌では、ある時間が経過すると透水係数 $k$ が増加しますね。 $k$ が高くなるというのは、イオン添加された土壌粒子が再配列することで、間隙が増大するという理解でよろしいですか。

#### 【古賀】

恐らく土壌粒子が水の流れているうちは、攪乱流中でモワモワした落ちつかない状態で透水を疎外していたのではないかと。粘性抵抗が表面積で利いているということです。ところが、それを静置すると、土壌粒子が凝集し、コンパクトになって表面積が小さくなり、透水係数は回復したのだらうと思います。

#### 【西村(東大農)】

谷山さんに。土壌の水分飽和度と反射率比との関係。変動係数を求めるときに、黒い板と白い板の反射を使っておられた。黒と白の間の場合、いわゆる明度のようなものを考えると、そこでは、反射率が違ってくる。例えば、同じ茶色にしても、明るい茶色とこげ茶色とでは反射率が違うと思うのですが、そういうことは、土壌の水分飽和度と反射率比との関係に影響がないのでしょうか。

#### 【谷山】

色の違いというのは、可視光域での反射率の違い、つまりスペクトルのそれぞれの組み合わせの違いということになります。その反射率の違いが関係するのではないかと。真っ白い土が一番反射率が高く、次に赤色土、褐色森林土という順序の解釈が成り立つのではないかと初めは思ったわけです。しかし白い土の次に腐食質黒ボク土、その次に淡色黒ボク土でした。したがって、必ずしも色との関係は明確ではありません。

もちろん赤外領域の反射ですから、基本的には色と直接の関係はありません。ただし、微細構造のようなものは関係するかもしれません。色が明るいものほど、構造がなめらかで、赤外領域における反射率は若干高いのではないかなと。例えば、淡色黒ボク土は有機物が少ないといっても、構造的にはかなり複雑で表面積も大きいので、そのようなものではないかなと思っています。いろいろ調べてはいるのですが、明確な答えは今のところ出ていません。

#### 【長谷川(農工研)】

古賀さんに。

長期の透水をしたときに、透水中には $k$ が下がって、放置しておくとき $k$ が上がるということ、その理由としての土壌粒子の分散、凝集について。動水勾配によってそれらのことが変化するのではないかと思うのですが。そうすると、孔隙内の水の流れの速さが非常に影響することになります。また、水を流している間は $k$ がどんどん下がってきて、その場合には土壌粒子は分散している。次に、水の流れをとめたときに、その分散している土壌粒子は孔隙内にとどまって、そこで凝集するのでしょうか。それともどんどん下へ流れて行ってしまったのでしょうか。

#### 【古賀】

透水中に、透水係数が下がる度合いには、当然流速が影響していると思います。

また、分散した土壌粒子がどうなるかということですが、シャインバーグによる実験ですと、粘土含量の少ない砂質土の場合には、最終的には下部に懸濁して流れきているということです。私の今までの測定範囲では、下部に土壌粒子が出てくるということはありませんでした。ですから、比較的短距離の移動ではないかと思えます。一番狭まっているところ、あるいは逆に広がって流速の遅くなったようなところでひっかかっているのではないのでしょうか。

#### 【岩田（農工研）】

講師の皆さんに質問いたします。

吉田さんに。自然の土壌には異方性の問題がかなりあるということを述べられました。確かに透水係数をはかってみると、かなり異方性のみられるものがあります。力学的な挙動の異方性の問題について、もしフィールドでの特徴的な事例を御存じでしたら教えていただきたい。

加藤さんに。サンプルの大きさの問題があると思うのですが、亀裂があったり、虫の穴があったり、いろいろな問題がある。その辺を踏まえて、実験室と圃場とを結びつけるのに、今後、どういう角度から考えていかれるのかということをお尋ねしたい。

古賀さんに。例えば、地下水が自然に常時滞水しているようなところは、恐らく水が年中下へ重力で少しずつ落ちていると思われれます。それを長期的に見た場合、結局極限的にはどんな状態になっているのか。現在の状況が極限で、一定になっているのか、なっていないのか。実際には水は少しずつ深層地下水になっていくわけです。この点についてはどのような考え方をされるか。

谷山さんに。谷山さんの測定法で、もっと平均的にかなり広域なものをうまく把握することができるのかどうかということをお尋ねしたい。

井上さんに。実際に亀裂の測定を行ってみて、トレンチの長さが3mぐらいでないといふだというお話でした。なかなかこれは困難なことですし、大変な労力があるわけで、この点をどのように解決していこうとされているのか。

#### 【吉田】

圃場の力学性に関して、実際に異方性を把握したのではないと思います。室内試験による強度などについては、堆積方向と堆積に直角な方向とで強度常数がどう違うかということとかなりやられているようです。現場で、そういう異方性を考慮してというものは少ないと思います。

#### 【加藤】

サンプルサイズに関する御質問ですけれども。これは非常に難しい問題です。

今のところこのような問題は断面形態の観察とか、微細形態の観察とかに頼るしかないのではと思います。

#### 【古賀】

今までに直接経験した範囲の中で考えてみたいと思います。

まず、スタートが、どういう状態であるかということによって変わると思います。基本的には土の場合、水を流せば流すほど最終的には難透水性に移っていくのではないかと思います。

ただし、透水係数が上がる場合として、まず一つはスタートの時点で飽和度が低く、だんだんそれが高まっていくというものが考えられます。

もう一つは、ケミカルの面からで、例えば、スタートがナトリウム土壌であったとして、それにカルシウムを添加したという場合には、透水係数が上がることが考えられます。

究極のことはわかりませんが、今までの結果から想像しますと、基本的には透水係数は下がる方向に向かうと思われれます。

#### 【谷山】

測定上のスケールの問題ですけれども。光というのは非常におもしろい性質がありまして、反射する、屈折する、および散乱するという性質があって、しかも直進するという性質も持っている。しかし、光ファイバーを使うことによって光を曲げることが可能になった。それらを組み合わせることで、スケールは幾らでも拡大できるはずですが。実際にはまだ行っておりませんが、それは理論的には可能なわけです。

#### 【井上】

御質問は非常に難しい問題です。圃場を常に扱っている者は、あるデータを取ったときに、この規模における



データが一体その圃場全体に対してどれだけの意味を持つのか、何を意味するのかということに常に考えていかなければならないと思います。例えば、同じ大孔隙を伝わる水の流れ方にしても、弾丸暗渠などを伝わる水の流れ方というのは、どこに目詰まりがあるかわからない。それをどのぐらい小さい物で代表させるかということになると、非常に不可能に近くなるわけです。

亀裂の場合などは、トレンチの長さを短くして測定してみても、1 m 50 cmあるいは1 m ぐらいの長さでも、5 mのときと余り変わらないような特性になってきたということです。したがって1 m ぐらいでもということになるわけです。しかしながらそうした規模という問題への近道はなかなかない。一々しつこく確かめていくしかないのではと思います。

#### 【座長】

さて、今までのお話を要約させていただき、次の将来の展望に移りたいと思います。

今回の話は、力学的な特性、透水的な特性及び測定技術の問題についてのものがメインであったと思います。

力学的な特性は、大変形の扱いの問題、硬さの定量化の問題、およびそれらと土壌構造論との結びつけについてのものでした。

また、圧縮の感受性の定量化と土壌構造論との関係もありました。

次に、透水性については、現代的な視点から、つまり分散凝集という問題を含めた考察がなされた。また、暗渠排水における亀裂の役割がより明確にされた。これは透水的土壌構造論になると思います。

以上2つの、いずれも土壌構造論というものを1つの軸にした議論が展開されました。

さらに、測定技術については、非破壊の試験ということでした。いろいろ実験する場合に、いつもぶつかるといえる問題はなかなか実態を的確につかめる測定方法がないということ。実際、理論上は非常に進んでいても、それを押さえる手段はおくれているということです。

さて、それでは、土壌物理研究の今後の展開方向ということで御意見を伺いたいと思います。

最近の農業情勢は、御存じのように非常に厳しいもので、農業研究の方向も新たな展開が求められています。農業土木試験場が農業工学研究所になり、組織機構がいろいろ新しいものになる。また、10月には地域農試のほとんどが、機構改革されて、新しい研究室もできるなど。これらの機構改革についてはいろいろ異論はあるとは思いますが、とにかく食料を増産するのだという従来の研究とは違った、飽食の時代のこれからの研究。土壌物

理でもここで新たに、今後どういう研究が要望されるのかあるいは重要であるかということになる。これらの点については御意見があることと思います。また本研究会の雑誌は、英文名では“Soil physical condition & plant growth”となっております。しかしどうも最近プラント・グロースのほうに弱化が見られる。ひところの地力増進法のときには、それに関するもので、後で基準化に用いられたというようにデータが出されたものですけれども。最近、土壌肥料関係の土壌物理屋も少なくなってきた。これはどういうことでしょうか。何か行き詰まりがきているのではないかという気がします。特に、試験場関係で仕事をなさっている方にその辺の悩みをお聞かせ願えば、これは今後の展開を考える上で役立つと思われます。

#### 【駒村(果樹試)】

永年性の作物の分野ではもっとも研究者が少ない。しかし昭和40年前後の果樹増産時代には、新規開園や造成が盛んになり、そういうことを背景にして、特にミカンを中心に土壌の物理的な問題が非常に強調され、研究にも大きな進展が見られたわけです。最近の情勢からしますと、品質あるいは新品種についてというような生産者あるいは消費者サイドの意向が研究にも反映されてしまって、じっくりと土壌の物理性などの基礎的なところを攻めるということが非常に取りあげにくくなっています。しかしながら、土壌の物理性の研究が行われていないわけではありません。今までは事細かく一通りの物理的特性をみるという試験研究のやり方が多かったわけです。しかし、少し項目をカットしていこうということで、土壌の評価という場合には、根が70%以上分布しているところまでを根域として、普通の果樹作物ですと大体深さ60 cm ぐらいまでですが、それについて緻密度、透水係数および粗孔隙の3項目だけをはかり、それ以外の細かい項目はカットして評価を行おうというような整理が一年の研究ではなされました。最近、いい物をつくるという意味から限られた領域に、省資源的な手の加え方でコントロールしやすいような地下部環境をいかにつくかというような研究がかなり進められています。

#### 【岩田】

今日のシンポジウムを聞かせていただいて、少なくとも10年ぐらいのスケールでものを見ると、かなり内容は前進しているなあという感じがしました。土壌の物理性第59号のときの座談会では、大きく問題になったのが、圃場の科学をどうするかということでした。さきほど私が質問しましたように、何しろスケールの小さなもの、例えば直径5 cm 高さ5 cm ぐらいの円筒で取ってきたも

ので求めた値をすぐに圃場に移せないということが、ものすごく大きな問題としてあるのではないか。ここら辺のところをどうしようかということが、その座談会での大きな柱だったと思います。

実は、私、今年8月にオランダで行われたLand Evaluationのシンポジウムに出席しました。そこでは、電子計算機の発達を利用して、浸食度がどうかということで土壌のマップをつくるとか、肥沃性の観点から土壌のマップをつくるかということに当たって、分けて置いてある多数の測定項目と鑑定値を電算機にほうり込みさえすれば簡単にマップができるようになるという課題が出されました。しかも、世界的にそのネットワークは張られている。そういう意味では大したものだなと思いました。しかし、そこでも問題はあって、その場合の確かな測定値はどうやって求めるのかということになると、かなり意気消沈してしまうという状況があるわけです。上のものはかなりできているのだけれども、まだまだ下のものができていないという感じがしみじみしました。やはり50号のときと同じで、実験室の測定値と圃場の実際の物性値とをどうやって結びつけていくかということとは、今でも1つの大きな基本的問題であると思います。

#### 【座長】

確かにこれまでの研究というのは、圃場試験をやって、圃場の物理的な問題をよく観察し、あるいは室内実験をやったり、それらを総合して技術化するということでした。今求められているのは、資源の評価とか、水資源の評価とか、土壌の果たす環境保全の評価というようなもので、しかもそれらのマップを描く。どうも圃場試験レベルのものではなくて、もう少し予測する技術、そういう手法というものが求められている。そういうものをどんどん開発していかなければいけないということのようです。また、データベースといっても、近ごろはなかなか圃場で穴が掘れません。農家が反対するんです。穴を掘るんだったら、小さいものにしてくれと。そういう時代で、一々穴を掘らなくても、谷山さんの述べられたような非破壊測定などの手法をどんどん開発していけないととてもデータ把握が追いつかない。

#### 【中野（東大農）】

土壌物理の展開ということで、最近次のようなことを感じております。当然、従来のような自然土地利用型の農業、つまり生物生産あるいは食料生産というように言ってもいいかと思いますが、これについては土壌物理の成果をずっと集めていってこれらを役立たせていくということが恐らくこれからも相当の時間をかけて行われなければならないと考えます。5年前あるいは10年前と比べ

て今どういうふうに動きつつあるかということ、2つの方向が出ているのではないかという感じがしております。

その1つの方向は、施設的な側面から見た土壌物理学というものではないかと思います。それは施設の中で使われているような人工培地の管理および制御で、これらを精密に、精緻にやっていくための土壌物理学の展開です。そこでは多分我々が今まで培ってきたものがうまくつかえるのではないかと思います。これには、ハウスの中で例えば細かいグラスファイバーを使ったようなものが含まれますし、また70cm四方ぐらいの土層に一本桃を植えて一山梨県の果樹試でやられている一立派な桃をとるものなども含まれます。この桃の培養は言ってみれば、小さなライシメーターの中に果樹のような大きな永年性の植物を入れて、土壌環境をみごとにコントロールし、水、肥料を省資源的にやりながら管理して生産を上げていくということだろうと思うのです。これはまさに実験室規模の成果の適用そのものであって、これをさらに省エネ、省資源でやっていく方向というのは、従来の土壌物理の精緻な展開を目指してということのもう1つ先の課題として今後あるだろうというように考えられます。もう1つの方向は、環境問題との関係です。農地および林地までも含めて、そういうものを緑地というように見ることにすると、その緑地を我々がどのようにして地域の中につくっていくか。およびその周辺のいろいろな山林あるいは、原野も含めて、そのような緑地を維持するための土壌の創造にとってということです。緑地を管理していくための土壌の物理、あるいは土地の物理かもしれません。それがそれにおける土壌物理学の展開の方向というのがもう1つあるのではないかという気がしています。

#### 【座長】

最後に、美園さん、突然で申しわけありませんが何か我々に御意見があらましようか。

#### 【美園】

結局、そこに日本の土壌があるから、その土壌を研究しているわけです。そして、研究者一人一人の努力が大切ではあります。しかし私たちが30年前に土壌物理研究会をつくったのは、当時、土壌肥料学会、農業土木学会および作物学会、の中で、今という土壌物理に関係していることを一生懸命やっている研究者たちが、分野を超えて話し合いたい、話題を連結させてみたいということがその始まりだったんです。

だから、そういう意味では30年たっても、皆があつまって討論することでよいと思われれます。そこには作物の関係の人もいる。園芸の関係の人もいる。農業機械の関係の人もいる。そういう人達が集まって、討議をして、し

かもその討議が大衆のために反映されればさらにいいなあと思われまふ。また、地域的なところで行われた専門分野を超えた人たちの討議が会誌に反映されてもいいのではないかと思ひます。つまり、熱心に研究しようとし

ている人たちが協力して討議をする、その成果がなるべく会誌に反映されるようにということです。

**【座長】**

これにて今日の総合討論会を終わりにいたします。

## 土壌の物理性改善効果の指標化

木村 悟\*

近年、農村における高齢化や婦女子化のため、農業労働力は減少し、農業を巡る諸時勢の変化と相俟って、土壌管理は粗放化し、特に化学肥料への過度の依存による推きゅう肥の施用量の減少、作業効率の重視による作土の浅層化など地力の低下が顕在化してきている。すなわち、水田作土の浅層化が水稻根群域を制約し、稲作の収量停滞・不安定の要因になっているとの指摘、単一作物の連作による土壌病害の発生・伝播と物理性との係わり、農業機械走行による踏圧のため土壌は堅密化して、物理性の悪化を招き、作物の生育不良あるいは侵蝕を発生させている例が数多く報告されている。

一方、水田農業確立に必要な耕盤管理、連作障害制御と関連して根圏あるいは根群域における物理的環境の解明、作物の高品質を目指して土壌水分や栄養塩の動きや濃度変化のリアルタイムの情報の集積など土壌物理の重要性の認識と知識の啓蒙が今ほど強く求められている時はない。

作物の生育環境としての土壌の物理的要因には、作物に水と空気を供給するための透水性・保水性・通気性、作物根の伸張を補償する土壌の硬度のほか、農作業の効率に係わる要素として碎土性・排水性・地耐力などが挙げられる。これらは、土壌の物性、構造的性、力学性が相互に複雑に絡み合っている。従来、地力の維持増進は、土壌の化学的性質の改善が主な対象とされてきたが、作物生産に対して土壌の物理性の重要性が指摘されてきたことから、1984年に制定された地力増進法には、土壌の基本的な改善目標として、土壌の化学性に加えて物理性の基本的な改善方策が明示されている。

土壌の物理性の改善には土地基盤そのものの整備も当然であるが、通常の営農との関連で日常的な働きかけが重要である。その基本となるのが推きゅう肥などの有機質資材の施用である。一例として、公立試験場で40～50年以上に及んで実施された有機物連用圃場において、土壌の物理性を調査した結果を総括的に表に示した。現在、このように長年月にわたる試験が少なくなってきており、

また試験場の移転などで長期連用試験圃場も失われつつあることもあって、このままこのデータを埋もれさせるのは惜しい気がしたので、聊か旧聞に属するとは思いながら、敢えて掲載することにした。有機物連用に伴って炭素含量（腐植）は蓄積され、それに比例して現地仮比重の低下、孔隙量の増加、団粒の増加、圧碎抵抗の低下など、土壌の物理性・力学性の改善効果は明らかである。

このように、有機質資材の施用は土壌の化学性や生物性ばかりでなく、物理的環境改善に卓効があるため、土づくりの基本となっている。しかしながら、現在有機質資材の施用量は著しく減少している。かわって、各種の所謂土壌改良資材が開発され、市販に供されている。これらは、地力増進法に基づいて指定された土壌改良資材の種類ごとに、名称、表示者の氏名・住所、原料、用途（主たる効果）、施用方法などを表示することを義務づけられているが、改良資材の中には、その効果が必ずしも明確でないものも見受けられる。圃場レベルで土壌改良資材の効果を的確に判定するには長年月にわたる圃場試験の積み上げが必要であることはいまでもないが、これらの効果を速やかに判定できる指標の設定が望まれる。このためには、各種の処理によって、土壌の物理性が如何に改善されたかを圃場条件下で簡便に測定できる方法論の確立と物理性の測定値が作物の生育とくに根の生理に対してどのような関係を持っているかのアプローチが必要となる。

土壌物理研究会はヘテロな研究者の集団である。機関誌の英名は "Soil Physical Condition and Plant Growth" となっているが、土壌の物理性と作物の生育との因果関係の解明から生まれる物理性改善の指標化に向かって、いろいろな分野での基礎的並びに応用的試験研究の発展とその成果を期待しているのは筆者のみではあるまい。

\* (財) 日本土壌協会

〒101 東京都千代田区神田神保町1丁目58番地 バピロスビル6階

表層土の全炭素含量と物理性との関係

項 目	会 津		鴻 巣		静 岡		長 野		安 城		
	r	a	r	a	r	a	r	a	r	a	
固 相 率	-0.935*	-4.6	-0.985**	-5.9	-0.879**	-7.8	-0.886	-7.8	-0.855*	-8.6	
液 相 率	0.981**	5.6	0.934*	3.7	0.808*	6.2	0.453	-	0.926**	7.4	
気 相 率	-0.654	-1.0	0.914*	2.3	0.371	-	0.631	5.7	0.148	-	
現 地 仮 比 重	-0.962**	-0.138	-0.972**	-0.181	-0.903**	0.256	-0.860	-0.233	-0.870*	-0.266	
風 乾 細 土 仮 比 重	-0.899	-0.089	-0.699	-0.048	-0.897**	-0.101	-0.906*	-0.092	-0.932**	-0.136	
真 比 重	-0.978**	-0.059	-0.750	-0.055	-0.887**	-0.097	-0.646	-0.041	-0.860*	-0.080	
全 孔 隙 量	0.935*	-4.6	0.985**	5.9	0.879**	7.8	0.886	7.8	0.855*	8.6	
pF 0 ~ 1.5	-0.654	-1.0	0.474	-	0.905**	3.6	0.697	3.1	-0.401	-	
pF 1.5 ~ 2.7	-0.072	-	0.736	4.1	0.009	-	0.371	-	0.639	3.2	
pF 2.7 ~ 4.2	0.910*	4.8	0.893	4.8	0.922**	5.4	0.910*	3.2	0.708	2.4	
pF 4.2 以上	0.304	-	-0.580	-	-0.326	-	-0.295	-	0.975**	5.7	
0.5mm以上粒団(未風乾)	0.691	5.9	-0.892	-6.3	0.786	2.2.5	-0.984**	-7.9	0.845*	10.7	
0.5mm以上粒団(風乾)	0.384	-	0.678	24.4	0.751	5.9	0.779	9.1	0.965**	28.0	
風 乾 土 試 料	液 性 限 界	0.905*	6.9	0.338	-	0.972***	7.5	0.681	4.3	0.969**	6.4
	そ 性 限 界	0.565	4.3	0.888	3.1	0.930**	7.6	0.992***	4.3	0.722	3.5
	そ 性 指 数	0.686	2.5	-0.225	-	-0.051	-	0.001	-	0.677	2.9
	収 縮 限 界	0.789	3.0	0.842	2.5	0.758	3.9	0.201	-	0.766	4.1
	収 縮 比	-0.881	-0.083	-0.854	-0.053	-0.810*	-0.106	-0.809	-0.075	-0.766	-0.138
圧 碎 抵 抗	-	-	-0.877	-24.0	-0.847*	-9.8	-	-	-0.644	-20.9	

\* 10% \*\* 5% \*\*\* 1%で有意 r:相関係数、a:全炭素1%当たりの寄与率

## 会 務 報 告

### 昭和63・平成元年度役員

会 長 久保田 徹 (農環研),  
副 会 長 軽部重太郎 (茨城大)  
幹 事

(会計) 日笠 重喜 (農環研),  
遅沢 省子 (農環研)  
(庶務) 加藤 英孝 (農環研)  
(編集) 中司 啓二 (農研セ),  
石黒 宗秀 (農工研)

### 編集委員会

委員長 石井 和夫 (農研セ)  
委 員 安西 徹郎 (千葉農試),  
足立一日出 (農工研),  
河野 英一 (日大),  
谷山 一郎 (農環研),  
長谷川周一 (農環研)

### 会計監査委員

宮崎 毅 (東大),  
渡辺 春朗 (千葉農試)

### 委嘱評議員

山田 正幸 (群馬農総試)  
唐橋 需 (農研セ)  
長野間 宏 (秋田農試)

### 選挙評議員

[北海道] 梅田 安治 (北大),  
粕淵 辰昭 (北農試),  
佐久間敏雄 (北大)  
[東北] 東山 勇 (山形大)  
[関東] 岩田 進午 (茨城大),  
久保田 徹 (農環研),  
多田 敦 (筑波大),  
中野 政詩 (東大),  
宮崎 毅 (東大)  
[中部] 岩間 秀矩 (草地試山地支場),  
長田 昇 (三重大)  
[近畿] 久馬 一剛 (京大)  
[中四国] 天谷 孝夫 (岡山大),  
三野 徹 (岡山大)  
[九州] 細山田健三 (宮崎大)

- 1) 昭和62年度事業報告
- 2) 昭和63年度事業計画
- 3) 昭和62年度会計報告
- 4) 昭和63年度予算案
- 5) 次期評議員の承認
- 6) 次期事務局体制について
- 7) 新入会員の承認
- 8) その他

「土壌の物理性」バックナンバーは各号とも50部を基本ストックとし、残りは廃棄処分することが了承された。

### 2. 昭和63年度総会 (昭和63.10.18, 於東京大学)

- 1) 昭和62年度事業報告
- 2) 昭和63年度事業計画
- 3) 昭和62年度会計報告
- 4) 昭和63年度予算
- 5) 次期評議員
- 6) 次期事務局体制について

なお、総会で承認された62年度決算、63年度予算は次の通り。

		62年度決算	63年度予算
収 入	繰 越 金	914,153円	1,053,824円
	一 般 会 費	2,393,250	4,500,000
	購 読 会 費	239,750	256,500
	賛 助 会 費	60,000	45,000
	出 版 物 売 上	128,000	20,000
	雑 収 入	127,551	24,676
合 計		3,862,704	5,900,000
支 出	会 誌 製 作 費	1,606,650円	3,200,000円
	総 会 費	384,610	450,000
	通 信 費	141,620	250,000
	文 具 費	45,835	50,000
	賃 金	94,900	200,000
	交 通 費	104,120	50,000
	会 議 費	19,075	100,000
	幹 事 手 当	50,000	50,000
	編 集 委 員 会 費	63,480	—
	選 管 委 員 会 費	298,590	—
予 備 費	0	1,550,000	
次 年 度 繰 越 金	1,053,824	—	
合 計		3,862,704	5,900,000

諸会議開催経過 (昭和63年10月1日～平成元年6月30日)

1. 昭和62年度第2回評議員会 (昭和63.10.18, 於東京大学)

土壌の物理性第59号 (1989)

3. 30周年記念シンポジウム(昭和63.10.18,東大農学部)  
テーマ:現代の土壌物理とその展開

記念講演:

土の変形、強さ、硬さ

吉田 昭治 (新潟大学積雪地域災害研究センター)

一般講演:

1) 土壌構造悪化の面からみた農耕地土壌の圧縮特性

加藤 英孝 (農業環境技術研究所)

2) 土の長期浸透現象について

古賀 潔 (岩手大学農学部)

3) 近赤外反射分光法による土壌水分の定量分析

谷山 一郎 (農業環境技術研究所)

4) 亀裂が発生した粘土質圃場での水移動のモデル化

井上 久義 (農業工学研究所)

総合討論

4. 事務局会議 (昭和63.11.17,農環研)

[出席者] 久保田、軽部、石井、安西、足立、谷山、長谷川、中司、石黒、日笠、遅沢、加藤

1) 昭和63・64年度の事務局体制について

2) 昭和63年度の事業計画

会誌第59・60号の発行

第31回シンポジウムの開催

第14回国際土壌学会議の支援

3) 会員拡大について

入会手続きの案内を会誌に掲載する

4) その他

5. 事務局会議 (新旧引継 昭和63.11.18, 農環研)

[出席者] 宮崎、井本、河野、(以上前期事務局)、久保田、中司、石黒、日笠、遅沢、加藤

1) 編集関係の引継

2) 庶務関係の引継

3) 会計関係の引継

6. 事務局会議 (平成1.5.31, 農環研)

[出席者] 久保田、軽部、中司、石黒、日笠、遅沢、加藤

1) 会誌第59、60号編集状況

2) 第31回シンポジウムの準備

3) その他

日本学術会議開催シンポジウム「土と日本人」(6/16,土壌物理研究会共催) 分担金として一万円を供出した。

7. 編集委員会 (平成1.6.22, 農環研)

[出席者] 石井、安西、足立、長谷川、中司、石黒、加藤

1) 会誌第59号の編集について

経過報告

雑誌の体裁の一部変更について

2) 会誌第60号の編集について

3) その他

投稿規定の一部変更を評議員会にかける

8. 事務局会議 (平成1.6.22, 農環研)

[出席者] 久保田、石井、安西、足立、長谷川、日笠、遅沢、中司、石黒、加藤

第31回土壌物理研究会シンポジウムの準備

「生物環境と土壌物理」(仮題)をテーマに、11月頃筑波で開催する方向で準備

会員の動向

1. 会員数 (昭和63年9月30日現在)

会員種別	会員数
正会員及び学生会員	619
地区 北海道	71
東北	67
関東	213
中部	69
近畿	53
中国・四国	82
九州	60
海外	4
賛助会員	3
購読会員	57
合 計	679

2. 新入会員 (昭和63.4.1~ 9.30)

氏名	種別	連絡先
箱山 晋	正	306 つくば市大わし1-2 熱帯農業研究センター
酒井 正治	正	780 高知市朝倉丁915 林業試験場四国支場
大槻 恭一	正	761-07 香川県木田郡三木町池戸2393香川大学農学部
増田 順	学 生	514 津市上浜町1515 三重大学生物資源学部

服部 由直	学 生	514 津市上浜町1515 三重大学 生物資源学部
東城 清秀	正	183 府中市幸町3-5-8 東京農工 大学農学部
P. Mandeng	正	183 府中市幸町3-5-8 東京農工 大学農学部

## 3. 退会会員

(昭和63.4.1~9.30)

赤城仰哉 (北海道)、南 松雄 (北海道)、桜田純司 (北海道)、岸 洋一 [不明] (北海道)、武藤和夫 (岩手)、富樫千之 (宮城)、北村 誠 (茨城)、草野 秀 (茨城)、鈴木勝征 (茨城)、佐藤 博 [逝去] (茨城)、福土定雄 (東京)、二宮啓輔 (東京)、徳永美治 (東京)、菅野一郎 (神奈川)、水之江正輝 (神奈川)、北原健吾 (埼玉)、岡橋生幸 (埼玉)、平野福治 (埼玉)、佐藤雄夫 (千葉)、倉田 勇 (新潟)、加甲艶照 [不明] (長野)、田辺 一 (滋賀)、香山達雄 (京都)、白井喬二 [逝去] (京都)、中林三和輝 (京都)、荒木浩一 (愛知)、株本暉久 (兵庫)、井上輝一郎 (高知)、橋本 武 (広島)、伊藤義登 (山口)、稲村博子 (島根)、島野 至 (福岡)、松尾憲一 (佐賀)、中村信夫 (宮城)、九州農業試験場農地利用部 (購読)

(昭和63.10.1~平成1.6.30)

井上喬二郎 (北海道)、岡部福夫 (北海道)、後藤計二 (北海道)、佐藤智男 (秋田)、岩崎勇作 [逝去] (岩手)、古木敏也 (岩手)、吉田 稔 (岩手)、古坂澄石 (宮城)、中川義一 (山形)、金嶋康典 (群馬)、宇野要次 (埼玉)、北原健吾 (埼玉)、出井嘉光 (埼玉)、青葉幸二 (茨城)、有田 裕 (茨城)、鬼鞍 豊 (茨城)、塚本明美 (茨城)、藤縄克之 (茨城)、清水邦夫 (栃木)、篠原茂幸 (千葉)、浦部速明 (東京)、有水 彊 (東京)、太田弘毅 (東京)、P. Mandeng (東京)、板木利隆 (神奈川)、金山 洋 (新潟)、鳥山和伸 (新潟)、小泉 豊 (静岡)、松田敬一郎 (静岡)、松下利定 (長野)、小林 一 (岐阜)、中瀬 勲 (大阪)、岩川 孝 (高知)、丹原一寛 (愛媛)、浦木松寿 (鳥取)、高田秀夫 (鳥取)、井尻敏文 (山口)、北島 知 [逝去] (熊本)、古閑孝彦 (熊本)、矢野文夫 (長崎)、桜井俊武 (鹿児島)、穂原関雄 (鹿児島)

## 4. 住所変更

氏 名	旧	新しい連絡先
(昭和63.4.1~9.30)		
吉田 堯	茨 城	514-23 三重県安芸郡安濃町草生 野菜・茶業試験場

前田 乾一	福 岡	305 つくば市観音台3-1-1 農業研究センター
加藤 芳朗	静 岡	438 磐田市国府台53-4
常松 哲	北海道	065 札幌市東区中沼町118-497 (株)北日本ソイル研究所

(昭和63.10.1~平成1.6.30)

渡辺 裕	茨 城	270 松戸市中和倉192-4
斉藤 三郎	山 形	990 山形市陣場3-10-38
島田 清	石 川	710 岡山市津島中1-1-1 岡山大学 大学院自然科学研究科
佐藤泰一郎	東 京	939-03 富山県射水郡小杉町黒河 富山県立技術短期大学
酒井 正治	高 知	305 茨城県稲敷郡笠崎町松の里1 森林総合研究所森林環境部
今野 一男	北海道	076 富良野市新富町3番1号 富良野地区農業改良普及所
木内 一己	長 野	390 松本市美須々2-1 松本美須々ヶ丘高校
井田 明	香 川	765 普通寺市仙遊町1-3-1 四国農業試験場
安中 武幸	佐 賀	305 つくば市観音台2-1-2 農業工学研究所
岩間 秀矩	茨 城	389-02 長野県北佐久郡御代田町 塩野 草地試験場山地支場
岩田 進午	茨 城	300-03 茨城県稲敷郡阿見町阿見 3998 茨城大学農学部
長谷川周一	茨 城	305 つくば市観音台3-1-1 農環研
小林 登	茨 城	310 茨城県水戸市渡里町2833-2
石原 暁	香 川	765 普通寺市生野町2575 四国農試地域基盤研究部
根本 清一	広 島	319-03 茨城県東茨城郡内原町 鯉淵5930-1 農林水産研修所 農業技術研修館
清水 隆一	東 京	114 北区西ヶ原1-26-3 農業技 術会館(財)肥料科学研究所
井田 明	香 川	765 普通寺市仙遊町1-3-1 四国農試
松尾 良満	佐 賀	847 唐津市菜畑南3279-4
増井 正芳	東 京	196 昭島市福島町1-12-5
高畑 滋	北海道	329-27 栃木県那須郡西那須野町 千本松768 草地試験場
岩下 徹	宮 崎	888 串間市西方9019 串間農業改良普及所



## 土壌の物理性第59号 (1989)

田中 明	福岡	840	佐賀市本庄町1 佐賀大学 農学部生物生産学科	上村 親士	熊本	861-32	熊本県上益城郡御船町 滝尾 熊本県茶業試験場
高田 勝重	大分	872-01	宇佐市北宇佐65 大分県 農業技術センター	本橋 明夫	北海道	060	札幌市中央区北4条西6丁目 北4条ビル ㈱北海道開発コンサルタント
琉球大学 付属図書館	沖縄	903-01	沖縄県西原町千原1	井上 光弘	鳥取	680	鳥取市浜坂1390 鳥取大学農 学部附属砂丘利用研究施設
谷口 真人	茨城	305	つくば市天王台1-1-1 筑波大学水理実験センター	中井 久	山口	745	徳山市毛利町2-38 徳山農業改良普及所
古賀 汎	茨城	839-01	久留米市荒木町荒木 1905-4	田中 彰	鳥取	689-22	鳥取県東伯郡大栄町由良 宿 鳥取県果樹試験場
開発 一郎	愛知	730	広島市中区東千田町1-1-89 広島大学総合科学部	岡本 恭二	栃木	389-02	長野県北佐久郡御代田町 塩野 草地試験場山地支場
横山 達平	宮城	981	仙台市柏木1-4-29	原田 勇	北海道	069-01	江別市文京台緑町582 酪農学園大学
山本 洋久	石川	920-01	金沢市才田町戊295-1 石川県農業総合試験場	有光 一登	茨城	612	京都市伏見区深草池ノ内町藤 森合同宿舎1012
長谷 嘉臣	広島	305	つくば市松代5-9-637-2	坂本 年秋	青森	030-12	青森県東津軽郡蓬田村 長科
宮崎 孝	長崎	854	諫早市宇都町7-26	小浜 節雄	福岡	305	つくば市観音台3-1-1 農業研究センター
田熊 勝利	福岡	680	鳥取市湖山町南4-101 鳥取大学農学部				

## 第14期活動計画決まる

昭和63年11月 日本学術会議広報委員会

日本学術会議は、このたび開催した第106回総会において、第14期活動計画と新しい特別委員会の設置を決定しましたので、その概要をお知らせいたします。

## 日本学術会議第106回総会報告

日本学術会議第106回総会（第14期・第2回）は、10月19～21日の3日間開催された。

今回の総会の主な任務は、第14期日本学術会議の活動の指針となる第14期活動計画を審議し、決定することであった。そのために、「第14期活動計画（申合せ）」と「臨時（特別）委員会の設置について（申合せ）」の2つの総会提案が用意された。

この2つの提案の内容は、前回の臨時総会（本年7月）で設置された第14期活動計画委員会が、慎重に審議を重ねて作成したものであり、またその間に2回の連合部会及び各部会を開いて各会員の意見を聴取の上、調整したものである。

この2つの提案については、第1日目の午前中の総会で、近藤会長から、提案説明が行われるとともに、同日の午後の各部会で審議が行われた。

次いで、この2つの提案は、第2日目の午前中の総会の審議に付され、最終的推敲を期す質疑の後、採決が行われ、いずれも圧倒的多数の賛成で可決された（第14期活動計画及び設置された7特別委員会の名称は別掲参照）。

この総会決定により、新たに設置された7特別委員会については、第2日目の午後に開催された各部会で、各都ごとに割り当てられた委員定数により、委員の選出が行われた。

次いで、翌第3日目の午前中には、各特別委員会の第1回目の会議が開かれ、それぞれ委員長・幹事の選出が行われるとともに、今後の審議予定等について審議がなされるなど、早速その活動が開始された。

第2日目の午後には、1時から2時間半にわたって「総会中の自由討議」が行われた。これは、会員のための一種の勉強会で、総会行事の一環として行われてきたものである。今回は、第14期活動計画案を審議する過程で、会員間で特に討議が活発に行われ、関心が高かった課題を取り上げて行われた。まず、島袋嘉昌第3部会員（経営学）から「学術的・総合研究」について意見の発表の後、関連して、石井吉徳第5部会員（資源開発工学）から発言があり、続いて、井口潔第7部会員（外科系科学）から「人間の科学」について、川田侃第2部会員（政治学）から「紛争学・平和学」について、中川昭一郎第6部会員（農業総合科学）から「農業・農村問題」について、大島康行第4部会員（生物科学）から「IGBP（地球圏—生物圏国際協同研究計画）」について、それぞれ意見の発表が行われた。

## 第14期活動計画

我が国の科学・技術は戦後目覚ましい発展をとげ、経済の高度成長とともに、国民生活の向上に多大の貢献をしてきた。しかしながら、近年世界的規模での経済・社会環境や地球生態系の激しい変化を背景に、科学・技術の在り方に様々な問題が生じている。その中には、科学・技術と人間との係わり方の根源を問い直すようなものや、学問諸分野の再編成を求めるものも含まれている。また、国際社会における我が国の地位の向上も加わって、学術の面での我が国の貢献に対する国際的期待はますます強まっている。

日本学術会議は、創設以来、科学者や学術研究団体との連携の下に、その目的・職務の遂行に努力し、我が国の学術研究体制の整備についての重要な勧告等を行い、研究所の設立などを含めて数々の業績をあげてきた。また、国際協力事業への参加を始めとして、世界の学界と提携しつつ学術の進展に貢献してきた。しかしながら、創設後40年を迎えた現在、学術を取り巻く状況は、国際的にも国内的にも著しい変化を生じた。このような状況を踏まえて、第14期日本学術会議は、本会議の創設以来の基本的精神を引き続き堅持しながら、なお一層の成果をあげるべく努力するものである。

日本学術会議は、我が国の学術に関する重要事項を自主的に調査審議し、その実現を図る機関としての使命と役割を確認した上で、会員の科学的知見を結集し、時代の要請に即応しつつ将来を見通した基本的理念を確立し、我が国における学術研究の一層の推進を図るために、本会議の本来の目的を、次の視点から実現することが必要であると認識した。

人文・社会及び自然科学を網羅した日本学術会議は、全学問的視野に立ち、学術研究団体を基盤とする科学者の代表機関であることを認識して、全科学者の参加と意見の集約を真摯に図らなければならない。さらに、本会議が集約した科学者の意見が政策に反映するよう、他の学術関係諸機関と協議の上、その役割分担を明確にしつつ、これらとの連携の強化を図る必要がある。

また、学術研究団体を基盤とする日本学術会議は、関係ある学術研究団体等から推薦された科学者を中心として構成される研究連絡委員会の重要性を認識し、その活動を強化するとともに、学術研究団体の活動を助長し、研究基盤の強化を図り、高度化する学術の発展に貢献する必要がある。

我が国の科学者を内外に代表する機関である日本学術会

議は、国際社会における我が国の地位の向上と海外諸国の期待にこたえて、学術の分野における国際協力を飛躍的に拡大する必要がある。

日本学術会議は、真理を探究するという理念に立脚し、社会に開かれた学術の在り方と国際性を重視し、その健全な発展を図るため、学問・思想の自由の尊重と研究の創意への十分な配慮の下に、長期的かつ大所高所の視点に立ち、創造性豊かな研究を発展させることが必要である。

日本学術会議は、以上の諸点を踏まえ、科学者の総意を代表してその精神を高揚し、21世紀に向けて学術体制及び研究・開発の望ましい在り方を検討して、我が国の学術政策に指針を与えることにより、国民の期待にこたえらるとともに、人類の福祉と世界の平和に貢献することを期するものである。

## 1. 重点目標

第14期活動計画の重点目標は、次のとおりとする。

### (1) 人類の福祉・平和及び自然との係わりを重視する学術の振興

科学・技術の著しい発展は、人間生活を豊かにすると同時に、現代社会の高度な複雑化とあいまって、人間社会に新たな緊張をもたらし、人類の福祉・平和及び自然環境を脅かすのではないかと懸念を招いている。人類の福祉・平和及び自然との係わりについて十分に配慮しつつ、学術の総合的振興を図ることは、21世紀へ向けての極めて重要な課題である。これは、人文・社会及び自然科学を網羅した本会議の特長を十分に発揮してこそ可能となるものである。学術の振興と発展の人間、社会及び自然への望ましい貢献、好ましくない影響の防止について具体的構想を樹立し、あわせてこれに対応する社会の体制整備に明確な指針を提示する。

なおまた、今日の社会的現実が提起している複雑な問題を解決するには、既存の個別研究領域のみでは十分に対応し得ない。直接に関係する研究だけでなく、広く諸科学が積極的に関与すべきであることを十分に考慮し、多くの研究領域が、その独自性を保ち一層の深化を図るとともに、共同の努力を行い、研究の内容、学問体系の変革にまで進むことによって、総合的な研究の在り方を追求することが必要である。

### (2) 基礎研究の推進と諸科学の整合的発展

学術の発展には、基礎研究の推進が不可欠であることは言をまたない。我が国の学術の国際的地位の確立を目指し、その発展に向けた長期展望・将来計画を策定するための基盤となる基礎研究の推進に、積極的に取り組む必要がある。

また、学術の領域は広範多岐であり、それぞれの領域ごとに方法論も異なり、研究者の求めるものに大きな違いがあることを十分に考慮し、それぞれの研究者の声を聞き、それぞれに適した育成策を講ずる必要がある。それと同時に、学術研究の動向を考慮し、いわゆる学際領域や学問の総合化に留意しつつ、諸科学の整合的発展を図ることが重要である。

以上のため、第13期においては、学術研究動向に関する調査研究を行い、我が国の学術水準の国際比較やその発展を阻害する諸因子などを指摘した。今期においては、この調査結果を検討しつつ、これを基礎にして、創造性の基盤となる個人の着想を重視し、革新的研究の強化等を積極的に図るとともに、一方においては、学術研究体制や社会・産業構造等に内在する創造性を阻む負の要因の解消に向けての建設的提言を行

うなど、学術の向上発達のための具体的方策を審議提議していくことが必要である。

### (3) 国際関係の重視と国際的寄与の拡大

学術研究は、本来、真理の探究を目指す知的活動であり、その成果は広く人類共通の資産として共有されてきた。そのことから、学術の国際交流は、学術研究にとって内在的な要請であり、その在り方に常に関心を払う必要があることは言うまでもない。

一方で、我が国の国際的地位の向上に伴い、その学術研究が国際的貢献を果たすことに対する要請は、一層強まってきている。特に国際平和の推進や環境問題の解決等、いわゆる地球的あるいは国際的規模の課題について、我が国の研究を充実させつつ、全世界の科学者との協力を拡大することへの要請が増大してきている。

国際的あるいは二国間の共同研究、技術協力、技術移転等の在り方は、各国の政治、経済、社会に重大な影響を及ぼす。偏ったナショナリズムの立場を排しつつ、学術の健全な発展を促進するための国際的コンセンサスの追求に我が国も努力をするとともに、相互協力と相互依存の下での国際社会に対応していくために開かれた我が国自体の学術研究体制の整備が求められている。

以上のような状況から、本会議が築いてきた国際学術交流・協力の在り方についての諸原則と実績を踏まえつつ、学術の国際交流・協力の飛躍的な拡充強化を図り、国際的寄与を格段に拡大することが極めて重要である。

## 2. 具体的課題（要旨）

次の課題を選定した。

- (1) 科学者の倫理と社会的責任
- (2) 学術研究の長期的展望
- (3) 研究者の養成
- (4) 研究基盤の強化と研究の活性化
- (5) 学術情報・資料の整備
- (6) 学術研究の国際交流・協力の飛躍的拡大
- (7) 国際対応への積極的取組み
- (8) 平和及び国際摩擦
- (9) 人間の科学
- (10) 医療技術と社会
- (11) 生命科学と生命工学
- (12) 農業・農村問題
- (13) 資源・エネルギー問題
- (14) 人間活動と地球環境
- (15) 高度技術化社会

## 3. 具体的課題への対応及び臨時（特別）委員会設置の基本方針等（省略）

### ◆ 今回の総会決定により設置された特別委員会 ◆

- ・ 平和及び国際摩擦に関する特別委員会
- ・ 医療技術と社会に関する特別委員会
- ・ 生命科学と生命工学特別委員会
- ・ 農業・農村問題特別委員会
- ・ 資源・エネルギー問題特別委員会
- ・ 人間活動と地球環境に関する特別委員会
- ・ 高度技術化社会特別委員会

御意見・お問い合わせ等がありましたら下記までお寄せください。

〒106 港区六本木7-22-34

日本学術会議広報委員会 電話 03 (403) 6291

## 第14期特別委員会の活動始まる

平成元年2月 日本学術会議広報委員会

日本学術会議では、昨年10月の総会において設置された第14期の各特別委員会が活動を始めましたが、今回の日本学術会議だよりでは、これらの特別委員会に加えて、本会議が行っている国際的活動等についてお知らせいたします。

## 第14期の特別委員会

昨年10月の第106回総会で決定された、日本学術会議の第14期活動計画では、活動の重点目標として、①人類の福祉・平和及び自然との係わりを重視する学術の振興、②基礎研究の推進と諸科学の整合的発展、③国際関係の重視と国際的寄与の拡大、の3本の柱を掲げるとともに、これらの重点目標を踏まえて、多方面の科学者によって構成される日本学術会議にふさわしく各分野にわたって広く対応し、かつ、第14期中に適切な形で報告・提言に取りまとめるべき具体的課題として15の課題を選定している。

この度設置された7つの特別委員会は、上記の具体的課題のうち、従来から常設されている6つの常置委員会（別掲参照）で取り扱うものを除き、かつ、緊急に調査審議を行う必要のある7課題に対応するものである。

各特別委員会の名称及び任務等は次のとおりである。

## ◆平和及び国際摩擦に関する特別委員会

委員長：川田 侃（第2部会員）

（任務）国際的視野と我が国が置かれている地域の状況や特性を踏まえて、国際摩擦（文化的・政治経済的・技術的等）の解決と平和に関する総合的な研究の推進の在り方やその体制等について検討する。

## ◆医療技術と社会に関する特別委員会

委員長：水越 治（第7部会員）

（任務）医療技術の急速な進展は、自然科学の分野だけでなく、人文・社会科学の領域にも種々の問題を提起している。様々な医療技術に係わる社会的側面を総合的に検討する。

## ◆生命科学与生命工学特別委員会

委員長：井上英二（第7部会員）

（任務）生命科学与生命工学の推進方策を検討するとともに、これらの急速な進歩を踏まえ、それらと人間・社会及び自然との係わりについても総合的に検討する。

## ◆農業・農村問題特別委員会

委員長：水間 豊（第6部会員）

（任務）農業・農村のもつ食糧生産や環境保全等の多面的機能について、近年の国際的・国内的状況を踏まえつつ、文化・経済・自然・都市との係わりで

幅広く検討する。

## ◆資源・エネルギー問題特別委員会

委員長：上之園親佐（第5部会員）

（任務）資源・エネルギーの開発と利用の問題を検討する。それに伴う自然及び人間社会への好ましくない影響を防止するという観点からも問題を検討する。

## ◆人間活動と地球環境に関する特別委員会

委員長：吉野正敏（第4部会員）

（任務）近年、経済社会活動の拡大等を背景に、人間活動が環境に及ぼす影響が地球的規模で広がっており、深刻化する可能性を強めている。このような状況を踏まえ、人間活動と地球環境の問題等を検討する。

## ◆高度技術化社会特別委員会

委員長：佐藤 豪（第5部会員）

（任務）エレクトロニクス、メカニクス等の技術の発展・普及が社会に及ぼす影響、社会の情報化・技術化と人間との調和等について検討する。また、巨大な技術システムとヒューマン・ファクターとの関連についても安全確保と人間性確保の立場から検討する。

これらの各特別委員会は、発足以来現在までに各々2～3回の会議を開催するとともに、委員会によっては、シンポジウムやヒヤリングを実施して、それぞれの任務に沿った具体的な審議課題や今後の審議計画等について熱心に審議を進めている。今後の審議の成果が大いに期待されるところであり、今後、審議成果が発表され次第、紹介していく予定である。

なお、以上の7つの特別委員会のほかに、先般の総会の申合せにより、本年の4月総会において、人間の科学特別委員会（仮称）を追加設置する予定である。この「人間の科学」については、その具体的検討方法が複雑であるので、あらかじめ若干の整理を行った後に、特別委員会を発足させることにしたものであり、現在、検討会を設置して問題点の整理を行っているところである。

## 常置委員会

日本学術会議は、別掲の特別委員会のほかに、6つの常置委員会を設置している。各常置委員会は、本会議の目的及び職務・権限に即して、恒常的に調査・審議を進めていく必要がある事項について、個々の委員会の職務を明確にした上で設置されている。各常置委員会の名称と任務等は、次のとおりである。

- 第1常置委員会（委員長：大石泰彦（副会長・第3部会員））  
（任務）研究連絡委員会活動活性化の方策及び日本学術会議の組織等に関するものを審議する。
- 第2常置委員会（委員長：星野安三郎（第2部会員））  
（任務）学問・思想の自由並びに科学者の倫理と社会的責任及び地位の向上に関するものを審議する。
- 第3常置委員会（委員長：渡邊富士夫（第7部会員））  
（任務）学術の動向の現状分析及び学術の発展の長期的動向に関するものを審議する。
- 第4常置委員会（委員長：樋口敬二（第4部会員））  
（任務）創造的研究醸成のための学術体制に関すること及び学術関係諸機関との連携に関するものを審議する。
- 第5常置委員会（委員長：市川悌信（第5部会員））  
（任務）学術情報・資料に関するものを審議する。
- 第6常置委員会（委員長：染谷恭次郎（第3部会員））  
（任務）国際学術交流・協力に関するものを審議する。

これらの常置委員会は、昨年7月、第14期発足の際に、委員を決定するとともに、役員を選出して、直ちに活動を開始した。各常置委員会は、上記のそれぞれの任務に従い、また、前期からの委員会ごとの申し送り尊重しつつ、さらに、第14期の全体の活動計画に沿いながら、第14期の活動方針及び活動計画をたて、それに基づき鋭意活動を進めている。これらの常置委員会は、第13期には、勧告、要望あるいは見解等を取りまとめるなど多くの成果をあげたが、第14期の活動も注目されることである。

## 平成元年(1989年)度共同主催国際会議

世界の代表的な科学者が一堂に会し、最新の研究情報を交換する学術関係の国際会議が、我が国でも数多く開催されている。日本学術会議では、これらのうち、毎年おおむね4件について関係学・協会と共同主催している。平成元年(1989年)度には、次の4国際会議を開催する。

- 第14回高エネルギー加速器国際会議
  - ・開催期間：平成元年8月21日～26日
  - ・開催場所：学園センタービル等（つくば市）
  - ・参加者数：国外 300人、国内 250人、計 550人
  - ・共催団体：（社）日本物理学会
- 第40回国際電気化学会
  - ・開催期間：平成元年9月17日～22日
  - ・開催場所：国立京都国際会館（京都市）
  - ・参加者数：国外 200人、国内 350人、計 550人
  - ・共催団体：（社）電気化学協会
- 第7回国際人工臓器学会世界会議
  - ・開催期間：平成元年10月1日～4日
  - ・開催場所：京王プラザホテル（札幌市）
  - ・参加者数：国外 300人、国内 700人、計 1,000人
  - ・共催団体：日本人工臓器学会
- 第9回結晶成長国際会議
  - ・開催期間：平成元年8月20日～25日
  - ・開催場所：ホテル仙台プラザ（仙台市）
  - ・参加者数：国外 300人、国内 600人、計 900人
  - ・共催団体：日本結晶成長学会、（社）応用物理学会

## 二国間学術交流事業

日本学術会議では、二国間学術交流事業として、毎年2か国を選んで代表団を派遣している。その目的は、「諸外国における学術研究の動向及び現状を把握するとともに、学術研究に関する基本的、全般的事項について相手国科学者等と意見を交換することにより、我が国の学術の総合的な発展に寄与する。」ことにある。

この事業は、昭和58年度から実施されており、これまでにアメリカ、マレーシア、西ドイツ、インドネシア、スウェーデン、タイ、フランス、大韓民国、連合王国、シンガポールの10か国に代表団を派遣してきた。

昭和63年度は、10月29日から11月7日まで、チェコスロバキア及びポーランドへ、会長以下6名の会員から成る代表団を、また11月27日から12月4日まで、カナダへ、会長以下5名の会員から成る代表団をそれぞれ派遣した。

各代表団は、訪問国において、科学技術政策や教育を担当する行政機関、研究所、大学等を訪れ、関係者との間で学術関係の情報交換を行うとともに、両国の学術研究の問題点等について意見交換を行った。

チェコスロバキア及びポーランドでは、本会議としては初めての社会主義国の訪問であり、各訪問先で、今回の本会議代表団の訪問はこれら2か国それぞれとの間の学術交流について新しい段階を開く契機となり、非常に意義深いものであることが強調されるとともに、政治・社会体制を超えた学術交流の在り方等について、熱心に意見交換が行われた。

カナダでは、各訪問先で、近年の我が国の産業の発展と科学技術の役割の観点から、本会議の役割と活動を含め、我が国の学術体制に関する質問が多く出されるとともに、両国間の今後のより積極的な学術交流・協力をめぐって活発に意見交換が行われた。

今回の成果は、代表団訪問時だけのものではなく、本会議と訪問国関係諸機関との今後の継続的な交流への発展、相互理解の促進・緊密化等の形で現れてくるものであり、我が国の学術研究の国際交流・協力の進展に大きく役立つものと期待される。

## 「熱工学の研究動向と熱技術の進展」の刊行

本書は、本会議の熱工学研究連絡委員会が、関係学協会の協力の基に刊行した「熱工学白書」ともいうべきものです。〔1冊 1,000円（送料 200円）〕

※本書は、〔財〕日本学術協力財団で取り扱っています。

## 第2・第4土曜日閉庁のお知らせ

「行政機関の休日に関する法律」の施行に伴い、日本学術会議事務局では、本年1月から毎月第2・第4土曜日が休みとなります。御理解、御協力をお願いいたします。

御意見・お問い合わせ等がありましたら下記までお寄せください。

〒106 港区六本木7-22-34

日本学術会議広報委員会 電話 03 (403) 6291

## 第14期初めての勧告採択される

平成元年5月 日本学術会議広報委員会

日本学術会議は、去る4月19日から21日まで第107回総会（第14期3回目の総会）を開催し、第14期初めての勧告を採択しましたが、今回の日本学術会議だよりでは、同総会の議事内容等についてお知らせいたします。

## 日本学術会議第107回総会報告

第107回総会の主な議事概要は次のとおりであった。

**第1日（4月19日）の午前。**まず、会長からの前回総会以後の経過報告及び各部・委員会の報告が行われた。次いで、今回総会に提案されている6案件について、それぞれ提案説明がなされた後、質疑応答が行われた。続いて、これらの6案件のうち、「人間の科学特別委員会」を設置する案件については、直ちに採決が行われ、設置が決定された。この件は、前回総会（昨年10月）において第14期活動計画並びにそれに基づく第14期の特別委員会の設置が決定された際に、その付帯申合せとして、この「人間の科学」については、その具体的な進め方に関し、予め検討、整理を行った後に、当特別委員会を設置させることとされたため、前回総会後に、検討会が設置され、問題点の整理が行われてきたものである。

**第1日の午後。**各部会が開催され、午前中に提案説明された総会提案案件の審議及び設置が決定された「人間の科学特別委員会」の委員の選出等が行われた。

**第2日（4月20日）の午前。**前日提案された案件の審議・採決が順次行われた。

まず、第6部世話担当の2研究連絡委員会の名称変更（土壤肥科学研連→土壤・肥料・植物栄養学研連、海水理工学研連→海水科学研連）に伴う、会則及び関係規則の一部改正が採択された。

次いで、「副会長世話担当研究連絡委員会の運営について（申合せ）の一部改正」が採択された。これは、副会長世話担当研究連絡委員会の在り方についての抜本的な検討とは別に、当面の措置として、副会長世話担当研究連絡委員会のより円滑な運営及び担当副会長の世話機能の充実を図るために、必要な措置を講じたものである。

続いて、「アジア社会科学研究協議会連盟（AASSREC）への加入について」が採択された。これは、平成元年度予算において、当該団体への分担金の支出が認められたことに伴い、当該団体への本会議の加入を総会として議決したものである。

さらに、第4常置委員会の提案による「大学等における学術研究の推進について—研究設備等の高度化に関する緊急提言（勧告）」が採択された。この勧告は、第14期になって採択された初めての勧告である。なお、この勧告は、同日午後直ちに内閣総理大臣に提出され、関係機関等に送付された（この勧告の詳細は、別掲参照）。

**第2日の午後。**「人間の科学」について、自由討議が行われた（この自由討議の詳細は、別掲参照）。

**第3日（4月21日）午前**には、今回設置された前述の人間の科学特別委員会の1回目の委員会をはじめとして、各特別委員会が、午後には、各常置委員会が、それぞれ開催された。

## 大学等における学術研究の推進について—研究設備等の高度化に関する緊急提言—（勧告）〔要旨〕

大学等を中心とする学術研究の財政基盤の現状は、甚だ憂慮すべき事態におかれており、この事態を見過ごしては悔いを後世に残すことになる。したがって、長期的観点に立つて、特に基礎研究を育成し、人類の知的共有財産である科学・技術の発展に積極的に貢献することは、経済大国と呼ばれるようになった我が国の当然の責務であり、今こそ、この責務を果たすべき時である。

日本学術会議では、昭和62年4月に「大学等における学術予算の増額について」の要望書を政府に提出した。大学等における学術研究予算を一般の予算要求基準の別枠とすることが肝要である。

特に、早急な対策を検討する必要がある諸点の中で、今回、緊急に次の措置を取るよう勧告する。

我が国の研究経費において、国費の負担割合を引き上げつつ、基礎研究を重視してこれを推進する観点から、国立学校特別会計予算、私大助成及び公立大学補助の各予算について格段の増額を図る必要があり、その際、特に研究設備の整備充実を図るべきである。

そのためには、国立大学の研究設備費や公立大学、私立大学等への研究設備費補助金を飛躍的に増額する措置を取ること、一大学では措置しにくい大型設備については、全国的規模の共同利用設備や昭和62年4月の「地域型研究機関（仮称）の設立について」の本会議勧告においても指摘している共同利用機器センターを、重点的に早急に整備していくことが必要である。人文・社会科学系についても、昭和63年4月の「大学等における学術諸分野の研究情報活動の推進について（要望）」のとおり、コンピュータや原資料、文献、図書コレクションとその利用のための機器やネットワークなどの整備が極めて重要である。

なお、我が国の基礎研究を限られた人的・物的資源のなかで、より一層有効に推進していくためには、大学等と各省庁の研究機関の基礎研究に関する研究設備の相互利用とそれを通しての研究者の相互交流を推奨する方策を採るべきである。その際、国の手続きを一段と簡素化、迅速化するなど制度の改善を図る必要がある。

## 総会中の自由討議—人間の科学—

今回総会の第2日目の午後には、1時から3時間にわたって「総会中の自由討議」が行われた。これは、会員のための一種の勉強会で、総会行事の一環として、従来から行われてきたものである。今回は、第14期活動計画の中で、第14期の具体的審議課題の一つとして掲げられている「人間の科学」という課題を取り上げて行われた。

自由討議は、福場博保第6部会員の司会のもとに、まず、近藤次郎会長から、「世界人口が50億を超え、来世紀には100億を突破する。人類の繁栄が人類の破滅を招くおそれがある。今総会での人間の科学特別委員会の設置は、新聞・テレビでも報道されたので、早速一般市民や研究者からも好意的な反響があった。人間のため科学のあり方を考えることは学術会議にふさわしい命題である」との開会の辞があり、続いて、下記の4人の会員による意見発表が行われ、さらにこれらの意見発表に対する質疑応答等がなされ、最後に、中山和久第2部会員の閉会の辞があり、終了した。なお、この討議の内容は、後日、日学双書として出版される予定である。

4会員による意見発表の要旨は、以下のとおりであった。

### 1. 人間と「人間の科学」

肥田野 直 (第1部会員・心理学)

「人間の科学」を検討する際に考慮すべき二つの点について提言したい。第一は人間が何を意味するかという点である。これは、個体(個人)、人間集団(社会)、人類の三つのレベルが考えられる。個人は身心の統一体であり、心は知性と感性、あるいは知情意の三つの側面をもち、自我(自己)を中心とするミクロコスモスとして把えることができよう。時間の面からは、個人は成長発達、社会は歴史、人類は進化の観点から把握することができよう。第二は人間と「人間の科学」との関係である。これは、研究対象としての人間、研究主体としての人間、及び研究目的としての人間すなわち人間のための科学という三つの立場が考えられるであろう。

### 2. 「人間の科学」への接近

島袋 嘉昌 (第3部会員・経営学)

「人間の科学」は、諸科学の特性を認識すると同時に相互の誤解をときほぐし、人文・社会科学と自然科学をベースとした総体としての科学を醸成し、生命と生活とを総合して考える科学をねらいとしている。いわゆる生命尊厳を抽象化して考えるだけに留めないでその内容をより具体的に解明することである。

さらに、次のような事項を検討していくべきである。

伝統的科学概念、「人間の科学」の必要性、総合科学としての「人間の科学」、科学哲学の再吟味。

### 3. 生体と文明とのディスクレパンシー

埴原 和郎 (第4部会員・人類学)

生物の体は本来保守的であり、したがって急激な進化は起こりにくい。これに対して文明の発展はポジティブ・フィードバック的作用により、2次関数曲線を描いて急速に発展する。とくに最近の科学・技術の発展に伴って環境は急激な変化をよげたが、生物の進化がそれに伴って進んでいるとは言い難い。ここに文明と生体との間に大きなディスクレパンシーが生ずる理由がある。

人体について言えば、われわれの体は1万年以上前の旧

石器時代の環境に適應している。しかし現実の環境は旧石器時代とは著しく異なり、人体の適應の限度を超えている。これは文明の発展が必ずしも望ましい方向に進んではいないという一例であろう。

### 4. 「人間の科学」の背後にあるもの

井口 潔 (第7部会員・外科系科学)

科学を真に人類の福祉に役立てようとするときに必要なことの中には、科学を行う心と科学を活用する心とは區別しておかなければならないということではなからうか。ではそのときの判断の基準はどこに求めたらよいのか。私は「人間存在の理法」とも言うべき概念に據り処をおきたいと思う。

30億年の生命の歴史の中で精神をもつ生物として人間が出現し、この人間は、ほんの300年位前から科学の道を歩みはじめたばかりである。しかし宇宙の秩序の本質は、ある面は知性によって把えられ、ある面は感性によって生得的に人間の脳に刻みこまれているはずと私は考える。我々は「人間存在の理法」を沈思して、それとの調和の下に人類の繁栄の道を探求して行かねばならぬと思う。

## 平成元年度における学術研究集会等開催予定

本会議では、毎年、本会議の登録学術研究団体及び広報協力学術団体に依頼して、これらの各団体の翌年度における学術研究集会等の開催予定について調査を行い、その結果を、「学術研究集会等開催予定一覧」としてとりまとめている。平成元年度分については、昨年11月に調査を実施したが、調査を依頼した学術研究団体数は956団体で、回答のあった団体数は、876団体であった。

このたび、その結果がとりまとめられたが、それによると、回答のあった団体からもたらされた開催予定の学術研究集会等の数は、延べ約3,300に達している。その分野ごとの内訳は次のようになっている。

部 別	学術研究集会等数
第1部 (文学, 哲学, 教育学・心理学・社会学, 史学)	701
第2部 (法律学, 政治学)	111
第3部 (経済学, 商学・経営学)	269
第4部 (理学)	463
第5部 (工学)	708
第6部 (農学)	326
第7部 (医学, 歯学, 薬学)	714
計	3,292

注：学術研究団体の関係する部が複数の場合には、当該集会等を関係する部にそれぞれ計上したので、延べ数である。

御意見・お問い合わせ等がありましたら、下記までお寄せください。

〒106 東京都港区六本木7-22-34

日本学術会議広報委員会 電話 03(403)6291

(1984・11・22 改正)

**土壌物理研究会会則**

- 第1条 本会は土壌物理研究会 (Research Association of Soil Physics, Japan) と称する。
- 第2条 本会は土壌の物理性を中心とする試験研究の発展と農業技術への貢献を図ることを目的とする。
- 第3条 本会はその目的を達成するため次の事業を行なう。
- (1) 研究発表会, 討論会及び見学会などの開催
  - (2) 土壌の物理性 (Soil Physical Conditions and Plant Growth, Japan 会誌という) 並びにその他の印刷物の発行
  - (3) 内外の研究, 技術の交流及び他の学会, 諸団体との協力
  - (4) その他本会の目的を達成するため必要な事業
- 第4条 本会の会員は, 正会員, 学生会員及び賛助会員, 購読会員の4種とする。  
会員となるには評議員会の承認を受けなければならない。
- 第5条 会員は次の会費を所定の期日までに納めるものとする。
- |           |      |   |         |
|-----------|------|---|---------|
| 正会員       | 年    | 額 | 3,500円  |
| 学生会員      | 々    |   | 2,000円  |
| (大学院生を含む) |      |   |         |
| 賛助会員      | 1口年額 |   | 15,000円 |
| 購読会員      | 会誌年額 |   | 4,500円  |

広告料 賛助会員 実費  
賛助会員以外 実費の5割増

- 第6条 本会に次の役員をおく。任期は2年とする。ただし, 3期連続の重任は認めない。選出方法は別に定める。
- (1) 会長1名, 副会長1名  
正会員の中から評議員会によって選出される。
  - (2) 評議員  
イ 15名 正会員から互選する。  
ロ 3名以内 会長が委嘱する。
  - (3) 会計監査 2名  
正会員の中から評議員会によって選出される。
  - (4) 幹事 若干名  
会長委嘱
- 第7条 会長は毎年1回以上総会並びに評議員会を招集する。
- 第8条 本会に次の委員会をおく。
- (1) 選挙管理委員会  
正会員の中から評議員会によって選出され, 本会の評議員選挙を管理する。
  - (2) 編集委員会  
正会員の中から評議員会によって選出される委員によって構成され, 会誌その他の印刷物の編集に当る。
- 第9条 本会の経費は会費その他の収入をもってあてる。
- 第10条 本会の会務執行に必要な規定は別に定める。

**「土壌の物理性」投稿規定 (1989・7・26 改定)****1. 投稿要領**

- 1) 投稿は本会会員に限る。ただし共著者の場合また編集委員会が依頼した場合はこの限りではない。
- 2) 投稿原稿の採否は編集委員会が決定する。編集委員会は要すれば文章の加除修正を行う。ただし内容については, これを著者に依頼することがある。
- 3) 投稿は以下に示す種別にしたい, その内容は土壌の物理性に主体をおくものとする。  
「報文」他誌に未発表のものに限る。書き方は方法, 結果, 考察ならびに総括 (摘要) の体裁をとり, 引用文献を明らかにすること。  
「論説・総説」土壌の物理性に主眼をおき, 広い視野に立って記述したもの。  
「資料」既に発表した報文または発表予定の内容を各分野の参考資料となるよう書き改めたもの。  
「解説」物理性に関する諸事項の理解を計るための平易な解説ならびに研究技術の普及交換を進めるための紹介を含む。  
「その他」土粒子, 書評などを含む。
- 4) 投稿には下記形式の送り状を付け, 原文1部, コピー2部の計3部を送付する。報文のみ初刷りは著者校正とし, 印刷ずみの原稿は返さない。別刷りは30部を著者に贈呈する。それ以上希望する場合は実費を申し受ける。



発表年月日		受付年月日	
種 別		原稿枚数	
表 題		図表数	表 枚 図 枚
著 者 名		写真数	葉
所 属		別 刷	30部+ 部

付記：投稿は下記宛のこと

「土壌物理研究会編集幹事」

## 2. 原稿執筆要領

- 1) 原稿には400字詰横書きの原稿用紙を用いる。
- 2) 原稿の枚数は、刷り上がり6ページ以内（図表を含めて32枚程度）を基準とする。超過ページならびに写真、図表など、特に多額の経費を要するときは実費を申し受ける。
- 3) 文体 平かな漢字混りの横書き口語文として、できるだけわかりやすい表現にする。
- 4) 術語以外はなるべく当用漢字を用い、かなは現代かなづかいとする。
- 5) 句読点、括弧、ハイフンには一画を与える。数字、ローマ字は一画に二文字までとする。
- 6) 数字 アラビア数字を用い、漢数字は普通の字句についてのみ用いる。
- 7) 外国人名は欧字とする。最初の文字のみ大文字とする。
- 8) 外国地名はカタカナを原則とするが、必要に応じて欧字を用いる。
- 9) 字体の指定は、ゴシック、italic、bold のように鉛筆で指定する。紛らわしい文字は誤植防止のための指示を鉛筆で記入する。（例：I-エル、I-イチ、I-アイ、x<sup>2</sup>/<sub>2</sub>、Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>など）
- 10) 術語 原則として文部省編：学術用語集による。普通に用いられる外国語の術語、物質名などはカタカナで書く。
- 11) 略字、略号を使うときは、はじめにそれが出来る個所で正式の名称とともに記す。例：液性限界（LL）
- 12) 数量の単位は原則としてSIを用いる。（但し、当分の間はCGSの併用を認める）
- 13) 表・図・写真などは必要最小限とし、同一事項を表と図に重複して示すことは避ける。
- 14) 表・写真は本文のあとに1枚ごとに原稿用紙あるいはこれとほぼ同大の別紙に書き、またははり付ける。1枚ごとに著者および表題を鉛筆で略記して事故の発生を避ける。本文中欄外に挿入位置を指定し空白はあけない。ただし指定の位置にはならないことがある。
- 15) 空欄の多い表は避け、注を使うなどして紙面の節約をはかる。
- 16) 表の番号は「表-1」のようにし、説明とともに表の上に記入する。
- 17) 図はそのまま製版にとれるようトレーシングペーパー等（白か透明）に黒インクで明確に書く。製版に適しない図は書き直しを要求することがある。図中の文字は鉛筆でうすく記入しすることにとどめる。図の番号は「図-1」のようにし、説明とともに図の下に鉛筆で記入する。
- 18) 図は刷り上がりの大きさを指定し、1.5～2倍ぐらい大きく書く。ただし必ずしも指定の大きさにならないことがある。図中の字の大きさおよび線の太さは刷り上がりを考慮して定める。
- 19) 地図には定尺をつけ、何万分の1などの縮尺を指定しない。
- 20) 文献は本文のあとにまとめて通し番号順に書く。通し番号は引用の順序または著者名のABC順とする。本文の引用個所の右肩に番号を片括弧で小さく入れる。論文名は記載しなくてもよい。
- 21) 題名、著者名、所属報文の図、表および写真の表題には英文を併記するものとし、さらに報文については、300語以内の英文要約をつけるものとする。
- 22) 英文原稿も上記の規定に準ずる。
- 23) 原稿に使用する年号は全て西暦に統一する。但し、引用文献等でタイトルの中に元号が入っている場合は変更する必要はない。

### 土壌物理研究会編集幹事

〒305 茨城県つくば市観音台2-1-2

農業工学研究所 水田用排水整備研究室

石 黒 宗 秀

電話 02975-6-7642

〒305 茨城県つくば市観音台3-1-1

農業研究センター 土壌改良研究室

中 司 啓 二

電話 02975-6-8826

## — 編 集 後 記 —

本号は、先の事務局から引き継いだ土壌物理研究会30周年記念シンポジウムが中心です。

事務局が再び筑波研究学園都市に移って来ましたが、この間に、町村が合併し、つくば市と成るなど、日々変化しています。特に中心街は、研究学園都市にふさわしく無いような賑やかさになってきました。

海外から訪れる研究者の数も、年々増加しています。つくば科学万博記念財団の調査によると、昨年度のつくば滞在外国人研究者数は、1,804人で国別では、1位中国 316人、2位韓国 259人、3位米国 174人と、隣国が上位ベスト3を占めています。地域別では、アジアが全体の63.8%を占めるとのことです。また、研修や留学目的を除く、純粹に研究が目的の外国人の滞在先ベスト10は、高エネルギー物理研究所(136人)、筑波大学

(85人)、電子技術総合研究所(36人)、地質調査所(19人)、機械技術研究所(15人)、無機材質研究所(14人)、公害研究所(13人)、農業生物資源研究所(13人)、化学技術研究所(13人)、理化学研究所(11人)で、いわゆるハイテク関連の研究機関に集中しています。来年は、国際土壌科学会が京都で開かれますが、我々の分野の研究交流の国際化は、未だかなり遅れているようです。

このところ、残念ながら会員数が減少傾向にあります。多分野にまたがる会員諸氏の研究交流が更に活発になるよう、新入会員の募集キャンペーン中です。会員諸氏にも、御協力頂ければ幸いです。

(石黒宗秀)

## — 土壌物理研究会 —

事務局構成	会 長	久保田 徹 (農環研)
	副 会 長	軽部 重太郎 (茨城大)
	会計幹事	日笠 重喜, 遅沢 省子 (農環研)
	庶務幹事	加藤 英孝 (農環研)
	編集幹事	石黒 宗秀 (農工研), 中司 啓二 (農研セ)
編集委員会	委 員 長	石井 和夫 (農研セ)
	委 員	安西 徹郎 (千葉農試), 足立 一日出 (農工研), 河野 英一 (日大), 谷山 一郎 (農環研), 長谷川 周一 (農環研)

発行 土壌物理研究会 (〒305) 茨城県つくば市観音台3-1-1 農業環境技術研究所 土壌管理科  
 TEL 02975-6-8257 振替口座 東京5-17794  
 銀行口座 関東銀行谷田部支店 口座番号(普通預金) 030205  
 印刷 ㈱ジェイ・ピー・シー 〒105 東京都港区新橋5-25-6 山本ビル2F  
 TEL 03-436-2124 (代) FAX 03-578-7182

## 新会員獲得キャンペーン

土壌物理研究会員数は、ここ数年横ばいとなっています。会の活性化を図るうえで新会員の獲得は急務となっています。

会員の皆様の職場や知人の方で、まだ入会されていない方がおりましたら、是非、入会をおすすめください。入会につきましての詳しいことは研究会事務局までお問い合わせください。

## 投稿原稿 募集のお知らせ

当研究会誌「土壌の物理性」は会員の皆様の投稿原稿によって構成されております。投稿は「報文」をはじめ幅広い内容を掲載しておりますので、会員皆様の積極的な利用をお願いいたします。

なお、投稿規定は本誌に掲載されておりますが、詳しくは下記までお問い合わせください。

〒305 つくば市観音台2-1-2

農業工学研究所

水田用排水整備研究室

石黒 宗秀

Tel : 02975-6-7642

〒305 つくば市観音台3-1-1

農業研究センター

土壌改良研究室

中司 啓二

Tel : 02975-6-8826

# Soil Physical Conditions and Plant Growth, Japan

No. 59

October 1989

---

## Contents

Foreword .....	T. KUBOTA... 1
<b>Symposium</b>	
Deformation, Strength and Hardness of Soils.....	S. YOSHIDA... 2
Susceptibility of Agricultural Soils to Structural Degradation by Compressive Forces. ....	H. KATOU... 7
Some Phenomena in Prolonged Water Percolation through Soils. ....	K. KOGA...17
Soil-Water Determination by Near-Infrared Reflectance Spectroscopy with Fiber Optics. ....	I. TANIYAMA, H. SHIBAYAMA...28
Modelling of Water Movement in a Clayey Agricultural Field with Shrinkage Cracks. ....	H. INOUE...35
Discussion .....	52
Reader's Column .....	S. MOTOMURA... 58
Announcement .....	60

---

Research Association of Soil Physics, Japan  
c/o Division of Soil Science, National Institute  
of Agro-Environmental Science  
Kannondai 3-1-1, Tsukuba, Ibaraki, 305, Japan  
President Toru KUBOTA