

# 土 壌 の 物 理 性

第 62 号

1 9 9 1 年 3 月

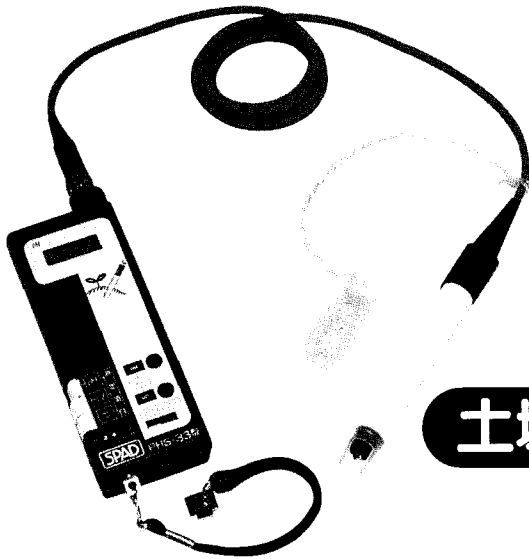
卷 頭 言	徳永 光一	1
報 文		
Ca <sup>2+</sup> -Na <sup>+</sup> イオン交換を伴う粘土中の溶質移動機構と特性	取出 伸夫・中野 政詩	3
中海干拓地土の収縮挙動について	石川 重雄・河野 英一・足立 忠司	13
粘板岩を母材とする新規造成圃場における 礫の細粒化促進による土壌熟化対策	宮下慶一郎・小林 卓史・千葉 行雄 石川 格司・宍戸 貢・白旗 秀雄	23
土壌-植物-大気系 (SPAC) の放射・水分レジムの影響による コムギ畑の蒸発散の変動	高橋 千穂・波多野隆介・佐久間敏雄	33
耕起方法が低湿重粘土汎用水田の 土壌物理性に及ぼす影響	長野間 宏・児玉 徹・金田 吉弘・山谷 正治	43
解 説		
サイクロメータによる土壌水のポテンシャル測定	塩沢 昌	53
資 料		
粘性土の塑性限界の測定におけるフォルコーン試験の適用性	甲本 達也	63
農業開発に関連する環境影響評価の問題点 ——とくに農用地造成事業に関連して——	増島 博	69
特別セミナー報告		
Use of Neutron Moisture Meter to Estimate Water and Nutrient Uptake of Rainfed Crops	G. VACHAUD	76
Modeling Solute Transport and Retention in Soils	H. M. SELIM	78
土 粒 子		
うもれた界面 (buried interface) の性質を測る	羽藤 正勝	79
書 評		
土の世界 大地からのメッセージ	石黒 宗秀	81
世界の土壌	佐久間敏雄	83
会 務 報 告		90
編 集 後 記		

## 土 壌 物 理 研 究 会

土 壌 の 物 理 性 Soil Phys. Cond. Plant Growth, Jpn.
--

# 現地で土壌を管理する!!

## 土壌挿入式PH計



- 土壌のPHを現地で簡易に直読できます。
- 従来のガラス電極に比べて、破損しにくくなりました。
- 内部液を補充する必要がありません。
- 電池式。
- 専用ショルダーケース付。(現地での必要道具付)

## 土壌挿入式ECメーター

- 土壌溶液のEC(養分)を現地で簡易に直読できます。
- センサーだけを複数本埋設することにより、広範囲の測定も可能です。
- 温度測定もできます。
- バッテリー充電式。
- 専用ショルダーケース付。



## セラミックス土壌水分計



- 土壌のpF値を現地で簡易に直読できます。
- 水分計が1台あれば、センサーは何本でも対応できます。
- 水銀などの有害物質は使用していません。
- 専用ショルダーケース付。



株式会社 藤原製作所

〒114 東京都北区西ヶ原1-46-16  
TEL 03 (3918) 8 1 1 1 (代)  
FAX 03 (3918) 8 1 1 9

# 会 告

## 事務局変更のお知らせ

昨年11月9日の1990年度土壌物理研究会総会において事務局が下記のように変更となりました。したがって、論文投稿、会費納入その他会務に関してのご照会は新事務局宛にお願いします。

なお、旧銀行口座については1991年3月末日まで開設しておりますのでご利用頂いても結構です。

(郵便口座は変更ありません)

## 記

### 新事務局

住所 〒700 岡山市津島中1-1-1

岡山大学農学部 農地整備学研究室気付 土壌物理研究会

Tel 0862-52-1111 (内752)

銀行 中国銀行 津島支店

口座名：土壌物理研究会 ナガ長 ホリ堀 キン金 ゾウ造

口座番号：普 1223273

### 旧事務局

住所 〒305 茨城県つくば市観音台3-1-1

農業環境技術研究所 土壌管理科気付 土壌物理研究会

Tel 0298-38-8257

銀行 関東銀行 谷田部支店

口座名：土壌物理研究会 会長 久保田 徹

口座番号：普 030205





---



---

 卷 頭 言
 

---



---

## 何萬の根たちは

徳 永 光 一\*

草野心平の詩に「森」という一編がある。「……………」  
 …… 何萬の根たちは。 そうしてすこしも動かない。 満月の下の。 森森(しんしん)の。 森。」  
 と結ばれるこの詩は、森の木、木や下草が土中に伸ばす根群を謳ったものである。地下の根っこが詩の対象になることも驚きだが、多様な根の形態とそれをとりまく土層断面への精細な観察に筆者はまず驚異と敬意を抱いた。さらに、詩人の眼はこの観察を超え、根体内部の営み、根系相互の確執と共存、そして硬い土との闘いなどへの鋭い洞察に及ぶ。この詩を読む者には、根体群像に横溢する活力が強い情感で迫ってくる。

筆者がこの詩を知ったのは3～4年前のことであったが、土壌粗間隙の立体的形態を観察するX線造影法を開発し、その手法の実用化がほぼ完成した頃であった。それにより、年間100個以上の試料土(1個は4 cm立方体)を撮影し、これを眺める毎日であったが、その写真のほとんどが根穴孔隙(根成孔隙と名付けている)であった。水田では水稻根が、牧草地では牧草根が、ススキ群落ではススキ根が旺盛に分布していた。したがって、上述の詩を読んで強い共感と感銘を覚えたのは当然のことであった。

表層土では根遺体の残存する孔隙(円管状の間隙を指す)もあれば、空洞化した孔隙もある。下層土では空洞化した孔隙がほとんどであるが、その分布はやはり旺盛である。東北の火山灰土では10 m以上に及ぶ降下堆積の全層にわたり、また非火山灰土では深さ3 mぐらまで根系状孔隙が発達している。根系状孔隙が根成孔隙であることの証拠も集積されつつある。これに対し、土壌動物による粗孔隙と思われるものは極めて少ない。ミミズの穴が稀に現われるが、根成孔隙の密度に比べると2桁以上の違いである。

作物にせよ野生植物にせよ、地上の植生はそれにほぼ匹敵する空間占有量を地下部にもつ。しかも、根穴は時間的にも地下部に蓄積されるから、根成孔隙は極めて濃密な分布となり、その結果土壌基質の物理的特性と化することも不思議ではない。従来、土壌間隙の分類において根穴(ここでは径1～2 mm以下を指す)の位置付けは土壌動物孔など一括されて「特別のすき間」として扱われ、マイナーな存在と見られがちであった。しかし、筆者の今日までの調査結果からすると、植生履歴をもつ表層土(根群域深度の厚さ)については、根成孔隙がメジャーな存在である。根成孔隙は多根系が複合された形態であるから、多数の分岐に富み、分岐から先は一段と細くなる。つまり、保水、排水の両機能を果たすと見られる毛管、非毛管の孔隙網であり、その連続性や太さや屈曲性が透水性をも決定づけられると思われる。

この根成孔隙構造は地史的年月にわたり保全されるという事実も明らかになってきた。活性根や老朽根が古い空洞化した根成孔隙中に伸長している例が多数観察できる。根系伸長にとっての土壌硬度を考えると、粗孔隙を含めた硬度評価が今後の問題になる。

この地球上に大気圏を生み出した植物界は、同時に地殻にも想像を越える影響を及ぼしてきたはずである。だが、これまでの認識は主に有機物供給という側面にとどまる土壌生成観であった。植物生育が根の伸長という物理的作用により、母材に根成孔隙を蓄積し、土壌らしい物理性を付与する。根成孔隙構造は母材への物質循環を促し、その粘土化や土壌化を促進する。

何萬の根たちの壮大な物理的活力を感じずにはいられない。植物が土を創る! 本誌の英文題名を逆転させて読むことも意味があろう。そう読んでみたいこの頃である。

“Plant Growth and Soil Physical Conditions”

\* 岩手大学 農学部



Ca<sup>2+</sup>-Na<sup>+</sup> イオン交換を伴う粘土中の溶質移動機構と特性

取出 伸 夫\*・中 野 政 詩\*

Transport of exchanging Ca<sup>2+</sup> and Na<sup>+</sup> in clay systems

Nobuo TORIDE and Masashi NAKANO

Faculty of Agriculture, The University of Tokyo

## 1. はじめに

近年、土中を移動する化学物質の挙動を、正確に予測する必要が増してきている。それは、地球規模の環境問題である地下水汚染、また土中から流れ出す化学物質も要因となる河川や湖沼の富栄養化などの問題の解決に深くかかわっているからである。土中水に溶解している溶質は、土粒子との吸着、またその逆の土粒子からの脱着といった反応を繰り返しながら水の流れとともに移動する。特に粘土を多く含む土中を溶質が移動する場合は、土中溶液のイオンと粘土粒子表面に吸着している交換性イオンとのあいだで生じるイオン交換が、その移動形態に大きな影響を及ぼす。さらにこのイオン交換により粘土粒子の物理化学的性質が変化するために、土の透水性や保水性が変化し、土中水の流れも影響を受ける<sup>1)</sup>。そのため、イオン交換を伴う土中の溶質移動は、種々の因子の連鎖的变化を伴う現象として取り扱う必要がある<sup>2)</sup>。

イオン交換特性の溶質移動に及ぼす影響は、乾燥地の塩類土壌の改良目的を中心に、これまでも多くの研究がなされてきた<sup>3)</sup>。乾燥地で見られるCa<sup>2+</sup>-Na<sup>+</sup>イオン交換を伴う溶質移動には、Na<sup>+</sup>を多く吸着した難透水性のNa土壌のCa<sup>2+</sup>による改良、また塩類が土壌表面に集積する過程のNa土壌の生成などがある。しかし、そうした吸脱着を伴う溶質挙動を実測して解析した例は極めて少ない。特に、種々の因子の連鎖的变化を含めた溶質挙動の体系的な予測を行なうためには、多くのデータを蓄積する必要がある。そこで、Ca<sup>2+</sup>-Na<sup>+</sup>イオン交換を伴う溶質移動として、NaペントナイトへのCaCl<sub>2</sub>溶液の浸透過程(リーチング)<sup>4,5)</sup>と、NaCl溶液を地下水に持つCaペントナイトの水分蒸発過程を、実験室内で再現した。ここでは、まず観察された溶質挙動から

Ca<sup>2+</sup>-Na<sup>+</sup>イオン交換の溶質移動に及ぼす影響を調べる。そして、Ca<sup>2+</sup>-Na<sup>+</sup>イオン交換に伴う粘土の性質の変化と溶質挙動について、透水性と水分特性の変化に焦点をあてて整理する。

## 2. 実 験

## 2.1 供試試料

ここで用いた試料は、モンモリロナイトを65重量%程度含み、真比重が2.6のペントナイト(国峰鉱化工業製、クミネV1)である。その陽イオン交換容量(CEC)は、交換性陽イオンの総和として求めると、約100 meq/100 g 乾土である。

この試料のバッチ法により求めたCa<sup>2+</sup>-Na<sup>+</sup>交換線をFig.1に示す。横軸は、溶液中のCa<sup>2+</sup>当量分率、縦軸は、Ca<sup>2+</sup>吸着当量分率である。溶液のトータル濃度は、0.05 N, 0.1 N および 0.4 N である。なお、Ca<sup>2+</sup>-Na<sup>+</sup>交換平衡式には、後述する(4)式のガボン式がよく用いられる<sup>7)</sup>。図にはガボン式による交換線も併記してある。ここでガボン定数は、[濃度]<sup>-0.5</sup>の次元を持つ。慣習に従い濃度単位をmolで示すと、ここで用いたペントナイト試料のガボン定数は、0.1 N以下の溶液濃度の場合、0.32 (cm<sup>1.5</sup>/mmol<sup>0.5</sup>)程度で一定となることがわかる。

実験に用いた2つの状態のペントナイト試料は、Naペントナイト(交換性Na<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>量がそれぞれ41.5, 45.9, 12.5 meq/100 g 乾土)と交換性陽イオンの大半をCa<sup>2+</sup>が占めるCaペントナイト(交換性Na<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>量がそれぞれ1.2, 94.6, 5.1 meq/100 g 乾土)である。以後、これをCa飽和ペントナイトと記す。このCa飽和ペントナイトは、試料を濃度1NのCaCl<sub>2</sub>溶液と十分に混合し、そして純水で洗浄して作製した。なお、洗浄を繰り返すにつれ、試料が分散状態となり固液分離が不可能になるので、純水にメーターノールを段階的に加え、上澄み液の電気伝導度が10 μS/cm以下

\*東京大学農学部 〒113 文京区弥生1-1-1

土壌の物理性 第62号 p.3~11 (1991)

受理月日 1990年10月1日

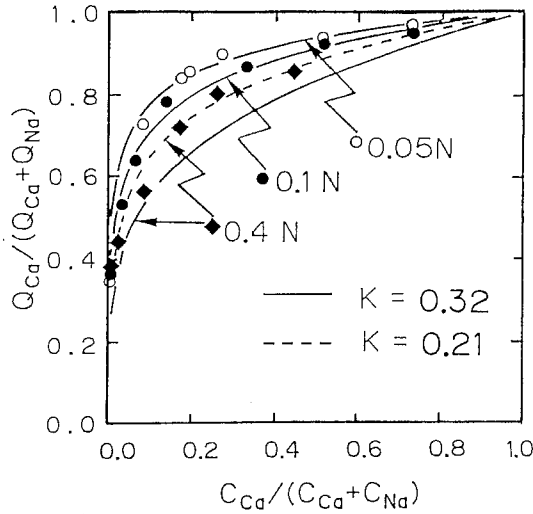


Fig. 1 Normalized Ca<sup>2+</sup>-Na<sup>+</sup> exchange isotherm for bentonite clay

K: Gapon const. (cm<sup>1.5</sup>/mmol<sup>0.5</sup>)

C<sub>Ca</sub>: Ca<sup>2+</sup> concentration in solution (meq/cm<sup>3</sup>)

C<sub>Na</sub>: Na<sup>+</sup> concentration in solution (meq/cm<sup>3</sup>)

Q<sub>Ca</sub>: Exchangeable Ca<sup>2+</sup> (meq/g·soil)

Q<sub>Na</sub>: Exchangeable Na<sup>+</sup> (meq/g·soil)

になるまで洗浄を繰り返した。この洗浄した試料を風乾し、0.156 mmの篩を通し、Ca飽和ベントナイト試料とした。

Fig. 2に含水比720%のNaベントナイト試料と、含水比150%のCa飽和ベントナイトの試料を用いて測定した排水過程の水分特性を示す。なお図には、次に示す浸透実験と同じ条件で、濃度0.4NのCaCl<sub>2</sub>溶液を十分に浸透させた後のCaベントナイトの水分特性も併せて示す。

## 2.2 浸透実験

含水比720% (体積含水率約95%)のNaベントナイト試料を、下端に透水係数が10<sup>-4</sup>cm<sup>2</sup>/sec程度と十分に高いフィルターの敷いてある内径5 cm、高さ5 cmのコラムに一樣に充填した。その試料表面に濃度0.1NのCaCl<sub>2</sub>溶液を、マリョット管を用いて7.5 cmの湛水として与えた。そして、排出水量より水分フラックスを求めた。また、適宜このコラムを5 mmずつに切断し、土中溶液濃度および粘土粒子に吸着している交換性陽イオン量を測定した。まず切断した試料の遠心上澄み液を土中溶液として採取し、そのCa<sup>2+</sup>と、Na<sup>+</sup>濃度を原子

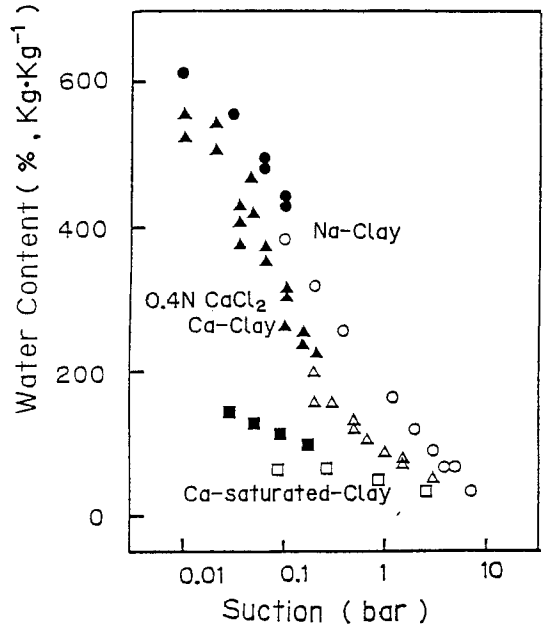


Fig. 2 Water retention curves for three different states of bentonite clay

●○-Na-Clay used in a leaching experiment

▲△-Ca-Clay leached with 0.4N CaCl<sub>2</sub> solution

■□-Ca-saturated-clay mixed with CaCl<sub>2</sub> solution

●▲■-suction method

○△□-pressure plate method

吸光法、Cl<sup>-</sup>濃度をイオンクロマトグラフィーにより測定した。そして、上澄み液を採取した試料について、1N酢酸アンモニウムを用いて繰り返し洗浄し、酢酸アンモニウム中の陽イオン濃度から交換性陽イオン量を求めた<sup>6)</sup>。この浸透実験は、293 K (20℃)の定温条件で行なった。

## 2.3 水分蒸発実験

含水比100% (体積含水率72%)のCa飽和ベントナイトを、浸透実験と同様に、下端にフィルターを敷いてある内径5 cm、高さ5 cmのコラムに一樣に充填した。そしてマリョット管を用いて試料下端に濃度0.1NのNaCl溶液を地下水として与えた。土中溶液濃度分布および交換性陽イオン分布は、浸透実験と同様に、コラムを5 mmずつに切断して測定した。この水分蒸発実験は、303 K (30℃)、相対湿度40%の定温定湿条件で行なった。

### 3. 結果と考察

#### 3.1 Ca<sup>2+</sup>-Na<sup>+</sup> イオン交換を伴う溶質移動

##### (1) 溶質移動式

土中を Ca<sup>2+</sup> や Na<sup>+</sup> が移動して溶液中のイオン濃度と組成が変化すると、新たな交換平衡に向けて土中溶液と、粘土粒子に吸着されている交換性陽イオンとのあいだでイオン交換が生じる。このような Ca<sup>2+</sup> と Na<sup>+</sup> の溶質移動には、水分フラックスが一定で体積変化がなく、分散係数がイオン種に依らない場合、それぞれのイオンに対し、次の分散移流式が適用できる。

$$\frac{\partial C_{Ca}}{\partial t} = D_s \frac{\partial^2 C_{Ca}}{\partial Z^2} - \frac{J^v}{\theta} \frac{\partial C_{Ca}}{\partial Z} - \frac{\rho}{\theta} \frac{\partial Q_{Ca}}{\partial t} \quad (1)$$

$C_{Ca}$  : 土中溶液中の Ca<sup>2+</sup> 濃度 (meq/cm<sup>3</sup>)

$D_s$  : 分散係数 (cm<sup>2</sup>/d)

$J^v$  : 水分フラックス (cm/d)

$\theta$  : 体積含水率 (cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup>)

$Z$  : 位置 (cm)

$t$  : 時間 (d)

$\rho$  : 乾燥密度 (g/cm<sup>3</sup>)

$Q_{Ca}$  : 乾土単位重量あたりの Ca<sup>2+</sup> 吸着量 (meq/g)

$$\frac{\partial C_{Na}}{\partial t} = D_s \frac{\partial^2 C_{Na}}{\partial Z^2} - \frac{J^v}{\theta} \frac{\partial C_{Na}}{\partial Z} - \frac{\rho}{\theta} \frac{\partial Q_{Na}}{\partial t} \quad (2)$$

$C_{Na}$  : 土中溶液中の Na<sup>+</sup> 濃度 (meq/cm<sup>3</sup>)

$Q_{Na}$  : 乾土単位重量あたりの Na<sup>+</sup> 吸着量 (meq/g)

ここで (1), (2) 式の左辺は溶液中の濃度変化を示す。右辺第1項は、分散項である。この分散は、土中水の局所的な流れのばらつきによって生じる水理学的分散と分子拡散により生じ、濃度勾配を緩やかにする効果を持つ。水理学的分散係数は、通常水分フラックスに比例するため、水分フラックスが非常に小さいときのみ水理学的分散に比べ分子拡散が卓越する。その水分フラックスの境界値は、分子拡散係数のオーダーの 1 cm/d 程度である<sup>8)</sup>。そして右辺第2項は、平均的な水分の流れとともに移動する移流項である。

右辺第3項は、吸着項である。イオン交換現象の特徴は、粘土粒子の持つ負荷電により、反対の符号を持つ陽イオンが静電氣的吸着をしている点である。そのため、電氣的中性条件が常に満たされる。吸着イオン種が Ca<sup>2+</sup> と Na<sup>+</sup> の2種のみときは、粘土粒子の荷電量である陽イオン交換容量 (CEC) とのあいだに次式が成立する。

$$Q_{Ca} + Q_{Na} = Q_T \quad (3)$$

$Q_T$  : 陽イオン交換容量 (meq/g)

これは、イオン交換が生じてあるイオンが吸着すると、等しい量の他のイオンが脱着することを示している。ところで、吸着量の  $Q_{Ca}$  と  $Q_{Na}$  が、溶液濃度の  $C_{Ca}$  と  $C_{Na}$  の両者に依存するため、(1), (2) 式をそれぞれの溶質挙動に対し、独立に適用することはできない。そのため、イオン交換は、競合吸着として他の吸着現象と区別される。

Ca<sup>2+</sup>-Na<sup>+</sup> イオン交換平衡式には、古くから経験的にガボン式が用いられている。

$$\frac{Q_{Na}}{Q_{Ca}} = K \times \frac{C_{Na}}{\sqrt{(C_{Ca}/2)}} \quad (4)$$

$K$  : ガボン定数 (cm<sup>1.5</sup>/mmol<sup>0.5</sup>)

(1) ~ (4) 式を連立させ、適当な初期条件と境界条件を与えると、Ca<sup>2+</sup> と Na<sup>+</sup> の濃度と吸着量を求めることができる<sup>9)</sup>。なお、イオン交換の生じない Cl<sup>-</sup> などの陰イオンの場合は、(1), (2) 式の吸着項のない単純な分散移流式が適用できる。

ところで、Fig. 1 に示したように、Ca<sup>2+</sup>-Na<sup>+</sup> イオン交換の Ca<sup>2+</sup> の選択性は、非常に高い。そのため、Ca<sup>2+</sup> の溶液分率が非常に低いときに存在する Na 粘土は、わずかな Ca<sup>2+</sup> の溶液分率の増加によって、Ca<sup>2+</sup> の吸着が進む。一方、Na<sup>+</sup> の Ca<sup>2+</sup> に対する選択性は低い。そのため、Ca<sup>2+</sup> の吸着分率の高い Ca 粘土では、Ca<sup>2+</sup> の溶液分率が低下、すなわち Na<sup>+</sup> の溶液分率が増加しても Na<sup>+</sup> の吸着はあまり進行しない。この Ca<sup>2+</sup> の選択性は、トータル濃度の増加と共にやや低下する傾向がある。このようなイオン交換特性を持つ場合は、(1), (2) 式の第3項が、第1項の分散項と並んで土中を移動する溶質の濃度分布の形状に大きな影響を及ぼす<sup>3, 10)</sup>。そこで次に、浸透実験と水分蒸発実験について、このような観点から見てみる。

##### (2) Ca<sup>2+</sup> の交換吸着する浸透過程

浸透実験では、実験期間中を通じ、試料の体積変化は非常に小さかった。そして水分フラックスは、実験開始から13日程度までは、0.05 cm/d と極めて小さく、その後急増して15日以降には 0.5 cm/d 程度となった (Fig. 3)。そのため、特に浸透初期では、移流による溶質移動量は小さい。また、水理学的分散に比べて分子拡散が卓越すると考えられる。そのため、表面に灌水された CaCl<sub>2</sub> 溶液は、主に拡散によって下方へと浸透する。

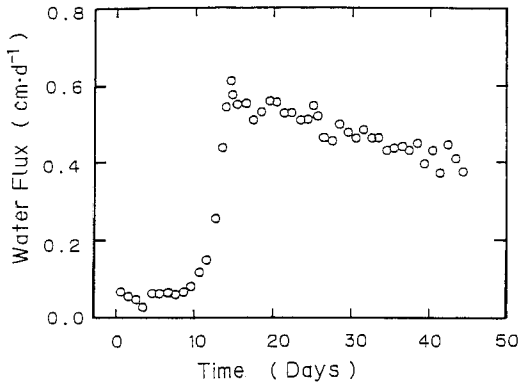


Fig. 3 Changes in water flux for a leaching experiment

ここで、陰イオンCl<sup>-</sup>と陽イオンのCa<sup>2+</sup>では、浸透の形態が異なる。陰イオンのCl<sup>-</sup>は、土粒子への吸着が生じない。そして5日には最下層に到達する (Fig. 4)。一方、陽イオンのCa<sup>2+</sup>は、Na<sup>+</sup>と交換して土粒子へと吸着しながら下方へと浸透する (Fig. 5)。そのため、Ca<sup>2+</sup>はCl<sup>-</sup>に比べ下方への浸透が遅れ、最下層に濃度前線が到達するのは、13日以降である。このCl<sup>-</sup>とCa<sup>2+</sup>の溶液濃度の差は、土粒子へのCa<sup>2+</sup>の吸着量である。

このCa<sup>2+</sup>濃度分布は、13日までの濃度勾配が変化しないのが特徴である。Ca<sup>2+</sup>が交換吸着する場合、前節で述べたように、その選択性が高いため、Ca<sup>2+</sup>の溶液分率が低い状態でCa<sup>2+</sup>の吸着とNa<sup>+</sup>の脱着が進行する。そのため、Na粘土中を下方へと浸透するCa<sup>2+</sup>の濃度分布は、低濃度の濃度先端ほど吸着量が多く、吸着の効果は、拡散とは逆の溶質の広がりを抑える効果を持つ。そのため、濃度勾配を増加させる吸着の効果と、その逆に濃度勾配を減少させる拡散の効果がつり合い、濃度勾配が変化しなかったと考えられる。このような選択性の高いイオン交換吸着は、積極的交換 (favorable exchange) と呼ばれている。

Ca<sup>2+</sup>の浸透に伴い土粒子表面に吸着していたNa<sup>+</sup>は、Ca<sup>2+</sup>と交換して土中溶液へと脱着する (Fig. 6)。このNa<sup>+</sup>濃度とCa<sup>2+</sup>濃度の和は、陰イオンのCl<sup>-</sup>濃度とはほぼ等しく、溶液中のNa<sup>+</sup>の大半が、Ca<sup>2+</sup>と交換脱着したものであることが確認された。ところで、13日までのNa<sup>+</sup>濃度分布には、下方に向けて増加しながら移動するピークが観察された。このピーク位置は、イオン交換が盛んに生じてNa<sup>+</sup>の脱着量の多いことを示している。そしてこのNa<sup>+</sup>濃度のピーク位置は、Ca<sup>2+</sup>濃度

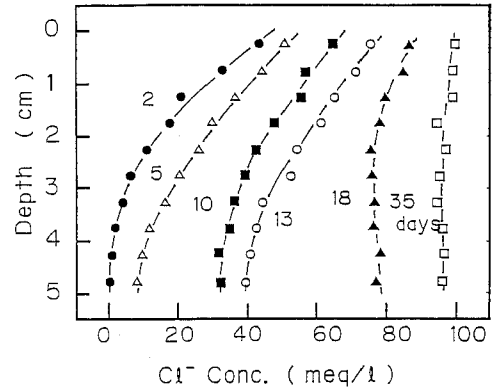


Fig. 4 Changes in Cl<sup>-</sup> concentration profiles for a leaching experiment

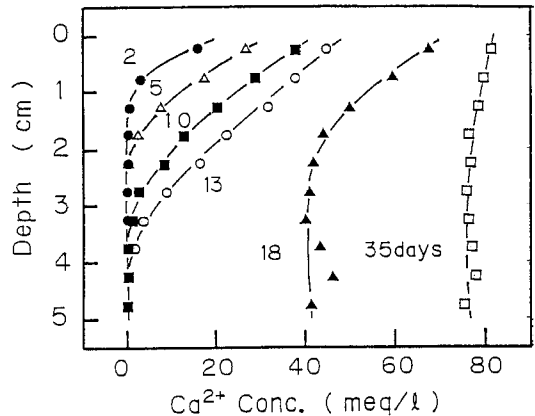


Fig. 5 Changes in Ca<sup>2+</sup> concentration profiles for a leaching experiment

の前線位置とはほぼ一致する。Ca<sup>2+</sup>の浸透に伴いイオン交換領域が下方へ移動していくにつれ、そのピークの位置も下方に移動していく。そして、すでにCa粘土化の進行した上部より放出されたNa<sup>+</sup>が下方に移動してくるので、ピークは増加しながら下方に移動したと考えられる。

このような積極的交換によるCa粘土化の進行は、Fig. 7の交換性陽イオン分布で確認することができる。今、交換性Ca<sup>2+</sup>の割合が40~80%程度をイオン交換領域と考えると、イオン交換領域は、2日では深さ1 cm付近の位置である。これはCa<sup>2+</sup>濃度前線の位置及びNa<sup>+</sup>濃度分布のピーク位置とはほぼ一致する。そして、その交換性陽イオン分布の示す交換領域は、2日では、幅1 cm以下の非常に狭いものとなっている。これも、

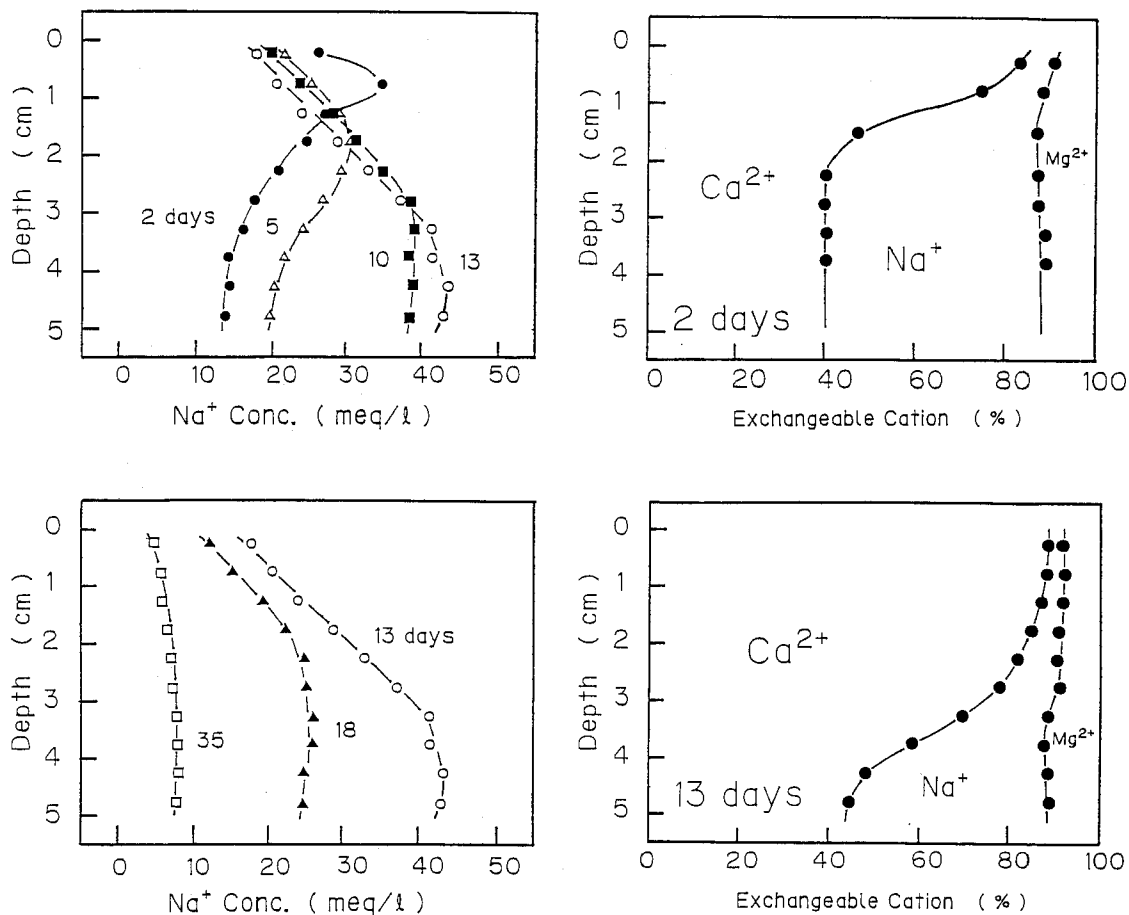


Fig. 6 Changes in  $\text{Na}^+$  concentration profiles for a leaching experiment

$\text{Ca}^{2+}$  の濃度前線付近でのみ  $\text{Ca}^{2+}$  の交換吸着が進行する積極的交換の特徴を示している。また、13日には、わずかに最下層のみが未交換の  $\text{Na}$  粘土として存在したことがわかる。

(3)  $\text{Na}^+$  が交換吸着する水分蒸発過程

一方、 $\text{NaCl}$  溶液を地下水に持つ  $\text{Ca}$  ベントナイトの水分蒸発過程では、地下水の  $\text{NaCl}$  が表面に集積する過程で、浸透過程とは逆の、 $\text{Na}^+$  の吸着、 $\text{Ca}^{2+}$  の脱着が進行する。ところで、地下水供給水フラックスは、実験期間中を通じて  $0.28 \text{ cm/d}$  程度で一定であり、しかも試料の体積変化および含水比分布に大きな変化はなかった。そのため、この水分蒸発実験では、試料位置に依らない上向き定常水分フラックスが生じたことが確認され

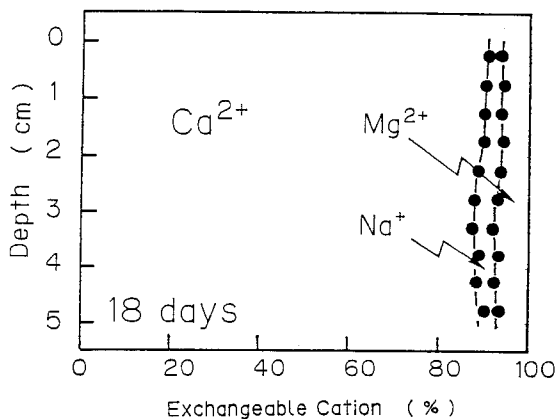


Fig. 7 Exchangeable cations as a percent of the equivalent ratio for a leaching experiment

た。

CaCl<sub>2</sub> 溶液の浸透過程と同様に、土粒子への吸着の生じない Cl<sup>-</sup> 濃度分布と、土粒子表面に吸着する Na<sup>+</sup> 濃度分布とを比較することにより、イオン交換の溶質移動に及ぼす影響がわかる (Fig. 8, 9)。蒸発過程の Cl<sup>-</sup> 濃度は、5 日に表層の濃度が増加した。この 2 日と 5 日の Cl<sup>-</sup> 濃度分布は、濃度が増加する方向は逆であるが、Fig. 4 の浸透過程の Cl<sup>-</sup> 濃度分布と形状がほぼ類似なものとなっている。これは、蒸発過程の水分フラックスも 0.28 cm/d と小さいため、上方へと濃度が増加する実験初期の移動は、浸透過程と同様に、分子拡散が卓越したためである。その後 Cl<sup>-</sup> は、水分蒸発にともない表層

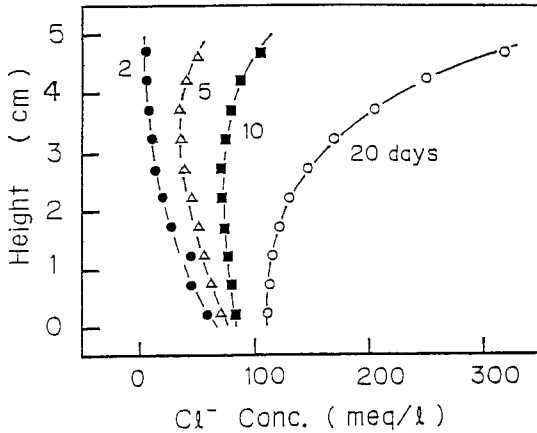


Fig. 8 Changes in Cl<sup>-</sup> concentration profiles for an evaporation experiment

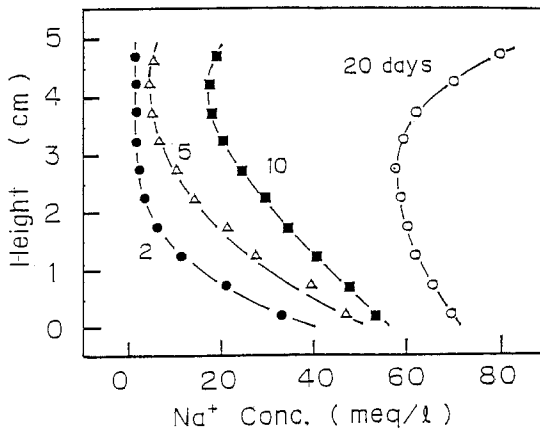


Fig. 9 Changes in Na<sup>+</sup> concentration profiles for an evaporation experiment

での集積が進行した。

一方、土粒子表面に吸着する Na<sup>+</sup> の溶液濃度は、Cl<sup>-</sup> 濃度に比べて常に低くなる。この Cl<sup>-</sup> と Na<sup>+</sup> の溶液濃度の差は、浸透過程の場合と同様に、土粒子への Na<sup>+</sup> の吸着量である。この水分蒸発過程は、浸透過程と比べて乾燥密度が大きいため単位体積当たりの陽イオン交換容量が大きく、しかも厳密には水分フラックスも異なる。しかしここで、実験初期の Cl<sup>-</sup> 濃度分布の変化が浸透過程と相似であったことに注目し、溶質挙動の違いが主にイオン交換特性によるものであると考え、イオン交換特性の溶質移動に及ぼす影響を考えてみる。

水分蒸発過程の Na<sup>+</sup> 濃度前線は、5 日に試料表面に達し、土粒子への吸着が生じない Cl<sup>-</sup> 濃度前線に対する遅れが小さい。これは浸透過程の Ca<sup>2+</sup> の濃度前線が、5 日では深さ 2 cm に存在したように、Cl<sup>-</sup> 濃度前線の移動に比べて大きく遅れたことと対照的である。水分蒸発過程のように Ca 粘土中を Na<sup>+</sup> が移動する場合、Na<sup>+</sup> の Ca<sup>2+</sup> に対する選択性が低いため、Na<sup>+</sup> の溶液分率が増加しても Na<sup>+</sup> の吸着、すなわち Ca<sup>2+</sup> の脱着はあまり進行しない。そのため、低濃度の濃度先端ほど吸着量が小さく、吸着の効果は、時間の経過とともに濃度勾配を緩やかにする。そして、水分蒸発過程の Na<sup>+</sup> 濃度分布では、吸着と拡散の効果の両者によってその濃度勾配が緩やかになり、吸着の生じない Cl<sup>-</sup> 濃度と前線の移動速度に違いが生じなかったと解釈できる。このような選択性の低いイオン交換は、積極的交換に対し消極的交換 (non-favorable exchange もしくは unfavorable exchange) と呼ばれている。なお、表面に Cl<sup>-</sup> と Na<sup>+</sup> が到達した後、両イオンとも表面での集積が進行するが、

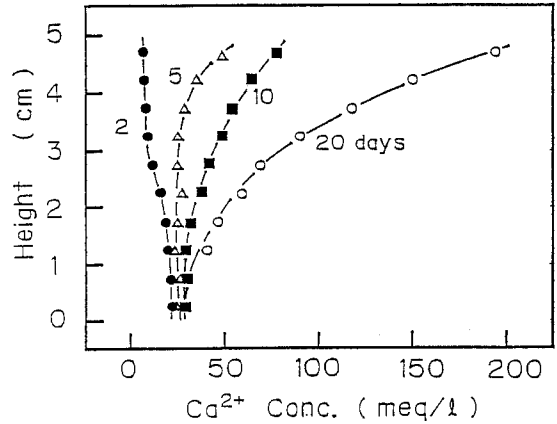


Fig. 10 Changes in Ca<sup>2+</sup> concentration profiles for an evaporation experiment



Na<sup>+</sup>の吸着が継続的に進行するため、Cl<sup>-</sup>とNa<sup>+</sup>の濃度差は拡大した。

Na<sup>+</sup>の吸着に伴い、土粒子に吸着していたCa<sup>2+</sup>は土中溶液に放出される。Fig. 6の浸透過程のNa<sup>+</sup>濃度分布では、脱着量の大きい位置に濃度ピークが観察されたが、Fig. 10の水分蒸発過程のCa<sup>2+</sup>濃度分布にはそのようなピークはみられない。これは、Na<sup>+</sup>が交換吸着する場合には、脱着量が局所的に大きい部位の存在しなかったことを示している。また表層での塩類集積が進行する10日から20日の間に、交換性のNaの吸着割合は、全層にわたり一様に4%程度増加した(Fig. 11)。このように、消極的交換によるNa粘土化は、継続的に徐々に進行するのが特徴である。

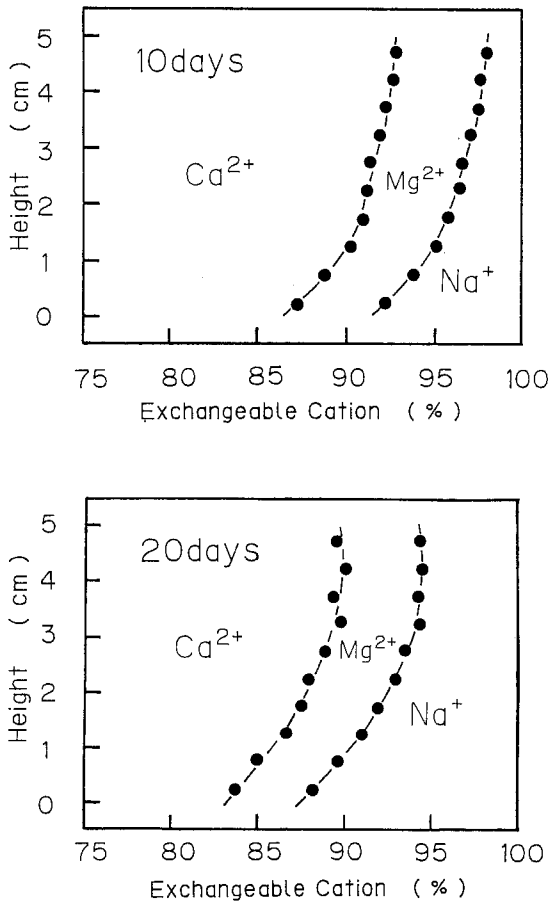


Fig. 11 Exchangeable cations as a percent of the equivalent ratio for an evaporation experiment

### 3.2 イオン交換と水分移動特性の変化

イオン交換を伴った溶質移動が生じると、当然のことながら粘土の諸性質も変化する。ここでは、イオン交換と粘土の水分移動特性の変化について、透水性、水分特性に焦点をあてて考える。

浸透過程では、積極的なイオン交換が生じて、Fig. 7の交換性陽イオン分布にみられたように、コラム内が上層のCa粘土と下層のNa粘土に成層化した。そして、全層がCa粘土となる13日から18日の間に水分フラックスは急増した(Fig. 3)。一般に、粘土の透水性は、Na<sup>+</sup>の吸着分率が高いほど、また溶液濃度が低いほど低下することが知られている<sup>1,2)</sup>。そのため浸透初期には、下層部の透水性の低いNa粘土が透水を制限し、水分フラックスが小さかったと考えることができる(Fig. 7)。そして全層が透水性の高いCa粘土に変化したために、水分フラックスが増加したと理解できる。このようなCa粘土化による水分フラックスの増加は、下方への移流による溶質移動量を増加させる。そのため水分フラックスが増加した13日以降、Fig. 3のCl<sup>-</sup>濃度とFig. 4のCa<sup>2+</sup>濃度は大きく増加し、またFig. 5のNa<sup>+</sup>濃度は減少した。

ところで、吸着イオン種は、透水性のみならず、水分特性にも影響を及ぼす(Fig. 2)。浸透実験に用いたNaベントナイトは、0.01 barでは600%と低サクシジョンの含水比が高く、そしてサクシジョンの増加とともに大きく含水比が減少する。このNaベントナイトへCaCl<sub>2</sub>溶液を浸透させて作製したCaベントナイトは、Naベントナイトに比べ同じサクシジョンに対する含水比は小さい。これは、体積変化が小さく、含水比が不変であった浸透実験においても、透水性の変化と共に、粘土の水分特性も変化したことを示している。

一方、水分蒸発実験に用いたCa飽和ベントナイトの含水比は、浸透により作成したCaベントナイトに比べ同じサクシジョンでの含水比は極端に低く、たとえば、0.1 barでは含水比100%程度となっている。浸透により作製したCaベントナイトは、Ca飽和ベントナイトに比べた場合、むしろNaベントナイトに近い水分特性である。同じCaベントナイトの水分特性がこのように大きく違うことは、その生成過程の履歴の違いから異なった粒子構造が形成されたためと考えられる。

このように、ベントナイトの水分特性は、試料の状態により著しく変化する。そしてここに示した以外の状態では、条件に応じて様々な水分特性を示し、それらは、NaベントナイトとCa飽和ベントナイトの間の水分特性曲線を与えると考えられる。今までに示した浸透過程

と水分蒸発過程は、一様な水分分布の土コラム中の定常水分フラックスの下での溶質移動であり、しかもイオン交換に伴う水分特性の変化は、浸透過程ではCa飽和ベントナイトとの水分特性の違いと比べると、あまり大きくなかった。しかし、より現実的に非定常な水分移動の生じている粘土中の溶質移動を考えると、水分フラックスを定量化する際に、水分特性の把握は透水係数と並んで重要となる。その際、土中溶液の状態や、試料の履歴等を十分考慮する必要があることをFig. 2は示している。

#### 4. まとめ

ここまで、Ca<sup>2+</sup>-Na<sup>+</sup>イオン交換を伴う粘土中の溶質移動として、Na粘土に交換吸着するCaCl<sub>2</sub>溶液のNaベントナイトへの浸透過程、またCa粘土にNa<sup>+</sup>が交換吸着するNaCl溶液を地下水に持つCaベントナイトからの水分蒸発過程について溶質挙動を中心に示した。特にこれらを、積極的交換と消極的交換のイオン挙動の2つのタイプに分類し、浸透過程と水分蒸発過程の溶質挙動について、それぞれ対比することを行なった。浸透過程では、Ca<sup>2+</sup>の選択性が高いため、積極的交換が生じて、Ca<sup>2+</sup>の濃度前線付近でCa<sup>2+</sup>の吸着とNa<sup>+</sup>の脱着が進行し、Ca粘土化が進行した。それに対し、水分蒸発過程では、Na<sup>+</sup>の選択性が低いため、消極的交換が生じて、試料全体に継続的にNa<sup>+</sup>の吸着とCa<sup>2+</sup>の脱着が進行した。

また、Ca<sup>2+</sup>-Na<sup>+</sup>イオン交換に伴う粘土の性質の変化として、浸透過程では、Ca粘土化に伴い透水性が増加し、それにより水分フラックスが増加して溶質移動量が増加した。またCa<sup>2+</sup>の浸透によりCa粘土化すると、同じサクションでの含水比が低下することを水分特性曲線から示した。さらに同じCa粘土であっても、試料の生成履歴によって水分特性が著しく異なることを示した。土中の溶質移動の定量的な予測を行なうためには、水分フラックスの予測が最も重要な要因である。特に、イオン交換が透水性や水分特性に大きな影響を及ぼす粘土中の溶質移動現象では、今回述べたような溶質移動に伴う一連の連鎖的相互作用について、さらに詳細なデー

タを蓄積する必要があると考える。

謝辞 東京大学農学部大学院生加藤邦彦氏とは、水分蒸発実験を共同に進めさせて頂いた。また東京大学農学部井本博美技官には実験全般にわたり御協力を頂いた。ここに厚く謝意を表する。

#### 引用文献

- 1) Russo, D., E. Bresler: Effect of mixed Na-Ca solutions on the hydraulic properties of unsaturated soils, *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 41, 713-717 (1977)
- 2) Nielsen, D. R., M. Th. van Genuchten, J. W. Bigger: Water flow and solute transport in unsaturated zone, *Water Resour. Res.*, 22, 89S-108S (1986)
- 3) Bolt, G. H., M. G. M. Bruggenwert: 土壌の化学, 岩田進午ら訳, 学会出版センター, 136-156 (1978)
- 4) 取出伸夫, 中野政詩: CaCl<sub>2</sub>溶液によるNaベントナイトの脱ソーダ質化過程, *農土論集*, 136, 39-45 (1988)
- 5) 取出伸夫, 塩沢昌, 中野政詩: CaCl<sub>2</sub>溶液の浸潤下におけるNaベントナイト中の溶質移動の解析, *農土論集*, 136, 47-52 (1988)
- 6) 日本粘土学会編: 粘土ハンドブック第二版, 技報堂出版, 681-684 (1987)
- 7) US Salinity Laboratory Staff: Diagonosis and improvement of saline and alkali soils, *US Dept. Agri. Handbook* 60, 25-28 (1954)
- 8) Rubin, J., R. V. James: Disperion-affected transport of reacting solutes in saturated porous media: Galerkin method applied to equilibrium-controlled exchange in unidirectional flow, *Water Resour. Res.*, 9, 1332-1356 (1973)
- 9) Nielsen, D. R., R. D. Jackson, J. W. Cary and D. D. Evans (eds): "Soil Water", 121-154, *Am. Soc. Agro., Maison, Wisconsin*. (1972)
- 10) 石黒宗秀, 岩田進午: 土の中の物質移動—土中におけるイオンの交換吸着現象—, *農土誌*, Vol. 56, No. 10, 87-94, 1988

## Summary

Solute transport in clay systems is strongly governed by ion exchange phenomena. We carried out two kinds of experiments in order to investigate the effect of  $\text{Ca}^+ - \text{Na}^{2+}$  ion exchange on the transport of solutes. One was a leaching experiment of Na-bentonite with  $\text{CaCl}_2$  solutions. The other was an evaporation experiment of Ca-bentonite having groundwater consisting of NaCl solution. Since  $\text{Ca}^{2+} - \text{Na}^+$  exchange is nonlinear, two types of ion exchange can take place: favorable exchange due to a high affinity for  $\text{Ca}^{2+}$  and non-favorable exchange due to a low affinity for  $\text{Na}^+$ .

Favorable exchange could be observed in the leaching experiment. Penetrating  $\text{Ca}^{2+}$  exchanged with almost all adsorbed  $\text{Na}^+$  at the moving front of the  $\text{Ca}^{2+}$  concentration profile. Then, the  $\text{Ca}^{2+}$  front became steep. On the other hand, non-favorable exchange could be observed in the evaporation experiment. The penetrating front of  $\text{Na}^+$  concentration profile became flat.

$\text{Ca}^{2+} - \text{Na}^+$  ion exchange affects the hydraulic properties of soils. In the leaching experiment, the water flux was suddenly increased when the whole clay from the surface to the bottom was transformed into a Ca-clay system having higher hydraulic conductivity. Water retention also varies significantly depending on the clay systems. For a given water suction, the water content of Ca-bentonite leached with  $\text{CaCl}_2$  solution is less than that of Na-bentonite, whereas it is much greater than that of Ca-saturated-bentonite mixed with  $\text{CaCl}_2$  solution. Predicting the changes in the hydraulic properties caused by ion exchange is important to quantify the transport of exchanging solutes in soils.

(Soil Phys. Cond. Plant Growth, Jpn., **62**, 3 -11, 1991)



## 中海干拓地土の収縮挙動について

石川 重雄\*・河野 英一\*・足立 忠司\*\*

On Shrinkage Behavior of Soil in Nakaumi Reclaimed Land

Shigeo ISHIKAWA\*, Eiichi KOHNO\* and Tadashi ADACHI\*\*

\*College of Agriculture and Veterinary Medicine, Nihon University

\*\*Faculty of Agriculture, Okayama University

## I. はじめに

中海は鳥取、島根の両県にまたがる水面面積97.7 km<sup>2</sup>、最大水深17.1 m（平均水深5.4 m）の潟湖<sup>1)</sup>である。地形的には、宍道湖地溝帯にできた水道がこれに流入する諸河川による三角洲の形成や夜見ヶ浜砂嘴の発達で埋め残された部分であり、全体的に平坦な湖底をなしている。この水域内の比較的水深い浅い部分に5地区が選定されて、島根県側の本庄、揖屋および安来の3地区は干し上げ工法により、島根県側の彦名および弓浜の2地区は埋め立て工法により畑地を造成する中海干拓事業が1974年に開始された。

各地区の位置と干陸面積は、図-1に示す通りである。

5地区のうち、揖屋地区は1974年10月、安来地区は1975年5月に干陸作業が開始され、揖屋地区は1975年6月、安来地区は1976年3月に全面の干陸が完了した。両地区の平均標高は-2.3 m~-2.4 mで、両地区の間には標高に大きな差はなく、ほぼ平坦な地形が形成されている。粘土層厚は揖屋地区で平均11.0 mである。

両地区とも、全面の干陸が完了した翌年から軟弱地盤の乾燥促進、農地整備工事等が進められ、1988年度からは畑地の売り渡しが行われて、その一部では1989年度から営農が開始した。なお、本庄地区では未干陸で今日に至っている。

彦名地区では埋め立てが1977年から行われ、一部を残して1986年に終了した。弓浜地区でも埋め立てが1977年

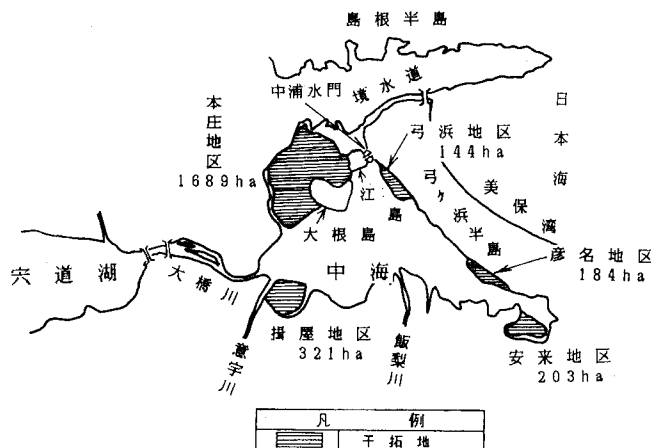


図-1 中海干拓地各地区の位置と面積

Fig. 1 The location and arer of every district of the Nakaumi reclaimed land

\* 日本大学農獣医学部 〒252 藤沢市亀井野1866

\*\* 岡山大学農学部 〒700 岡山市津島中1-1-1

土壌の物理性 第62号 p.13~22 (1991)

受理月日 1990年10月18日

から行われて、1983年に終了した。

ところで、中海の湖底土の多くは、中海に流入する大橋川、意宇川、飯梨川等の河川によって運ばれて来た粘土が堆積したヘドロと呼ばれるものである。また、中海の水は島根半島と弓ヶ浜との間にある境水道を通じて日本海へ流れるが、満潮時には逆にこの水道から海水が流入するために、その影響で、半鹹湖的性格がもたらされている。したがって、湖底に堆積した土も、その影響を強く受けて、陸成の既耕地土とは異なる特性を有する。

この干拓地土は干陸当初には軟弱で、しばらくは人の歩行も困難であった。しかし、土層表面から土壌水分の蒸発が進み、土層にキレツが発達すると、キレツを通じてさらに土層の乾燥が進行し、土壌構造の生成とその種類の変化とがもたらされて、農地の土壌構造に近いものが形成されていった。この土壌構造の生成過程については筆者らが<sup>2)</sup>現地調査に基づいて既に報告した。しかしながら、中海干拓地土の土壌構造の生成過程を支配する主要因である土の収縮挙動については、未だ報告されていない。

そこで、本報文では中海干拓地土の収縮挙動とそれが土壌構造の生成に果たす役割について論述する。

## II. 採土地の概要

施工過程で生ずる諸問題に応じた処理土の選択が可能な埋め立て工法の場合と異なり、干し上げ工法の場合には、現地土状態のまま乾燥処理がなされることとなる。したがって、この場合には、施工前はもちろん、施工中あるいは施工後でも現地土の特性とその変化の方向とを十分に把握し、それを基にして常に乾燥処理技術の向上に努めつつ、乾燥処理施工がなされなければならない。

そこで、本研究では、干し上げ工法が採られ、揖屋地区よりも粘質な土で構成されるために、乾燥処理上の問題が今後とも多数出現すると思われる安来地区を採土地とした。

安来地区の土の基本的特性に関しては、5 m 間隔で上幅1.0 m、底幅0.2 m および深さ0.7 m の小排水溝が施工された干陸後6年目のNo. 30圃場の深さ0~100 cmの土の特性について報告されている。<sup>2)</sup> それによれば、主な特性としては、上、下層土を通じて粘土分が30.9~44.4%、シルト分が35.2~49.9%で、土性がLicないしSic (国際土壌学会法) となって、土層全体が強粘質土で構成されていること、深さ100 cm以下のヘドロ層はアルカリ性を呈するが、深さ50 cm以上の土層は強酸性となって酸性硫酸塩土壌が生成され、かつ塩類の溶脱が

進行していることが挙げられる。

本地区の土の含有粘土鉱物は、イライト (I)、カオリン鉱物 (k)、パーミキュライト (Vt)、およびクロライト (Chl) を主要なものとする。主要粘土鉱物の割合は、 $l \geq k > Vt > Chl$  の傾向にあり、この中でも特にI, kの割合が多い。<sup>3)</sup> 参考のために述べると、八郎潟干拓地<sup>4)</sup> および笠岡湾干拓地<sup>5,6)</sup> ではモンモリロナイト、児島湾干拓地<sup>7)</sup> ではハロイサイトとイライトが主体であると言われている。

## III. 試験方法

### 1. 収縮挙動

#### 1) 供試体の作成

不攪乱の供試土としては、既に土の基本的性質が明らかにされている前述の安来地区No. 30圃場の深さ1.0 mのヘドロ土層 (C層：ヘドロ層) と柱状構造の発達した深さ約50 cmの土層 (BC層下) とから干陸後6年目の1982年7月に直径50 mm、高さ51 mm、容積100 cm<sup>3</sup>のサンプラーで採土したものをを用いた。これをさらに直径50 mm、高さ14 mmの円板状に成型して供試体とした。また同時に、深さ1.0 m土層から攪乱土も採取し、それを攪乱の供試土とした。この供試土を生土のまま液性限界測定器を用いて液性限界以上で、ペースト状態となるように含水比調整したものを攪乱供試体として用いた。また、この供試体は自重により流動するため容器に充填した。その際に供試体の厚さが問題となるが、均一な乾燥収縮が起るとされる佐藤、<sup>8)</sup> 河野<sup>9)</sup>の方法に準じて、供試体を直径約45 mm、深さ約13 mmの収縮皿に気泡の封入が無いように充填し、測定に供した。

さらに、含有粘土鉱物の配向状態が収縮におよぼす影響をも検討するために、圧密を受けた供試土の収縮測定も行った。この場合の供試体の作成には、圧密試験機を用いた。供試土としては、前述の攪乱供試体の作成におけるものと同一のものをを用い、液性限界以上の含水比に調整したペースト状態のものを圧密用リングに充填した。これに載荷荷重以外はJISで定める圧密方法に準拠して、0.05 kg/cm<sup>2</sup>、0.25 kg/cm<sup>2</sup>、0.35 kg/cm<sup>2</sup>の各荷量を載荷して圧密試料を作成した。これらをさらに不攪乱供試体と同一寸法に成型して供試体とした。

#### 2) 測定方法

収縮挙動は各供試体の乾燥特性に伴う垂直方向と水平方向との線収縮量を同時に測定し、それらの測定値から垂直方向と水平方向との線収縮率および体積収縮比を算出して把握した。水平方向の収縮量としては、水平面の

直径方向に円の中心が間隔の中央となるように3 cmの間隔でステンレス細線を深さが供試体厚さの半分まで入るように真っ直ぐに2本立てて、この2本のニクロム線間の乾燥に伴う間隔の減少を測定した。垂直方向の収縮量としては、ステンレス細線の一端を丸めて、その部分をステンレス細線が垂直に立つように供試体のほぼ中央に乗せ、丸めない他端と別に設けた基線との間の間隔の減少を測定した。ただし、圧密供試体と不攪乱供試体等の乾燥方法は、両試料とも自重により流動しなため、ロウを塗った金網上に設置する方法を取った。<sup>10)</sup> 収縮量の測定は各供試体ともカセットメータ (1/100 mm 読取り) を用いて行なった。また、各方向の線収縮率および体積収縮比の変化と含水比の変化とを対応させて、収縮挙動を検討することから、各方向の線収縮量の測定と同時に、その時の含水比を求めるために供試体の重量も測定した。

乾燥方法としては、急激な乾燥をさけるために恒温・恒湿槽中 (温度: 20℃, 湿度: 60%) に、風が直接当たらないようにアクリルケースに入れて設置し、徐々に乾燥する方法を採った。

測定時間は、実験開始後48時間は1時間間隔、その後は4時間間隔に測定し、含水量に変化が見られなくなった段階で乾燥炉に入れて、絶乾試料の各収縮量と水銀置換法によって最終体積を測定した。

## 2. 強度特性

本試験は、垂直方向と水平方向との間で異なる収縮挙動が出現したために、採土地の土粒子の配向状態を確認する目的で行なったものである。

### 1) 供試体の作成

安来地区のNo. 30圃場において、土被り圧により正規圧密を受けたと思われる深さ1.3 mの土層から干陸後13年目の1989年3月に直径50 mm, 高さ51 mm, 容積100 cm<sup>3</sup>のサンプラーで、堆積面に対して垂直方向と水平方向から採土した不攪乱土を用いた。この土層は青灰色の羊糞状を呈していて、土被り圧により正規圧密を受けたと思われる以外は、乾燥履歴を持たない湖底土状態のものであった。

両供試土を直径35 mm, 高さ41.4 mmに成型して、次項で述べる一軸圧縮試験の供試体とした。なお、本試験は土粒子配列の方向性の確認を主眼としたものであることから、とくに供試体の寸法はJISには従わなかった。

### 2) 測定方法

強度特性は各供試体を一軸圧縮試験機で測定して把握した。測定には TENSILON UTM-4-100試験機を用い、圧縮速度はJIS規格通り1%/minとした。

## IV. 試験結果および考察

### 1. 土の収縮挙動

各供試体の収縮特性は図-3および図-4に示す通りである。なお、垂直・水平方向の収縮率および体積比は次式により求めた。<sup>9)</sup>

垂直収縮率 ( $H_s$ ) は、

$$H_s = (H - H_t) / H_0 \times 100 (\%)$$

ここに、 H: 試験開始時の垂直高さ

$H_t$ : 任意の水分状態の垂直高さ、

$H_0$ : 試験開始時の供試体の厚さ、

また、水平収縮率 ( $L_s$ ) は、

$$L_s = (L - L_t) / L \times 100 (\%)$$

ここに、 L: 試験開始時の水平距離、

$L_t$ : 任意の水分状態の水平距離

さらに、体積比は上述で求めた垂直、水平収縮率を用い次式、

$$V_t / V = (1 - L_s / 100)^2 (1 - H_s / 100)$$

ここに、 V: 試験開始時の体積、

$V_t$ : 任意の水分状態の体積

より求めた。ただし、攪乱供試体の場合には、水平収縮は含水比が高い段階では横方向への流動によってステンレス細線間の距離の増大がもたらされ負の収縮を示す。したがって、正の水平方向収縮が開始された場合の体積比の算出にあたっては基準長の変化を考慮して計算<sup>9)</sup>を行なった。

図-2は、深さ1.0 m土層から採取したものを供試土として、生土のままをペースト状態となるように液性限界以上の含水比に調整して容器に充填した下攪乱供試体および圧密試験機により作成した圧密供試体の収縮挙動である。

図-2に見られるように、攪乱供試体では、垂直方向の収縮量は、含水比約40%以上においてその変化が大きい。(図中の正規収縮直線に沿って収縮する段階: 水分量と体積減少量が等しい段階<sup>9)</sup>) それより低含水比では、収縮量の変化は含水比の低下とともに小さくなる。(図中の正規収縮直線からカイ離する残留収縮の段階: 脱水量に比べて体積の減少量が小さい段階<sup>9)</sup>)

水平方向の収縮では、含水比約98%以上においてマイナスの収縮、すなわちステンレス細線間の間隔が広がるという水平方向への流動が生じている。それが生じて以降の含水比の低下に対する水平方向の収縮は、垂直方向

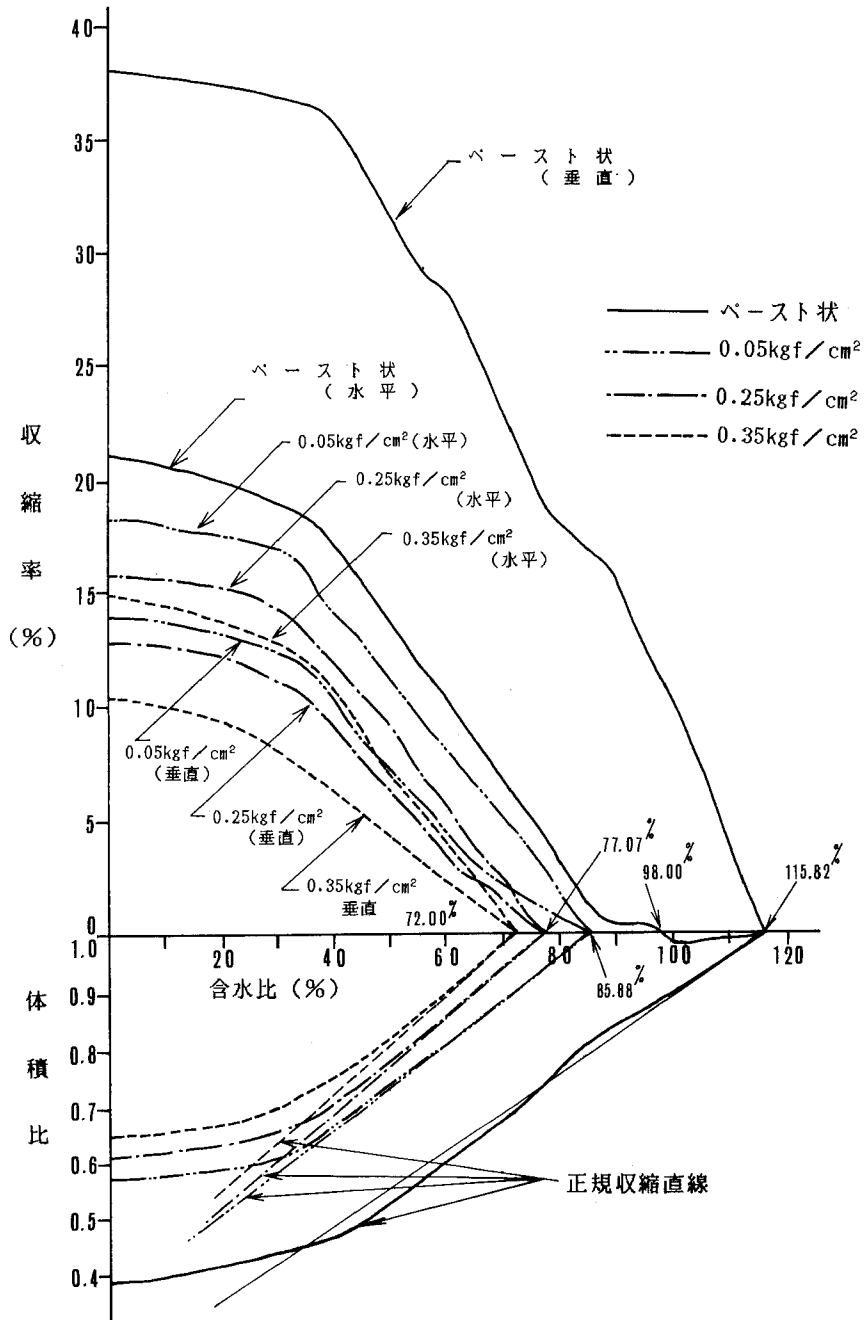


図-2 攪乱（ペースト状）および圧密供試体の収縮曲線  
 (安来地区No.30圃場, 1982年7月採土)

Fig. 2 The shrinkage curve of the disturbed and consolidated test sample  
 (No.30 lot in the Yasugi district; Sampling in July of the year 1982)



の収縮挙動と同様である。なお、水平方向の流動が生じている段階の垂直方向の収縮は、収縮というよりはむしろ、脱水に伴う流動沈下と呼ぶべきものである。<sup>9)</sup>

図-2に見られるように、攪乱供試体では、流動沈下が生じたために、水平方向の全収縮量よりも垂直方向のものが大きい。いま、図-2で流動沈下が停止した以後の含水比の低下に伴う水平方向と垂直方向との収縮曲線の様相を比べると、水平方向のものと垂直方向のものはほぼ同型となり、流動沈下の停止以後に等方的な収縮（垂直収縮率=水平収縮率）が生じていることが認められる。このことは、ヤングら<sup>11)</sup>の「ランダム配列土および練り返された試料等の収縮は等方的である」という指摘や河野<sup>9)</sup>の「シロカキ状態のペースト土では流動沈下終了後に等方的な収縮となる」という指摘とも一致

する。

次に、不攪乱の供試体の収縮挙動は図-3に示す通りである。この供試体は図-2に見られるような流動沈下が起こらず、垂直方向および水平方向の収縮とも測定開始と同時に発現し、かつ、水平方向の収縮量が垂直方向のものに比して大きい。同様のことは図-2中に示した圧密供試体の場合にも見られ、中海干拓地が土被り圧により正規圧密を受けていることが明らかといえる。また、圧密供試体では、載荷荷量が大きくなるほど、水平方向および垂直方向の全収縮量は小さくなる。

以上の諸結果から見て、中海干拓地の土粒子の配向条件と収縮挙動との関係には、図-4に示すようなモデルが考えられる。

つまり、図-2の攪乱供試体のような収縮挙動は、図

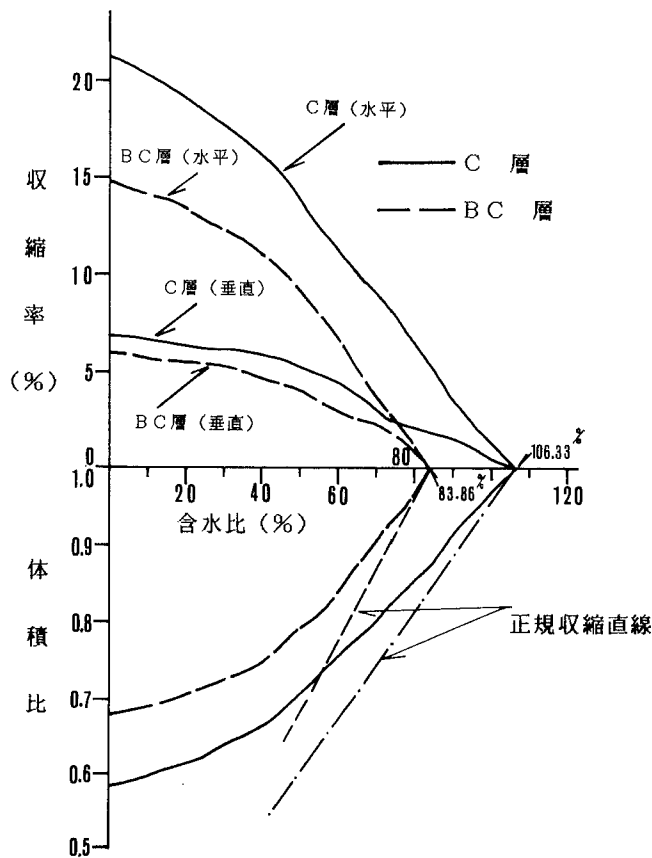
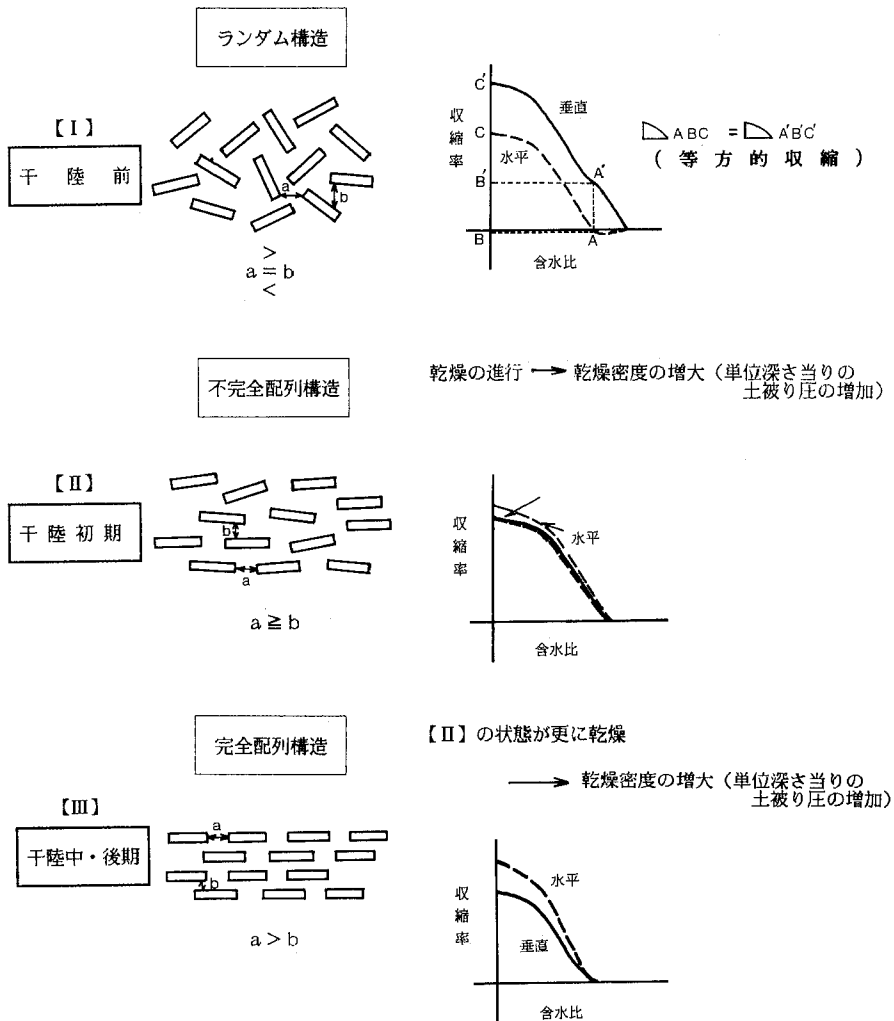


図-3 不攪乱供試体の収縮曲線  
(安来地区No.30圃場, 1982年7月採土)

Fig. 3 The shrinkage curve of the undisturbed test sample  
(No.30 lot in the Yasugi district: Sampling in July of the year 1982)

一 4 の I 型あるいは II 型の配向条件を持つものに見られ、また、図一 3 の不攪乱供試体の収縮挙動は III 型の配向条件を持つものに見られると考えられる。すなわち、干陸前の水面下の土では、土粒子は遊離状態にあって、I 型のように任意の配列をなし、また干陸初期でペースト状態にある土では、多量の水が土粒子間の空隙に保持されつつ、土粒子が、II 型のように不完全な配列（土粒子間の距離が垂直方向の距離  $a \geq b$  水平方向の距離の関係にある状態）をなしているものと推察される。したがって、II 型の配列条件を持つ土では、垂直方向の収縮量

が水平方向のものに比して大きいか、あるいは等方的な収縮が生じるかのいずれかの収縮挙動がみられる。さらに、II 型の土は土被り圧密あるいは人為的な密圧を受けると土粒子間の空隙水が脱水されて、各土粒子が相互に接近する。この場合、特に圧力を受ける方向、すなわち垂直方向の土粒子間の距離が縮まって、III 型のような垂直方向の土粒子間の距離よりも水平方向のものが大きい平行な配列を持つ土が生じる。したがって、III 型の土では、水平方向の収縮量が垂直方向のものよりも大きくなる。



図一 4 板状土粒子の配向条件と収縮挙動 (模式図)  
 Fig. 4 The schematic relation between the orienting condition of the platy soil particles and the shrinkage behavior of soil

2. 土の強度特性からみた配向性

中海干拓地土, 特に下層土であるヘドロ層では, 上述のように, 収縮挙動から見て, 土被り圧などによる圧密で土粒子間の距離が縮まり, 垂直方向の土粒子間の距離よりも水平方向のものが大きいという土粒子の平行配列モデル (図-4のⅢ型) が想定された。

もし, そうであるならば, 中海干拓地土では, 垂直方向と水平方向とで土の強度特性は異なる。すなわち, 垂直方向の圧力に対しては, 板状の土粒子が面を垂直方向にむけて密に重なりあって抗するので, 強い応力が示され, 水平方向の圧力に対しては, それに抗するのが主に板状の土粒子の面と面との摩擦力のみであり, しかも面方向には流動し易いから, 強い応力が示されないはずである。これらの強度特性が確認できれば, 上述の土粒子

の配向条件と収縮挙動との関係は明白となる。したがって, それらを確認するために中海干拓地土を堆積面に対して垂直な方向と水平な方向とから採取した不攪乱の供試土を用いて前述の一軸圧縮試験を行った。これにより次のような結果が得られた。

中海干拓地土の深さ1.3 m 土層の垂直方向と水平方向とからそれぞれ3個ずつ採取して成型した供試体についての一軸圧縮試験の結果は図-5の圧縮応力と圧縮歪との関係に示す通りである。図-5に示されるように, 各方向の各供試体とも, 圧縮歪の増大に伴う圧縮応力の変化には, 測定開始時の含水比の影響と考えられる若干の差異が見られるが, 採土方向が同一のものはほぼ類似した圧縮応力-圧縮歪曲線となる。しかし, 採土方向が異なると, この曲線の変化の様相も大きく異なる。すなわ

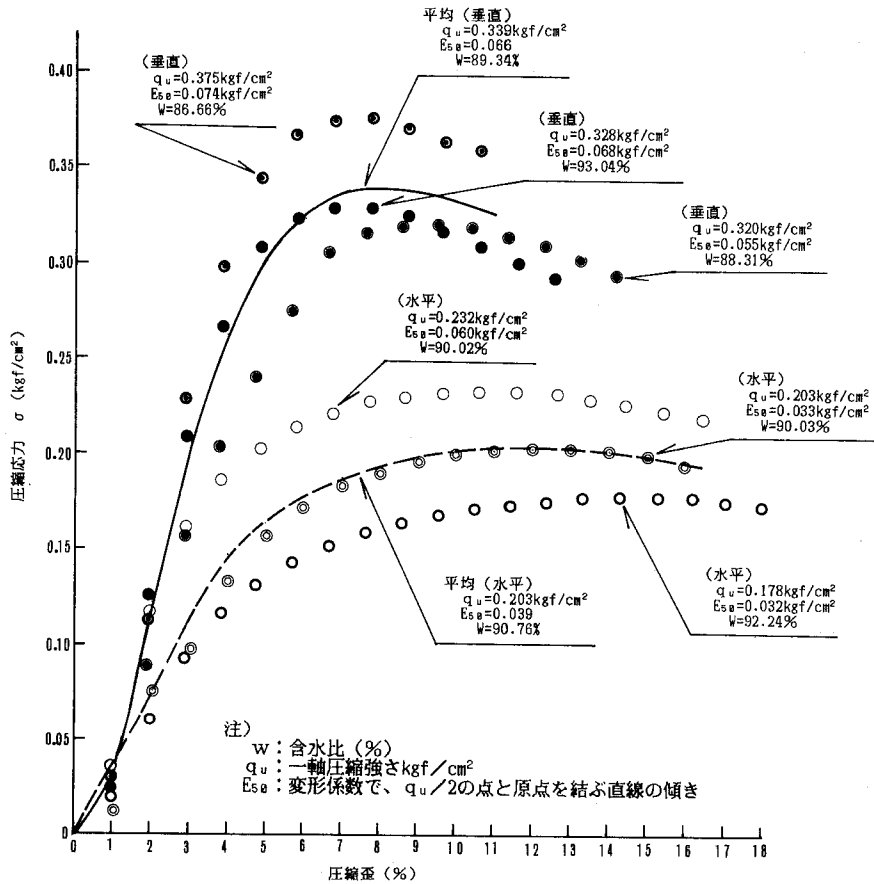


図-5 圧縮応力-歪曲線  
(安来地区No.30圃場, 1989年3月)

Fig. 5 The compression stress-strain curve  
(No.30 lot in the Yasugi district: Sampling in March of the year 1989)

ち、堆積面に対して垂直方向に採土した供試土の場合は、測定が開始されると、圧縮歪の増大に伴って圧縮応力は明瞭なピークを示す。一方、堆積面に対して水平方向のものは、圧縮歪の増大に伴って圧縮応力は明瞭とは言い難いピークを示し、それ以後は極めて緩やかに低下する。垂直方向の強度は水平方向のものよりも明瞭に大きい。これらのことは、正に膨潤性の低い板状の土粒子が配向構造を取っていることを反映する結果である。

したがって、中海干拓地土、特に下層土のヘドロ土層では、収縮開始時点から含水比の低下とともに、水平方向の収縮量が垂直方向のものに比して大きいという異方性がみられることが当然といえる。

### 3. 収縮挙動から見た土壌構造の生成特性

土壌構造の生成を促す主要因は土のクレツの発達であり、土のクレツの発達は土の乾燥に伴う収縮によってもたらされる。そこで、中海干拓地土の持つ収縮挙動がこの土の土壌構造の生成にどう影響しているかをここでは論議する。

中海干拓地土の土壌構造の生成は次のようであることが、既に論述されている。<sup>2)</sup> 干陸間もないペースト状態のヘドロ層の表面に、まず、乾燥に伴う土の収縮によって垂直方向のクレツ、すなわち一次クレツが発達する。次いで、このクレツを通して下層への乾燥の進行とそれに伴う土の収縮による一次クレツの下層への発達ともたらされ、柱状構造が生成される。さらに乾燥が進行して土が収縮し、柱状構造内に水平方向のクレツ、すなわち二次クレツが発達して、角塊状構造が生成される。この角塊状構造がより一層の乾燥と湿潤との繰り返しを受け、土の収縮とスレーキングの発生などに伴う二次クレツがその構造内に強度に発達して、亜角塊状構造が生成される。さらに強度の乾燥との湿潤との繰り返しに伴う土の収縮とスレーキングの発生などが粒状構造や屑粒状構造の生成をもたらす。

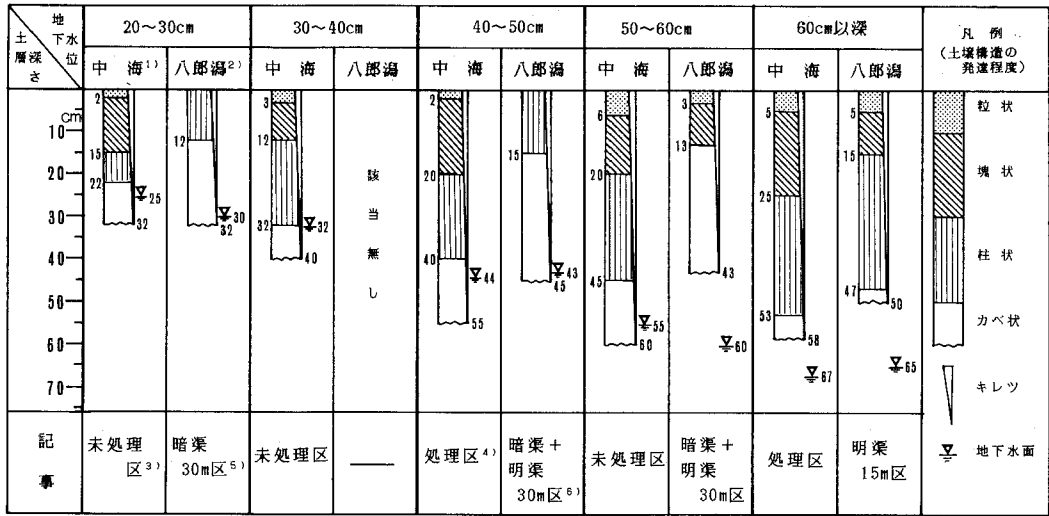
さて、このような土壌構造の生成過程においては、中海干拓地土のように異方性の高い収縮挙動を持つ土であると、各土壌構造の生成がきわめて円滑に進行するといえる。すなわち、垂直方向の収縮量が小さく、水平方向のものが大きいということは、乾燥の進行に伴って土層に水平方向の引っ張りが強く生じ、多数の一次クレツをもたらして、柱状構造の生成を円滑にする。また、乾燥がさらに進行すると、板状の土粒子間の垂直方向の面と面との距離が小さいために、収縮後間もなく柱状構造内の土粒子同士が接触し、垂直方向の収縮が制限されて水平方向に破断が生じ易く、しかも板状の土粒子が面を水

平方向に向けて配向しているために、面を境にして水平方向に割れ易いので、柱状構造内に二次クレツが強く発達して、角塊状構造も円滑に生成される。これらの土壌構造の生成を円滑にする特性は、さらに強い乾燥の進行と湿潤との繰り返しでもたらされる亜角塊状、粒状および屑粒状の構造の生成も円滑にする。

これらのことは2:1型の板状の粘土鉱物で、しかも粘土鉱物間の空隙だけでなく、粘土鉱物内部の層間にも多量の水を保持して、面に垂直な方向に極めて大きな膨潤を示すモンモリロナイトを主体とする八郎潟干拓地土の場合と比較するとさらに判然とする。なお、モンモリロナイトは、層間にナトリウムイオンを多く含むものでは、原体積の8~10倍にも自由膨潤する<sup>12)</sup>といわれているが、八郎潟が海跡湖であったことからみて、八郎潟干拓地土には、ナトリウムイオンが多く含まれていて、そのような膨潤性の大きなモンモリロナイトが多く存在していると考えられる。実際、干陸後9年を経た八郎潟干拓地土の深さ100 cmおよび深さ40~50 cmより採取した不攪乱土供試体についての江崎ら<sup>13)</sup>の収縮測定の結果によれば、両供試体とも干陸後9年を経てもいまだに垂直方向および水平方向の収縮量がともに大きく、しかも垂直方向の収縮量が水平のものよりも大きい。したがって、八郎潟干拓地土では、土被り圧密を受けてモンモリロナイトが堆積面に対して水平方向に面を向けて配向していても、面に垂直な方向、すなわち土層の垂直方向への大きな膨潤のために、中海干拓地土よりも、乾燥に伴う土の収縮による一次および二次クレツの下層方向への発達が遅く、そのために各種の土壌構造の生成も遅れることになる。

そこで、中海干拓地土および八郎潟干拓地土の深さ方向の土壌構造の生成特性を地下水位との関係で取りまとめてみたのが図-6である。干陸年数を経るに従って土の乾燥が進行するが、それを支配する要因は年々の気象状況と地下水位状況である。特に、地下水位低下が土の乾燥の進行に果たす役割は大きい。これがために、各種の排水促進工法が試みられるのである。したがって、図-6の地下水位は土の乾燥状況の指標という意味を持つ。なお、図-6の中海干拓地土の深さ方向の土壌構造の生成特性は筆者ら<sup>2)</sup>の4年間の、八郎潟干拓地土のものは金子<sup>14)</sup>の3年間の精密な土壌断面調査結果から作成した。

図-6に示される通り、地下水位の低下とともに、各干拓地土とも下層へ向かってクレツが発達し、クレツ発達深よりも浅いところでは、上層に向かって土壌構造の生成とその種類の変化がもたらされている。しかし、地



1): 中海干拓地のものは文献2)より、八郎潟干拓地のものは文献14)より作成。  
 2): 八郎潟干拓地の地下水位30~40cmは該当するものなし。  
 3): 乾燥処理を施していない区。  
 4): 水切り溝(断面: 上幅1.0m、底幅0.2m、深さ0.7)を5m間隔に施工した区。  
 5): 暗渠を深さ0.60~0.75mに埋設した区。  
 6): 暗渠と明渠(半円断面: 上幅1.28m、深さ0.70m)を15m間隔に交互に施工した区。明渠15mは6)の明渠と同様。

図-6 中海および八郎潟干拓地土の地下水位と深さ方向の土壌構造の生成状態との関係  
 Fig. 6 The relation between the groundwater level and the forming condition of soil structure in the soil profile of the Nakami and the Hachirogata reclaimed land

下水位がほぼ同一という場合には、中海干拓地土のキレツ発達深および土壌構造の生成深は八郎潟干拓土のものよりも明らかに深い。特に、地下水位が深さ20~40cmの時に見られるように、中海干拓地土では塊状(角塊状、亜角塊状)構造の生成が速い。これらのことは上述した両干拓地土の収縮挙動の差異に基づくものであるといえる。

V. おわりに

本研究においては、土性がLiCないしSiCで、強粘質の中海干拓土の収縮挙動とそれが土壌構造の生成に果たす役割とについて検討した。得られた主要な結論は次の通りである。

1. 中海干拓地土、特にその下層土であるヘドロ土層は、乾燥の進行に伴う収縮挙動において、この土の堆積面に垂直な方向の収縮量が小さくて、それに水平な方向のものが垂直なものよりも、かなり大きく推移するという異方性を示した。
2. この土の収縮挙動における異方性は、土被り圧による正規圧密によって、膨潤性の低い板状の土粒子が面を水平に向けて配向させられ、しかも土粒子間の垂直方向の距離、すなわち土粒子の面と面との間の距離が

狭められて、土粒子間の水平方向の距離、すなわち土粒子の端部と端部との間の距離が土粒子間の垂直距離のものよりも相当に大きくなっていることに起因していると推察された。

3. この土の配向構造は、この土の堆積面に垂直な方向の圧縮応力が大きく、それに水平な方向のものが小さいという一軸圧縮(セン断強度)試験の結果によっても明瞭であった。
4. この土では、土の収縮挙動における異方性に起因して、膨潤性の極めて高い板状のモンモリロナイトを主に含有する八郎潟干拓地土よりも、一次キレツの発生が多く、二次キレツの発達が容易で、そのことによって柱状構造および角塊状構造の生成が円滑であると推察された。

最後に本研究を進めるに当たり、中海干拓地区内農地整備研究委員会(委員長 岡山大学農学部 長堀金造教授)の各位には貴重な教示を賜り、また、中海干拓事務所の関係各位には現地調査に多大なご援助とご協力とを戴いた。記して深謝の意を表します。

引用文献

1) 理科年表: 天文台編, 丸善(株), pp.666 (1990)

- 2) 石川重雄・竹中 肇・足立忠司・江崎 要・堤聰・河野英一：干陸後のヘドロ地盤の乾燥過程について—中海干拓地の農地整備に関する研究（I）—，農土論集・110，pp.109～123（1984）
- 3) 高田秀夫：中海底土および干拓地土壌の理化学的性質について，環境科学研究報告B16-R12-14，pp.84～103（1978）
- 4) 金子淳一：八郎瀉干拓地ヘドロにおける機械化適応性の向上と耕地化過程に関する研究，秋田県農業試験場報告，pp.70～78（1977）
- 5) 米田茂男\*本邦干拓地土壌の生成論的ならびに立地学的研究，岡山大学農学部土壌肥料学教室報告・8，pp.36～38（1964）
- 6) 長堀金造・佐藤晃一・萩野芳彦：笠岡湾干拓予定地ヘドロ（海底粘土）の基礎的な性質について，農土誌・42（11），pp.31～36（1974）
- 7) 久保田収治：干拓地土壌の特性と干拓後における土壌型の変遷，岡山県農業試験場臨時報告・59，pp.188～217（1961）
- 8) 佐藤晃一：重粘土の物理特性に関する研究—粘土の収縮挙動について（I）—，農土論集・24，pp.31～36（1968）
- 9) 河野英一：水田作土の収縮挙動からみた工学的性質に関する研究，農土論集・81，pp.1～8（1979）
- 10) 河野英一：締固め土の収縮挙動とそれに伴うキ裂の発達について，農土論集・92，pp.8～15（1981）
- 11) R.N.ヤング・B.P.ワーケンチン著（山内豊聡・竹中肇・東山 勇・前田 隆）：新編 土質工学の基礎，鹿島出版会，pp.40～45（1978）
- 12) 土質工学会：粘土の不思議，入門シリーズ・12，pp.74～76（1986）
- 13) 江崎 要・竹中 肇・駒村正治：乾燥および湿潤過程におけるヒステリシス現象について—八郎瀉のホ場乾燥に関する研究（VI）—，農土論集・53，pp.39～47（1974）
- 14) 前掲3），pp.106～108

#### Summary

This study investigated the shrinkage behavior of strongly clayey soil with the soil texture of LiC on SiC and the part it played in the formation of soil structure in the Nakaumi reclamation.

The results obtained were as follows:

1. The strongly clayey soil in the Nakaumi reclamation, especially the muddy sediment forming the subsoil, showed the anisotropy that the shrinkage length of the vertical direction to the depositional surface of this soil changed little; the change in shrinkage length of the horizontal direction was always fairly larger than that of the vertical one in the shrinkage behavior of soil during the progress of drying.
2. It was supposed that the anisotropy in the shrinkage behavior of this soil was due to the flat faces of platelike soil particles with the low swelling being horizontally oriented and the vertical distance between the platelike soil particles, i.e., the distances between their flat faces, being shortened under the normal consolidation caused by the covering soil pressure; and consequently the horizontal ones between them, i.e., the ones between their edges, become rather larger than the vertical ones.
3. The orienting structure of this soil was also clarified by the result of an unconfined compression test. The compression stress of the vertical direction to the depositional surface of this soil was large and that of the horizontal one to it was small.
4. It was supposed that in this soil, because of the anisotropy in its shrinkage behavior, the occurrence of primary cracks was greater, the development of secondary cracks easier, and consequently the formation of the prismatic and angular blocky structure was smoother than that in the soil consisting mainly of platelike montmorillonites with a high swelling from the Hachirohgata reclamation.

(Soil Phys. Cond. Plant Growth, Jpn., 62, 13-22, 1991)

## 粘板岩を母材とする新規造成圃場における 礫の細粒化促進による土壌熟化対策

宮下慶一郎・小林卓史\*・千葉行雄\*\*・  
石川格司\*\*\*・宍戸 貢\*\*\*\*・白旗秀雄\*\*\*\*\*

Improvement of Soil in New Reclaimed Upland Fields by Accelerating the Weathering of Clay Slate

Keiichiro MIYASHITA, Takashi KOBAYASHI, Yukio CHIBA,

Kakushi ISHIKAWA, Mitsugu SHISHIDO and Hideo SHIRAHATA

Iwate-ken Agricultural Experiment Station・\*Iwate Agricultural Junior College, \*\*Kennan Branch, Iwate-ken  
Agricultural Experiment Station・\*\*\*Kennan Branch, Iwate Agricultural Experiment Station・\*\*\*\*Iwate  
Sericultural Experiment Station・\*\*\*\*\*Iwate Prefectural Economic Federation of Agricultural Co-Operatives

### 1. 緒 言

国営農地開発事業藤沢地区のある岩手県東磐井郡藤沢町は、岩手県の最南端部に位置し、北上川を境にして南部と東部は宮城県の東和町と本吉町に接する北上山地内の町である。地形は大部分が標高200 m以下の小起伏丘陵地であり、既耕地は沢田と傾斜畑が多く、圃場条件の悪い地域である。農業経営の大部分が規模の小さい複合経営となっているため、経営規模拡大の意欲が高く、大規模な農地造成事業が導入されることとなった。<sup>1)</sup> 本地区は、古生代の地層が国内でも最も発達しているとされる南部北上帯に位置している。地区の大部分の土壌母材は二疊紀の頁岩を原岩とする粘板岩などの変成岩であり、その風化土層は非常に浅い。従って、本地区において表土扱いが困難とされる改良山成工法による造成を行えば、下層の岩石が露出し、土壌熟化(脚注)が極めて困難なものになると予想された。

そこで、1983年から5ヵ年にわたり、主として粘板岩地帯における営農的対策を中心とした礫の細粒化促進による土壌熟化対策について検討したので、その結果を報告する。

なお、この調査・試験は岩手県等が東北農政局の委託を受けて実施したものであり、調査圃場の設置工事は社団法人岩手県農地管理開発公社が、調査圃場における栽培管理、礫細粒化・土壌熟化に関する調査は、岩手県立農業試験場、千厩農業改良普及所、藤沢町営農試験場が協力して行ったものである。

### 2. 方 法

#### 1) 試験圃場の概要

岩手県東磐井郡藤沢町平藤地区内の標高170 m～190 m、植生が針葉樹(赤松20年生)の丘陵地森林を改良山成工法により1983年に造成した圃場(最大切り土深8 m、施工後傾斜4°)において、試験を実施した。開発地の岩質は変成岩(粘板岩、千枚岩)であり、造成圃場の表層土壌の母材は二疊紀の頁岩を原岩とする変成岩(主に粘板岩)である。

#### 2) 試験区の構成

試験区名およびその処理方法の概略を表1に示した。試験圃場の全面積は64 aである。

造成時処理は切り土部と盛り土部に分けて行った。切り土部では、造成時にリッパードーザーで縦(斜面傾斜方向)、横、斜めをセットとして、深さをそれぞれ50 cm, 30 cm, 30 cmで1回掛けしたものを標準区(区No.

(脚注) 新規開発畑の土壌は、同じタイプに属する既成の熟畑土壌に比べ、生産性および環境保全上の問題点が多い。このような土壌に改良対策を加えて、既成の熟畑が備える性質、機能に近づけることを「土壌熟化」という。

岩手県立農業試験場 〒020-01 岩手郡滝沢村  
大字滝沢第20地割字砂込737-1

\* 現岩手県立農業短期大学校

\*\* 現岩手県立農業試験場県南分場

\*\*\* 現岩手県立農業試験場県北分場

\*\*\*\* 現岩手県蚕業試験場

\*\*\*\*\* 現岩手県経済農業協同組合連合会

土壌の物理性 第62号 p.23～32 (1991)

受理月日 1990年11月2日

表-1 試験区の構成  
composition of plots

区No.	区名	造成時処理	凍結時処理*1
1	標準A区	リッパードーザー1回掛け	無
2	標準B区		有
3	処理IA区	リッパードーザー2回掛け	無
4	処理IB区		有
5	処理IIA区	リッパードーザー3回掛け	無
6	処理IIB区		有
7	土層扱い区	リッパードーザー1回掛け	無
8	表土扱い区	リッパードーザー1回掛け	無

\*1: 冬期(2月)のリッパードーザー掛け処理。毎年実施。

1, 2)とし、これを2回繰り返したものを処理I区(区No. 3, 4), 3回繰り返したものを処理II区(区No. 5, 6)とした。2回目および3回目のリッパードーザー処理は、縦、横、斜めともすべて30 cmとした。さらに大塊母岩が土壤水により凍結盤状化した冬期に、リッパードーザーで1回深耕破砕する凍結時処理区(B区, 区No. 2, 4, 6)を設置した。凍結時処理は、毎年2月に実施した。盛り土部は、土層扱い区(区No. 7, 8)とし、造成時にリッパードーザーにより50 cm深で1回耕起し、その後デスクハローで砕土、整地を行った。また、盛り土部の一部に表土扱い区(区No. 8)を設定した。

また、1986年12月に、現地圃場内に2 m四方の木枠を設置し、1987年1, 2, 3月の各月上旬にそれぞれ25 mm(100 l)のかん水を1回ずつついで、礫の細粒化に対する冬期かん水効果を検討した。

### 3) 調査項目および方法

(1) 礫および土壤化学性：圃場造成前(1983年9月)の地山露頭岩石および造成後の土壤(造成直後(1983年11月)、毎作作付前後)のpH(H<sub>2</sub>O, KCl)、置換酸度、リン酸吸収係数、可給態リン(P, トルオーグ法)、陽イオン交換容量(CEC)、交換性塩基(カルシウム(Ca)、マグネシウム(Mg)、カリウム(K))、全炭素、全窒素を、常法<sup>2)</sup>により分析した。なお、地山露頭の岩石は粉碎処理物を分析に供した。

(2) 礫細粒化調査：礫の細粒化傾向をみるために造成

直後の1983年11月および1984~87年の4月あるいは5月に粒径割合を経年的に調査した。処理区別に、1ヵ所あたり0.25 m<sup>2</sup>(1983, 1984年は1 m<sup>2</sup>)から土壤を採取し、2 mm以下(土壤)、2~30 mm, 30~50 mm, 50~100 mm, 100 mm以上に篩別し、その重量を測定した。さらに、1987年5月に冬期かん水した圃場木枠内の礫の粒径割合を調査した。なお、土壤表面から深さ15 cmまでを表層、15 cm~30 cmまでを次層として、層位別に2反復で調査を行った。

(3) 土壤の物理性：造成後の土壤(毎作作付前後)を100 cc円筒により採土し、三相分布、孔隙分布を測定<sup>2)</sup>した。ただし、pF1.5水分は土柱法、pF2.7, pF4.2は遠心分離法によった。また、測定終了後のサンプルを2 mmフルイで篩別し、礫含有率(重量%)を求めた。

調査は、礫細粒化調査と同様に、表層と次層に分け、2反復(ただし、土層扱い区の一部は反復無し)で実施した。

### (4) 土壤管理および作付処理

造成直後の土壤分析結果をもとに、切り土部には炭酸カルシウム165 g(m<sup>2</sup>当たり、以下同じ)、25%溶性燐肥44 g, 盛り土部にはそれぞれ318 g, 170 g施用した。また、有機物としてパーク堆肥4 kgを、切り土部、盛り土部ともに施用した。各作物の施肥量は現地慣行栽培指針に準じた。さらに、各作ではオガクズ入り鶏糞を2~4 kg施用した。

試験区毎の作付作物の来歴は表2に示した。



表-2 作付来歴  
planting of crops

区No.	区名	1984年	1985年	1986年	1987年
1	標準A区	スダックス	ダイズ	スイートコーン	タマネギ
2	標準B区	ダイズ	ダイズ	カリフラワー	レタス
3	処理IA区	ダイズ	ダイズ	スイートコーン	タマネギ
4	処理IB区	スダックス	ダイズ	カリフラワー	レタス
5	処理IIA区	ダイズ	ダイズ	スイートコーン	タマネギ
6	処理IIB区	スダックス	コムギ	レタス	ブロッコリー
7	土層扱い区	混播牧草	混播牧草	スイートコーン	タマネギ
8	表土扱い区	スイートコーン	インゲン	果樹	果樹

### 3. 結果および考察

#### 1) 造成前および造成直後の土壌

開発地区の表層地質は、主として古生代・二疊紀の登米層の粘板岩であり、一部に古生層の層間礫である薄衣型礫岩が出現する。粘板岩は、登米スレートと言われる黒色粘板岩で、新鮮部は黒色で緻密硬質な岩石である。節理の発達や風化によって崩れやすくなる岩石であるが、新第三紀泥岩などに比較すると風化に対する抵抗性は強いとされている。<sup>3,4,5)</sup>

造成前の地山露頭の調査結果および岩石の破砕物の化学性を表3に示した。土壌部分は0.6mで浅く、以下は岩石が出現した。岩石のpH(H<sub>2</sub>O)は、5~6であった

が、pH(KCl)は3~4、リン酸吸収係数は210以下と低かった。また、造成直後の土壌の化学性を表4に示した。可給態窒素、可給態P、交換性K、腐植含量およびCECが低かった。

一方、大規模畑地開発の造成は改良山成工法がとられる。しかし、この工法は土壌の扱い量が多くなり、工事費を抑えるために表土扱いが省略され、表層が相当深い位置の土層で構成されるため、営農上問題となることが多い。藤沢地区は元来、有効土層が浅いので、たとえ土層扱い工を行っても、十分な土壌量が確保できず、作土層に大量の未風化礫が混入することが避けられない。そこで、未風化礫の混入をできるだけ少なくするための盛り土処理および切り土部では混入未風化礫の破砕を目的

表-3 地山露頭の性質  
profile and properties of natural ground

層位	層界 深さ (m)	色 調	岩 質	pH		リン酸吸収 係 数	腐 植
				H <sub>2</sub> O	KCl		
I	0.6	10YR6/4	土 壤 (CL)	5.08	4.20	550	あり
II	2.3	10Y8/1	粘板岩	5.44	3.40	140	—
III	3.2	N4/0×10Y8/1	やや硬い粘板岩	6.05	3.99	150	—
IV	6.2	2.5Y7/3	泥岩	6.41	3.14	210	—
V	8.0	7.5Y6/2	もろい泥岩・砂岩	6.49	3.25	210	—
VI	12.8	2.5Y7/3	泥岩	6.47	3.18	210	—
VII	14.1	2.5Y4/6	風化した砂岩	6.05	3.60	170	—

表-4 造成直後の土壌の化学性  
soil chemical property just after reclaiming

試料	pH		置換リン酸可給態				交換性塩基				可給態		
	H <sub>2</sub> O	KCl	酸度 (Y <sub>1</sub> )	吸収係数	P (mg)	C.E.C (me)	Ca (me)	Mg (me)	K (me)	T-C (%)	T-N (%)	腐植 (%)	窒素 (mg)
切り土部表層	5.60	3.55	5.53	240	1.4	17.9	13.9	5.6	0.14	0.04	0.01	0.07	0.5
盛り土部表層	5.15	3.30	17.08	330	0.4	19.3	4.3	3.8	0.11	0.10	0.04	0.17	0.5

にリッパードーザー処理を圃場造成時に実施した。

造成時処理直後（1983年11月）の表層の粒径分布調査結果を図1に示した。切り土部（標準区、処理I、II区）は約90%が礫であり、そのほぼ半量にあたる40%が50 mm以上の大礫であった。リッパードーザー掛け回数が多い処理I、II区で土壌（<2 mm）が増す傾向がみられた。しかし、3回掛けは2回掛けに比べて20 mm以下の小礫および土壌が少なく、造成時のリッパードーザー掛けは2回で十分であると思われる。

盛り土部（土層扱い区）は土壌の割合が15%と切り土部よりやや多く、50 mm以上の礫の量は約20%と切り土部の約半分であった。このように、盛り土部は切り土部に比べ大礫含量が少なく、土壌部分が多くなった。しかし、造成前でも表上の厚さが約0.6 mと浅いために、土層扱いを行っても、圃場としての土壌量を十分に確保することが困難であると判断された。

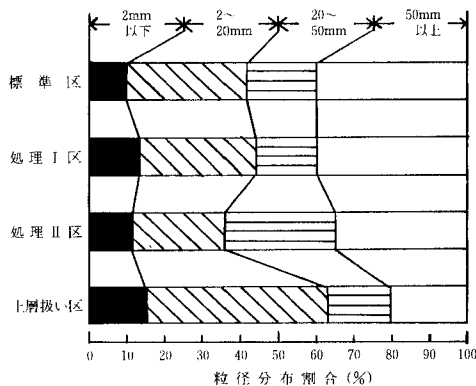


図-1 造成直後（1983年11月）の土壌および礫の粒径分布  
particle size distribution of soil and gravel just after reclaimed ('83. 11)

## 2) 礫の細粒化に及ぼす各種処理の効果

圃場造成は1983年10月に行い、1984年2月に凍結時処理区に1回日のリッパードーザー処理を行った後、礫の細粒化を経時的に調査した。調査結果は表5に示した。調査開始時の切り土部表層の土壌割合は標準区<処理I区≒処理II区、50 mm以上の礫の割合は標準区>処理I区≒処理II区であり、リッパードーザーの2回掛け以上で土壌が増加し、大礫が減少する効果が認められた。盛り土部の土層扱い区および表土扱い区は切り土部の各区に比べ、土壌の割合が多く、50 mm以上の礫の割合が少なく、土層扱いや表土扱いの効果も認められた。次層も表層とはほぼ同様であったが、処理区間の差は、表層より小さかった。これらの結果は造成直後と同様であったが、一冬経過により、土壌の割合は倍増し、50 mm以上の礫の割合は半減し、処理区間差も拡大した。さらに、凍結時処理によっても表層、次層ともに土壌の割合が増加し、冬期間に礫の風化が進む傾向がみられた。

礫の細粒化の過程を経年的にみると、土壌の割合は1年間に約10%ずつ増加し、造成4年日には表層では約60%、次層では約50%となった。逆に礫は減少し、その割合は粒径が大きいほど大きく、表層では造成4年日には30 mm以上の礫は1~数%程度と激減した。このように礫の細粒化は造成直後から急速に進み、表層では造成3年日にはリッパードーザー多回処理、冬期凍結時処理あるいは土層扱い処理による土壌および礫の粒径分布の差はほとんどみられなくなった。しかし、次層では造成3年日以降においても、土層扱い区や造成時リッパードーザー多回掛け処理区は、標準区に比べ、土壌および小礫の割合が多く、また、冬期凍結時処理によって大礫が減る傾向を持続していた。従って、リッパードーザー多回処理、冬期凍結時処理および土層扱い処理は、特に次層の礫の細粒化に効果的であると考えられた。

藤沢地区に最も近接する千厩気象観測所の最低気温、降水量の平年値は1月が-6.3℃、47.4 mm、2月が-5.7℃、48.3 mm、根雪期間の平均は初日12月31日、終日2

## 土壌の物理性第62号 (1991)

月20日<sup>6)</sup>の52日で、特に1, 2月の低温凍結により礫の風化が促進されるために、表層における各種処理の効果が現れにくかったものと考えられた。

礫の細粒化に対する冬期かん水効果の調査結果を図2に示した。表層、次層ともにかん水処理によって粒径2

mm以下の土壌部分が増加した。特に、次層における増加割合が顕著であった。このように先に述べた藤沢地区の1, 2月の低温を積極的に利用した。冬期かん水による礫細粒化の試みも、次層で明らかに有効であることが確かめられた。

表-5 土壌及び礫の粒径別分布割合  
particle size distribution of soil and gravel (%)

区名	調査時期	表層					次層				
		2mm以下	2~30mm	30~50mm	50~100mm	100mm以上	2mm以下	2~30mm	30~50mm	50~100mm	100mm以上
No.1 標準 A	'84.5	18.0	49.4	15.7	15.3	1.8	12.9	37.3	12.5	21.6	15.9
	'85.4	31.0	50.6	8.9	9.6	0.0	24.4	50.6	1.9	13.3	0.0
	'86.4	44.5	53.2	1.8	0.6	0.0	33.3	51.3	6.8	7.7	1.0
	'87.5	57.5	42.0	1.2	0.5	0.0	26.7	49.6	13.2	10.6	0.0
No.2 標準 B	'84.5	21.4	45.6	12.0	10.2	5.9	15.5	28.7	12.5	14.3	29.3
	'85.4	36.6	56.3	5.4	1.6	0.0	34.7	55.3	4.3	5.8	0.0
	'86.4	47.8	50.6	1.2	0.6	0.0	41.9	50.2	3.4	4.6	0.0
	'87.5	58.7	40.4	1.0	0.0	0.0	50.9	41.6	2.5	4.1	1.0
No.3 処理I A	'84.5	24.0	56.3	10.0	7.7	2.1	23.5	51.2	11.9	10.2	3.4
	'85.4	32.6	58.1	5.8	3.5	0.0	31.3	53.6	8.6	6.6	0.0
	'86.4	45.9	50.9	2.7	0.5	0.0	40.5	47.8	6.4	3.7	1.7
	'87.5	62.7	36.9	0.5	0.0	0.0	46.3	41.2	5.0	7.1	0.0
No.4 処理I B	'84.5	30.5	62.0	6.2	2.2	0.3	25.1	60.5	9.4	4.6	0.4
	'85.4	32.8	64.7	2.5	0.1	0.0	38.7	57.4	2.8	1.3	0.0
	'86.4	46.2	45.9	2.6	0.3	0.0	49.1	47.5	3.0	0.5	0.0
	'87.5	61.2	38.3	0.4	0.2	0.0	51.8	42.7	3.3	2.3	0.0
No.5 処理II A	'84.5	25.3	56.8	10.6	7.0	0.0	21.0	55.0	11.7	10.3	2.1
	'85.4	34.8	57.9	6.4	2.0	0.0	24.6	51.2	10.7	6.6	2.0
	'86.4	44.9	51.1	3.0	1.1	0.0	36.5	50.9	7.2	5.3	0.0
	'87.5	53.5	43.7	2.6	0.5	0.0	53.9	37.8	5.1	3.1	2.7
No.6 処理II B	'84.5	22.5	56.4	12.7	7.7	1.0	23.0	48.4	13.9	12.2	2.6
	'85.4	30.0	52.9	8.5	1.4	0.0	23.6	50.2	11.5	11.3	3.6
	'86.4	35.1	61.3	2.5	1.2	0.0	33.5	49.8	5.5	11.4	0.0
	'87.5	55.2	44.2	0.4	0.3	0.0	42.6	44.9	5.9	5.9	0.8
No.7 土層扱い	'84.5	26.9	51.4	9.7	10.6	1.4	17.3	48.4	10.9	16.2	7.2
	'85.4	34.0	59.5	3.8	2.7	0.0	30.7	59.0	6.6	3.7	0.0
	'86.4	56.9	42.3	0.8	0.0	0.0	41.3	46.8	5.9	6.0	0.0
	'87.5	54.8	44.1	1.1	0.0	0.0	46.1	38.8	8.7	6.4	0.0
No.8 表土扱い	'84.5	30.4	60.5	7.1	2.1	0.0	23.0	49.1	14.0	11.0	3.1
	'85.4	42.4	52.3	3.5	1.9	0.0	30.0	52.3	8.5	5.8	0.0
	'86.4	43.6	47.4	7.3	1.8	0.0	37.6	44.2	7.6	8.4	2.3
	'87.5	50.9	43.8	4.0	1.4	0.0	34.6	39.5	9.0	10.3	5.2

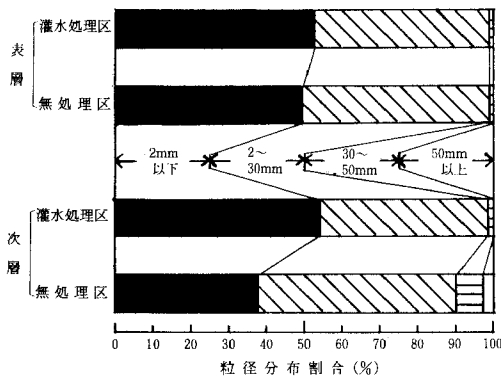


図-2 冬期かん水処理による礫の細粒化  
clay slate weathering in winter by irrigation

### 3) 造成後の土壤の物理性

造成1年経過後の1984年10月および造成4年経過後の1987年10月の土壤物理性の変化を表6に示した。100cc円筒で採取可能な比較的大礫の少ない部分から試料を採取した。調査は春、秋の年2回とし、春は耕起前、秋は収穫期もしくは収穫直後に実施した。

サンプリングエラーによると考えられるバラツキはあるが、造成1年経過後に比べ4年経過後では、固相率は5~10%増加し、それに伴い孔隙率が低下した。また、細孔隙(pF1.5以上)量の増加も認められ、結果的に粗孔隙(pF1.5以下)量が著しく減少した。造成1年経過後では、標準区に比べ、処理I区、処理II区、土層扱い区の固相率は約10%高く、粗孔隙量は少なかった。造成4年経過後では、表層の固相率は50%前後、粗孔隙量は10%前後となり、処理間差は小さくなった。また、次層の固相率は55~60%、粗孔隙率6~9%であり、表層に比べ固相率が高く、粗孔隙量が少なかった。次層におい

表-6 土壤の物理性の変化  
transition of soil physical property

区名	調査時期	層位	三相分布			孔隙率 (%)	孔隙分布		仮比重
			固相 (%)	液相 (%)	気相 (%)		pF0.0~1.5 (%)	pF1.5以上 (%)	
No. 1 標準A	'84.10	表層	36.3	24.8	38.9	63.7	37.0	26.7	1.06
	'87.10	表層	50.0	32.5	17.5	50.0	12.5	37.5	1.43
	"	次層	56.4	34.6	9.0	43.6	7.4	36.2	1.60
No. 2 標準B	'84.10	表層	39.1	28.4	32.5	60.9	29.5	31.4	1.15
	'87.10	表層	49.9	31.1	19.2	50.1	14.8	35.3	1.25
	"	次層	54.8	36.7	8.5	45.2	6.0	39.2	1.55
No. 3 処理I A	'84.10	表層	51.7	30.1	18.2	48.3	16.3	32.0	1.51
	'87.10	表層	57.8	30.2	12.0	42.2	8.5	33.7	1.52
	"	次層	58.8	32.1	9.1	41.2	8.0	33.2	1.68
No. 4 処理I B	'84.10	表層	44.8	28.3	26.9	55.2	23.3	31.9	1.31
	'87.10	表層	50.8	29.8	19.4	49.2	17.0	32.2	1.44
	"	次層	58.7	31.2	10.0	41.2	8.4	32.8	1.63
No. 5 処理II A	'84.10	表層	47.3	22.8	29.9	52.7	28.3	24.4	1.43
	'87.10	表層	58.1	28.9	13.0	41.9	11.2	30.7	1.56
	"	次層	57.6	37.9	4.5	42.4	2.9	39.5	1.68
No. 6 処理II B	'84.10	表層	55.3	25.3	19.4	44.7	17.2	27.5	1.54
	'87.10	表層	45.2	24.4	30.4	54.8	26.2	28.6	1.28
	"	次層	60.7	29.5	9.8	39.3	8.8	30.5	1.68
No. 7 土層扱い	'84.10	表層	51.9	30.4	17.7	48.1	12.7	35.4	1.38
	'87.10	表層	46.1	30.2	23.7	53.9	20.0	33.9	1.50
	"	次層	54.1	35.6	10.3	45.9	8.5	37.4	1.50

でも標準区に比べ他の区は固相率が高く、粗孔隙量が少ない傾向は認められたが、その差は表層に比べ小さかった。このように、礫の細粒化に伴い、固相率が高まり、粗孔隙率が急速に低下するなど、造成直後には急速な土壌物理性の変化の起こることが認められた。

標準 A および B 区の表層における土壌物理性の経年の推移を図 3 に示した。造成 3 年目の 1986 年春までは固相率、仮比重が増加し、粗孔隙量が減少した。その後は、固相率 45~50%、粗孔隙率約 15%、仮比重約 1.3 で経過した。凍結時処理の標準 B 区は無処理の標準 A 区に比べ固相率、粗孔隙率、仮比重のいずれもやや低く推移した。これらは標準区以外の各区においてもほぼ同様であった。したがって、表層が土壌として安定するためには、造成後約 3 年は必要であると考えられた。

4) 作物の作付と礫の細粒化

作物の作付と礫の細粒化の関係を、表土の土壌量の変化として図 4 に示した。小麦 (処理 II B 区, 1984~5 年), 牧草 (土層扱い区, 1984~5 年), 果樹 (表土扱い区, 1986~7 年) の作付けは他の作物に比べ、土壌の増加割合を抑えた。一方、小麦後作 (処理 II B 区, 1987 年) や牧草更新後 (土層扱い区, 1987 年) は土壌割合が大きく増加した。小麦や牧草は冬期間も作付され、土壌表面を被覆するために土壌凍結による礫の細粒化が妨げられたものと考えられた。また、牧草や果樹は表層耕起の機会が少ないために礫の細粒化が進まなかったと考え

られた。このように、冬期に作物による土壌の被覆がある作付体系や、表層耕起の回数が少なくなる作付体系では、表層の土壌割合が高まらず、礫の細粒化促進には作付作物の選択も重要であると考えられた。

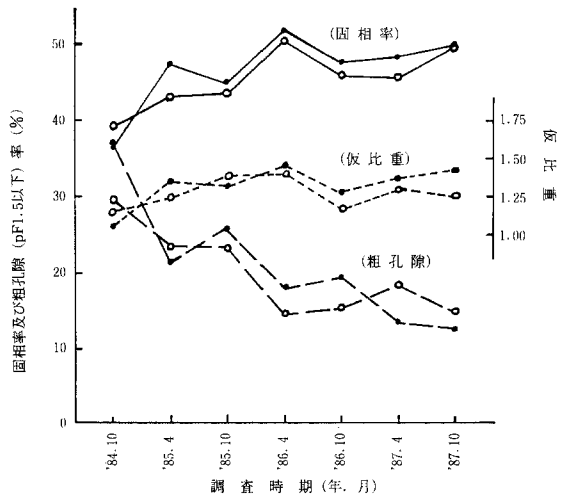


図-3 標準区における土壌の物理性の推移 (○; 凍結時処理, ●; 無処理) transition of soil physical property at the standard-plots (○; treatment at winter, ●; untreated)

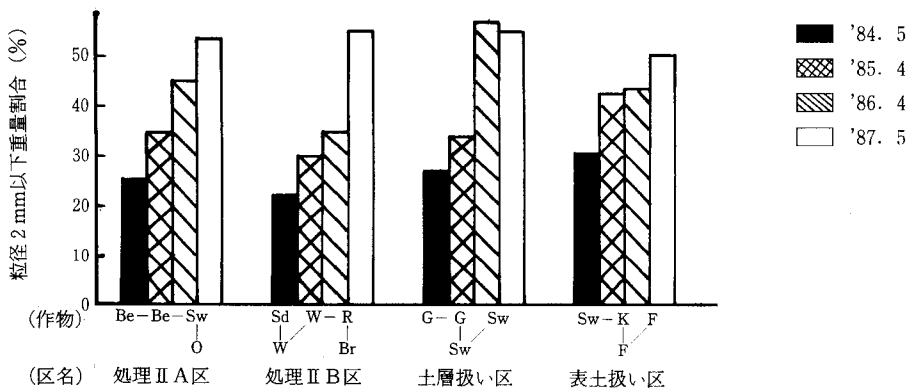


図-4 作物の作付の礫細粒化への影響 (Be: ダイズ, Sw: スイートコーン, O: タマネギ, W: コムギ, G: 牧草, K: インゲン, F: 果樹) effects of crop planting for the weathering of clay slate (Be: soybean, Sw: sweet corn, O: onion, W: wheat, G: grass, K: kidney bean, F: fruit tree)

## 5) 造成後の土壤の化学性

初作作付け直前の1984年4月および試験終了時の1987年10月における土壤の化学性を表7に示した。有機物および土づくり肥料の施用により、初作時のpHは6~7に上昇し、可給態P、腐植含量はおのおの5~15mg(風乾土100g当たり、以下同じ)、0.2~0.6%に増加した。したがって、造成直後は土壤の養分状態がせき薄であっても、適正な肥培管理を行えば、作物栽培に支障が少ない範囲にまで土壤養分は高まったと判断された。しかし、試験終了時では、pHが7以上、可給態P含量が40mg以上、腐植含量が約1.5%と増加したが、CECは15me以下の低い値にとどまった。これは、盛り土、切り土あるいは造成時処理の差に関係なく認められた。

造成後の土壤の化学性の推移を詳しくみるために標準A区での推移を図5に示した。pH(H<sub>2</sub>O)および腐植含量は3年目までは高まり、以降は頭打ちとなり、それぞれ7.5、1.5%付近に落ち着いた。可給態P含量は4年目まで急速に上昇し、約55mgで頭打ちとなった。交換性Ca含量は2年目で18meと最大値を示した後、15me前後で安定した。また、交換性Mg含量は3年目まで急速に低下し、3.5me付近で安定した。以上のように、造成後3年目ころまで土壤の養分含量が急速に増加あるいは減少し、その後はほぼ安定した状態になる傾向がみ

られた。これは造成処理、凍結時処理の違いに関係なく認められた。

このように、腐植含量、CECが少なく、土壤緩衝能も小さい土壤において、造成直後から多肥を必要とする野菜類を栽培し、さらに慣行的な土づくり肥料の施用を行った結果、可給態Pや交換性Caが過剰に蓄積された。可給態Pや交換性Ca過剰の影響は現在のみられていないが、作物の種類によっては、塩基類のアンバランスによるK欠乏や高pHによる微量要素欠乏などが懸念される。また、造成後2年程度は未風化礫が多量に残存するために、急速な養分供給を行っても、十分な作物の生育・収量が確保しがたかったなどを考慮すれば、造成直後の土壤改良の仕方や導入作物の選択などに工夫が必要であると考えられた。

以上をまとめると、造成時の工法処理(土層扱い、リッパードーザー処理回数増)は造成直後の土壤表層では効果があるが、それは造成後数年で消失した。一方、次層では造成4年目でもその効果が持続された。これらから、造成時の工法処理は次層の礫の細粒化に効果的であると評価される。さらに、冬期凍結時リッパードーザー処理や冬期かん水処理は次層の礫の細粒化に有効であった。耕起回数の少ない作付体系や冬期間の作物作付けは、表層の礫の細粒化を停滞させることが明らかとなった。

表-7 土壤の化学性の変化  
transition of soil chemical property

区名	調査時期	pH			リン酸 吸収係数	可給態 P	C.E.C	交換性塩基			T-C (%)	T-N (%)	腐植 (%)
		H <sub>2</sub> O	KCl	EC (mS)				Ca (me)	Mg (me)	K (me)			
No. 1 標準A	'84. 4	6.7	4.9	—	310	5.3	—	13.6	4.3	0.11	0.10	0.04	0.16
	'87.10	7.3	6.1	0.08	—	51.1	11.8	15.6	3.6	0.11	0.91	0.10	1.56
No. 2 標準B	'84. 4	6.0	4.3	—	340	4.8	—	13.7	3.9	0.11	0.14	0.04	0.24
	'87.10	7.0	6.0	0.08	—	49.0	14.3	12.4	3.2	0.17	0.91	0.09	1.56
No. 3 処理I A	'84. 4	7.1	5.6	—	280	13.5	—	14.7	3.6	0.08	0.23	0.01	0.40
	'87.10	7.5	6.3	0.08	—	49.9	10.7	17.0	3.2	0.11	0.95	0.07	1.64
No. 4 処理I B	'84. 4	6.5	4.8	—	260	7.5	—	12.4	4.0	0.11	0.21	0.02	0.37
	'87.10	7.4	6.0	0.08	10	43.5	10.8	13.8	3.5	0.11	0.66	0.08	1.15
No. 5 処理II A	'84. 4	6.9	5.4	—	220	11.3	—	14.1	3.8	0.08	0.23	0.03	0.39
	'87.10	7.2	5.9	0.07	—	42.8	9.2	14.3	3.2	0.08	0.93	0.09	1.60
No. 6 処理II B	'84. 4	6.5	4.7	—	230	14.7	—	11.7	3.7	0.11	0.32	0.03	0.55
	'87.10	7.5	6.2	0.07	—	46.9	11.9	14.0	3.3	0.08	0.67	0.08	1.15
No. 7 土層扱い	'84. 4	6.0	4.3	—	280	5.7	—	8.2	2.7	0.15	0.34	0.04	0.59
	'87.10	7.0	5.8	0.06	—	39.7	13.7	11.1	2.4	0.30	0.94	0.09	1.62

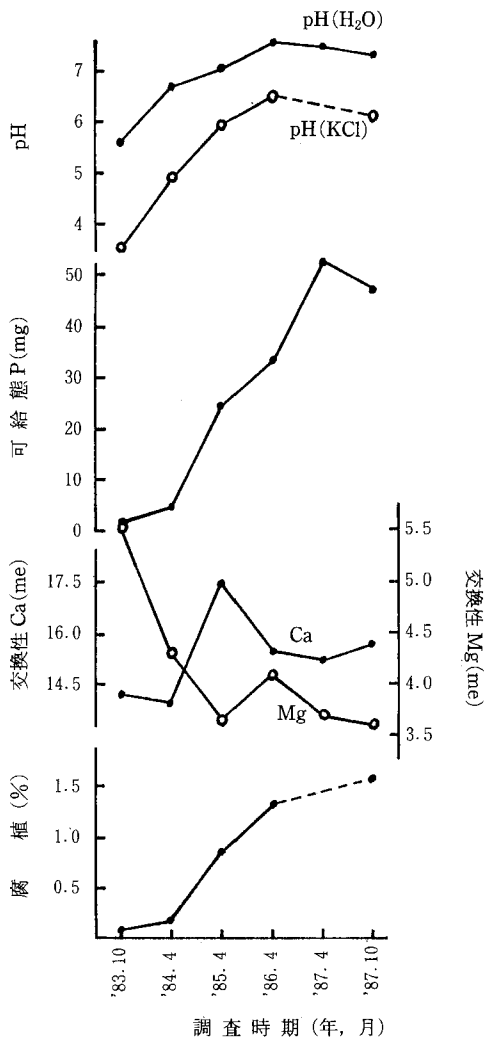


図-5 標準A区における土壌の化学性の推移  
transition of soil chemical property at the  
standard-A-plot

従って、本地区における開発農地の礫細粒化は、①造成直後からの営農を想定する場合には土層扱いを前提とし、これに冬期かん水および冬期リッパードーザー処理を組み合わせる。②造成後から営農開始まで数年の余裕を想定する場合には、造成時リッパードーザー2回処理を前提に、これに冬期かん水および冬期リッパードーザー処理を組み合わせるなどの方法が考えられた。

特に、土壌自体が未熟な本地区では、急激な土壌改良によって、土壌養分の一部が過剰になって土壌養分間のアンバランス化が進むなどの問題が生じた。したがって、このような土壌を扱う場合は、2～3年の時間的猶予をもたせ、緑肥作物などを導入しながら、総合的に土壌熟化を進めることが理想であると思われる。

## 5. 摘要

粘板岩を母材とする新規造成圃場において、営農的対策を中心とした礫の細粒化による土壌熟化対策について検討した。その結果は以下のとおりである。

- 1) 改良山成工法による造成時の土層扱い、リッパードーザーの多回掛けの処理は、その直後には効果があったが、土壌表層(0～15 cm)では造成後3～4年日には効果が消失したのに対し、次層(15～30 cm)では、造成4年後でも造成時処理の効果がみられた。
- 2) 土壌凍結時のリッパードーザー処理は径30 mm以上の大礫の細粒化に有効であり、特に、次層で顕著であった。冬期かん水処理も同様の効果が認められた。
- 3) 造成直後より各種作物を栽培したが、小麦、牧草、果樹など冬作物や耕起機会が少なくなる作物の導入は、礫の細粒化を抑制した。
- 4) リン酸質および石灰質の土づくり肥料による土壌改良と、主として野菜類の数回の作付で、高pH、リン酸過剰土壌となった。
- 5) 以上の結果、粘板岩を主体とした新規造成畑においては、深層(約30 cm)までの礫の細粒化による土壌熟化のために、造成時に土層扱い(30 cm以上)を行うか、もしくはリッパードーザー処理を2回実施し、併せて冬期かん水・凍結時リッパードーザー処理を行い礫の細粒化を進め、一時的な土壌改良材の多量施用は控え、緑肥作物などを栽培、鋤込みにより地力を増強しつつ、土壌熟化を行うことが理想であると考えられた。作物生産および圃場機械作業面からみた土壌熟化に要する期限は2～3年と考えられた。

## 文 献

- 1) 日本土壌協会：新墾畑土壌熟化の手引—新墾畑土壌熟化調査総合報告書(中間報告)昭和53年度～61年度—(1987)
- 2) 農林水産省農産園芸局農産課編：土壌環境基礎調査における土壌、水質および作物体分析法(1974)
- 3) 岩手県：北上山系開発地域 土地分類基本調査 若柳

- |  |  |
|--|--|
| ・志津川，岩手県農政部構造改善課編（1978）                          | 土壌熟化）基本設計書 藤沢地区，東北農政局計画部資源課編（1984）         |
| 4）長谷地質調査事務所：北上川流域地質図（二十万分之一）説明書，長谷地質調査事務所編（1981） | 6）岩手県：岩手の気候概要－岩手県気象平年値表－，岩手県農業改良普及会編（1984） |
| 5）東北農政局計画部資源課：営農技術確立調査（新墾畑                       |  |

### Summary

We examined methods of soil improvement by accelerating the clay slate weathering in new reclaimed upland field at Hujisawa-cho Higashi-Iwai-gun Iwate-Prefecture.

It showed that:

1. The subsoil improvement method, or soil treatment by the ripper dozer accelerated clay slate weathering. It is considered that this effect was retained more than for 4 years at the lower layer (15–30cm). However at the upper layer (0–15cm) it was lost about 4 years after reclamation.
2. Soil treatment by the ripper dozer in winter, when the rock and soil was frozen, accelerated the clay slate weathering. In particular, big rocks, over 30mm in diameter, were broken. The effect was greater in the lower layer than the upper layer.
3. The cultivation of pasture, wheat and fruit trees delayed clay slate weathering.

(Soil Phys. Cond. Plant Growth, Jpn., 62, 23–32, 1991)



## 報 文

# 土壌-植物-大気系 (SPAC) の放射・水分レジムの 影響によるコムギ畑の蒸発散の変動

高橋 千穂\*・波多野隆介\*・佐久間敏雄\*

Fluctuation of Evapotranspiration from Wheat Fields as influenced by  
Radiation and Water Regime of the Soil-Plant-Atmosphere Continuum.

Chiho TAKAHASHI, Ryusuke HATANO, and Toshio SAKUMA

Faculty of Agriculture, Hokkaido University

## 1. はじめに

土壌-植物系からの蒸発散量を知ることは灌漑計画を考えるうえで必須であるとともに、非灌漑下における作物の生産性を考えるうえでも重要である。ポットのような限られた土壌体に生育する植物では、土壌の水分の減少に伴って植物水分ポテンシャルが低下し、蒸散が抑制されることが知られている。<sup>1)</sup>しかし圃場では植物根は上層から下層まで異なる土壌水分環境におかれており、植物の水反応性を知るためには、供給される熱エネルギーに対しておこる蒸発散の支配要因を調査していく必要がある。すなわち、土壌-植物系から大気への水移動を潜熱伝達量の変動から求めるとともに、土壌から植物への水移動を植物水分ポテンシャルの変動を指標として解析し、その水移動の供給源としての土壌の役割を論じていく必要があるであろう。

本報告では、水分特性の異なる疑似グライ土、厚層黒色火山性土、砂丘未熟土のコムギ畑において、1年ごとに蒸発散量を熱収支法により測定し、土壌-植物-大気

系 (SPAC) の水輸送の解析のためにそれぞれの系の水分ポテンシャルを測定した。さらに、コムギの地上部の生育状態および根密度の土層内分布を得た。これらの結果に基づき水供給源としての土壌の役割を考察した。

## 2. 供試圃場及び測定方法

### 1) 供試圃場

供試圃場はいずれも札幌市近郊に位置する農家の畑で、当別町高岡の疑似グライ土 (PSG)、長沼町北長沼の厚層黒色火山性土 (OAS) と石狩町生振の砂丘未熟土 (SRS) の秋播きコムギ畑を用いた (Table 1)。なお、疑似グライ土と厚層黒色火山性土は水田転換畑である。

疑似グライ土では Ap 層直下の C1g 層がち密・堅硬で、C2g 層は発達した柱状構造を持ち、深さ 120 cm から難透水層 (Cr) が出現した (Table 2)。厚層黒色火山性土では、Ap1 層の直下に床締めによって締め固められた Ap2 層があり、以下の AB, B, 2C 層には微細な管状孔隙が発達していた。砂丘未熟土では、Ap 層の下にやや

Table 1. Field managements

	Pseudogleys (PSG)	Ordinary Andosols (OAS)	Sand-Dune Regosols (SRS)
year of measurement	1986	1987	1988
cultivar	Horoshiri	Horoshiri	Chihoku
seeding rate (kg/10a)	10~15	15	12
field area (m <sup>2</sup> )	41×80	43×222	45×55
basal application (N:P:K, kg/10a)	4.3:12.1:5.0	6.0:10.8:7.2	4.8:12:7.8
supplement application (N:P:K, kg/10a)	10.6:0.7:0.5	6.8:0:6.8	10.2:0:10.2

\*北海道大学農学部 〒060 札幌市北区北9西9

土壌の物理性 第62号 p.33~41 (1991)

受理月日 1990年11月5日

Table 2. Soil profiles and pore size distribution

Horizon	Depth cm	Water content %		
		pF0-1.5	pF1.5-2.5	pF2.5-4.2
Pseudogleys				
Ap	0-15	20.2	2.8	7.1
C1g	15-50	1.7	2.0	11.1
C2g	50-120	1.5	1.0	8.4
Cr	120-150+			
Ordinary Andosols				
Ap1	0-34	7.8	11.9	12.2
Ap2	34-46	1.8	5.6	14.4
AB	45-57	1.6	11.3	12.9
B	57-80	2.5	10.0	12.7
2C1	80-100	2.7	12.3	9.5
2C2	100-150+	2.9	4.0	11.9
Sand-Dune Regosols				
Ap	0-28	5.6	22.8	10.6
2A	28-43	3.1	14.7	11.5
C	43-140+	6.2	21.1	9.0

粘質な2A層（氾濫原堆積物のはさみ）があり、C層は粗い砂丘砂からなる単粒状構造の土層であった。pF-孔隙分布をみると、pF1.5~2.5の有効水分容量は疑似グライ土で1~3%であるのに比べ、厚層黒色火山性土では、Ap2層と2C層下部を除き約10%あり、さらに砂丘未熟土では全層を通じて約15~23%と非常に多かった。

## 2) 観測期間と測定方法

観測は5月下旬ないし6月上旬から収穫時まで行った。観測・測定項目と方法をFig. 1に示した。

土壌水分吸引圧は深さ5cm~150cmの間で11ないし12の深度においてテンシオメーター法により測定し、pF0となる深さを停滞水位とした。厚層黒色火山性土ではヒートプローブ法<sup>2)</sup>を併用して、別に作成したpF-水分曲線とあわせて、pF2.8を越える高吸引圧値を推定した。

大気的水分ポテンシャルは、地上170~225cmの高さで大気の温湿度を測定した結果から算出した。<sup>3)</sup>

蒸発散量は圃場のはば中央で純放射量、地中熱流量、温湿度、風速の測定を行い、熱収支法<sup>4)</sup>により以下の式を用いて算出した。

$$R_n - 1 \cdot E - H - G = 0 \quad (1)$$

R<sub>n</sub>: 純放射量 (高さ180~225cm)

1·E: 潜熱伝達量

1: 蒸発の潜熱

H: 顕熱伝達量

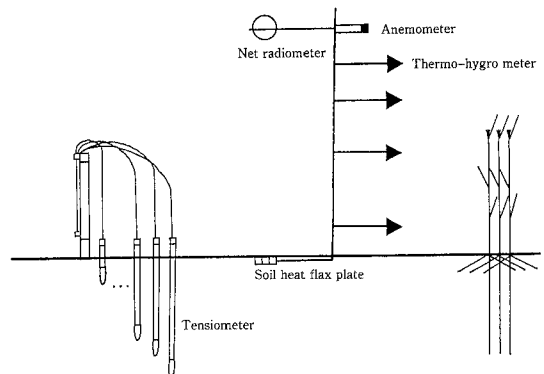


Fig. 1. Diagram of observation system for measurements of dynamics of water and heat in soil-plant-atmosphere continuum.

G; 地中熱流量 (深さ1 cm)

また  $1 \cdot E$ ,  $H$  はボーエン比 (顕熱/潜熱) を用いて次のように導かれる。

$$\beta = H / 1 \cdot E \doteq 0.5 (T_1 - T_2) / (e_1 - e_2) \quad (2)$$

$\beta$ ; ボーエン比

$T_1, T_2$ ; 高さ1, 2での気温

$e_1, e_2$ ; 高さ1, 2での比湿

ここで高さ1は170~225 cm, 2は115~130 cmである。

ゆえに, 蒸発散量 (ET) は,

$$ET = \{ (R_n - G) / (1 + \beta) \} / 1 \quad (3)$$

熱収支項の記録は疑似グライ土, 厚層黒色火山性土は1時間毎に, 砂丘未熟土は30分毎に行った。

### 3) コムギの水分ポテンシャル測定及び生育調査

コムギの水分ポテンシャルは, プレッシャーチャンバ法<sup>5)</sup>によって現地地で測定した。すなわち, 10~15時の時間帯に2~4反復で茎を根冠部で切断・採取し, 直ちに測定した。

コムギは生育に応じて地上部を刈り取り (50 cm × 50 cm) 乾物重を求めた。同時に土壌試料を採土器 (直径4 cm, 採土部の長さ15 cm) を用いて採取し, 水中で根を洗い出してNEWMANの改良法<sup>6)</sup>により根長を測定した。

## 3. 結果

### 1) コムギの地上部生育状況

コムギはいずれの年においても6月16日頃に穂が出そろう, 18日から20日頃に開花し, 7月上旬に登熟期に入った。同時期の地上部乾物重は常に砂丘未熟土 > 疑似グライ土 > 厚層黒色火山性土の順であり, その差は生育と共に大きくなる傾向にあった (Fig. 2)。また, 8月前半における収量は疑似グライ土で約400 kg/10 a, 厚層黒色火山性土で約360 kg/10 a, 砂丘未熟土で約450 kg/10 aであった。

### 2) 降雨量・土壌水分吸引圧

3年間の降水量と土壌水分吸引圧の経日変化を Fig. 3に示した。降雨は1986, 87年には6月に少なく, 7月に多くなり, 1988年は6月前半に多い傾向にあった。また, いずれの年も6月後半に10日間以上の無降雨期間があった。

疑似グライ土 (1986年) では, 6月前半の降雨量が16

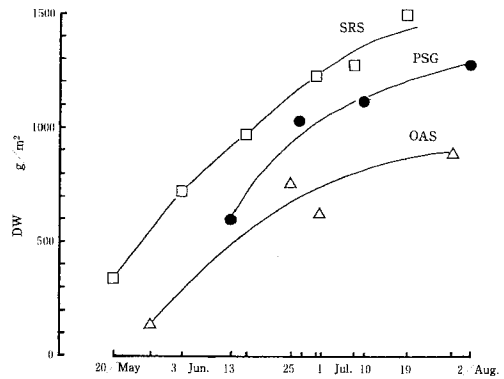


Fig. 2. The changes of dry weight (DW) of above-ground biomass.

PSG: Pseudogleys, OAS: Ordinary Andosols, SRS: Sand-Dune Regosols.

mmと少なかったため表層の乾燥化が進んだ。すなわち, pF 2.5の等値線は6月初旬の深さ20 cm付近から徐々に低下して, 6月末には深さ70 cmに達し, pF 1.5~2.5の低吸引圧有効水分域も同様に低下していった。7月に入ると雨水の浸潤による表層部の吸引圧低下がみられたが, 深さ10~30 cm, 50~70 cm層に pF 2.5以上の高吸引圧域を残したまま, 30~50 cmの吸引圧が若干低下し, 不均一な浸潤が occurring していることをうかがわせた。6月上旬における停滞水位 (pF 0等値線) は約70 cmであったが, 以後次第に低下し, 7月の終わりには約140 cmになった。

厚層黒色火山性土 (1987年) では, 6月2日の降雨後, 30~40 cmの深さで停滞していた pF 2.5の等値線が, 6月18日以降の無降雨期間中に急速に下降していった。ヒートプローブ法によれば, 6月7日過ぎから pF 4.2以上の乾燥した土層が出現し, 7月初めには深さ15 cmに達した。しかし, 下層には, 深さ65~120 cmの広い範囲に pF 1.5~2.5の低吸引圧有効水分域が存在していた。7月1日および3~4日の合計42 mmの降雨によって, 表層から50~60 cmの土層が湿潤化し, その後は pF 2.5以下の低吸引圧域が降雨毎に下層へ拡大していった。停滞水位は観測開始時より常に深さ130 cm以下にあった。

砂丘未熟土 (1988年) では, 6月前半の合計84 mmの降雨の後, 表層部が次第に pF 2.5以上に乾燥していった。一方, 6月下旬から7月上旬にかけて, 15日間の

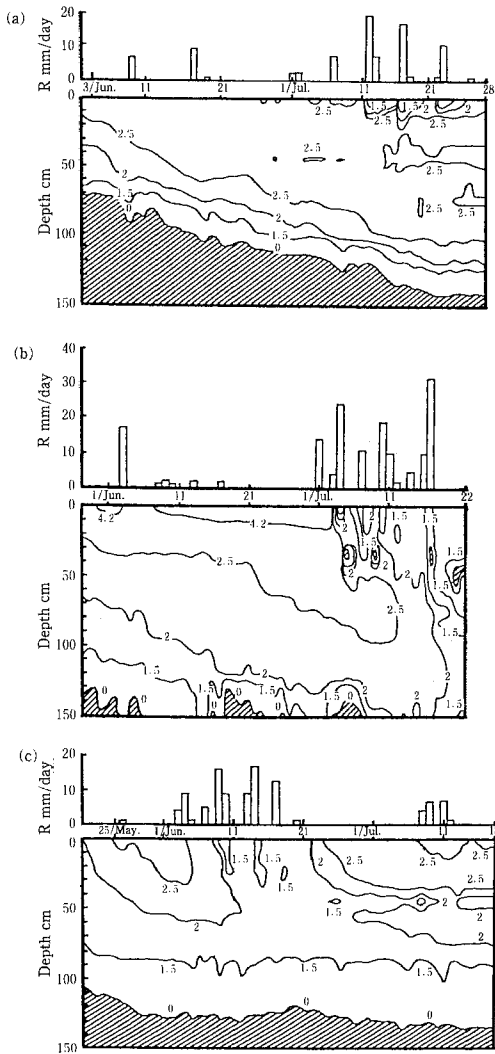


Fig. 3. Daily changes of rainfall (R) and soil water suction.

(a) Pseudogleys in 1986, (b) Ordinary Andosols in 1987, (c) Sand-Dune Regosols in 1988.

無降雨期間があったにもかかわらず、pF 2.5の等値線は粘質な2A層の上で停滞していた。pF 1.5の等値線は深さ約90 cmで生育初期から収穫期までほぼ一定であったが、停滞水位はゆるやかに低下していった。

観測期間を、コムギの生育段階によってⅠ：栄養成長期（観測開始から6月17日の開花前まで）とⅡ：開花期（6月18日から6月30日まで）とⅢ：登熟期（7月1日から観測終了まで）に分けると、降雨量、pF 2.5以上となる土層深はTable 3のようになる。疑似グライ土と厚層黒色火山性土では、Ⅰ・Ⅱ期には寡雨・無降雨、Ⅲ期に多雨であり、一方砂丘未熟土はⅠ期が多雨、Ⅱ・Ⅲ期は、無降雨・寡雨となる。土壌水分状況は、厚層黒色火山性土、砂丘未熟土では降雨条件によく対応していたが、疑似グライ土では降雨の多かったⅢ期でも深層の乾燥が進行していた。

### 3) 根長密度

6月後半の根長密度の土層別分布 (Fig. 4) は、いずれの土壌とも深さとともに根量が減少していく傾向にあった。疑似グライ土では表層10 cmで $12 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ であり、C1g-C2g層の境界である40~50 cm層にやや根量の増加が認められるが以下急激に根量は低下していき、この時期の停滞水位付近である100~110 cm層で $0.6 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ を示した。厚層黒色火山性土では、表層10 cmで $37 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ と著しく高く、深さ30~40 cmまでに急激に減少し $6 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ となった後、以下漸減し、深さ150 cm以下にも伸長している可能性がうかがえる。砂丘未熟土は疑似グライ土と厚層黒色火山性土の中間の根分布を持ち、深さ140~150 cmでも $0.36 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ の根長密度が認められた。

### 4) 純放射量 (Rn)・潜熱伝達量 (IE) および蒸発散量

いずれの年も観測期間中 Rn は晴天日に最高 $400 \text{ ly/day}$ を示し、降雨時には著しく低い (Fig. 5)。

IE/Rn比でみると、疑似グライ土では、6月中旬の晴天で $Rn \geq 300 \text{ ly/day}$ が連続したⅠ期に0.5~0.6のやや低い値を示したが、全期間の変動は比較的小さく、無降雨、晴天の続いたⅡ期においても0.6~0.8の値であった (Fig. 5-a)。厚層黒色火山性土では、経日変動が大きく、Ⅰ期では降雨後に高くなる傾向が認められ、また無降雨期のⅡ期、さらにⅢ期の晴天日には0.4~0.6の低い値になった (Fig. 5-b)。砂丘未熟土ではⅠ・Ⅱ期ではほぼ同じであったが、さらに無降雨の続いたⅢ期の前半 (7月1日~7日)の晴天日には0.5~0.6低下し、その後半の晴天日には、0.3付近まで低下していった (Fig.

Table 3. Amount of rainfall (R) and Depth with the soil water potential greater than pF2.5 ( $D_{2.5}$ ) in the vegetative growth (I), flowering (II) and ripening stages (III) of wheat.

		I	II	III
Pseudogleys	R(mm)	16	0	67
	$D_{2.5}$ (cm)	50	80	100
Ordinary Andosols	R(mm)	23	0	131
	$D_{2.5}$ (cm)	35	75	0
Sand-Dune Regosols	R(mm)	84	1	19
	$D_{2.5}$ (cm)	0	30	40

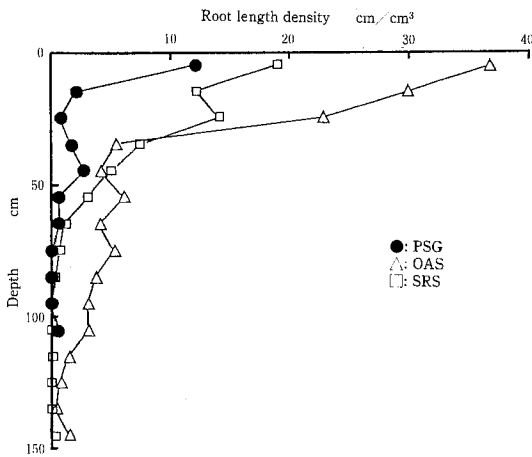


Fig. 4. The distribution of root length density in soil profiles.

PSG: Pseudogleys, June 27 in 1986, OAS: Ordinary Andosols, June 25 in 1987, SRS: Sand-Dune Regosols, June 24 in 1988.

In PSG, not measured from a depth of 110 to 150cm.

5-c).

IEから求めたI・II・III期の平均日蒸発散量(mm/day)は、疑似グライ土ではそれぞれ3.30, 3.34, 3.59, と比較的高く、厚層黒色火山性土では2.60, 2.70, 2.43と低く、砂丘未熟土では2.72, 3.65, 2.51とII期に高かった。

### 5) 大気的水分ポテンシャル (PA) と潜熱伝達量 (IE) の関係

疑似グライ土では、PAは $-500 \sim -3000$  barと広い範囲で変動しており、全期間を通して蒸発散要求がきわめて高い日が認められた (Fig. 6-a)。またIEはこのPAの低下にはほぼ比例して増加しており、無降雨期のII期の純放射が $250 \text{ ly/day}$ 以下の日 (Fig. 6-a, 点線内)、あるいは小雨であったI期ではPAの低下に対してIEの増加が抑えられる傾向があった。

厚層黒色火山性土では、PAは $-200 \sim -2000$  barの範囲で変動していた (Fig. 6-b)。IEはPAの低下に伴い増加していたが、II期の無降雨日ではI期の無降雨日に比べてIEが低かった。また、降雨日が多く、純放射量の低かったIII期にはIEの低い日が多くなった。

低地帯に位置した砂丘未熟土では、PAはほぼ $-100 \sim -1500$  barの範囲で変動しており、大気蒸発散要求は比較的低い (Fig. 6-c)。IEは、I, II期ではPAの低下とともに増加していたが、寡雨となったIII期では、PAに関係なく低かった。

### 6) 植物水分ポテンシャル (PP) と大気的水分ポテンシャル (PA) の関係

疑似グライ土では、PAの幅広い変動にもかかわらず、PPは $-6 \sim -1.2$  barの比較的高い値を示し、とくに無降雨のII期でPAに関係なく一定の傾向が強かった (Fig. 7-a)。厚層黒色火山性土では、PAの低下に対してPPが著しく低下しており、とくにII期では、PPは $-11 \sim -7$  barの低い値に集中していた (Fig. 7-b)。砂丘未熟土では、PAの低下に伴うPPの低下が認められたが、PPは $-8$  bar以下にはならなかった (Fig. 7-c)。また、寡雨であったIII期ではPAに対するPPのばらつきが大きくなった。

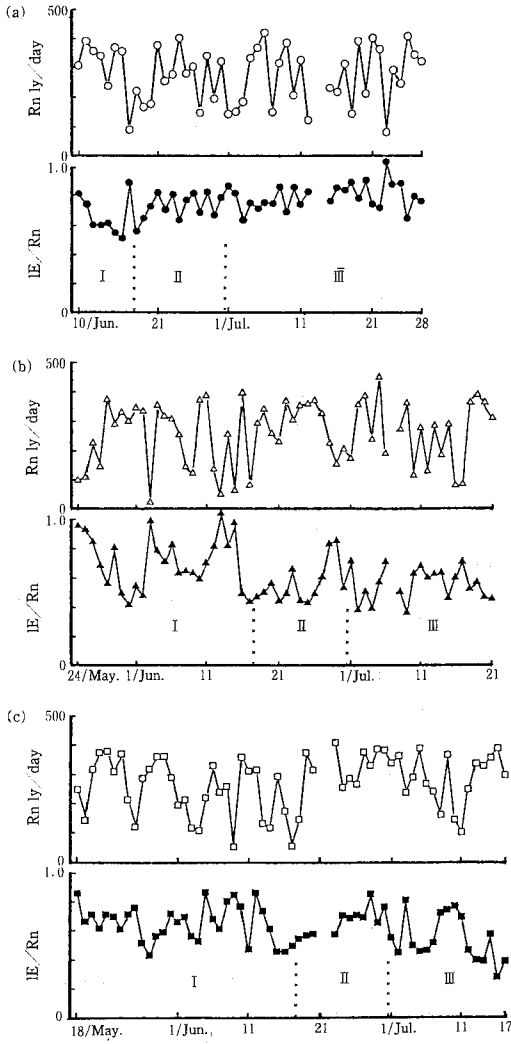


Fig. 5. The Daily ratio of latent heat flux to net radiation ( $IE/R_n$ ) and net radiation. (a) Pseudogleys, (b) Ordinary Andosols, (c) Sand-Dune regosols. I: Vegetative growth stage, II: Flowering stage, III: Ripening stage.

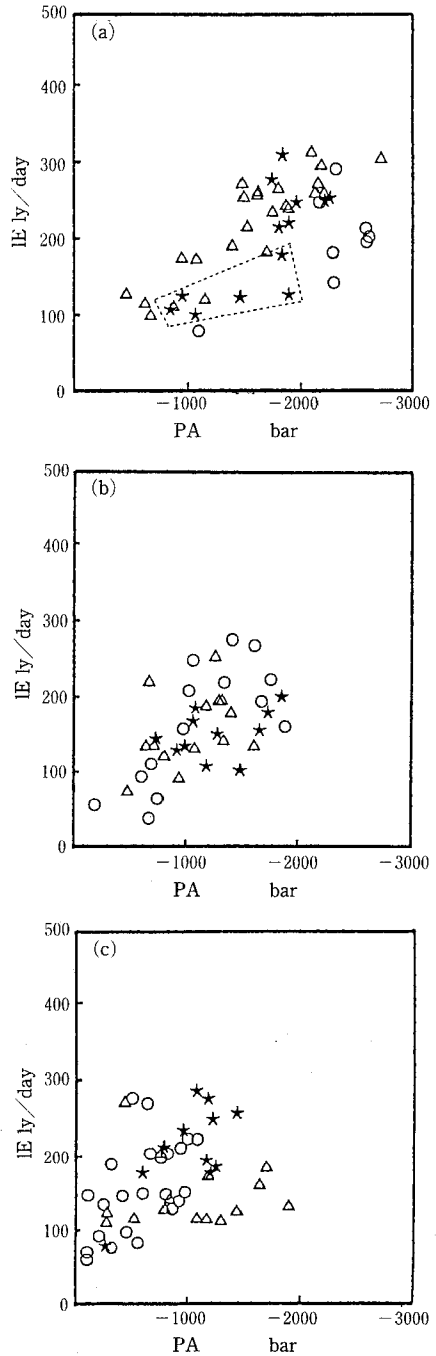


Fig. 6. The relationship between the water potential of atmosphere (PA) and latent heat flux (IE). (a) Pseudogleys, (b) Ordinary Andosols, (c) Sand-Dune Regosols.  $\circ$ : I,  $\star$ : II  $\triangle$ : III (See Fig. 5).

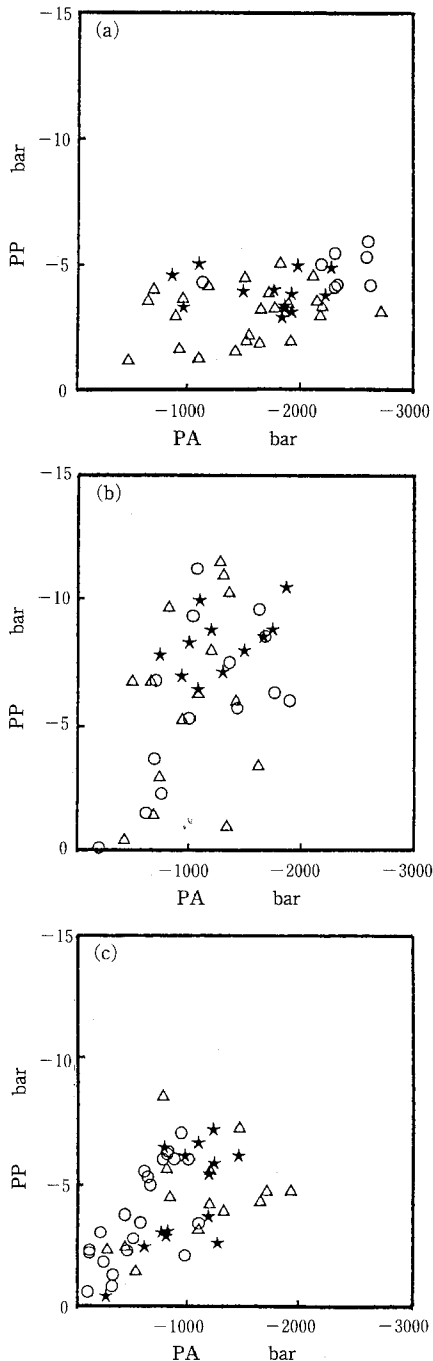


Fig. 7. The relationship between the water potential of atmosphere (PA) and plant water potential (PP).

(a) Pseudogleys, (b) Ordinary Andosols,  
(c) Sand-Dune Regosols.

○: I, ★: II △: III (See Fig. 5).

#### 4. 考 察

潜熱伝達量と純放射量の比 ( $IE/R_n$ ) は、乾燥期に低い値をとることが報告されている。例えば草地では湿潤期には0.7~0.8の値をとっていたものが、乾燥期に0.4~0.5と低下した<sup>7)</sup>。本調査においても、栄養生長期(I)、開花期(II)に寡雨・無降雨であった厚層黒色火山性土では晴天日に  $IE/R_n$  比が約0.4と著しく低下し、砂丘未熟土でもI期に降雨が十分あったものの以後寡雨となり、それに伴い  $IE/R_n$  はIII期の晴天日には0.6から0.3に低下していった (Fig. 5 - b,c)。ところが、疑似グライ土では厚層黒色火山性土の調査年とほぼ同じ降雨パターンをもっていたにもかかわらず、 $IE/R_n$  比はほぼ0.7以上の高い値に保たれていた。疑似グライ土では他に比べ、大気的水分ポテンシャルが著しく低い日があり、蒸発散要求は大きい、植物水分ポテンシャルの低下の程度は他に比べ著しく小さかった (Fig. 7)。これらの結果は、疑似グライ土で水吸収が容易であったことを示している。一方、疑似グライ土では根群域土層の乾燥傾向は他より強く (Fig. 3)、根量も少なく (Fig. 4)、有効水分容量 (Table 2) も少なかった。これらのことから、この圃場におけるコムギのスムーズな水吸収には、下層の停滞水へ伸長した一部の根の寄与がきわめて大きかったと考えざるえない。疑似グライ土は堅密な土壤であり、ほとんどの根は垂直方向に連続した割れ目状孔隙を通して伸長しており、その根はりの深さと停滞水層の深さは密接な関係があり、根はりの深さの浅い地点ではコムギの生育が抑制されていたという報告もある<sup>8)</sup>。

コムギの生育は初期から砂丘未熟土>疑似グライ土>厚層黒色火山性土であり、生育に伴いその差は大きくなる傾向にあった。栄養生長期から開花期における要水量 (g/g 乾物) を蒸発散量と乾物増加量から見積ったところ、疑似グライ土で169、厚層黒色火山性土で188、砂丘未熟土では184とほぼ同じ値であった。これらのコムギは農家の慣行肥培管理法により栽培されており、この期間中のコムギ生育の土壤間差は品種の違いを除けば、期間中の蒸発散量に因るところが大きかったと考えられる。

先に述べたように生育が良好であった砂丘未熟土では、栄養生長期に開花期までの蒸発散を補償するままとった降雨があった。砂丘未熟土では有効水分容量が疑似グライ土の12倍、厚層黒色火山性土の2.4倍も大きいことが、初期のこの降雨を十分保持し、以後の無降雨期において高い蒸発散量を維持しえたものと理解できる。この砂丘未熟土の例とともに、初期に降雨は少なかったが下層停滞水を利用していった可能性のある疑似グライ土

で、良好な生育が得られたことは、栄養生長期、開花期における水供給が重要であることを示すのかもしれない。さらに砂丘未熟土では、開花期に平均320 ly/dayと他より10~20%増しの純放射があったこともあげられよう。また栄養生長期から開花期にかけて、他地点に比べて、上層が潤沢であったため、養水分環境が良好であった可能性も考えられよう。上層が乾燥し、下層停滞水の水吸収に依存した可能性の高い疑似グライ土より初期から良好な生育を得られた理由かもしれない。今後、検討に値する点である。

厚層黒色火山性土では、比較的大きな有効水分容量をもち、また深い層まで大きな根長密度を示していたにもかかわらず、最も生育が劣っていたことは、栄養生長期における純放射量が5~30%少なかったことも要因として考えられる。その上に土層が乾燥し、開花期には他地点より圧倒的に低い植物水分ポテンシャルを示し、(Fig. 7), ホストレス状態をうかがわせた。このことがこの地点の生育抑制につながったのであろう<sup>9,10</sup>。表層15 cmでは開花期全期にわたって、pF 4.2以上の乾燥が見られ、その層の水吸収が困難になったとともに施肥養分の吸収にも困難をきたした可能性も考えられ、結果的にコムギの生育に対して3土壤を比較すると不利な条件があったものと思われる。

#### 4. 要 約

水分特性の異なる疑似グライ土、厚層黒色火山性土、砂丘未熟土の秋播きコムギ畑において3年間、土壤-植物-大気系 (SPAC) の水分ポテンシャル分布、蒸発散量、放射状態、根分布の観測を行い、放射・水分レジムから蒸発散量の関係を解析し、その変動に対して植物-土壤因子の検討を行った。

1) 3土壤のコムギの生育は砂丘未熟土>疑似グライ土>厚層黒色火山性土であった。

2) 最も有効水分容量の少なかった疑似グライ土では、降雨が少なかった栄養生長・開花期においても、日蒸発散量 (ET) は3.3 mm/dayと高く、潜熱伝達量 (IE) と純放射量 (Rn) の比 (IE/Rn) はほぼ0.7以上を維持した。さらに大気的水分ポテンシャル (PA) の著しい低下にもかかわらず、植物水分ポテンシャル (PP) は-6~-1.2 barと比較的高い値を示した。土層の乾燥にもかかわらず、土壤から植物への水分供給は安定していたと

考えられ、その理由として停滞水からの直接の供給の可能性が示唆された。

3) 有効水分容量が中程度であった厚層黒色火山性土では、疑似グライ土と同様の降雨パターンがみられたが、開花期のETは2.7 mm/dayと低く、IE/Rn比の経日変動が大きく、開花期の無降雨期間の晴天日には0.4~0.6と低い値を示した。上層は乾燥傾向にあり、さらにPAの低下に対してPPは他に比べて著しく低下しており、このことが、生育抑制につながったものと思われた。

4) 有効水分容量の最も多かった砂丘未熟土では、他と異なり栄養生長期にまとまった降雨があり、土壤水分状態は他に比べ最も潤沢であった。晴天の続いた開花期のETも3.65 mm/dayと高く、IE/Rn比は0.6~0.8を示し、PPも-8 bar以上を示した。開花期までの潤沢な土壤水分状態が、コムギの生育をとくに良好にしたと言える。

#### 謝 辞

なお、本研究の一部は農林水産省の「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」委託事業費によった。記して感謝の意を表します。

#### 引 用 文 献

- 1) Blizzard, W. E. *Plant physiol.*, 66, 809-814, (1980)
- 2) Kasubuchi, T, *Soil Sci.* 124, 255-258 (1977)
- 3) 長野俊秀ら, 農業気象・環境学, 朝倉書店
- 4) Hatano, R., Nakamoto, H., Sakuma, T. and Okajima, H., *Soil, Sci. Plant Nutr.*, 34, 547-555 (1988)
- 5) Turner, N. C., *Plant and Soil*, 58, 339-366 (1981)
- 6) Rowse, H. R. and Phillips, D. A., *J. Appl. Ecol.*, 11, 309-314 (1974)
- 7) 佐久間敏雄・小林信也・吉田亨, *土肥誌*, 46, 507-513 (1975)
- 8) 波多野隆介・佐久間敏雄・岡島秀夫, *土肥誌*, 58, 209-216 (1987)
- 9) 徐会連・山岸徹・玖村敦彦, *日作紀*, 56, 461-466 (1987)
- 10) 平沢正・飯田幸彦・石原邦, *日作紀*, 57, 112-118 (1988)



## Summary

To discuss the interrelation among the water potentials of soil, plant and atmosphere and their relation to evapotranspiration, the water potential of atmosphere, plant and soil were measured and the evapotranspiration rate was estimated using a heat balance method. The observations were conducted in wheat fields of a Pseudogley (PSG), an Ordinary Andosol (OAS), and a Sand-Dune Regosol (SRS) in the neighborhood of Sapporo for the period from early June to harvest in 1986, 1987 and 1988, respectively. The distribution of roots and the dry weight of the above-ground biomass were also determined.

(1) The dry weight of above-ground biomass of wheat was in the order of  $SRS > PSG > OAS$ .

(2) In PSG, with the least available water capacity of the three fields, the amount of rainfall was low during the vegetative growth and flowering stages. However, the average daily evapotranspiration (ET) had a high value of about 3.3 mm/day, and the daily ratio of latent heat flux to net radiation ( $IE/R_n$ ) was found to be higher than 0.7. In spite of a remarkable decrease in the water potential of atmosphere (PA), plant water potential (PP) was maintained to be high, ranging within -6 to -1.2 bar. This suggests that water supply from soil to plant roots was satisfied. We ascribed this to the fact that the roots took up the stagnant water directly. This was supported by the following facts 1) lowering of stagnant water level with wheat growth, and 2) some wheat roots having touched at the stagnant water pool.

(3) The available water capacity of OAS is 5 times greater than that of PSG. The pattern of rainfall was similar as in PSG. However, the average daily ET was a low value of about 2.7 mm/day, and the  $IE/R_n$  ratio varied with growth stage and rainfall event, and has low values, ranging from 0.4 to 0.6 during a dry spell in the flowering stage. PP decreased remarkably with decreasing PA in this stage, and the value converged into a narrow range of -11 to -7 bar. These facts suggest that plant might have suffered from water stress, and explain why the dry weight was the least among three fields.

(4) In SRS, the available water capacity is 12 times greater than that of PSG. Total amounts of ET during vegetative growth and flowering stages corresponded to total amounts of rainfall in the vegetative stage. Therefore a higher ET of about 3.65 mm/day was found during the dry spell in the flowering stages. The  $IE/R_n$  ratios in the growth stages were maintained within a range of 0.6 to 0.8, and also PP values less than -8 bar were not found. These facts explain why the good wheat growth resulted.

(Soil Phys. Cond. Plant Growth, Jpn., 62, 33-41, 1991)



## 耕起方法が低湿重粘土汎用水田の 土壌物理性に及ぼす影響

長野間宏\*・児玉 徹\*\*・金田吉弘\*\*・山谷正治\*\*

Effect of tillage method on physical properties of heavy soil of rotational paddy field

Hiroshi NAGANOMA, Tooru KODAMA, Yoshihiro KANETA and Syoji YAMAYA

Akita Prefectural Agricultural Experiment Station

### 1. はじめに

八郎潟干拓地のような低湿重粘土汎用水田では、畑作物の収量が不安定なことが問題である。特に、畑へ輪換した初期の土壌の物理性、すなわち、排水不良、碎土の困難性、有効容水量の不足などは、畑作物の栽培に不適となる。

排水対策を行っても、重粘土水田では畑へ輪換した当初から排水性を向上させることは困難である。中野<sup>12)</sup>は、北陸の重粘土について、暗渠排水、営農排水など排水対策が整った条件下で徐々に下層土の土壌構造が発達して排水性が向上する過程を報告している。排水不良は、直接に畑作物の湿害を引起こす以外にも、播種作業の遅れ、碎土不良による出芽・苗立の低下、機械走行による土壌構造の悪化などに影響し、収量の不安定性を招く。また、輪換初年日では碎土率を高めることが困難で、出芽・苗立率が低下することが多い。排水対策を施した条件下では、土壌が乾燥履歴を受けて、徐々に微細構造が変化し<sup>13)</sup>、これに伴い易耕性が増す。このように、低湿重粘土では畑として好適な物理性の改善に畑転換後数年を要することが大きな問題である。また、田畑輪換を行なう上では、畑期間に改善された物理性が水田を継続すると再びもとの水田土壌の状態に戻ってしまうことが問題である。

このように低湿重粘土水田の汎用化には、特に転換初期の物理性の管理が重要である。このためには、輪換畑期間へ移行する直前の水稲栽培時点から対策を立てる必要がある。この点及び重粘土における機械作業に関して、次ぎのような指摘がある。

①水田での麦作では全面耕起をしない水稲栽培の跡地

\* 農業研究センター 〒305 つくば市観音台3-1-1

\*\* 秋田県農業試験場 〒010-14 秋田市仁井田字小中島111  
土壌の物理性 第62号 p.43~52 (1991)

受理月日 1990年11月6日

で良い結果を上げた<sup>9,16)</sup>、②ダイズの不耕起栽培が慣行栽培と変わらない収量を得た<sup>8,19)</sup>、③重粘土では水分の多い条件で耕起すると粘閉現象が起り、透水性が大きく低下した<sup>15)</sup>、④トラクタの走行回数が増えると第2層で透水性が著しく減少した<sup>4)</sup>、⑤輪換田においては、乾田直播など土壌構造を破壊する程度が小さな栽培方法が土壌の乾燥効果を助長した<sup>11)</sup>。

そこで、筆者らは、八郎潟干拓地において重粘土汎用水田の物理性の管理方法を、耕起方法の面から検討することを目的として、輪換畑及び輪換田において不耕起を中心とした耕起方法が土壌の物理性に及ぼす影響を明らかにした。

### 2. 試験方法

#### 1) 試験圃場と供試土壌

試験圃場は、秋田県農業試験場大潟農場の田畑輪換圃場を用いた。田畑輪換の体系は、ダイズ3年、水稲3年の1サイクル6年のローテーションである。1986年から1989年までの4年間の試験に供試した圃場の作付来歴は表-1のようであった。土壌は、細粒グライ土：幡野統で、作土、下層土の土性は、ともにHCである。

#### 2) 耕起方法と栽培管理

##### (1) 水稲の部分耕移植

1988, 1989年の2年間試験を行なった。小型管理機の爪を外して30 cm 間隔で幅5 cm, 深さ5 cmに部分的に耕起した。耕起後灌水し、水稲の中苗を移植した。1989年には、農業研究センターで開発された部分耕同時移植機も用いた。供試品種は、あきたこまちを用い、基肥窒素を10 a 当り4 kg, 追肥窒素を2 kg 施用した。1989年には、追肥窒素を4 kgに増施した。慣行通りのロータリによる耕起、パディハロによる代かきを行なう慣行区も設けた。さらに、部分耕移植区には側条施肥区も設けた。

表-1 供試圃場の作付来歴

Cropping pattern of experimental fields

圃場	年度	試験内容	作付来歴	前作物
試験場	1988	水稲部分耕	輪換田2年目	水稲
試験場	1989	水稲部分耕	輪換田3及び4年目	水稲
試験場	1986	ダイズ不耕起	輪換畑2年目	ダイズ
試験場	1988	ダイズ不耕起	輪換畑3年目	オオムギ
試験場	1989	ダイズ不耕起	輪換畑4年目	ダイズ
現地	1987	ダイズ不耕起	輪換畑1年目	オオムギ
現地	1988	ダイズ不耕起	輪換畑2年目	オオムギ
現地	1989	ダイズ不耕起	輪換畑1年目	オオムギ

### (2) 水稲跡のコムギの生育の比較

慣行耕起区及び部分耕移植を行なった水稲跡の圃場(輪換田4年目)において、ロータリ耕起を行ない、碎土率を測定した。また、別な輪換3年目の水田において、1989年9月27日にキタカミコムギを水稲立毛間に20 kg/10a播種し、10月3日に、水稲を自脱コンバインで収穫した。施肥は、水稲収穫後に基肥窒素を10a当り5 kg施用し、追肥窒素を10月、11月、3月、4月、5月の5回、2 kgずつ施用した。

### (3) ダイズの不耕起播種

ダイズの不耕起播種試験を1986~1989年の4年間行なった。

#### a) 試験区

試験区として、不耕起播種区及び慣行通りにロータリ耕起を行う耕起区を設け、初年度はプラウ耕区も設けた。また、ダイズの前作は、1988年はオオムギで他の年は裸地であった。また、農家圃場において同様の現地試験を行なったが、前作は、1987年が水稲立毛間に不耕起播種したオオムギであり、1988年および、1989年が慣行の耕起播種によるオオムギであった。

#### b) 播種及び耕種方法

場内における1986年および1988年の試験の一部では、出刃包丁を用いて幅1.5 cm、深さ7 cmのV字型の溝を切り、人力で播種を行なった。また、1988年および1989年の場内試験では、駆動ディスク型の播種機で作溝のみを行ない、人力で播種した。現地試験では、トラクター装着の4条用の不耕起播種機<sup>14,18)</sup>を用いた。1986年度は条間70 cm、株間20 cmの2本立て、栽植本数は、14,300本/10aとした。1988年および1989年は、条間70 cm、株間15 cmの2本立て、栽植本数は、19,000本/10aとした。現地試験では、条間66 cm、20本/m<sup>2</sup>を目標

にした。場内試験のダイズ品種としては、シロセンナリ(1986年)、晩播適応性を有する系統の東北89号(1988~1989年)を供試し、現地試験では、ライデンとスズユタカを供試した。施肥は、出芽後、株際に3-10-10化成肥料を用いて10a当り窒素3 kg、リン酸10 kg、カリ10 kgを条施した。中耕、培土を各1回行なった。

### 3) 測定項目と方法

#### (1) 水稲栽培期間の土壌 Eh の測定

耕起・代かきを行なった慣行区、及び部分耕移植区の土壌を表層の0~3 cmと3~10 cmに分けて採取し、白金電極を挿入して酸化還元電位(Eh)を測定した。

#### (2) 排水性の測定および土壌水分の測定

全試験区において、直径約35 cmのステンレス製円筒を深さ10 cm程度打込み、インタークレートを測定して排水性の違いを比較した。耕起された試験圃場では、作土を丁寧に取除いて透水性の小さな耕盤層に円筒を打込んで測定した。測定結果は、60分経過後の浸透速度で表した。インタークレートは輪換田、畑のいずれの試験圃場も作物収穫後に測定した。また、ダイズ作における耕起方法の試験を行なった各処理区の深さ5 cmの土壌水分吸引圧をテンシオメータにより測定した。また、現地試験では、ダイズ播種後の含水比の変化を、100 cc 採土円筒で採土して乾熱法で測定した。

#### (3) ダイズ種子の吸水速度

出刃包丁で作溝した溝、及び不耕起播種機の駆動ディスクで作溝した溝、及びロータリ耕起した圃場にダイズ種子10粒ずつを1セットにして播種した。毎日各処理区から1セットずつ取りだし、種子の重量の増加量を測定した。

(4) ダイズの根域調査及びルビジウム (Rb) の深さ別吸収量の測定

黄葉期に深さ50 cm程度の穴を掘り、根域を調査した。また、大きなブロックで土塊を切り取り、土塊を洗い落として根系を調査した。活性のある根の分布を調査する目的で、開花期に深さ別に5%の濃度のRbを塩化Rb溶液として20 ml注入した<sup>10)</sup>。Rb注入の土壌深さは、15, 25, 35, 45 cmの4処理とした。Rbの注入にあたっては、直径1 cmの鉄製のパイプとその中に挿入できる鉄棒を組合せて使用した。すなわち、鉄パイプと鉄棒を挿入した状態で土壌に穴を開け、その後に鉄棒のみを引抜き、この中に細いビニールパイプを挿入し、自動ピペットで塩化Rb溶液を注入した。2週間後にダイズの地上部を切り取り、葉について乾燥、粉碎後に湿式灰化し、原子吸光度計でRbを分析した。

### 3. 結果と考察

#### 1) 低湿重粘土輪換田の耕起方法が輪換畑移行期間の土壌に及ぼす影響と利点

##### (1) 水稲の部分耕移植圃場の酸化還元電位の推移

図-1に示したように部分耕移植区では、表層0~3 cmの酸化還元電位は連作水田と同等に低下するが、前作のわらがすき込まれない作土の3~10 cmは、前作がダイズ作のためにわらが存在しない輪換1年目の水田と同等に高く推移した。減水深が極めて小さい低湿重粘土

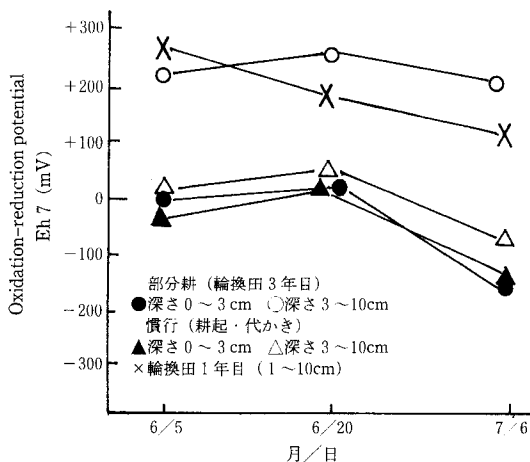


図-1 耕起方法が土壌Ehに及ぼす影響  
Effect of tillage method on soil oxidation-reduction potential

では、わらと稲株をすき込むと微生物による分解の過程で土壌が強い還元状態になるので、部分耕移植区と慣行区との作土の酸化還元状態の違いが特に大きくなったと考えられる。

ところで、筆者は乾燥履歴により低下した転換畑土壌の水中沈定容積が、湛水処理だけでは増加しないが、グルコース添加による湛水還元処理を加えると増加し、輪換水田1作後の値に近似することを報告した<sup>13)</sup>。また、川口ら<sup>6)</sup>は、干拓地土壌の構造発達の研究において、粒団の大きさ別に酸化鉄の量を測定し、乾湿の変化が大きな作土では酸化鉄の分布に偏りがあり、分散率が小さいが、常に還元的環境にある下層土ではその分布が均一であり、粒団の安定度が小さいことを報告している。これらは、粘土粒子のセメントの役割を果す酸化鉄の効果は、還元的な環境では弱まる方向に推移していくことを示すと考えられる。従って、低湿重粘土において酸化的な土壌環境が維持できるならば、それは団粒の崩壊、土壌粒子の分散、孔隙の減少、排水性の低下、地耐力低下という土壌物理性の悪化を抑える点で有利であると考えられる。また、水稲収穫後の部分耕移植区のグライ層の位置は41 cmと慣行区よりも10 cm低く、水稲連作によるグライ層の上昇が遅かったことも認められた。

##### (2) 地耐力の推移と三相分布

図-2に示したように部分耕移植区は、湛水後の土壌硬度の低下が少なく、中干し時、落水後のいずれの時期も慣行区よりも土壌硬度が大きかった。水稲の成熟期の

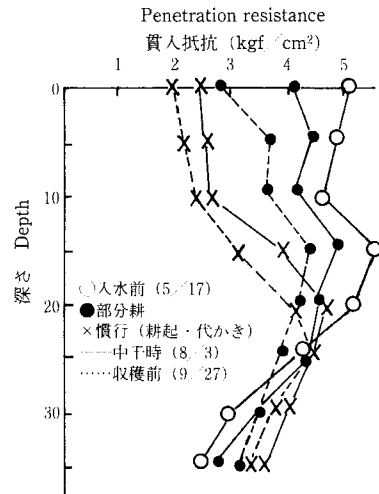


図-2 耕起方法が地耐力に及ぼす影響  
Effect of tillage method on penetration resistance

土壌硬度は慣行区ではコンバイン走行が不可能な状態であったが、部分耕移植区では可能であり、深さ35 cmの土層まで3 Kgf/10 cm<sup>2</sup>以上であった。また、三相分布では部分耕移植区の固相率が慣行区よりも大きかった。

八郎潟干拓地では、水稲連作によって収穫時のコンバイン走行が困難になる程度に地耐力が低下する。このため、農家は、8月から間断灌漑を行なって、地耐力の維持を図っている。水稲作跡に麦作を行なう場合、耕起播種、水稲の立毛間への播種の何れの場合でも、この水稲部分耕移植による地耐力維持の効果は大きい。ムギの耕起しての播種を考えると、1日も早く水稲の収穫を終えて、ムギのための耕起・播種作業を行なう必要があるため、この場合は特にその効果が大きい。また、地耐力が大きいままで維持されるということは、水稲の水管理を行なう上でも、地耐力の維持を図るための水管理を優先する必要がなく、登熟向上を優先した選択が行なえる効果をもたらす。

### (3) 排水性

水稲収穫後のインタークレートは、表-2のように部分耕移植区が慣行区よりも大きく、特に暗渠上部でその差が大きかった。部分耕移植区では、降雨後の圃場内における滞水の時間が短いという観察結果との一致もみられた。低湿重粘土では、排水の流れは、土壌亀裂→暗渠疎水材→吸水暗渠が主体であるので、作土→下層土→モミガラ層につながる土壌亀裂が部分耕移植区には存在したことになる。慣行区では、耕起、代かきの過程で亀裂を練りつぶしている可能性があるが、亀裂が残った部分耕移植区は水を開けて落水が始まると、排水性の良い、暗渠が良く効いている状態になったと考えられる。

### (4) 部分耕移植栽培跡地の碎土性

部分耕移植区では、図-3のように慣行の耕起・代かき跡に比較して、水稲収穫後にロータリ耕起した場合の

5 cm以下の土塊の割合が多く、碎土率が大きかった。慣行耕起・代かき跡は、耕耘時の土壌水分が多く、耕起すると練るような状態になり、碎土ができなかった。また、代かきが、稲株の下にみられる角塊状の構造や春に乾燥を受けて生成した構造の多くを破壊する役割を果たしたと思われる。

能登谷ら<sup>15)</sup>は、循環栽培と名付けた省力的二毛作技術を開発している。そこでは、土壌構造を破壊する代かきを避けることが技術開発の方針の1つとされ、水稲は部分耕起で移植されている。さらに、久保田ら<sup>9)</sup>が、児島潟干拓地で代かきを行なわない成畦栽培を行なったところ、ベタリした壁状の土壌となる慣行区に比較して麦作前の耕起が容易であったことを報告している。田畑輪換でも、水稲跡の麦作から輪換畑期間に移行するこ

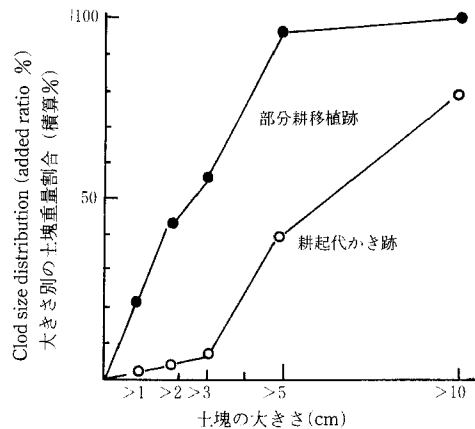


図-3 耕起方法が水稲収穫後の碎土状態に及ぼす影響  
Effect of tillage method before rice transplanting on clod size distribution after rice harvest

表-2 耕起方法がインタークレート及び小麦の初期生育に及ぼす影響  
Effect of tillage method on imtake rate and early growth of wheat

耕起方法	測定場所	浸透能			苗立本数 (本/m <sup>2</sup> )	初期生育 (10月31日)		
		C	n	I <sub>60</sub> (mm/hr)		茎数 (本/m <sup>2</sup> )	乾物重 (g/m <sup>2</sup> )	窒素吸収量 (g/m <sup>2</sup> )
部分耕	暗渠直上	1.50	0.95	69	418	1236	39	1.46
	中間	0.27	0.90	9.7				
慣行	暗渠直上	0.03	0.90	1.1	385	784	28	0.61
	中間	0.06	0.90	2.2				

とが多いので、水稲作のための耕起・代かきを簡略化するねらいは、上述の諸研究と共通しているといえる。

## 2) 部分耕移植が水稲の生育・収量及びこの後作のコムギの生育・収量に及ぼす影響

### (1) 部分耕移植した水稲の生育・収量

無窒素、及び表層施肥した部分耕移植区の水稲の生育は、慣行区に劣ったが、側条施肥することで慣行並みの生育経過をとり、表-3のように同等の収量となった。これは表層施肥の利用率が低いためである<sup>5)</sup>。慣行の耕起、代かきをしない他の水稲移植栽培の試験<sup>2,3)</sup>でも、施肥位置を深くして慣行栽培と同等の収量を得た例がある。登熟歩合、千粒重には各試験区間に違いはなかった。また、部分耕移植区の水稲の根は、後述する不耕起播種ダイズと同様に表層に多く分布したが、亀裂に沿って下層に伸長する根は慣行区よりも多かった。

### (2) 部分耕移植した水稲の後作のコムギの生育・収量

八郎瀧干拓地における水稲後の麦作では、水稲の成熟期が早い場合は耕起播種が行なわれるが、それではムギの播種晩限をすぎてしまうと予想される場合は、水稲の

立毛間にムギの播種が行なわれる。表-2, 4に水稲立毛間に播種されたコムギの生育、収量を示した。苗立及び越冬前に調査したコムギの初期生育、乾物重、窒素吸収量は慣行区よりも部分耕移植区の方がまさった。この傾向は、成熟期まで持続し、収量も慣行区よりも部分耕移植区がまさった。この要因としては、麦作期間の排水がよくて、降雨後の表面湛水期間が短かったことが考えられる。また、排水の悪い慣行区では、麦作期間中の作土表面に還元的な土層が観察されたので、施肥窒素の脱窒が起きた可能性が大きいと考えられる。

## 3) 低湿重粘土輪換畑におけるダイズ不耕起播種が土壌に及ぼす影響と利点

八郎瀧干拓地の土壌は、干陸当初は極めて軟弱で、地耐力が小さい強グライ土が殆どであったが、明渠による表面排水と暗渠排水により土壌の乾燥が促進された。さらに、田畑輪換が導入されると、畑期間の乾燥効果が顕著に現れ、輪換田では水稲の増収、地耐力向上の効果が現れた。しかし、ダイズ播種に際しての碎土率の向上が重粘土であるために困難であった。農家の慣行栽培方法

表-3 耕起方法と水稲の収量

Grain yield of paddy rice transplanted in strip tillage

年次	耕起方法	施肥方法		玄米重 kg/10a	総粉数 ×10 <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>	登熟歩合%	千粒重 g
		基肥	追肥				
1988	部分耕	無窒素	0	362	19.2	91.5	20.6
		側条N-4	2	651	35.3	88.1	21.2
	慣行	無窒素	0	405	21.0	93.2	20.5
		N-4	2	633	35.9	85.7	21.0
1989	部分耕	無窒素	0	390	19.1	92.3	21.8
		N-4	4	509	23.9	91.2	22.1
		側条N-4	4	597	28.8	91.7	21.9
	慣行	無窒素	0	481	25.0	88.3	22.0
		N-4	4	595	28.2	91.8	21.8

表-4 水稲作における耕起方法が後作のコムギ収量に及ぼす影響

Effect of tillage method before rice transplanting on the yield of following wheat

水稲作の耕起方法	全重 kg/10a	わら重 kg/10a	精麦重 kg/10a	千粒重 g
慣行：耕起代かき	1000	465	365	35.4
部分耕起	1375	688	466	35.1

では、オオムギ収穫→チョッパーによる裁断→わらの焼却→耕起→碎土→碎土→ダイズ播種→除草剤散布→鎮圧と一連の作業が続く。この6月下旬から7月上旬のダイズ播種期間には、降雨量が比較的少なく、乾燥により出芽が遅延し、タネバエの被害が増大する問題もあった。また、上記の一連の作業の途中で降雨があると、重粘土のために上壤の乾燥が遅れ、播種が大幅に遅れる問題も存在した。これらの問題の解決を図るためにダイズ不耕起播種を検討した。

(1) 不耕起播種ダイズの吸水と出芽率

不耕起播種ダイズは、V字型をした播種溝に播種された場合は、図-4のように種子の土壌水分の吸収が早かった。種子の吸水量は、出刃包丁で作った溝の場合が最

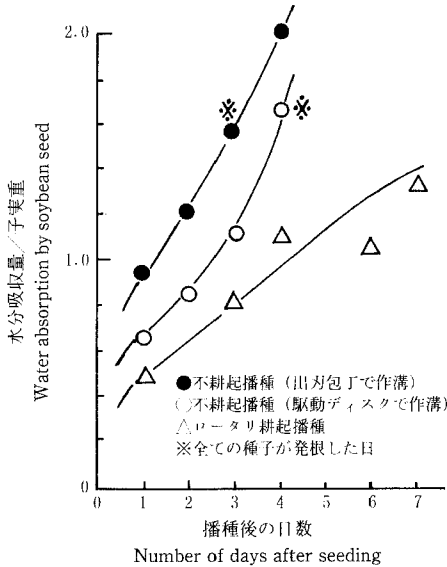


図-4 耕起方法がダイズ種子の吸水速度に及ぼす影響  
Effect of tillage method on water absorption of soybean seed

も大きく、駆動ディスクで作った溝、ロータリ耕起あとの慣行区の順で小さくなった。出刃包丁で作った溝では、幅が1~1.5cmと狭く、種子と土壌の接触が最も良く、種子の吸水量がまさり、出芽も早かった。耕起土壌では土塊が大きくて、種子と土塊、土塊と土塊の接触が悪くなるために、水分の種子への移動は遅かった。1988年の出芽率の推移を表-5に示した。駆動ディスクによる不耕起播種区で出芽揃いが早く、また、出芽率もまさった。この傾向は4年間同じであった。特に1986年には、播種(6月4日)後の降雨が少なく、耕起区では出芽揃いに2日かかったが、不耕起播種区は耕起区より1週間早く出芽した。出芽率は70%であった。1989年は、播種直後に雨が降り、両区の差は少なかった。次に、不耕起播種及び耕起播種した現地隣接圃場の播種位置の土壌水分の変化は表-6に示す通りであった。現地圃場の耕起区は、播種位置の土壌水分量が不耕起播種区よりも少なかった。これは、耕起を3回行なったことによる水分の蒸発の促進と、下層からの水の毛管移動の不良によったと考えられる。

4年の試験期間中においては播種後の多雨に遭遇しなかったが、播種後の降雨が長く続いた場合には、播種溝に水が溜り、湿害や、立ち枯れの障害が出ることが想定される。この問題への対応は次の様に考えられる。小林ら<sup>8)</sup>、吉田<sup>9)</sup>は、打抜き穴が排水性を良好にし、梅雨時期の播種でも出芽が安定であったと述べている。ナタネの不耕起播種<sup>7)</sup>では、稲株の近くの高い位置に播種することと、表面排水を良くするための浅い排水溝を作ることが望ましかったとされている。従って、弾丸暗渠と浅い表面排水溝により排水対策が講じられていれば、問題は少ないと考えられる。

(2) 土壌水分の変動と排水性

ダイズの不耕起播種区、プラウ耕起及びロータリ耕起区の上壤水分の変動を図-5に示した。不耕起播種区、ロータリ耕起区、プラウ耕起区の順に降雨後の乾燥の進

表-5 ダイズ出芽率の推移(%) (1988)  
Establishment of soybean seedling

播種後の日数	不耕起区		耕起区	
	前作無し	前作オオムギ	前作無し	前作オオムギ
7	59	5	0	0
13	66	41	18	14
16	84	79	49	41
22			69	69



行が早かった。これは、不耕起播種区は、粗大孔隙が無く、そこに保たれる過剰な水分が少なかったために乾燥の進行が早かったからと考えられる。また、ダイズ栽培圃場のインタークレートの測定結果を表-7に示した。不耕起播種区の耕盤層の方が耕起区の耕盤層よりも浸透が早かった。不耕起播種区では、重粘土輪換畑における

耕起による土壌の練り返し、亀裂の破壊、大型機械走行に伴う圧密などによる透水性低下が少なかったために、排水が良い状態になっていたと考えられる。

(3) 地耐力と三相分布

SR II型で測定した土壌硬度は、ダイズ不耕起播種区が耕起区より大きかった。また、作土の上層で不耕起播種区の固相が大きく、気相が小さかったが、5 cm以下では、碎土のための機械作業により耕起区の固相率が多少大きくなっていて、また、5 cm以下では耕起区の土壌硬度も顕著に大きくなっていて。

(4) ダイズの根の分布

不耕起播種したダイズの根の分布は、図-6に示すように、作土上層に多い一方で、下層土にも伸長した。不耕起播種区では、生育初期に種子根が作土下層に向けて伸びることが、観察された。また、塩化Rbを土層の深さ別に注入して吸収量を調査した結果、図-7のように

表-6 表層(0-5 cm)の土壌含水比の違い  
Effect of tillage method on soil moisture content of seedbed after seeding

試験区	測定月/日			
	7/4	7/5	7/6	平均
耕起区	23.5	29.2	23.4	25.4
不耕起区	53.0	59.8	62.1	58.3

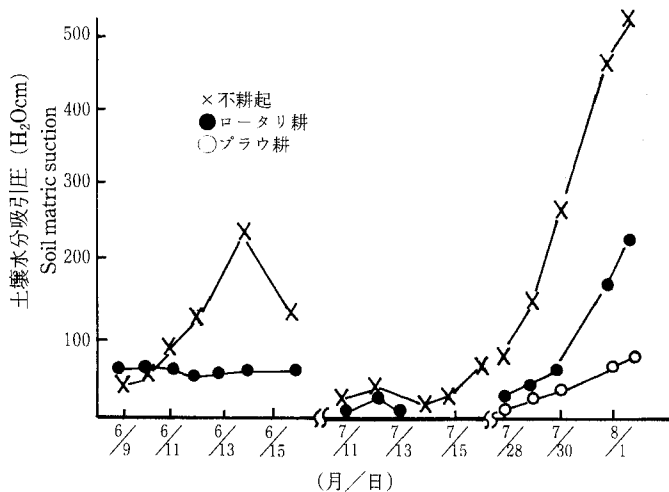


図-5 土壌水分吸引圧の変化(深さ5 cm)  
Soil matric suction (5 cm in depth)

表-7 耕起方法によるインタークレートの違い(1988.11)  
Effect of tillage method on intake-rate

耕起方法	前作オオムギの有無		インタークレート定数		I <sub>60</sub> (mm/hr) 60分後の浸入速度
	有	無	c	n	
耕起	無	し	1.7	0.62	12
	有	り	1.0	0.65	92
不耕起	無	し	2.4	0.67	252
	有	り	4.2	0.57	242

不耕起播種区は、下層および表層の吸収が耕起区よりもまきり、それらは根の分布と一致した。

不耕起による固相率の増加が、根の伸長を妨げるかどうかは、亀裂の存在と密接に関係すると考えられる。例えば、たまねぎの不耕起栽培では、根は浅く広がるが、亀裂に沿って深く伸びたという報告がある<sup>1)</sup>。不耕起播種区のダイズの根は、これと同様な分布を示した。乾燥により下層土に収縮亀裂が発生する重粘土では、不耕起条件でも根が深く伸長すると考えることができる<sup>17)</sup>。また、根の表層及び下層の分布割合は、その年の降雨条件で変化すると思われる。比較的雨の多かった1987年には、不耕起播種ダイズは表層に健全な根を密生しており、

イズ収穫時の引抜きに大きな力を要した。

(5) ダイズの生育、収量

4年間の収量を表-8に示した。各年とも不耕起播種区の収量が耕起区よりもまきり、4年間の収量の平均値を基にして、耕起区に対する不耕起播種区平均収量の指数を計算すると112であった。ただし、耕起区との収量差と降雨量(図-8)との間に明瞭な傾向は見られなかった。収量構成要素では1986年の試験を除いて、不耕起播種区で莢数の増加がみられ、生育の特徴では、不耕起播種区で莢太、百粒重がまきる年が多かった。

以上のように、低湿重粘土においてはダイズの不耕起播種が大きなメリットを有することが明らかになった。

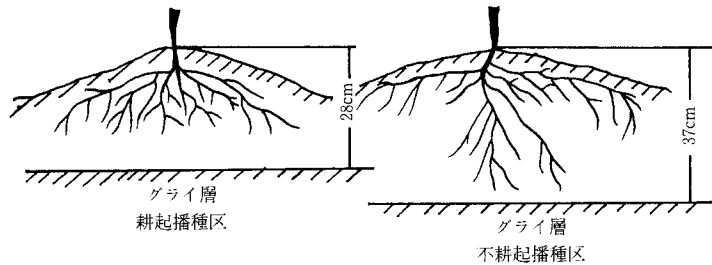


図-6 ダイズの根の分布  
Effect of tillage on the root system of soybean

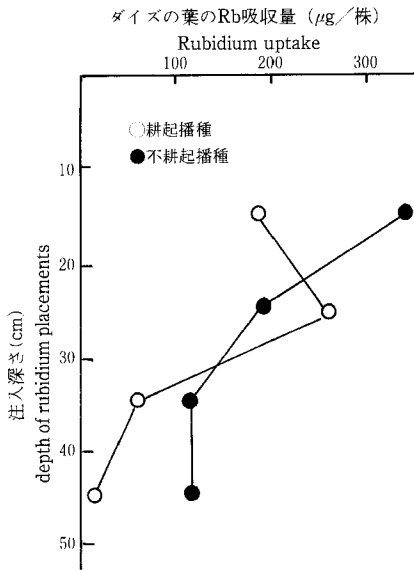


図-7 Rb注入深さとダイズの葉のRbの吸収量  
Rubidium uptake of soybean from various rubidium placement

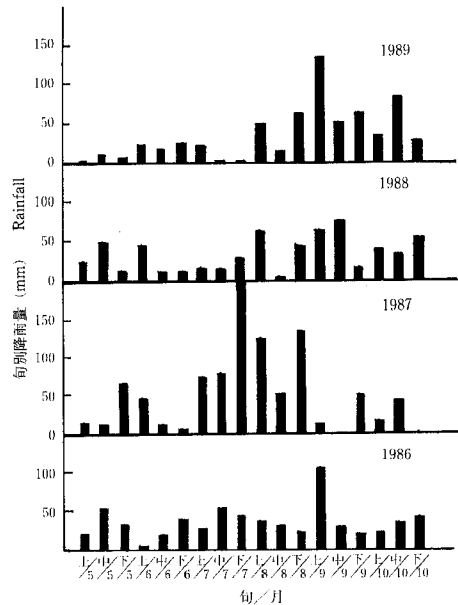


図-8 八郎潟干拓地の旬別降雨量(1986~1989)  
Rainfall of each ten days of a month at Hachirogata location

表-8 不耕起および耕起播種におけるダイズの収量 (1986-1989)  
Effect of tillage method on soybean yield

圃場	試験年度	播種方法	前作ムギ	播種日と品種	主茎長cm	茎太mm	分枝数	百粒重g	英数個/m <sup>2</sup>	収量kg/10a
場内試験圃場	1986	耕起	無	6/4	58.9	6.4	5.3	21.5	618	239
		不耕起	無	①	58.0	7.2	6.2	25.4	558	272
	1988	耕起	有	6/28	68.2	6.4	4.8	20.5	613	273
		不耕起	有	②	67.4	6.8	4.2	24.8	641	320
	1989	耕起	無	6/28	79.7	7.9	2.9	24.6	428	235
		不耕起	無	②	73.3	8.8	3.6	24.1	486	254
現地試験圃場	1987	耕起	有	6/25	69.2	6.9	4.1	23.5	436	257
		不耕起	有	③	74.9	7.5	3.9	24.2	446	281
	1988	耕起	有	7/2	89.3	7.0	4.9	20.9	588	243
		不耕起	有	④	83.0	7.4	5.0	20.7	645	266
	1989	耕起	有	7/1	96.5	8.2	3.6	23.2	398	183
		不耕起	有	④	83.2	8.4	3.3	23.2	490	239

供試品種：①シロセンナリ②東北89号③ライデン④スズユタカ

#### 4) 低湿重粘土畑輪換における好敵な耕起体系と今後の課題

1987年度のダイズ不耕起播種試験は、水稻立毛間にコムギを播種した跡の現地農家圃場で行なったものであるが、慣行耕起区よりダイズ収量がまさった。水稻部分耕移植→コムギ→ダイズ不耕起という技術体系が可能であると考えられる。このことから、水稻部分耕移植は水稻栽培期間から畑期間へ移るときの良好な方策として位置付けることができる。これによる物理性の改善効果は、収量の面だけでなく、作物の切替時の機械作業性や適期播種作業にも及ぶ。また、作業工程を省略したダイズ不耕起播種を行なっても収量が低下しないことから、この播種方法は作期の競合緩和に有効で、オオムギーダイズ作の限界地帯である八郎瀧干拓地ではダイズの播種を遅らせないために有効な技術となり得ると期待される。

不耕起栽培の継続性については、水稻作では、不耕起乾田直播、不整地植え<sup>3)</sup>の試験を参考にして考えると、4～5年は収量の大きな低下はないといえる。しかし、長期的な連続不耕起栽培を完成させることよりも、耕起も組入れて大きな面積を対象とする機械装備の軽量化、能率の向上による規模拡大が狙うべき方向であると考えられる。

#### 4. 要 約

低湿重粘土水田の汎用化を図るに当って、耕起方法を輪換田、輪換畑土壌の物理性に及ぼす影響を明らかにし

た。

- 1) 水稻の部分耕移植栽培では、前作の稲わらを作土全体にすぎ込まないので、作土は酸化的な状態に維持された。2年間の収量は、側条施肥と組合せると慣行栽培と同等であった。
- 2) 部分耕移植区的水稻収穫後のインタークレートが、耕起・代かきを行なった慣行区よりも大きく、排水性がまさった。また、慣行区よりも土壌硬度が大きく、刈り取り適期にはコンバインによる収穫作業がいつでも可能な地耐力であった。
- 3) 部分耕移植跡は、慣行の耕起、代かきを行なった試験区よりも碎土率が大きかった。また、そこでは排水性が良く、コムギの生育、収量もまさった。このことから水稻の部分耕移植栽培は、輪換畑期間への移行前に土壌物理性を改善する水稻の栽培方法として有効であった。
- 4) 碎土率の向上が困難な低湿重粘土においては、ダイズ不耕起播種は、土壌が乾燥した条件でもV字型の溝に精度よく播種することで、種子と土壌の接触が良好となり、出芽が早く、苗立率もよかった。
- 5) ダイズを不耕起播種した輪換畑土壌では、作土の固相率が大きく、土壌硬度がまさった。不耕起播種ダイズの根は表層に多く分布したが、亀裂に沿って伸長することで、それは下層にも慣行区よりも多く分布した。土層の深さ別のルビジュウムの吸収からも同じ結果が得られた。
- 6) 4年間のダイズの収量は、不耕起播種区が慣行区を

やや上回った。

7) 低湿重粘土汎用水田において、輪換畑初年日の土壌の物理性を改善し、ムギ、ダイズの安定収量確保を図る上では、耕起方法を簡略化した水稲の部分耕移植、ダイズ不耕起播種が有効であることが明らかとなった。

#### 引用文献

- 1) 秋田史郎：第1報水田裏作におけるたまねぎの部分耕浅耕栽培試験，岡山県農試臨時報告，60，60-76 (1963)
- 2) 泉清一ら：水田の耕起法に関する研究，第1報：二毛作田における簡易耕起法，関東東山農試研報，12，1-12 (1959)
- 3) 泉清一ら：水田の耕起法に関する研究，第2報：水稲の不整地植法について：関東東山農試研報，16，97-116 (1960)
- 4) 金子淳一：八郎潟干拓地へドロにおける機械適応性の向上と耕地化過程に関する研究，秋田農試研究報告，22，63-148 (1977)
- 5) 金田吉弘，長野間宏，山谷正治：部分耕移植栽培における水稲の施肥窒素の吸収と効率的施肥，東北農業研究，43 (印刷中)
- 6) 川口桂三郎・喜田大三：児島湾干拓地水田における耐水性粒団の発達過程—水田土壌中における理化学的組成の局部化作用，土肥誌，28，153-156 (1957)
- 7) 小林甲喜・石田喜久男：菜種多株穴播栽培に関する研究，岡山県農試臨時報告，60，77-109 (1963)
- 8) 小林甲喜：ダイズの不耕起穴播栽培法，岡山農試時報，54，69-74 (1972)
- 9) 久保田收治・大森正：水稲畦型栽培の土壌肥料的検討，岡山県農試臨時報告，56，25-60 (1957)
- 10) Hargrove W. L.; Influence of tillage on nutrient uptake and yield of corn, *Agron. J.*, 77, 763-768 (1985)
- 11) 三浦昌次：八郎潟干拓地土壌の理化学的特性と作物生育に関する研究，秋田農試研究報告，26，85-190 (1984)
- 12) 中野啓三：低湿重粘土水田の畑転換に伴う土壌物理性の推移，北陸農試報，21，63-94 (1978)
- 13) 長野間宏・諸遊英行：土壌の微細構造からみた畑地土壌化指数，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；研究成果集報 NO 1, 46-53 (1983)
- 14) 長野間宏・岡崎紘一郎・吉田堯・高橋均：大豆不耕起播種機の開発，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；研究成果集報 NO 2, 161-168 (1989)
- 15) 大型機械化に伴う水田基盤整備に関する研究，農林水産技術会議事務局：研究成果40, 359-364 (1969)
- 16) 能登谷智利・江口彰・人見進：稲麦循環機械化栽培及び循環栽培方栽培法の実験的研究，岡山県農試臨時報告，60，1-60 (1963)
- 17) SCOTT, R. R. (田中典幸訳) 作物の根系と土壌，農文協，329-356 (1981)
- 18) 山川秀人ら：大豆不耕起播種機の高精度化，農業技術，43，267-272 (1988)
- 19) 吉田堯・持田秀之・奥田実行：晩播大豆の初期生育促進と不耕起栽培，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，成果集報，No 1, 100-107 (1983)

#### Summary

In the rice/non-rice cropping systems on heavy paddy soil, adequate drainage, pulverizability, and trafficability during the non-rice phase are necessary. Effects of tillage method on physical properties of heavy paddy soil were investigated.

In anticipation of conversion of puddled ricefield to non-rice cropping, it is desirable that land preparation for the final rice crop should not destroy all soil structure. One non-puddling land preparation method is to rotovate only those strips of soil along which rice shall be transplanted. The grain yield of rice using this method was equal to that from conventional puddling. After rice harvest, permeability of strip-tilled soil was higher than that of puddled soil and rotovation was relatively easy. Seedling-emergence rate for a succeeding wheat crop and the yield thereof was higher than from soil previously puddled.

In studies of wheat-soybean systems on heavy clay soil, emergence, rooting and yield of soybean were higher with non-tillage than with conventional tillage.

In rice-wheat-soybean sequences on heavy clay soil, the suitable tillage methods gave high production.

(Soil Phys. Cond. Plant Growth, Jpn., 62, 43-52, 1991)

解	説
---	---

## サイクロメータによる土壌水のポテンシャル測定

塩 沢 昌\*

Soil Water Potential Measurement Using Psychrometers

Sho SHIOZAWA

Faculty of Agriculture, The University of Tokyo

## はじめに

土壌水のポテンシャルは土壌水の存在状態を表わし、土中の水移動と植物の吸水のしやすさ、その他、土の様々な性質にかかわるので、これを測定することは土壌の物理的測定のなかで基本的なものである。また、マトリックポテンシャルと含水量との関係である水分特性曲線は、土の物理的性質の最も重要なものである。現場でのマトリックポテンシャルの測定は、比較的水分の多い領域ではテンジョメータで測定され、 $-15 \text{ bar}$  ( $\text{pF } 4.2$ ) までの水分特性曲線は吸引法や加圧板法で測定できる。これに対して、 $-1 \text{ bar}$  ( $\text{pF } 3$ ) 以下の水分の少ない領域のポテンシャルを測定する方法として現在、最も適切な方法は、少なくとも実験室における測定法としては、サイクロメータ法であると言ってよい。

サイクロメータ(註)は試料の水ポテンシャルを、これと平衡状態にある空気の相対湿度を測定して求めるものである。しかし、この相対湿度は、植物の永久しおれ点とされる $-15 \text{ bar}$ でも約0.99でほとんど飽和であり、この程度またはこれ以上の水分領域で水ポテンシャルを求めるには、きわめて精度の高い相対湿度の測定が必要である。そのために、これまで相対湿度の測定精度と信頼性を高めるために、測定原理とともにサイクロメータの構造、材質、電気回路などに多くの工夫と改良がなされてきた。この結果、今日のサイクロメータは、比較的乾いた土壌、植物、食品等の水ポテンシャル(または平衡相対湿度=水分活性)を測定する方法として、正確か

つ迅速で、実用性の高い方法になっている。

土壌、および植物の水ポテンシャル測定用に1970年代のはじめに最初に米国で市販されたサイクロメータはWescor社のSample Chamber C-51(今日では改良型のC-52)で、我国へは高倉<sup>7)</sup>が紹介し、岩間<sup>9)</sup>が土壌の水ポテンシャル測定に用いた報告をしている。このサイクロメータは、おもに葉の水ポテンシャル測定に広く使われている。その後、1980年代の半ばにDecagon Device社が土壌、植物、食品を対象にしたサイクロメータSC-10AとナノボルトメータNT-3を製品化した。これはWescor社のものに比べ、試料サイズが大きく、多数の試料の連続測定ができ、測定できるポテンシャル範囲が広く安定しているなど、土壌用に適したものである。さらにDecagon社は1988年に土壌、食品用に全自動化されたCX-1を製品化している。Decagon社の製品は何れもワシントン州立大学のG.S.Campbell教授の設計によるものであり、Wescor社のサイクロメータとマイクロボルトメータ(HR-33T)もCampbell教授と弟のE.C.Campbellらが設計したものである。WescorもDecagonも彼らの会社で、米国でのサイクロメータの実用化(製品化)は彼らによって進められてきたのである。

本論ではDecagon社の製品を中心に、土壌用サイクロメータの原理、装置、測定上の注意点を述べ、水分特性曲線の測定例を示す。

## 1. 測定の原理

土壌水のポテンシャルエネルギー $\Psi$ と相対湿度 $p/p_0$ との間には次の関係がある。

$$\Psi = (RT/M) \ln (p/p_0) \quad (1)$$

ここに $\Psi$ は土中水の単位質量当りのポテンシャル( $\text{Jkg}^{-1}$ )、 $M$ は水の分子量( $0.018 \text{ Kg mol}^{-1}$ )、 $R$ は気体定数( $8.31 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$ )、 $T$ は絶対温度、 $p$ と $p_0$ は水蒸

註) 岩間が指摘しているように<sup>9)</sup>、英語のpsychrometerは乾湿球湿度計に対して用いられ、露点測定による湿度計にはdew point hygrometerが用いられている。しかし本論の中では、広く湿度測定で試料の水ポテンシャル(または水分活性)を測定する装置を「サイクロメータ」、方法を「サイクロメータ法」と呼んでいる。

\* 東京大学農学部 〒113 文京区弥生1-1-1  
土壌の物理性 第62号 p.53~61 (1991)

気圧と試料の温度における飽和水蒸気圧である。(1)式によれば、20℃、相対湿度0.99において $-1360 \text{ Jkg}^{-1}$  ( $-13.6 \text{ bar}$ )であり、植物が生育できる程度のポテンシャルでは、ほとんど0.99以上である。 $p/p_0$ が1に近いとき、(1)式は次式で近似できる。

$$\Psi = (RT/M) ((p/p_0) - 1) \quad (2)$$

水分ポテンシャル測定のためのサイクロメータは、小さなチャンパーの中に試料を入れ、平衡状態でチャンパー内の相対湿度を測定するものであるが、ほとんどのものは、非常に細い熱電対の接点を湿球として、試料チャンパー本体との温度差を測定するので、熱電対サイクロメータ (thermocouple psychrometer) と呼ばれる。

一般に、相対湿度を測定する原理は2つある。一つは湿球の温度低下を測定することであり、本論で紹介するSC-10Aはこのタイプの装置である。この方法では普通、事前にポテンシャルのわかっている塩溶液を使って出力電圧とのキャリブレーションの測定を行い、装置の特性を表す定数を決めておく。チャンパー内の熱電対接点に純水を付ける方法には、熱電対に電流を流し、ペルティエ効果で接点を露点まで冷却し、水蒸気を凝縮させる方法 (Spanner 形) と、接点を測定の前に純水に浸して附着させる方法 (Richards 形) がある。相対湿度を求めるもう一つの方法は露点温度を測定し、これと試料温度から相対湿度を求める方法である。この場合、露点を正確に求めるために制御回路や特別な装置が必要である。例えば Wescor 社の dew point microvoltmeter (HR-33 T) は時分割回路によって熱電対の温度降下に比例した冷却を与え、熱電対を露点に保つことができるようになっている。本論で紹介するCX-1も露点を求める方式である。

熱電対サイクロメータを単純化したモデルとして、図1 aのように内壁を測定対象 (ある均一なポテンシャル、温度の土) で囲まれた空間内に湿球が存在する配置を考える。壁面の近傍の空気の相対湿度は土壌水のポテンシャルと平衡している。湿球近傍の空気は飽和水蒸気圧になるので、湿球から壁面に向かう水蒸気の拡散が生じ、湿球は蒸発によって潜熱を奪われて温度が低下する。一方、湿球の温度低下によって、壁面から湿球に向かう熱流が生じ、湿球の温度は、蒸発によって奪われる潜熱と温度差によって流入する顕熱が釣り合う温度で平衡する。上のポテンシャルが低いほど蒸発速度が大きく、湿球の温度低下は大きくなる。

湿球への熱伝達は、放射、空気の伝導と対流、熱電対ワイヤーの伝導からなる。内径が1 cm程度の閉鎖空間では空気の伝導に比べて対流は無視でき、熱電対の伝導はワイヤーを細くすることで小さくできる。熱伝達が空気中の伝導だけで生じると仮定すると、図1 aのような湿球の周囲の全面に試料が存在する配置では、チャンパーと湿球の大きさや形は、空気中の水蒸気拡散に対しても熱伝導に対しても、全く同じ効果をもつので、湿球の温度低下はチャンパーや湿球の大きさや形の影響を受けず、試料のポテンシャルだけで決まり、試料のポテンシャル (相対湿度) と湿球の温度低下との関係は理論的に決まる。このようなサイクロメータは「理想的サイクロメータ」と呼ばれる<sup>1)</sup>。

実際のサイクロメータでは、試料はチャンパー壁面の全面を覆っていないので (図1 b)、熱流は湿球を囲む全方向から湿球に向かうにもかかわらず、水蒸気の吸収は試料の存在部分に限られる。したがってサイクロメータ感度はチャンパー、試料、湿球の大きさ、形、配置に依存する。そこでポテンシャルの分かっている溶液を使っ

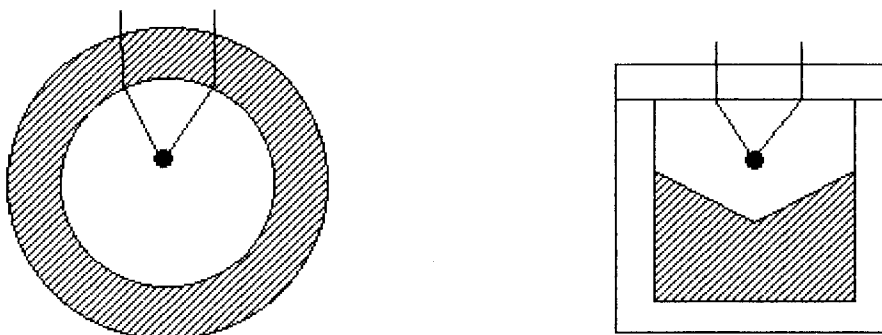


図-1 a 理想的サイクロメータ  
Ideal psychrometer

b 実際のサイクロメータ  
Actual psychrometer

て測定を行ない、上述のようなサイクロメータの個性に依存する部分を、サイクロメータ定数として決めることによって正確な測定が可能となる。キャリブレーションの測定では、塩溶液を濾紙に吸わせるなど、なるべく試料があるときと同じ配置にする。

湿球の熱収支を考えると、試料表面の水蒸気圧  $p$  と湿球表面の水蒸気圧 (湿球温度における飽和水蒸気圧)  $p_{ow}$  の差と、湿球の温度低下  $\Delta T$  との関係は次式で与えられる。

$$p_{ow} - p = \gamma^* \Delta T \quad (3)$$

ここに、 $\gamma^*$  は見かけのサイクロメータ定数であり、 $\gamma^* = \gamma r_v / r_{HR}$ 。ただし  $\gamma$  は熱力学的サイクロメータ定数 (0.067 kPa/K),  $r_v$  は水蒸気に対する移動抵抗,  $r_{HR}$  は顕熱および放射の熱移動抵抗である。理想的サイクロメータでは  $r_v = r_{HR}$  であり、 $\gamma^* = \gamma$  である。また、チャンパーの温度 (試料の温度) を  $T_d$ , 湿球の温度を  $T_w$  とすると、

$$\Delta T = T_d - T_w \quad (4)$$

である。飽和水蒸気圧-温度曲線 (図2) の  $\Delta T$  区間の平均勾配を  $s$  として

$$p_o - p_{ow} = s \Delta T \quad (5)$$

(5) 式と (3) 式より

$$\begin{aligned} p/p_o &= 1 - [(s + \gamma^*)/p_o] \Delta T \\ &= 1 - c \Delta T \end{aligned} \quad (6)$$

第二式は第一式の [ ] 内を  $c$  とおいたものであるが、 $c$  は湿球の温度低下 1 K あたりの相対湿度の低下量、すなわちサイクロメータの感度を与える。とくに  $s$  と  $p_o$  は温度に強く依存するので、 $c$  は温度に依存する。(6) 式によって、サイクロメータ感度の温度依存性を計算できる<sup>3,5)</sup>。

飽和水蒸気圧  $p_o$  は温度の関数として次の近似式で計算できる<sup>5)</sup>。

$$\begin{aligned} p_o(T) &= \exp(52.57633 - 6790.4985/T \\ &\quad - 5.02808 \ln(T)) \end{aligned} \quad (7)$$

ここに  $p_o$  の単位は kPa (1/100 bar),  $T$  は絶対温度である。勾配  $s$  も (7) 式から計算できる。

$$s = (p_o(T_d) - p_o(T_w)) / \Delta T \quad (8)$$

293 K において、 $p_o = 2.32$  kPa,  $s = 0.143$  kPa/K であり、理想的サイクロメータの感度  $c$  は  $0.091 \text{ K}^{-1}$  となる。

相対湿度が 1 に近いところでは、 $\Delta T$  が小さいので、 $s$  および  $c$  を  $\Delta T$  によらない定数とみなすことができる。この場合、さらに (6) 式を (2) 式に代入すると、

$$\Psi = -(RT/M)c \Delta T \quad (9)$$

となり、水ポテンシャルは  $\Delta T$  に比例する。

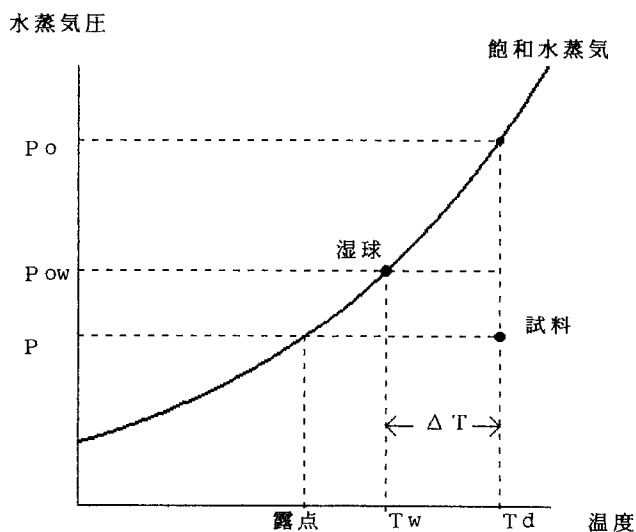


図-2 飽和水蒸気圧-温度曲線  
Saturate water vapor pressure vs. temperature

## 2. 装置

ここでは、実験室用のサイクロメータとして市販のもののうち、土壌用として実用性が高いと思われる SC-

10A と CX-1 について述べる。製造者と価格は表 1 に示した。SC-10A は熱電対サイクロメータであり、CX-1 は露点測定形のものである。

表 1. 製品と製造者

	熱電対サイクロメータ Thermocouple psychrometer sample changer	ナノボルトメータ Nanovoltmeter -thermometer	露点サイクロメータ Water activity system
品番	SC-10A	NT-3	CX-1
価格 (US price)	\$1285	\$785	\$3985
製造	DECAGON DIVICE INC.		
住所	P.O. box 835, Pullman, WA 99163, USA		

### (1) SC-10A

これは Sample Changer Psychrometer と呼ばれており、ステンレスの試料容器に 1 cc 程度の試料を詰めて、これを装置にセットし、熱的に平衡させ、チャンバーの温度 (= 試料の温度) と湿球の温度の差を測定する。装置全体は、周囲の温度変動に対して内部の温度を安定にし、しかも内部の温度分布が小さくなるように、ぶ厚いアルミニウムでできている。9 個の試料容器を同心円状に同時に入れて、中央のノブで回転できる。一つの位置の上部に熱電対があって、ピストンレバーを持ち上げるとこの位置の試料容器の中に熱電対が密閉されて測定を行なうことができる。この回転装置の一方所に純水を乗せた容器を入れて、熱電対接点を濡らすことができる。熱電対接点は小さなセラミックで包まれており、接点表面に十分な水分を均一に保持できることが精度の高い測定を可能にしている。

### (2) NT-3

熱電対の出力電力の測定は、サイクロメータ用に作られたナノボルトメータ NT-3 で行なう。NT-3 は 3 桁のデジタル表示で、高感度モードでは 0.1 マイクロボルトの感度である。これは、SC-10A のクロメルコンスタンタン熱電対 (60 マイクロボルト/°C) で 0.0017°C の温度差を測定できる感度であり、ポテンシャルで約 10 kPa (0.1 bar) に相当する。またチャンバーの温度を 0.1°C の精度で測定できる。熱電対に冷却電流を与えるモードも備えており、Spanner 型のサイクロメータに対しても使用できる。

### (3) CX-1

これは Water Activity System と呼ばれる最新の自動露点サイクロメータである。チャンパー内で空気をファンで循環させながら、小さなミラーをペルティエ効果で冷却し、フォトセンサーで光の反射から結露を感知する。マイクロコンピュータ制御で、露点付近でミラーの冷却の ON-OFF を繰り返しながら、正確な露点温度を求められるようにプログラムされている。試料温度の方は、赤外線温度計で表面温度を直接測定するようになっているので試料とチャンパーの熱平衡をとる必要がない。計測は全て自動化されており、試料を装置にいれてスイッチをひねるだけで、数分で試料の相対湿度 (水分活性) が 3 桁で表示される。キャリブレーションもいらず、とくに注意すべきこともない。相対湿度の精度は 0.003 で、0.97 (ポテンシャル 40 bar) 以下の乾燥領域の測定に適している。試料は直径 3.8 cm の平たい樹脂容器に入れる。塩溶液を入れて測定すれば溶液の相対湿度 (浸透ポテンシャル) を知ることができる。

## 3. キャリブレーション

SC-10A のような熱電対サイクロメータは、まずサイクロメータ定数  $\gamma^*$  を決める必要がある。 $\gamma^*$  は相対湿度 (水分活性) のわかっている塩溶液を測定して求めることができる。低ポテンシャルのキャリブレーションには飽和塩溶液を使えばよい。測定した  $\Delta T$ , Td と溶液の  $p/p_o$  から、(4) (6) (7) (8) 式を使って  $\gamma^*$  を計算する。

たとえば、NaCl の飽和溶液 (相対湿度 0.755) を測



定した時のナノボルトメータの読みが $182 \mu\text{V}$ で、チャンバーの温度が $24^\circ\text{C}$  ( $T_d = 277.15 \text{ K}$ )であったとしよう。このとき、熱電対の感度は $60 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$ なので、湿球の温度低下は

$$\Delta T = 182 / 60 = 3.04 \text{ (K)}$$

(6) 式の  $c$  は

$$c = (1 - 0.755) / 3.04 = 0.0806 \text{ (K}^{-1}\text{)}$$

湿球温度は  $T_w = 277.15 - 3.04 = 274.01 \text{ (K)}$

(7) 式から

$$p_o(T_d) = 2.984, \quad p_o(T_w) = 2.481 \text{ (kPa)}$$

(8) 式から

$$s = (2.984 - 2.481) / 3.04 = 0.165 \text{ (kPaK}^{-1}\text{)}$$

これより、

$$\begin{aligned} \gamma^* &= c p_o(T_w) - s \\ &= 0.0806 \times 2.984 - 0.165 = 0.076 \text{ (kPaK}^{-1}\text{)} \end{aligned}$$

ひとつの溶液で  $\gamma^*$  を決めることができるが、いくつかの溶液で測定して平均する方が信頼性が高いであろう。溶液の相対湿度と出力電圧の関係は図3のようになる。図3は  $\text{KCl}$ ,  $\text{NaCl}$ ,  $\text{K}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{MgCl}_2$ ,  $\text{LiCl}$  の飽和溶液を使って作ったものであるが、2次曲線でよく表される。この関係は(6)式で与えられるが、直線でないのは  $\Delta T$  の増加とともに  $s$  が小さくなり、 $c$  が一定ではないためである。

高い相対湿度(約0.96まで)でキャリブレーションを行なうときは、濃度を変えた  $\text{KCl}$  や  $\text{NaCl}$  の溶液を使えばよい。 $\text{KCl}$  の濃度および温度と相対湿度(ポテン

シャル)との関係は文献2に表になっている。高ポテンシャルでは、(6)式の  $s$  および  $c$  は  $\Delta T$  によらない定数とみなせるので、 $p/p_o$  と  $\Delta T$  は比例関係である。さらに近似式(9)が成立するので水ポテンシャルと出力電力も比例関係となる。図4は  $\text{KCl}$  溶液を使ってこれを確かめたものである。出力電圧に対するポテンシャルの感度は約  $200 \text{ J/kg}/\mu\text{V}$  ( $2 \text{ bar}/\mu\text{V}$ ) である。

$\text{SC-10 A}$  と理想的サイクロメータの  $\gamma^*$  のずれは15%程度であり、 $c$  については5%程度になる。つまり、キャリブレーションなしに  $\gamma^*$  に  $\gamma$  を使っても、これによる誤差は5%程度であり、キャリブレーションで  $\gamma^*$  を決めれば装置の特性による誤差を十分小さくできる。

#### 4. 測定の手順 (SC-10 A)

試料は附属の棒を使って図1bのようにすり鉢状に詰める。容器上部は湿球用の空間を開ける。これを装置にいった後、試料チャンバーの温度を均一にするため、20~30分置く。湿球に純水を付け、試料を順番に、熱電対の位置で持ち上げて測定状態にする。出力電圧(湿球温度低下)がほぼ一定になったところで読み取り、チャンバーの温度も同時に記録する。試料のポテンシャルが低いときには湿球からの蒸発速度が大きく、出力電圧が一定になるまでの時間は短い。飽和に近いときは5~6分かかる。一つの試料が終わったらチャンバーを回転させて次の試料をセットし、最後に試料容器を取り出し

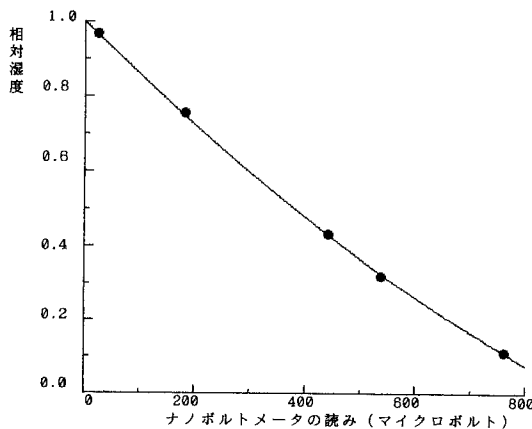


図-3 出力電圧と溶液の相対湿度の関係  
(飽和塩溶液)  
 $\mu\text{V}$ -meter output vs. relative humidity for saturate solutions

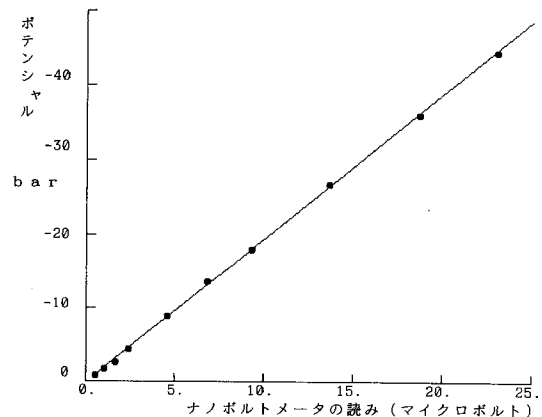


図-4 出力電圧と溶液のポテンシャルの関係  
( $\text{KCl}$ 溶液)  
 $\mu\text{V}$ -meter output vs. relative humidity for  $\text{KCl}$  solutions

て重量を測定し、炉乾燥して含水量を求める。

測定された  $\Delta T$  と  $T_d$  から、(4) (6) (7) (8) 式を使って  $p/p_0$  を計算できる。まず、(4) 式で  $T_w$  を求め、(7) 式によって  $p_0(T_d)$  と  $p_0(T_w)$  を計算し、(8) 式で  $s$  を求め、(6) 式で  $p/p_0$  を求める。 $r^*$  が求めてあれば (6) 式が使えるので、キャリブレーションと温度が違ってもキャリブレーションをやり直す必要はない。

## 5. 測定誤差と注意点 (SC-10A)

熱電対サイクロメータでのポテンシャル測定は、試料と湿球との微小な温度差を測定するもので、試料-容器壁面の温度が均一であることが前提条件である。したがって、また、測定誤差を生む大きな原因はチャンパー内の温度差である。本来測定したいのは試料の表面温度と湿球温度の差であるが、実際に測定されるのは熱電対ワイヤーのチャンパーとの付け根の温度と湿球との温度差であり、この部分と試料との間に温度差があれば測定誤差となる。試料-チャンパー内に温度分布ができる原因は外界の温度変化が伝わることによる。したがって、測定を行なう上で最も重要なのは装置が置かれる温度環境である。筆者の経験では、数分~1時間程度の周期の室内の温度変化が最も大きく影響する。たとえば、数分~1時間程度の間隔で冷暖房器が ON・OFF するような通常の恒温室は、大きな温度変動がサイクロメータ内に伝わるので、測定環境としては最悪である。空調機器の ON・OFF がなく、なるべく温度変化の小さい室内（曇った日や夜間）がよい。精度のよい測定には、常時一定温度の空気を流している恒温チャンパー内にサイクロメータを置くか、またはチャンパー全体を断熱材で覆うのがよい。測定時のチャンパーの温度を測定していれば、いつも同じ温度で測定する必要はない。温度環境が適切であるかどうかは、熱電対接点が乾いた状態で、試料容器に試料を入れずに測定し、出力電圧がほとんどゼロで一定していることで確かめられる。

試料容器壁面に、試料以外の、チャンパー内の水蒸気圧に影響するような水蒸気の吸着（または放出）物質が付着していれば誤差を生む。このような物質の一つは容器の汚れである。容器はよく洗浄し、時々、金属用の洗剤で磨くとよい。また試料を不必要に長時間チャンパー内に放置すべきではない。

湿球の汚れは重大な誤差を生む。湿球は純水以外のものに接触させてはいけない。試料容器に試料を入れすぎると、湿球に接触してしまうので注意が必要である。湿

球が汚染されたときには純水でよく洗い流す。

SC-10A の精度は普通に注意深く測定して 10~20 J/kg (100~200 cm 水頭) 程度であり、-1 bar 以下の水分量領域の測定に適している。低ポテンシャル側は相対湿度で 0.1 (約-3000 bar) までは測定できる。

## 6. 浸透ポテンシャルの分離

サイクロメータで測定されるのは、トータルポテンシャル（すなわち、等温の純水を基準とする土壌水の化学ポテンシャル低下量）であり、マトリックポテンシャル成分と浸透ポテンシャル成分を含むものである。水分特性曲線を測定するような場合、必要なのは含水量とマトリックポテンシャルとの関係であるから、測定されるトータルポテンシャルから浸透ポテンシャルを差し引く必要がある。浸透ポテンシャルは、飽和抽出した土壌溶液のポテンシャルから含水量を考慮して推定することができる。飽和抽出溶液の濃度は、サイクロメータでポテンシャルを測定するには濃度が薄すぎるので、電気伝導度を測定してその浸透ポテンシャルを推定する。

試料に適当な量の純水を加えて（加えた質量を測定する）飽和にしてよくこね、濾紙の上に置いてサッカーで減圧して溶液を抽出し、この溶液の電気伝導度を伝導度計で測定する。多くの土壌溶液に対して、電気伝導度 EC と浸透ポテンシャルとの関係は次式でおおよそ与えられる。

$$\Psi_{OS} = -36 \text{ EC} \quad (9)$$

ここに  $\Psi_{OS}$  は抽出溶液の浸透ポテンシャルで  $\text{J kg}^{-1}$ 、EC は  $\text{dSm}^{-1}$  ( $\text{mmho cm}^{-1}$ ) である。求めたい含水量  $\theta$  における浸透ポテンシャル  $\Psi_0$  と含水量  $\theta_s$  において抽出した溶液の浸透ポテンシャル  $\Psi_{OS}$  との関係は次式で近似できる。

$$\Psi_0 = \Psi_{OS} (\theta_s / \theta) \quad (10)$$

低ポテンシャルの土（乾いた土）ではマトリックポテンシャルに比べて浸透ポテンシャルは小さいが、高ポテンシャルの上ではトータルポテンシャルに占める浸透ポテンシャルの割合が大きく、無視できない場合がある。水分特性曲線を求める場合、吸引法や加圧板法で測定するときのポテンシャルはマトリックポテンシャルであり、加圧板法とサイクロメータ法の測定値のずれは浸透ポテンシャルによって生じることに注意する必要がある。

## 7. 水分特性曲線の測定例

SC-10A および CX-1 を使って測定した水分特性曲線の例を図5に示す。図5は水分特性曲線の測定例である。2つの試料はいずれも米国ワシントン州のものである。飽和から-0.1 bar までを吸引法で、-5 bar までを加圧板法で測定し、-2 bar 以下を SC-10A で測定し、-100 bar 以下は CX-1 も使った。サイクロメータによる場合は、いろいろな水分量に調節した試料を作ってポテンシャルを測定し、その後、試料を炉乾燥して含水量を求めた。サイクロメータで測定したポテンシャルは、浸透ポテンシャルを差し引いてマトリックポテンシャルを求めてある。図6は、低ポテンシャルの曲線の形をよくみるために含水比軸も対数スケールにしたものである。

SC-10A によるデータは-2 bar 以下については加圧板法のデータとよく一致しており、SC-10A と CX-1 の測定もよく合っている。

## 8. 地中サイクロメータ

これまで実験室用のサイクロメータについて述べたが、現場で地中に埋め込む地中センサータイプも様々のもが試作されている。市販のものでは、Wescor 社のものを金木<sup>8)</sup>と岩間<sup>9)</sup>が本誌で紹介している。

地中サイクロメータ (in situ soil psychrometer/hygrometer) は、測定原理は実験室用のものと同様であるが、チャンバー内の相対湿度を周囲の土と平衡させなければならない。そのために、チャンバー壁面またはそ

の一部を素焼にして土壌水のポテンシャルと素焼内の水のポテンシャルを平衡させて測定するか、またはチャンバーに設けた穴を通して直接、土壌水のポテンシャルを測定するかいずれかである。後者では穴からチャンバー内に土が入らないようにステンレスや銀のスクリーンで穴を覆う。測定は、熱電対に冷却電流を与えて水分を凝縮させて湿球をつくり、温度測定に切り替えて湿球の温度低下を求めるか、または時分割冷却回路で露点を求めるかいずれかである。

温度勾配の大きい地中ではサイクロメータ内部に温度差が生じ、その影響の大きいことが最大の問題である。温度勾配の影響を最小にする地中サイクロメータの構造について、最近では Campbell<sup>3)</sup> や Brunini<sup>4)</sup> らがセンサーを試作して検討している。また Savage と Cass が野外用サイクロメータの総説<sup>6)</sup> のなかで地中サイクロメータの構造や材質について総括している。これらによると、次のような構造がよいとされている。

- 1) チャンバーはなるべく小さく、構造は温度勾配(鉛直方向)に対して対称である(温度勾配に対して熱電対と同位置に土に通じる穴や素焼がある)こと。
- 2) 熱電対の線は伝導を小さくするために、直径0.025 mm の場合、付け根から接点までの長さを3 mm 以上とすること。
- 3) チャンバーの材質は、チャンバー内の温度差を最小にするために熱伝導率の高い方がよいとする説と、土との温度差による蒸発・凝縮を防ぐために小さい方がよいという説がある。
- 4) 土の水ポテンシャルに素早く反応するためにシリンダー状のチャンバーの側面をステンレス等のスクリー

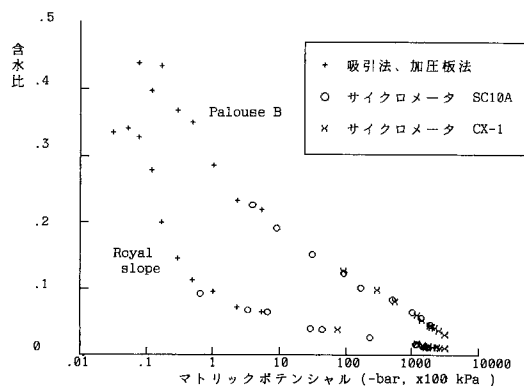


図-5 マトリックポテンシャルと含水比の関係  
Relations between water content and matric potential

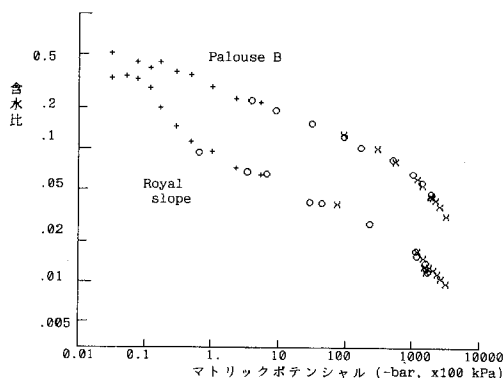


図-6 マトリックポテンシャルと含水比の関係  
Relations between water content and matric potential

ンとすること。

市販のものは必ずしもこのような条件を満たすものではない。上記の条件を考慮したサイクロメータとして、筆者がG.S.Campbell教授の指導の下で試作した地中サイクロメータの構造(断面)を図7に示す。チャンパーは円筒形でステンレス製の台とこれにねじ込む蓋から成る。台には直径1 mmの2本のエナメル被覆銅線を通し、銅の先端に直径約0.02 mmのクロメル線とコンスタンタン線を溶接した熱電対が取り付けられており、熱電対接点(湿球)と取り付け部の温度差が測定される。蓋の側面には軸対象に4つの穴を設け、その外側を0.01 mmメッシュのステンレススクリーンで覆ってある。リード線(銅線)をサイクロメータ用のナノ/マイクロボルトメータ(Decagon社のNT-3やWescor社のHR-33T,または自動測定ならばCampbell Scientific社のマイクロデータロガー/コントローラ21X)につないで測定ができる。

この種のサイクロメータを作るには、やっと目で見えるほど細い線を溶接してきれいな熱電対接点を作り、これを銅線の台に固定するのに高度のテクニックとノウハウが必要である。地中サイクロメータのキャリブレーションも塩溶液を使って行なうが、実際に測定が行なわれる地中でのキャリブレーションができない(難しい)という問題がある。これまで現場で用いられた長期の測定

の例は温度勾配の小さい深層以外ではほとんどなく、現状では、地中サイクロメータは採土試料を測定するサイクロメータほどに実用的ではない。

おわりに

ここで紹介したSC-10AとCX-1はよくできたサイクロメータである。SC-10Aは高水分でも精度の高い測定が可能で、測定範囲も広い。CX-1は高水分の測定は苦手であるが、低水分での信頼性は高く、試料をセットするだけだから、これ以上に簡単な測定はない。熱電対サイクロメータで信頼性の高い測定をするには、測定の原理と装置の構造をよく理解しておくことが不可欠であるが、この点SC-10Aのマニュアル<sup>5)</sup>は丁寧に書いてある。

我国の土壌物理ではサイクロメータ法はそれほど一般的でないが、欧米では水ポテンシャルの標準的な測定法になっていることが、例えば米国土壌学会(SSSA)の測定法マニュアル(文献1)を見るとよくわかる。水分特性曲線の測定では、サイクロメータを使うことによって、とくに乾燥領域の水分特性を比較的容易に詳しく調べることができるようになった。これによって、土粒子表面への水分吸着や保水について、知見が深まることが期待される。

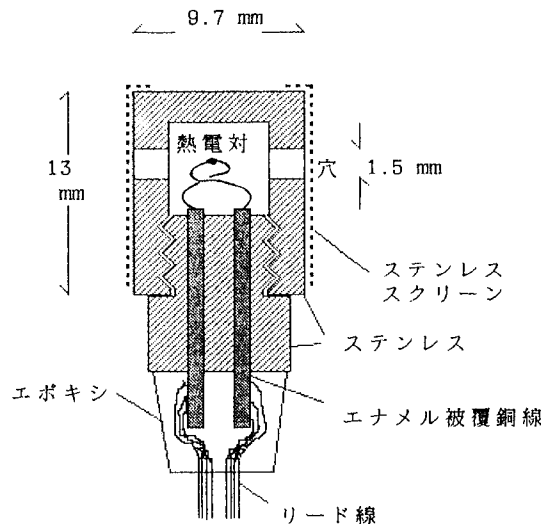


図-7 地中サイクロメータ  
In situ soil hygrometer

## 引用文献

- 1) Rawlins S.L. and G.S. Campbell. 1986. Water Potential: Thermocouple psychrometry. Method of soil analysis, part 1. Klute A. (ed.). Soil Sci. Soc. Am. Inc., 597-618
- 2) Campbell G.S. and W.H. Gardner. 1971. Psychrometric measurement of soil water potential: temperature and bulk density effects. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 35 : 8-12
- 3) Campbell G.S. 1979. Improved thermocouple psychrometer for measurement of soil water potential in a temperature gradient. J. Phys. E.: Sci. Instrument. 12 : 1-5
- 4) Brunini O. and G.W. Thurtell. 1982. An Improved thermocouple hygrometer for in-situ measurement of water potential. Soil Sci. Soc. Am. J. 46 : 900-904
- 5) Decagon Devices Inc. SC-10A Thermocouple psychrometer sample changer operator's manual.
- 6) Savage M.J and A. Cass. 1984. Measurement of Water Potential Using in situ Thermocouple Hygrometers. Adv. Agronomy. 37, N.C. Brady (ed.) Academic Press Inc., 73-126
- 7) 高倉直 1973 : Water potentialの測定 : 農業気象 28 : 33-36
- 8) 金木亮 1977 : サイクロメータについて : 土の物理性 36 : 34-36
- 9) 岩間秀矩・石井和夫・古畑哲 1981 : 熱電対露点計による水分ポテンシャル測定 : 土壌の物理性 36 : 2-7



## 資 料

粘性土の塑性限界の測定における  
フォールコーン試験の適用性

甲 本 達 也\*

Applicability of the Fall Cone Test for Measuring the Plastic Limit of Cohesive Soils

Tatsuya KOUMOTO

Faculty of Agriculture, Saga University, Saga

## 1. はじめに

現在行われている土の塑性限界の測定方法は簡単ではあるが、試験者の手加減が影響しやすく<sup>1)</sup>、力学的意味がはっきりしない等の欠点がある。これに対して筋内<sup>2)</sup>の整形した供試体を一定高さから落下したときの変形量から塑性限界を推定しようとする試みは興味深く、北郷<sup>3)</sup>、Campbell<sup>4)</sup>、甲本<sup>5)</sup>、のコーンを一定高さから自由落下させたときの貫入量から塑性限界を推定しようとする試みは塑性限界の簡易測定法として注目される。特に甲本<sup>6)</sup>はフォールコーンの貫入機構を明らかにするとともに、フォールコーン試験による液性・塑性両限界の同時測定法の提案<sup>5)</sup>も行っている。しかし提案によるフォールコーン法の場合、コーン重量は $Q=0.6\text{ N}$ としているため塑性限界状態のように粘性土の強度が大きくなると貫入量が極端に小さく(約1.3 mm)なり測定精度が問題となると思われる。本論文は、先の $Q=0.6\text{ N}$ コーンを用いた試験<sup>5)</sup>の追加試験として更に重量の大きいコーンを用いてフォールコーン試験を行い、粘性土の塑性限界の測定の適用性を測定精度の点から再調査したものである。

## 2. フォールコーン試験

フォールコーン試験は表-1に示すような物理的性質を有する11種類の粘性土について行った。使用したコーンは先端角 $2\alpha=60^\circ$ 、重量 $Q=10\text{ N}$ ( $60^\circ$ 、 $10\text{ N}$ コーンと称す)のものである。これは供試体の含水比が塑性限界近傍になると剪断強さは相当大きくなることが予想されたことから、このような供試体に対して少なくとも5 mm くらいの貫入量が得られるようにしたためである。

試料容器は内径100 mm、深さ50 mmの円筒容器とした。貫入装置には図-1に示すような骨材試験用の引かき硬度測定器を改良したフォールコーン試験器(シャフトの先端にコーンを取り付けシャフトとコーンの重量を10 Nにしたもの)を使用した。試験は各供試土の含水比を塑性限界近傍から液性限界近傍まで数段階に変化させたものを容器に充填し、コーン先端を試料表面に接した状態からコーンを自由落下させ貫入量の測定を行った。試験は同一供試体について5回ずつ、その都度詰めなおしたものについて行った。尚、供試体は含水比調整後1週間から10日間の養成を行って供試体内部の含水状態の均一化を計った。

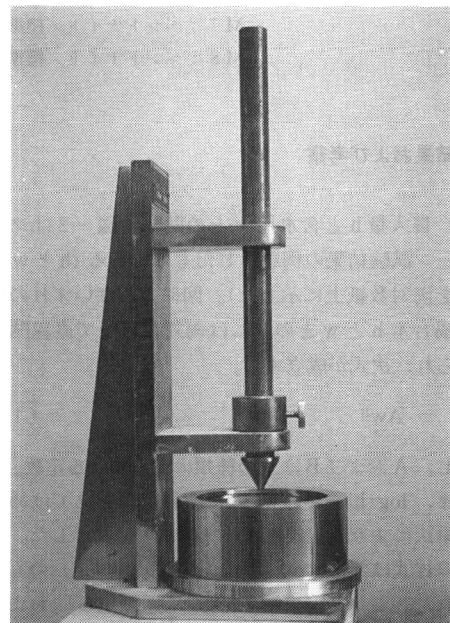


図-1 引かき硬度測定器を改良したフォールコーン試験器

\*佐賀大学農学部 〒840 佐賀市本庄町1  
土壌の物理性 第62号 p.63~67 (1991)

表-1 供試土の物理的性質

試料	真比重 G <sub>s</sub>	液性限界 W <sub>L</sub> (%)	塑性限界 W <sub>P</sub> (%)	塑性指数 I <sub>p</sub>
陶土	2.680	38.3	23.8	14.5
M1	2.673	30.0	14.1	15.9
有明粘土	2.584	130.0	48.9	81.1
M2	2.761	121.8	24.6	97.2
M3	2.733	204.4	25.1	179.3
M4	2.653	261.0	39.2	221.8
M5	2.653	264.0	23.9	240.1
M6	2.589	282.8	29.2	253.6
M7	2.685	303.5	27.4	276.1
M8	2.726	336.0	32.2	303.8
ベントナイト	2.743	402.0	35.6	366.4

M1：陶土／標準砂・・・・・・・・・・ 10：3

M2：陶土／ベントナイト・・・・・・・・・・ 5：2

M3：陶土／ベントナイト・・・・・・・・・・ 1：1

M4：ベントナイト／有明粘土・・・・・・・・・・ 5：2

M5：ベントナイト／標準砂・・・・・・・・・・ 10：3

M6：陶土／ベントナイト・・・・・・・・・・ 2：5

M7：ベントナイト／標準砂・・・・・・・・・・ 5：1

M8：ベントナイト／標準砂・・・・・・・・・・ 10：1

### 3. 結果および考察

1) 貫入量  $h$  と含水比  $w$  との関係：図-2 はフォールコン試験結果の例を示したものである ( $h$  と  $w$  との関係を示した)。図によればいずれの供試土の場合も  $h$  と  $w$  との間には両対数紙上で直線関係が認められ、次式が成立する。

$$h = Aw^B \quad (1)$$

ただし、 $A$  および  $B$  は土の種類により異なる定数。

いま、 $\log(h) - \log(w)$  間に直線関係をあてはめ、最小自乗法により直線式を求め実際に図に示した。これらの直線式は非常に高い相関係数 (0.97以上) のもとに得られた。この直線関係は北郷ら<sup>3)</sup>、藤川ら<sup>7)</sup> および甲本<sup>5)</sup> によって実験的に得られた結果とも一致するものである。

2) 塑性限界時の貫入量  $h_p$ ：図-2 に示す  $\log(h)$

$-\log(w)$  直線上においてカサグランデ法による塑性限界  $w_p$  との交点の  $h$  の値を塑性限界時の貫入量  $h_p$  とし、このようにして得られた  $h_p$  の値を塑性指数  $I_p$  に対して示したものが図-3 である。図によれば  $h_p$  は  $I_p$  によらずほぼ一定となるようで、その平均値を求めると、 $h_p = 5.4 \text{ mm}$  が得られた。

いま、図-2 において  $\log(h) - \log(w)$  直線上の貫入量  $h = 5.4 \text{ mm}$  の時の含水比を求め、現行のカサグランデ法による塑性限界と対比したものが図-4 である。図にはまた  $60^\circ$ 、 $0.6 \text{ N}$  コールよりのデータをも示している。図によればコーンの重量にはあまり関係なく、両方法による測定値はよく一致しておりその誤差はたかだか  $\pm 10$  数%であった。



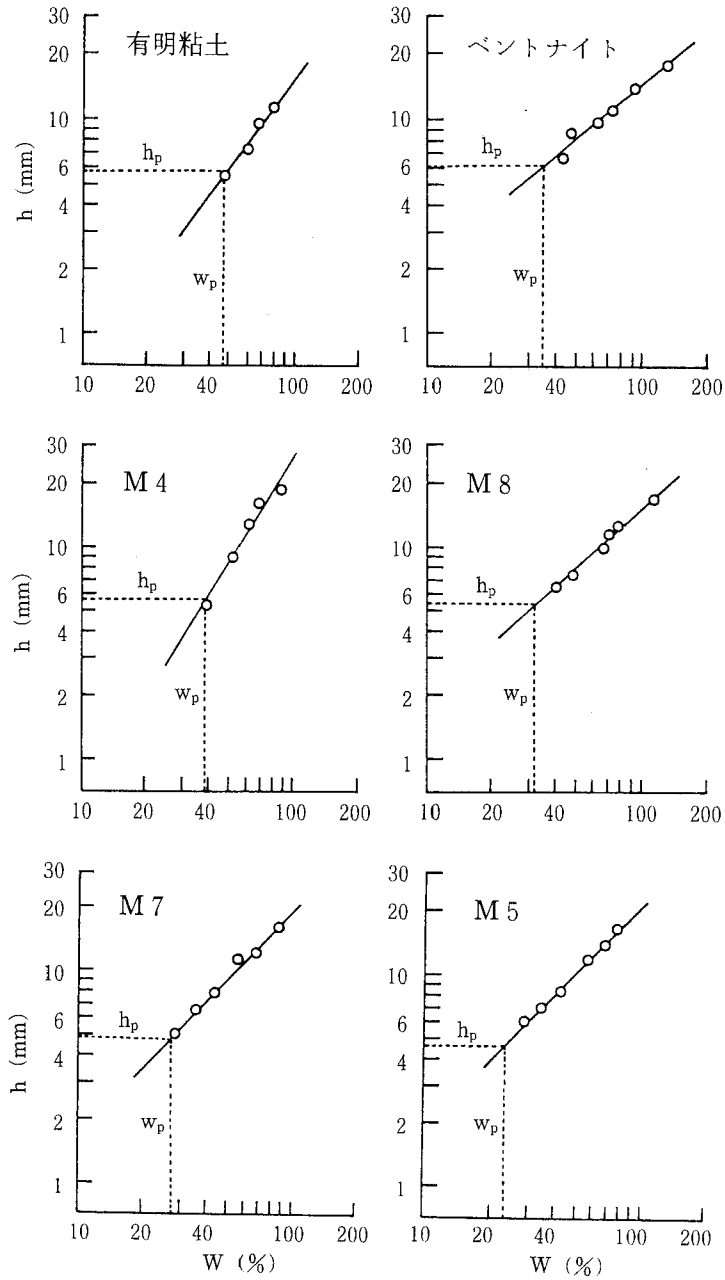


図-2 フォールコン試験結果の例  
(60°, 10N コーン使用)

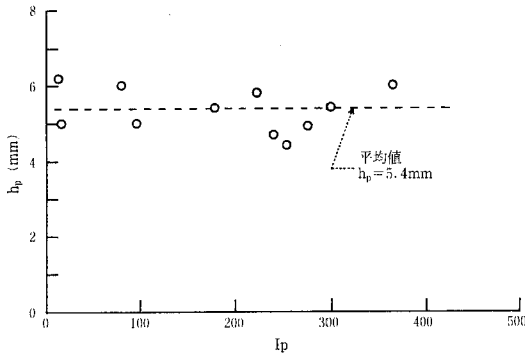


図-3 塑性限界時の貫入量 $h_p$ と $I_p$ との関係  
( $60^\circ$ , 10Nコーン使用)

#### 4. 結 論

塑性限界の測定におけるフォールコーン試験の適用性を、 $2\alpha=60^\circ$ ,  $Q=10\text{N}$ コーン ( $60^\circ$ , 10Nコーン)を用いて11種類の粘性土について実験的に検討を行うとともに、既存の $2\alpha=60^\circ$ ,  $Q=0.6\text{N}$ コーン ( $60^\circ$ , 0.6Nコーン)の実験結果との対比を行った。

実験によれば、 $60^\circ$ , 10Nコーンを用いた場合も貫入量 $h$ と含水比 $w$ との関係は両対数紙上で直線で表された。この直線上において、カサグランデ法の塑性限界に対する貫入量 $h$ は粘性土の種類には関係なく $h=5.4\text{mm}$ とほぼ一定であった。

以上のことから、フォールコーン試験において $60^\circ$ , 0.6Nコーンの貫入量 $h$ が $h=1.3\text{mm}$ の時の含水比 $w$ , または $60^\circ$ , 10Nコーンの貫入量 $h$ が $h=5.4\text{mm}$ の時の含水比 $w$ を塑性限界とみなし得ることがわかる。しかし、塑性限界のみが測定の対象となるような場合、この様な比較的硬い状態の上に対しては $60^\circ$ , 10Nコーンの方が $60^\circ$ , 0.6Nコーンより貫入量を大きく、しかも容易に測定できるので実験上有利と言えよう。

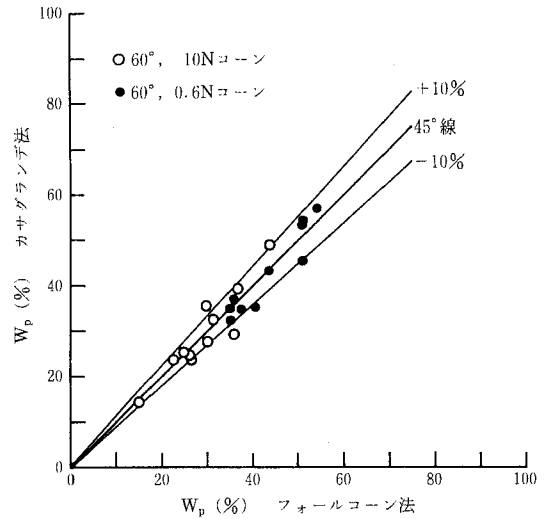


図-4 フォールコーン法とカサグランデ法とによる塑性限界値の対比

#### 引用文献

- 1) 占藤田喜久雄：第6章 液性限界・塑性限界，土質試験法，土質工学会編，p.128 (1979)。
- 2) 箭内寛治・西堀高弘・五味貞夫：塑性限界を求める二つの近似簡便法の試み，第3回土質工学研究発表会，昭和43年度発表講演要旨，pp.299-304 (1968)。
- 3) 北郷繁・益田栄治：液性限界測定に関する実験的研究 (第4報)，土と基礎，17-9，pp.5-14 (1969)。
- 4) Campbell, D. J.: Plastic Limit Determination Using A Drop-Cone Penetrometer, Journal of Soil Science, 27, pp.295-300 (1976)。
- 5) 甲本達也：フォールコーンテストによる粘土の液性・塑性両限界の決定，農土論集，146，pp.95-100 (1990)。
- 6) 甲本達也：フォールコーンテストの動的解析，農土論集，144，pp.51-56 (1989)。
- 7) 藤川武信・甲本達也：フォールコーンの貫入に関する三次元的解析，農土論集，83，pp.38-43 (1979)。

## Summary

An investigation was made on the applicability of the Fall Cone Test for determining the plastic limit of cohesive soils.

The test was carried out by using  $2\alpha=60^\circ$ ,  $Q=10\text{ N}$  cone ( $60^\circ$ ,  $10\text{ N}$  cone) where  $\alpha$  and  $Q$  are semi-angle of the cone tip and the cone weight, respectively, on 11 cohesive soils. The test results were compared with those obtained previously using  $2\alpha=60^\circ$ ,  $Q=0.6\text{ N}$  cone ( $60^\circ$ ,  $0.6\text{ N}$  cone).

According to the results, the penetration depths  $h_p$  read at the Casagrande plastic limit on the logarithmic penetration ( $h$ ) vs logarithmic water content ( $w$ ) straight lines became constant and took the mean value of  $h_p=5.4\text{ mm}$ .

The accuracy of the plastic limits determined by using  $60^\circ$ ,  $0.6\text{ N}$  cone and  $60^\circ$ ,  $10\text{ N}$  cone for those by the Casagrande method was found to be almost same. However,  $60^\circ$ ,  $10\text{ N}$  cone should be preferably used rather than  $60^\circ$ ,  $0.6\text{ N}$  cone in case that the Fall Cone Test was carried out to determine only the plastic limit.

(Soil Phys. Cond. Plant Growth, Jpn., **62**, 62–66, 1991)



## 資料

## 農業開発に関連する環境影響評価の問題点

——とくに農用地造成事業に関連して——

増島 博\*

Problems in Environment Assessment Related to Agricultural Development

Hiroshi MASUJIMA

Tokyo University of Agriculture

## 1. はじめに

「環境影響評価」ということばを耳にするようになってから久しいが、現実の農業開発においてそれがどういふ意味をもつかは、関係者の間でもあまりはっきりした認識をもつに至っていない。その一つの原因はわが国では環境影響評価は法律で規定されておらず、国が関与する一定規模以上の事業に関して「環境影響評価実施要綱」（1984年閣議決定、以下要綱という）によって対処するとしており<sup>1)</sup>、環境保全政策的には一段低い扱いがされているせいである。もう一つの問題は、わが国では環境

影響評価の実施主体は（手続き、費用負担を含めて一切）事業者になっており、この要綱では評価対象が国営事業とそれに準ずるものに限られ、対象事業の規模をかなり大きく規定しており、現実に対象になる事業が少なくなってしまうことである。

要綱の対象となる事業は、ダム、道路等の交通用地、埋立て、干拓など8省庁が行う事業で第1表に示すものである。このうち農水省に関係するところをみると、いずれもかなり大規模である。ダムの湛水面積200 ha以上は、自然湖沼でいえば富士五湖の西湖クラスのもので、今後農業専用でこんな大きなダムを造るチャンスはまず

第1表 国における環境影響評価要件

省 庁	対 象 事 業 規 模
建設省	道路（4車線 10 km以上、高速自動車国道、一般国道等） 治水ダム（湛水面積200 ha以上、一級河川） 埋立て（面積50 ha以上、港湾区域以外）
運輸省	土地区画整理事業、新住宅市街地開発事業、工業団地造成事業等（面積100 ha以上） 新幹線鉄道 飛行場（滑走路2,500 m以上） 埋立て（面積50 ha以上、港湾区域）
防衛庁	自衛隊飛行場（滑走路2,500 m以上）
農水省	農業用ダム（湛水面積200 ha以上、一級河川） 土地改良事業の埋立て・干拓（面積50 ha以上） 農用地開発公団事業（面積500 ha以上）
厚生省	上水道ダム（湛水面積200 ha以上、一級河川） 廃棄物最終処分場（面積30 ha以上）
通産省	工業用ダム（湛水面積200 ha以上、一級河川） 地域振興整備公団事業（面積100 ha以上、中核業団地の造成等）
国土庁	地域振興整備公団事業（面積100 ha以上、地方市の整備等）
環境庁	公害防止事業団事業（面積100 ha以上、工場移転用地の造成等）

\* 東京農業大学 〒156 東京都世田谷区桜丘1-1  
土壌の物理性 第62号 p.69~74 (1991)

ないであろう。農用地開発は、他省庁にかかわる土地造成が100 ha以上を条件にしているのに、こちらは500 ha以上となっている。これについては、自然の物質循環に生産の基礎をおく農林業では、生産物の供給だけでなく、国土保全、水源かん養、環境浄化など自然のバランスを維持する多面的機能をもつことを考慮した結果と説明されている。しかし、今後行われる農地造成事業で、1団地で500 haをこえるものはあまりないと思われる。埋立て・干拓では現在進行中の諫早湾干拓事業は計画面積1,840 haあり、当分はこのような大面積の埋立て・干拓は行われまいであろうが、要綱にいう50 ha以上のものはありそうである。ここで土地造成では認められた農林業用地の多面的機能が、埋立て・干拓では考慮されず、他省庁の行う港湾など他の土地利用のための埋立て・干拓と同面積になっている理由はよくわからない。

この要綱ではあまりにも対象となる事業が少なく、今後の土地改良事業のあり方から、この要綱で十分かどうか見直しを要すると思われる。

一方、各都道府県や政令指定都市では条例等で開発事業にかかわる環境影響評価を定めているところが多い（条例によるもの一北海道など4団体、要綱等によるもの一宮城県など23団体）。これらのものは、国の基準よりも小規模の事業から環境影響評価を行うよう規定している。農業開発に関連すると思われる対象事業としては、道路（林道、農道を含むと思われるもの7団体）、ダム（13団体、最小要件湛水面積30 ha）、畜産開発（1団体、20 ha以上）、埋立て・干拓（21団体、最小要件1 ha）、農地造成（4団体、最小要件50 ha）がある。

ここでは、農業サイド独自の事業である農地造成を中心に、事業主体にかかわらず環境影響評価の基本的考え方、その問題点について概観してみよう。

## 2. 環境影響評価の基本的考え方

農林業は自然の物質循環に密着した生産システムであることは論をまたないが、農林業が自然の生態系に何等かの干渉を行い、改変してきたことは事実であり、将来にわたって環境保全的生産システムとして農林業が自立できるかどうかは議論が分かれるところであろう。一方、農林業が国土保全・環境保全の多面的機能をもつことは、いまや広く認識されたが、それはあくまで市場性をもたない農林業の外部経済効果である。多くの場合、農地の保全はこの外部経済効果を補強するが、生産効率化の技術の進展が往々にして外部不経済を増大させることは他産業と同様である。農地開発にともなう環境インパクト

には、開発造成工事によるものと供用開始後の営農によるものの両者があり、ともに環境影響評価の対象である。

農地開発によるインパクトが人々を悩ませてきたことは、歴史的にも明らかである。新田開発がさかんに行われた江戸中期（水田だけでなく畑の新規造成地も新田と呼ばれた）には農業開発のインパクトがピークに達している。当時は生産の増強は農地の拡大が唯一の方策であった。しかも新規開発は利水の便のよい湧水のある所や河川沿岸に集中したため、在来の自然植生の破壊によって水害が多発した。幕府は1666年に以下の山川掟とよばれる法律を公布して新規の農地造成に規制を加えざるをえなくなった。

### 山川掟

一、近年は草木之根迄掘取候故、風雨之時分、川筋之土砂流出、水行滞候之間、自今以後、草木之根掘取候儀、可為停止事。

一、川上左右之山方木立無之所々々、当春より木苗を植付、土砂不流落様可仕事。

一、従前々之川筋川原等に、新規之田畑起之候儀、或竹木葭萱を仕立、新規之築出いたし、迫川筋申間敷事。附、山中焼畑新規に仕間敷事。

右条々、堅可相守之、来年御検使被遣、掟之趣違背無之哉、可為見分之旨、御代官中え可相触者也。

寛文六年丙午二月二日

大老・老中署名

これはおそらく対策まで明示した世界最初のインパクト規制法であろう。農地開発の最大のインパクトが水系に対するものであることは今も変わらない。

## 3. 環境影響評価の標準的手法

要綱の中で明らかにされている環境影響評価の標準的な手法を第1図に示す。

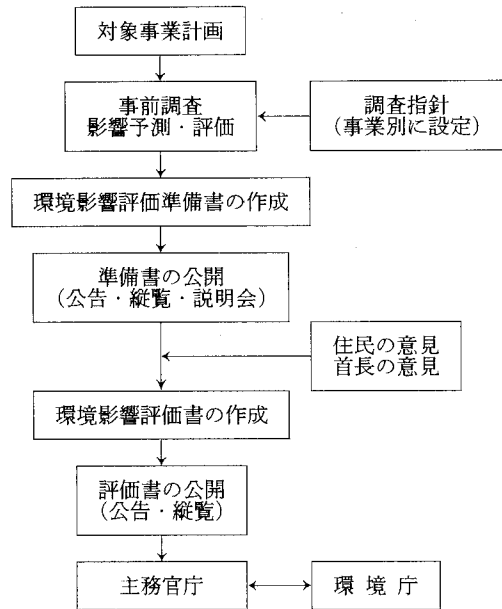
まず対象事業計画が決まると、その地域の自然的（地形地質、生物など）社会的（集落状況、土地利用など）状況が調査される。この調査は既存の資料調査を中心とし、必要に応じて現地調査を行うのが普通である。これによってとくに注意して保全しなければならない環境要素が抽出される。次に開発行為によって発生するおそれのある環境影響の概略を把握する。このため環境影響要因（工事の種類など）と影響を受ける環境要素（大気、水質、生物など）を交差させた一覧表（要因要素マトリクス）がつくられる。第2表に農用地開発の場合の例の

一部を示す。これによって環境影響を把握するための調査計画（どこで何をどのくらいの頻度で調査するか）がたてられる。この調査計画によって現況調査（具体的調査方法は事業の種類ごとに指針やマニュアルがつくられている）が行われ、事業実施前の現在の環境状況が明らかにされる。

次に、事業の実施によってこの現況にどんな変化が現れるかを予測する。ここは環境影響評価の技術的中心部分であると同時に最も難しい部分でもある。

予測がえられたら、その評価を行い、環境影響に配慮しなければならないものについては環境保全対策を検討する。必要があれば事業計画そのものにさかのぼって、計画地区の位置の変更、事業規模の縮小を検討しなければならない。

これらの結果を準備書に記載し、公告して関係住民、市町村町、知事の意見をきく。これは行政の手順である。さらに、工事中及び供用後の一定期間の環境モニタリング（追跡調査）計画を環境影響評価の中で決めておくのが普通である。



第1図 環境影響評価の流れ

第2表 環境影響要因要素マトリクス (部分)

(農水省構造改善局)

影響要因 環境要素		工 事 中 の 影 響						土地・工作物の存在				農用地の使用				その他			
		農用地造成工				道 路 工		施 設 工		造成農用地	道 路	貯水施設	取水施設	水田作	畑作・野菜作	施設園芸	果樹作	交通	集落の形成
		伐採火入	抜根石礫除	切土盛土工	法面保護工	仮設工	立木処理	貯水施設	用排水施設										
水 質	pH			○	○			○	○										○
	BOD,COD	○																	○
	SS	○	◎	◎	○	○		◎	◎			○	○						○
	DO																		○
	T-N													○	○	○			○
	T-P													○	○	○			○
..																		○	
地 形 地 質 地下水位			○	◎		○													
			○	○															
植 物	陸生植物	○		○		○							○	○	○				
	水生植物	○	○	○				○					○	○	○				
動 物	ほ乳類	○		○		○							○	○	○				
	鳥 類	○		◎		○							○	○	○				
..																			
景 観		○		○	○		○		○			○	○	○	○				○
..																			

(注) ○◎は予想される影響の程度を表わす

## 4. 予測における問題点

天然記念物のような予測対象物の存在そのものが事業によって消滅してしまう場合はことは簡単であるが、水質のように数値を予測しなければならないものについて、すべての場合に有効な予測方法はまだ確立されていないといつてよい。モデルを使った予測方法はいくつかあるが、最も精度の高いモデルの選択は経験に頼らざるをえない。たとえば、農用地開発の工事中における最大のインパクトと思われるSS（浮遊物質）の予測を考える。侵食土砂量に流出率をかけたものが地区外に流出し、それに流達率をかけたものが予測地点におけるSS負荷量になるとすると、予測に必要な要素は第3表に示すように実に多岐にわたってしまう。生物化学的要素まで考慮しなければならないBOD（生物化学的酸素要求量）や窒素になるともっと複雑である。さらに水質変化が生態系に及ぼす影響になると、予測の中に三段論法的に推論を重ねる部分が入ってきて、事業者側と準備書を読む側とが共通の認識を持たず、影響の有無について水掛け論も起きてくる。現実にはかなりの部分はブラックボックスのまま経験則（手引書では学識経験者の意見をいれるように書いてあるものが多い）によって予測しなければならないが、過去の事例の蓄積が少なく、相談を受けた学識経験者も困惑するのが現状である。

## 5. 評価における問題点

さて、まがりなりにも（？）予測ができれば、その評価を行う。評価は当然ながら客観的なものでなければならない。大気、水質、騒音、振動など法令に定められた環境基準があるものは、それを保全水準にして、予測値との乖離を評価する。あらかじめ設定した基準点での予測値が環境基準をクリアできるよう事業者側でとる対策を準備書に記載することになる。現況がすでに環境基準を上回っている場合（たとえば都市近郊における再開発）、逆に現況が環境基準をかなり下回り、その清らかな環境が当該地区の特徴として社会的に認められている場合（たとえば尾瀬や柿田川）は現況を保全水準にしなければならない。このような場合は事業者側の対策も難しいものになる。ただ、自然条件でも現実の環境は変動しており、事業による環境影響も変動が大きい。たとえば、土工（土砂を取り扱う土木工事）から発生するSSは、降雨条件によって大きく変動する。変動するもの同士の比較ということになる。水質の環境基準にあっては、年間75%の確率頻度でクリアされれば基準達成と認

第3表 SSの予測に関連する要因

予測対象	関連要因	左の内容
侵食土砂量	USLE* の各要素 土工条件	降雨諸量、傾斜度、斜面長、 土壌の性質、土壌管理条件、 抜根、切盛り、表土扱い、法 面処理
圃場からの 流出率	排水条件 処理条件	水路構造、沈砂池
影響地点へ の流達率	SS粒径 河川流況	限界流速、河道状況

\*Universal Soil Loss Equation  
(Wishmeier and Smith 1960)

められる慣行がある。しかし、環境影響評価においては、予測値と保全水準との乖離について変動を考慮した評価方法はまだできていない。

景観変化は、住民にとっては直接的影響と受け止められるが、景観には環境基準のような保全水準になる基準はない。客観的評価基準を何に求めるかが問題である。いくつかの心理学的測定法が提案されているが、いずれにしても、物理量としての絶対的な評価尺度はないので、刺激量を介して、あるいは直接に評価尺度と景観構成要素の物理量とを対比させなければ保全対策は試行錯誤を繰り返すことになる。現場での試行錯誤に代わるビデオの合成画面による評価システム<sup>2,3)</sup>が実用化されているが、季節感、立体感、視覚以外の刺激などについて改良が望まれる。現実には評価者の経験と感性に頼っているのが実状である。

## 6. 環境保全対策の環境影響

事業にもなる環境影響を未然に防ぐための対策技術そのものの環境影響が未知であるというややこしい問題に遭遇することがままある。農用地開発につきものの濁水対策としては沈砂池がもうけられる。工事期間中だけの圃場内沈砂池、供用後も機能を維持させる圃場外沈砂池などかなりきめこまかな対策がとられているが（写真1）、微細な粒子まで沈降させるに十分な規模にすることは現実には困難である。ある粒径以上の土砂流出に関して、農業工学研究所で開発された渦動排砂管<sup>4)</sup>はきわめて有効な対策工法となることが示されている（写真2）。しかし、微細粒子については、常に一定の濁度を発生するわけではないので、プラント排水対策に用いら



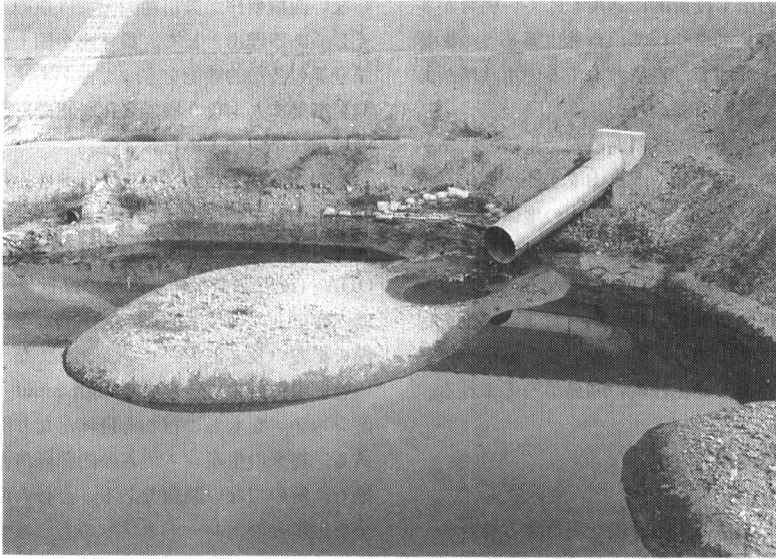


写真1 圃場外沈砂池 粗大粒子の流出阻止効果は大きい (中四国農政局管内)

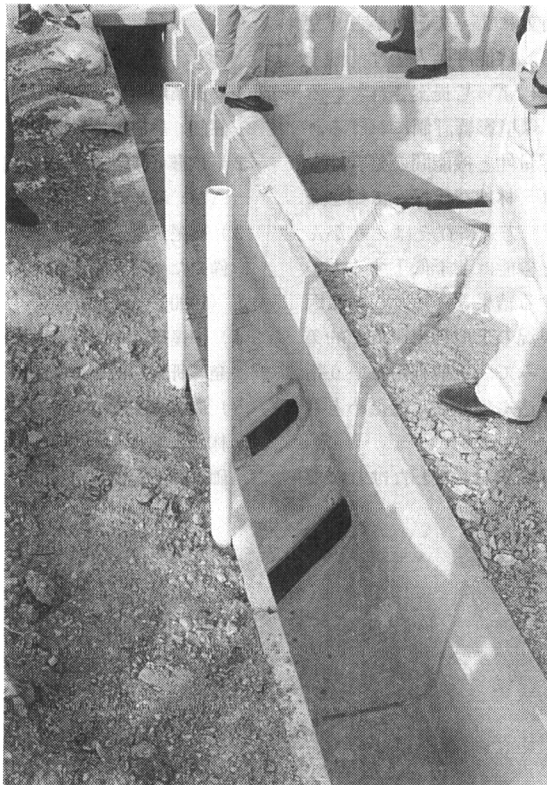


写真2 渦動排砂管 水流方向は写真手前から奥へ、排砂は右手方向に排出される (中四国農政局管内)

れる凝集剤による方法も技術的に適用しにくい場合が多い。またすべての凝集剤について、自然生態系への影響評価がきびしい中山間地で、自信のもてる使用基準があるのかどうかよくわかっていない。

土砂流出の問題は究極的には斜面の安定化技術にかかっている。中山間の造成では、改良山成工法がとられることが多いが、切土部分ではそれまでその地域に存在しなかったし、もちろん管理も経験したことのない未風化未固結未土壌化の法面が現われることになる。このような植生にとって何が問題かもわからない斜面に植生を定着させる技術は未成熟である。その場での生態系の遷移の方向に即した「急速」緑化技術の開発がのぞまれる。

## 7. 全体的な今後の課題

農業開発にかかわる環境影響評価を実行する場合に、上記のような具体的問題点が指摘されるが、これらはいずれも事例を重ねることによって解決される問題である。いま環境影響評価に課せられた最大の課題は、その土地のもつ国土資源としての価値、その土地が発揮する環境保全機能を評価し、開発行為によってそれがどう変化するかを予測することである。機能評価方法は「国土資源」プロジェクトの研究成果によって提案されている<sup>9)</sup>。しかし残念ながらそれは、環境影響評価における評価と予測で要求されるような定量性と機能間の整合性を持ち合わせていない。たとえば、林地を伐採して畑を造成するケースでは、「国土資源」方式に従えば、水かん養機能には変化なく、洪水防止機能は若干低下するといった、水収支からはやや矛盾する結果となる。この原因は「国土資源」の評価方式は現況の土地利用を自然的条件が最もよく活かされた結果とみて、土地利用という指標の中に多くの評価要因を取り込んでしまったためと考えられる。

いずれにしても、環境影響評価をおこなわなければな

らない面積要件が農用地開発では他の土地開発よりも広くしてある理由として、農林業が国土資源の維持や環境保全等の多面的機能をもつことがあげられている以上、開発事業にともなう機能変化を正確に予測するシステムの構築は早急に求められよう。

もうひとつ、これまでその必要性を指摘されながら議論を集中してこなかった問題として、海外における農業開発事業にともなう環境影響評価がある。いまや日本のODA（政府開発援助）は額では世界一となったが、援助内容としては農業開発が圧倒的に多い。なにも地球規模で影響の及ぶ巨大プロジェクトでなくとも、限界条件の脆弱環境の中にいきなりhigh input-high outputの生産システムをもちこむこと自体かなり問題が多いはずである。従来の生産システムの内部経済面だけの評価では絶対に解のでない問題である。今日の南北問題—環境保全と生産とのトレードオフのもっともきびしい場面でもある。このような場で、持続的開発を可能にするための環境影響評価手法を開発することも援助大国に課せられた課題であろう。

## 参 考 文 献

- 1) 農業環境技術研究所編、農林水産業における環境影響評価、農業環境研究叢書(3)(1988)
- 2) 内藤正明・西岡秀三編著、環境指標、国立公害研報(74)58-61(1984)
- 3) 松尾芳雄・有田博之、デジタル画像による農村地域整備のための景観予測システム、農土誌、58(8)807-812(1990)
- 4) 中達雄、中山間造成地における流出土砂制御工法の開発、研究ジャーナル、13(9)6-13(1990)
- 5) 農林水産技術会議事務局・農業環境技術研究所編、農林水産業のもつ国土資源及び環境保全機能の定量的評価、国土資源資料(21)(1987)

## 土壌物理研究会特別セミナー報告

Improving Soil Management for Man and the Environmentをモットーに、第14回国際土壌科学会議が京都において、1990年8月12日から18日の間開催されました。土壌物理研究会では、外国から研究者が来日するこの機会を利用して4名の著名な研究者に会議前に時間をとっていただき、東京とつくばで特別セミナーを開催しました。そのときのプログラムは次のとおりです。

### “SOIL PHYSICS RESEARCH IN THE NEXT DECADE” (8月7日, 東京)

中野政詩 (東京大学) : The role Soil Physics in Earch Conservation and Land Improvement

Nielsen, D, R, (Univ. of California): Pushing up Frontiers in Soil Science

Vachaud, G. (Institut de Mécanique de Grenoble): Field measurement of Water Balance and Solute Flux in the Soil General Discussion

### “MODELING SOLUTE TRANSPORT AND RETENTION IN SOILS” (8月10日, つくば)

Selim, H, M. (Louisiana State Univ.): Modeling Solute Transport and Retention in Soils; A Mechanistic Approach

上記講演のうちVachaud, Selim両教授からは要旨を頂きました。東京セミナーでは、中野教授は演題のとおり、農業開発に伴う物質循環の変化と土壌保全の必要性について講演をされました。Nielsen教授の講演は冒頭に現在の物質至上主義を批判し、時間スケールを10年単位で見ることの必要性に触れた後、浸潤過程で見られる前線のフィンガリング現象をフラクタル概念を用いて解釈するという、教授の元で院生が行っている最新のトピックでした。Vachaud教授の話はセネガルでの研究を紹介したものです。セミナーに参加されたVauclin教授もアフリカで研究を行っているそうで、旧宗主国とのつながりの強さ(責任)を感じさせられました。総合討論では、土壌学研究の将来と、若者にとって土壌物理は魅力的かという最も基本的(?)なことが話題となりました。Nielsen教授からは、土壌学者の半数は今でも作物収量と施肥量の図を書くが、必要なのは環境と施肥量の図ではないかという指摘がありました。土壌研究に先見性をもって取り組んでいる教授の考え方が表れていると思います。

両会場とも活発な発言があり、成功裡に終えることができました。以下に、Vachand, Selim教授の講演要旨を掲載します。

## USE OF NEUTRON MOISTURE METER TO ESTIMATE WATER AND NUTRIENT UPTAKE OF RAINFED CROPS

G. VACHAUD

Institut de Mécanique de Grenoble. Université Joseph Fourier, Institut National Polytechnique de Grenoble (UMR CNRS n° 101) BP 53 X-38041 Grenoble Cédex, France.

During the past decades, it has been clearly demonstrated that a soil moisture neutron probe is practically the only device offering the possibility to determine, at a given spot, the temporal change of moisture content with depth, including in the root zone, and to obtain easily spatial informations allowing studies at different scales of application. Furthermore, the technique is non destructive, and quite precise (depending upon the accuracy of the calibration curve of the moisture meter).

It has also become evident that fluxes of water and solutes should be determined to obtain information related to plant nutrient uptake in relation to plant growth and production. This presentation intends to discuss critically the various problems met in the field to determine root uptake estimations from soil moisture measurements, but also to show the advantages offered by this technique.

The most delicate point is to determine soil water flux. In the general situation, it is estimated by application of Darcy's law. It is therefore necessary to measure, besides the soil water content  $\theta$ , the gradient of hydraulic head from tensiometers reading and the hydraulic conductivity-water content relationship  $K(\theta)$ . The estimation of  $K$  is the weakest point of the method. It is indeed shown that one should determine it by a fairly elaborated procedure on the measurement site itself, this precludes in most of the cases any spatial study. However, when this is done locally, and providing the fact that uncertainties remain small, it is possible to obtain nutrient convective flux by combining at a given depth the determination of soil water flux and the measurement of soil solution concentration, obtained with the use of a suction cup. The total

plant uptake can then be estimated from difference between inputs, outputs, and changes of storage in the root zone. An example of application will be given where comparison between the lixiviation losses of water and various mineral components beyond the root zone were determined, during a complete crop cycle, for different fertilization treatments.

There exist however specific situations, quite representative to dry-tropic areas, where straightforward estimation of fluxes of water and nutrient can be obtained in the root zone without knowledge of the soil hydraulic conductivity. It is the case when the soil remains dry enough at a given depth in the profile, when rainfall events are followed by periods of drought of 1 to 2 weeks and when plant water requirement is large. Fluxes of water at various depths can then be simply inferred from changes of soil water storage, and nutrient concentration given by analysis of soil water extraction. In this case it is quite easy to repeat spatially the measurements, with different sites equipped each one with an access tube and some suction cups implemented at various depths in the root zone. As illustration, results obtained in Senegal on comparative effect of fertilization of millet and peanut by Dr. L. CISSE from ISRA Bambey, will be presented.

We will also discuss other related problems, such as the method of calibration of the neutron probe, mostly near the soil surface, the determination of  $K(0)$  by simplified field technique, and the associated uncertainties, the extraction of the soil solution...

Finally whatsoever its limits, we will show that one of the greatest advantage of this method is that

it permits fully to account for the spatial and temporal variability of the soil and of the crop at 2 different levels: choice sampling scheme and modelization. For many years agronomic observations, mostly in terms of effects of fertility and cultural techniques, have been done with the assumption that data obtained from replications of treatment were independent, whatsoever the size of the blocks and of the plots. It is now clearly established that this is very questionable and may induce systematic statistical bias in data analysis. It will be shown how the use of geostatistical concepts applied to neutron

probe measurements of soil water storage can lead to the estimate of the minimum size of blocks in order to make the results spatially uncorrelated. Concerning the 2nd point, examples will also be given on the possibility to obtain pertinent parameters, from neutron probe measurements, to be used in various models (including stochastic ones) in term of calibration and validation. Typical outputs of those models are: prediction of plant production and/or evapotranspiration depending upon the applied treatment.

# MODELING SOLUTE TRANSPORT AND RETENTION IN SOILS

H. M. SELIM

Sturgis Hall, Louisiana State University, Baton Rouge, LA 70803, U.S.A.

## ABSTRACT

This presentation summarizes several mathematical models used to describe sorption/desorption and transport of solutes in soils and their potential application for environmental monitoring of contaminants in soils. These models offer a mean for the assessment of potential mobility and prediction of long term movement of dissolved chemicals to the ground water. The models presented are empirical in nature and are based on the assumption that for a single species several reaction mechanisms govern its behavior and thus its potential mobility in the soil environment. These models range from the simple fully equilibrium type for one reaction to that for multisite or multireaction (kinetic and equilibrium) type models. Sorption properties based on quasi-equilibrium (Freundlich retention) for Co, Ni, Cu, Zn, Cd, Hg, V, Cr, Mo, B, Pb, P, As, S, and Se by a number of soil orders are discussed. The models are based on the classical convection-dispersion transport of solute in soil solution. Heavy metal retention processes considered include nonlinear kinetic mechanisms of the concurrent-consecutive reaction, second-order kinetic approach, diffusion and/or mass transfer of the mobile-immobile (two-region) concept, and irreversible reaction of the first order kinetic type. Availability of the necessary input parameters for each model and model sensitivities are addressed. Model validations based on selected studies are also presented.

Another class of models presented are those of the multi-component type where competitive adsorption, ion exchange, and complexation processes are considered. Unlike previous models which are empirical, multicomponent models are based on thermodynamic principles where the stoichiometry is explicitly con-

sidered. Several models that describe the transport of multiple ions in the soil profile are discussed. The transport models are of the convective-dispersive type and it is assumed that ion exchange is the retention reaction which governs the distribution of cations between solution and adsorbed phases. A commonly used model assumes that equilibrium reaction between solution and exchanger phases for any two cations is not influenced by other species present in solution. The necessary inputs are the cation exchange capacity and exchange selectivity coefficients for each cation pair. This classical approach has been modified by incorporating selectivity coefficients that vary with the fractional coverage on the exchanger phase. This approach more accurately represents the cation exchange reactions and has yielded improved description of Ca, Mg, and Na breakthroughs in effluent from soil columns. Nonequilibrium ion exchange behavior has been incorporated into the classical transport model using two different approaches. The first approach uses the two-region concept (mobile and immobile water) where it is postulated that physical nonequilibrium governs the ion transfer between mobile and immobile regions. The second nonequilibrium approach is based on the assumption that cation exchange reactions exhibit kinetic behavior. Depending on the type of clay and ions present in the soil, two types of cation exchange sites have been characterized; one which exhibits equilibrium and the other which shows kinetic behavior. Both nonequilibrium approaches require several additional input parameters, some of which are not easily attainable. The two-region approach has been successfully tested using several data sets from several transport studies, however, rigorous validation of the kinetic approach has not been performed. Other models requiring validation are those which account for the formation of complexes as well as ion exchange.

## 土 粒 子

## うもれた界面 (buried interface) の性質を測る

羽 藤 正 勝\*

相異なる物質が接触するとその境界面では、お互が影響しあって、もとの物質とは構造も性質も違った部分(これが、いわゆる界面とか表面と言われているもの)ができます。その厚さは数A~数百Aと大変薄いのですが、技術的にも重要であると同時に、新しい現象の発見が期待できる等、基礎的な視点からも、今や大変魅力的な研究課題となっています。

土の粒子についても、その表面電位、親水性-疎水性のバランス、イオンや、有機物の吸着、あるいは、粒子表面付近でのこれらの濃度分布等が土の物性やその近くに住む微生物の生態と密接に関係していることが予想されます。

ここでは、界面の性質をいかにして、分子や原子のレベルで測るかということについて考えてみたいと思います。さて、界面の性質を測るに当たっていくつかの問題があります。

第一の問題は、例えば粒子が水と接しているということです。真空中での性質を知りたいのなら ESCA とか SIMS とかの界面分析機器を利用すればよい。しかしこれらの高価な機器も、水があるとその性能の大半を失ってしまいます。水と接した界面のようないわゆる“うもれた界面”の性質を、原子・分子のレベルで測る方法は余り多くありません。

第二の問題は、界面が始めに述べたように大変薄いことです。界面の性質を直接測定するためには測定用のプローブを界面の中にもぐりこませる必要がありますが、Aオーダーの厚さを考えると、容易なことではありません。

ここでは、粒子の表面電位 $\psi_0$ の測定を例にとりましょう。表面電位の測定方法として従来から粒子の電場中での移動度(u)からゼータ電位( $\xi$ )を測定することが良く行われています。ゼータ電位は、Helmholtz-Smoluchowski の式

$$\xi = (4\pi\eta/D)u$$

を用いて求められます。ここで $\eta$ 、Dは粒子の分散して

いる水溶液の粘度と誘電率を示します。この時、問題となるのはこのゼータ電位が、表面付近の電位を反映していることは間違いのないとしても、表面からどの位はなれた位置の電位を表しているか正確にわからないことです。また、 $\eta$ 、やDの値として、水溶液の値をそのまま用いることが多いのですが、表面付近ではバルクの値と大きく違っている可能性もあるわけで、そうするとゼータ電位の値すらどの位信用できるかといった問題が生じてくるのです。

このようなあいまいさのない、表面の電位を直接測ることが最近可能になりました。スペースの関係で詳細は省きますが、原子レベルで平坦な2枚のマイカ(雲母)のへき開面間の距離をピエゾ素子やモーターを用いてÅレベルで制御し、その表面間に作用する表面分子間力を測定し、それから表面の電気的性質を求めようというものです。これらの測定は水中で行うことができます。図1に0.0001 M KBr 水溶液中、図2に0.0012 M および0.01 M KNO<sub>3</sub> 水溶液中で測定した表面分子間力(F)の表面間距離依存性の例を示します。正のF値は力が反発力であることを示します。マイカの表面は負の荷電をもっています。従って図にみられる斥力は表面の負電荷間の静電斥力を示しています。実線や点線は表面間に作用する静電斥力とファンデルワールス力の理論(DLVO理論)のコンピュータシミュレーションの結果です。電解質濃度が増すと斥力の到達する距離が小さくなるのは、溶液中にあるイオンによって静電斥力がしゃへいされるため、理論的には、Debye Length  $\kappa^{-1}$

$$\kappa^{-1} = \sqrt{\frac{\epsilon\epsilon_0KT}{\sum_i e^2 \rho_i z_i^2}} \approx \frac{0.305}{\sqrt{C}} \text{ (nm 単位)}$$

で表されますが、実験から求められた $\kappa^{-1}$ と理論値は各々30.9 nm, 30.5 nm (10<sup>-4</sup>MKBr) 8.9 nm, 8.8 nm (1.2×10<sup>-3</sup>M KNO<sub>3</sub>) 4.0 nm 2.9 nm (1.1×10<sup>-2</sup>M KNO<sub>3</sub>)と良い一致を示しています。実験結果をコンピュータシミュレーションすることによってマイカ表面の表面電位や表面荷電密度を求めることができます。

多くの実際的な問題にはこの方法は直接利用できないかもしれません。

\*繊維高分子材料研究所 〒305 つくば市東1-1-4  
土壌の物理性 第62号 p.79~80 (1991)

しかし、このような表面に直接アクセスする方法で得られた正確な界面近傍の知識は、先の Helmholtz-Smoluchowski の式の解釈に反映され、より正しい現象

の把握につながるでしょう。このような新しい測定手段の進歩によって“うもれた界面”研究の新しい夜明けが近づいています。

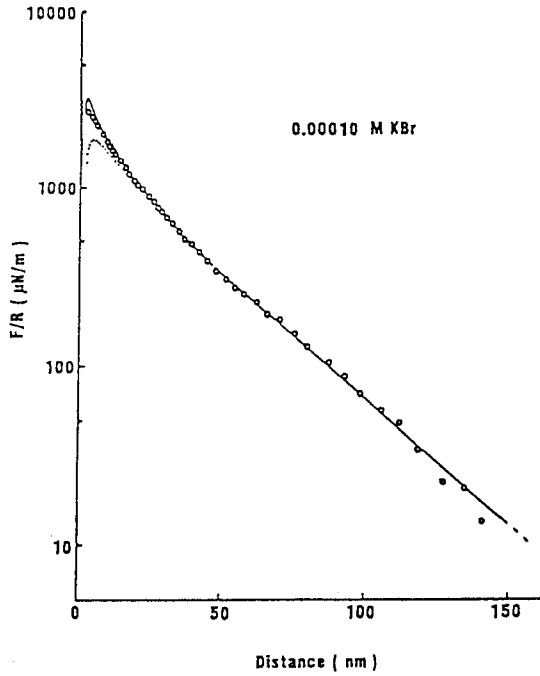


図1 0.0001 M KBr 水溶液中のマイカ間に作用する表面分子間力

○: 実測値  
 - :  $\sigma$ 一定条件下の DLVO 力  
 --- :  $\phi_0$ 一定条件下の DLVO 力  
 $\phi_0 = -110 \text{ mV}$ ,  $\kappa^{-1} = 30.9 \text{ nm}$   
 $A = 2.2 \times 10^{-20} \text{ J}$  を用いて計算した。

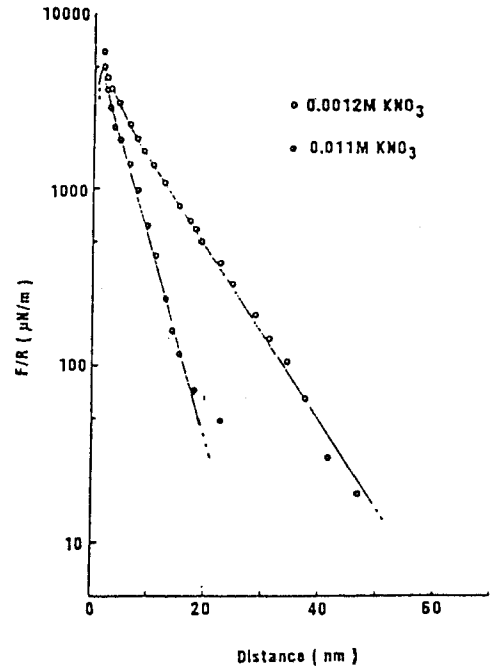


図2  $\text{KNO}_3$  水溶液中のマイカ間に作用する表面分子間力

○: 実測値  
 - :  $\sigma$ 一定条件下の DLVO 力  
 --- :  $\phi_0$ 一定条件下の DLVO 力  
 $\phi_0 = -85 \text{ mV}$ ,  $\kappa^{-1} = 8.8 \text{ nm}$   
 $A = 2.2 \times 10^{-20} \text{ J}$   
 0.0011 M  $\text{KNO}_3$  水溶液  
 $\phi_0 = -65 \text{ mV}$ ,  $\kappa^{-1} = 4.0 \text{ nm}$   
 $A = 2.2 \times 10^{-20} \text{ J}$  を用いて計算した。



---

 書 評
 

---

## 土 の 世 界

## 大地からのメッセージ

## 「土の世界」編集グループ編

朝倉書店 1990年3月

A 5版 160pp. 1,854円

本書は、一般向けに、土の大切さ、土の持っているよい働き、土を知ることのおもしろさを知ってもらおうと、47人の土の若手研究者が書き上げたものである（編集グループ：桜井克年，鳥居厚志，平井英明，広谷博史，米林甲陽）。目次は、次の通りである。

- I 土ってどんなもの〈土の性質〉
- 1 土って何だろう？
  - 2 ソイル・プロフィール〈土の横顔〉
  - 3 山の形は岩の形
  - 4 土の手ざわり～ネバネバ，ザラザラ～
  - 5 土の中の雑居家族
  - 6 日本の土  
〈トピックス1〉土の色は何の色？
  - 7 世界の土
- II 土はどうしてできるの？〈土の生成〉
- 8 土の骨組ができるまで～百万年の旅～  
〈トピックス2〉広域風成塵の話
  - 9 砂をくたくと粘土になるの？
  - 10 土を変える自然の職人
  - 11 草や木が土を育てる  
〈トピックス3〉腐植物質
- III はたらく土〈土の機能〉
- 12 プラスとマイナス
  - 13 栄養のソース
  - 14 養分の移動
  - 15 養分のリサイクル
  - 16 農薬も分解する！
  - 17 土の中は穴だらけ
  - 18 水をきれいに
  - 19 こんなものにも土の素が  
〈トピックス4〉土と子供たちの世界
- 20 もし、地面をコンクリートで覆ったら
- IV 土のゆくすえ
- 21 土の内申書
  - 22 田んぼは地球を救う  
〈トピックス5〉有機農法
  - 23 畑とともに生きる  
〈トピックス6〉アルミニウムが根を殺す
  - 24 森は人類のライフライン  
〈トピックス7〉民族と土
- V 悲鳴をあげる土
- 25 頭の痛い土一覽
  - 26 重金属の巣になった土
  - 27 塩からくなりすぎた土  
〈トピックス8〉ハウス
  - 28 土の中から硫酸が！？
  - 29 身を削られる土  
〈トピックス9〉組み換えDNA生物の自然環境への導入
- VI 土をとりまく環境—環境に広がる土—
- 30 砂漠化って何だろう
  - 31 酸性雨はなぜ怖い？
  - 32 土の生産力と地球の定員
- VII 土からのメッセージ
- 33 小・中・高等学校における土壌教育のあり方
  - 34 土に関するアンケート調査
  - 35 SOS (Save Our Soils)
- Coffee Break
- アフリカの色は土の色  
黄土高原と黄河  
土とウイルス  
ブルーアマゾンの上壤  
東北タイの塩

## サヘル風景

1節を1名が担当し、各節とも4ページ程度の読み切りの内容となっている。それぞれの担当者は、短い紙数の中に、専門的内容を平易な言葉を用いて分かりやすくかつ面白くまとめている。始めの方の章は特に、専門的な知識の無い人にも分かりやすく、また上の専門家が読んでも新たな驚きを発見する面白い内容である。全般にわたって、分かりやすく、面白くするためかなりの討

議推敲が重ねられたものと思われる。Ⅶ章では、日本における土に関する教育の貧弱さを指摘している。現状がこのようなだけに、上の重要さ、面白さを知ってもらおうとの執筆者諸氏の熱意が感じられる。環境が地球規模で悪化し、優良な農林地が消失して行く現在、本書が少しでも多くの人に読まれ、土や環境に対する認識が社会の中で深まればと願う次第である。

(農業工学研究所 石黒宗秀)

---

 書 評
 

---

## 世 界 の 土 壌

E. M. ブリッジス著, 永塚鎮男・漆原和子 共訳

地球環境の担い手として、土壌が今日程多くの人の関心を集めたことは、これまでになかったことである。しかし、これまで農学の分野で研究や教育に携わってきた者にとっては、急に垣根が取り払われたような戸惑いを払い切れないのではないだろうか。しかし、土壌から生産物の加工・流通までを視野に取めて研究を進めて来たのは農学しかない以上、戸惑っているわけにはいかないのである。ともあれ、そんな戸惑いを感じたときに一読を勧めたいのが本書である。

原著初版は1970年の出版であるが、本書は1978年に公にされた改訂2版の全訳である。原著者ブリッジス教授は、英国シェフィールド大学の地理学科を卒業した後、英国各地の土壌調査に従事し、その後スワンジー、オーストラリア、トリニダードなどの地理学、土壌学機関において研究・教育に従事してきた土壌地理学者である。土壌を媒介にした幅広い著者の経験と土壌地理学に関する独自の考え方がこの著書のバックボーンになっている。訳者の一人漆原が「内容の広さに、一種の羨望を抱いた」と述べているように、本書は世界の土壌についてのこれまでの知識を、幅広くしかも大変要領良く整理している。これは、著者が日本語版への序文で強調しているように、「システム研究法による土壌生成モデル」を念頭に置いて既往の知見を取捨選択し、それに沿った系統的な解説を心がけていることによるものであろう。土壌は陸地のあらゆる所に存在し、そこで起こる全ての反応の場なのである。真剣に立ち向かえば、なすべきことは無限に広がってこざるをえない。しかし、広がった科学的興味とそれによってもたらされる膨大な情報をどう

体系化していくかが明らかにされない限り、土壌のような複雑な自然物に関する研究は焦点を失い、経験主義に埋もれてしまわざるを得ないであろう。この意味で、土壌研究におけるシステム分析法の確立は焦眉の急務と云うべきである。

この本を通読して、先ず気づく点は、土壌断面柱状図とともにブロックダイグラムや地形断面図が頻繁に用いられ、これがそれぞれの土壌を理解させる上で重要な役割を果たしていることである。著者は、明らかに、土壌システムを三次元的に把握しようと考えており、土壌断面の発達という二次元(点)の情報を地形に媒介にして三次元(面)的に組み立てて行くことの重要性を強調している。

土壌現象の空間的変異とその面的な把握は、第14回 ICSSにおける土壌物理部門の主要なテーマの一つであった。空間的変異への確率論的なアプローチが、いろいろと報告されて興味深いものがあった。その一方で、著者は、土壌物理の研究者が、土壌場が三次元的な広がりを持ち、各ペドンが相互に密接な関連をもって発達していることをより深く理解すべきことを痛感した。我々は、今や、物理的・数学的な目とともに広域を俯瞰する地理学的な目をも必要としつつある。

末筆ながら、永塚、漆原両氏の訳は正確で読みやすく、一気に通読できる。カタカナが多いのは、いくらか気になる点であるが、これは現時点ではやむを得ないことであろう。わが国に特徴的な土壌および土壌分類に関する訳者補遺も要を得て有益である。

(北海道大学 佐久間敏雄)

## 「地球圏—生物圏国際協同研究計画(IGBP)の実施について(勧告)」を採択

平成2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18日から20日まで第109回総会を開催しました。今回の日本学術会議だよりでは、その総会で採択された勧告を中心に、同総会の議事内容等についてお知らせします。

### 日本学術会議第109回総会報告

日本学術会議第109回総会(第14期・第5回)は、4月18~20日の3日間開催された。

総会第1日目の午前中には、会長からの経過報告、各部委員会報告に続き、勧告、対外報告の2案件の提案がなされた。これらの案件については、同日午後の各部会での審議を経た上で、第2日目の午前中に採択された。なお、総会前日の17日の午前中には、連合部会が開催され、これらの案件の予備的な説明、質疑が行われた。また、第2日目の午後には、自由討議が、第3日目の午前中には各常置委員会が、午後には各特別委員会がそれぞれ開催された。なお、第2日目の総会に先立ち、同日表敬訪問のために訪れた1990年(第6回)日本国際賞受賞者4名の紹介がなされ、うち2名の方々から挨拶が行われた。

今回総会では、次の勧告、対外報告が採択された。

#### ①地球圏—生物圏国際協同研究計画(IGBP)の実施について(勧告)(この勧告の詳細は、別掲参照)

このIGBPについては、以前から会長召集の検討会議や関係する部会、研究連絡委員会等で検討が続けられてきたが、この度、これらの検討結果を踏まえて、人間活動と地球環境に関する特別委員会のIGBP分科会が中心となって今回の勧告案を取りまとめたものである。

この勧告は、同日午後直ちに内閣総理大臣に提出され、関係省庁に送付された。

#### ②人間活動と地球環境に関する特別委員会報告—人間活動と地球環境について(この対外報告の詳細は、別掲参照)

これは、人間活動と地球環境に関する特別委員会が、昭和63年10月の発足以来行ってきた審議の結果を中間報告として取りまとめたものについて、外部に発表することを承認したものである。この件に関する審議の際には、人間活動という言葉の定義、国際関係や各国の科学技術政策との関連、環境教育の位置付け等々について、活発な質疑応答があり、また、文案の修正を求める多くの意見が出される等、熱心な討議が行われた。

また、総会第2日目の午前には、南アフリカ共和国科学者の学術に係る我が国への入国手続きをめぐる従来からの問題について討議が行われ、「科学者の自由交流」の考え方に賛同し、本問題の早急かつ実質的な解決を望む多数の意見が述べられた。

なお、第2日目午後には、「学術の国際化への対応」というテーマで、活発な自由討議が行われた(この自由討議の詳細は、別掲参照)。

### 地球圏—生物圏国際協同研究計画(IGBP)の実施について(勧告)

#### (勧告本文)

国際学術連合会議(ICSU)は、1983年1月の執行委員会から、国際測地学・地球物理学連合(IUGG)より提案のあった地球圏—生物圏国際協同研究計画(International Geosphere-Biosphere Programme, 略称IGBP)について検討を始め、1986年ベルンで開かれた総会で、この計画を1990年から10年間国際協力により実施することを決定した。我が国の研究者は国際的立案の段階からこの研究計画の審議に参加してきており、この国際協力事業に我が国の研究者が参加することは、この国際協同研究計画が持つ重要性にかんがみ意義が極めて大きいと考えられる。したがって、政府はこの国際的かつ学際的事業を成功させるために、我が国におけるIGBP研究の実施に当たり、研究の推進、国際対応、研究者の養成などの体制整備並びに予算等万全の措置を講じられたい。

#### (説明)[要旨]

国際学術連合会議(ICSU)は、国際協同研究として、地球変化を支配する物理的・化学的・生物学的な諸過程とその相互作用を解明するため専門的知識を結集し、「地球圏—生物圏国際協同研究計画(IGBP)」を実施するため、検討を行ってきた。我が国の研究者は関係する国際委員会に参画し積極的にその役割を果たしてきた。

IGBPの目的は全地球を支配する物理的・化学的・生物学的諸過程とその相互作用を究明することによって、過去から現在、未来にいたるまでの生命を生み出している地球独特の環境とその変化、さらに人間活動による変化について解明し、記述し、理解することである。

我が国における実施計画は、国際的な計画を参照しつつ、次の7研究領域を設定した。

研究領域1: 大気微量成分の変動及び生物圏との交換。

研究領域2: 海洋における物質循環と生物生産。

研究領域3: 陸上生物群集への気候変化の影響。

研究領域4: 大気圏・水圏・陸圏と生物圏の相互作用を考慮した気候解析とモデリング。

研究領域5: 環境変化のモニタリング

研究領域6: 古環境の変遷。

研究領域7: 地球環境と人間活動の相互作用。

本研究計画は1990年から10年間行われ、日本は広義のモンスーンアジア地域、西太平洋地域、極域に特に重点をおいて研究を実施する。また、効果的に推進するため、地球システムにかかわる他の国際協同研究とも協力する。

## 人間活動と地球環境に関する特別委員会報告 —人間活動と地球環境について (要旨)

人間活動とそれをとりまく環境については、ギリシャ・ローマ時代以来考察されてきた。最近に至り、工業化や都市化が早い速度で展開し、その影響は局地的にとどまらず、地球規模で進行し、地球環境の急速な変化が現れてきた。特に、二酸化炭素や微量気体の温室効果に起因する地球温暖化、酸性雨、砂漠化などさまざまな環境変化が現れている。そしてその進行速度が大で、人間として対応、適応または順化する変化の速度の限界を越しているところに問題がある。

地球規模の環境変化研究の国際的プロジェクトとして「地球圏—生物圏国際協同研究計画 (IGBP)」があり、少し遅れて実施される予定の「地球変化の人類次元研究計画 (仮称) (HDGCP)」がある。

問題を解決するためには、人間活動と地球環境を一つの系としてとらえ、そこにおける物質循環やエネルギー変化の定量的記述に基づき、あるべき姿を検討し、新しい技術体系や政策体系を構築する。そこでは、総合的な研究体制を構築するプログラムを用意する必要がある。このような新しいしかも長期的な研究を推進するためには、研究者の養成、教育体系の検討、全学術研究体系の整備が必要である。

### 総会中の自由討議—学術の国際化への対応

本会議総会中の行事の一環である自由討議が、総会2日目の4月19日の午後1時から3時間にわたり開催された。今回の課題は、「学術の国際化への対応」であった。

自由討議は、大石泰彦副会長の司会のもと、はじめに話題提供として、①川田侃第2部会員から「学術の国際化への対応—政治学の場合」について、②高柳和夫第4部会員から「学術における国際対応—理学の場合」について、③松本順一郎第5部会員から「日本学術会議と国際学術協力」について、それぞれ意見の発表がなされた。

続いて、会員間で多岐多様にわたり活発な討議が行われたが、その際述べられた意見の主なものを項目として列挙すると、「日本全体の国際学術交流・協力事業に占める日本学術会議の位置付け、役割」、「特に発展途上国からの研究者、留学生の受入れ問題」、「ユネスコ関係の諸活動・事業への対応の在り方」、「日本学術会議が加入している各国際学術団体への対応の個別的な現状と問題点」、「新しい国際協力事業への日本学術会議の対応の在り方」、「日本学術会議の国際対応組織の整備・強化」等であった。

### 経営工学研究連絡委員会報告—経営工学の 体系化に向けて (要旨)

固有技術とよく調和した管理技術の体系を明確にし、この体系の研究を進めて行くことは高度技術社会における社会組織と企業経営のあり方を検討するのに重要な意義を有する。

今までも、経営工学は日本の経済、社会及び技術の発展段階において、その役割を果たし、日本経済の発展に貢献してきた。とくに日本製品の品質と生産性と向上に果たした経営工学の役割は広く内外において高く評価されているところである。

経営工学の理論と応用の研究は、その実学的な性格もあり、企業における工学・技術を基盤とする経営管理活動に

重点がおかれていたが、経営工学の理論は広い普遍性を有しているため、今後は広く社会や国際に関する問題にも応用されなければならない。

本報告は、このような意図の下に、経営工学研究連絡委員会に参加している4学会の代表者よりなるワーキンググループの協力の下に、経営工学の役割と学問的体系を整理し、その研究と教育のあり方と今後の展開を考察したものである。

### 生物物理学研究連絡委員会報告—生物物理学の 新しい研究体制について (要旨)

生物科学の急速な進展の中で生物物理学は生物機能のメカニズムを物理的に解明し、生物科学全体の基礎を形づくる学問として、多くの貢献をしてきた。今後生命現象の基本的理解をめざすのみならず、バイオテクノロジーの基盤となるべく、生物物理学の役割はますます大きい。

このような状況の下で、生物物理学の一層の発展をはかるには、以下のような新しい研究体制をつくることが望ましい。

現段階で特に集中的総合的に研究を推進すべき分野として、(A)分子機能解析 (B)生物情報解析 (C)高次情報解析の三つをとり上げる。それぞれの分野に適合した場所に研究室群 (研究センター) をおき、それらが相互に連携し、一つの研究組織を作る。さらにこの組織が物理的方法を軸として新しい大型の研究設備のシステムを備える。そして将来この体制が基礎生物科学の研究体制の重要な一環となることをめざす。

### 日本学術会議第15期会員選出のための学術 研究団体の登録について

現在、日本学術会議会員推薦管理会では、各学術研究団体から、第15期会員選出のための日本学術会議への「登録」申請の受付を行なっています。この「登録」は、期が変わる度に行う必要があり、従って、第14期における登録学術研究団体も第15期会員選出のための登録学術研究団体となるためには、改めて第15期の「登録」が必要です。

この「登録」申請を行うためには、所定の様式による「学術研究団体登録申請書」を、平成2年6月30日 (土) までに日本学術会議会員推薦管理会に到達するように提出する必要があります。

「学術研究団体登録申請書」は、所定の様式と用紙がありますので、日本学術会議会員推薦管理会に請求してください。無料で送付します。

### 日学双書の刊行案内

日本学術会議主催公開講演会の記録を中心に編集された次の日学双書が刊行されました。

- 日学双書 No.6 「高齢社会をどう生きるか」
- 日学双書 No.9 「“人権の歩み”から何を学ぶか」

[定価] 両書とも、1,000円 (消費税込み)

※問い合わせ先: (財)日本学術協財団 (〒106 東京都港区西麻布3-24-20、交通安全教育センタービル内、電話03-403-9788)

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

# 日本学術会議だより №.18

## 第15期日本学術会議会員の選出手続きが始まる

平成2年8月 日本学術会議広報委員会

日本学術会議では、現在、第15期会員を選出するための手続きが進められています。今回の日本学術会議だよりでは、その手続きの概要に加えて、来年度に開催される共同主催国際会議等について、お知らせいたします。

### 第15期日本学術会議会員の選出について

日本学術会議では、現在、第15期会員（任期：平成3年7月22日から3年間）を選出するための手続きが進められている。

先般、最初の手続きとして、6月末日を締切期限に、各学術研究団体からの登録申請の受付が行われた。今回申請のあった団体数は、942団体であった。

今後引き続き行われる手続きとその日程の概略は次のとおりである。

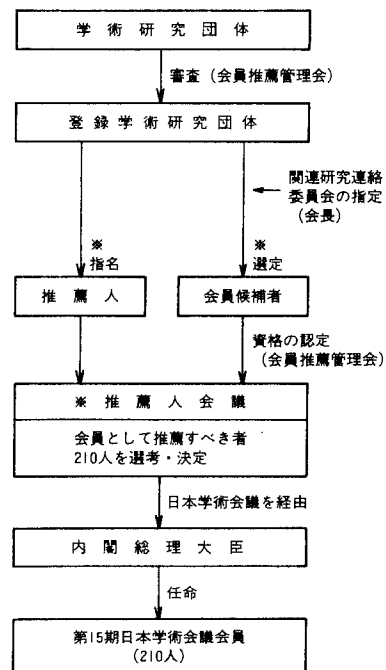
#### 〈平成2年〉

- ・ 9月上旬……………登録審査結果の通知
- ・ "……………関連研究連絡委員会（注）についての意見聴取
- ・ 11月30日まで……………関連研究連絡委員会の指定
- ・ 12月上旬……………会員の候補者の選定及び推薦人の指名の依頼

#### 〈平成3年〉

- ・ 1月31日まで……………会員の候補者の届出の締切り
- ・ 2月20日まで……………推薦人（予備者を含む）の届出の締切り
- ・ 3月20日まで……………会員の候補者の資格の認定等の通知
- ・ 3月下旬……………推薦人に会議開催等の通知発送
- ・ 4月20日まで……………〈候補者関係〉異議の申出に対する決定
- ・ 5月中旬から  
6月上旬まで……………推薦人会議（会員及び補欠の会員として推薦すべき者を決定）
- ・ 6月中旬……………日本学術会議を経由して内閣総理大臣へ推薦
- ・ 7月22日……………第15期日本学術会議会員の任命

### 〈会員選出手続きに関するフローチャート〉



※ 指定された関連研究連絡委員会により区分された学術研究領域ごとに行われる（下記の（注）を参照）。

（注） 関連研究連絡委員会：学術研究団体がその目的とする学術研究の領域と関連する研究連絡委員会として、届け出た研究連絡委員会。届け出た関連研究連絡委員会が複数あるときは、日本学術会議会長は、登録学術研究団体の意見を聴いて関連研究連絡委員会を指定

（限定）する。

登録学術研究団体は、この指定された関連研究連絡委員会により区分された学術研究の領域ごとに、会員の候補者及び推薦人を届け出ることになる。

### 平成3年(1991年)度共同主催国際会議

本会議は、昭和28年以降、学術関係国際会議を関係学術研究団体と共同主催してきたが、平成3年(1991年)度には、次の6国際会議を開催することが、6月19日の開議で了解された。(カッコ内は、各国際会議の開催期間と開催地)

- ◆第21回国際農業経済学会議  
(平成3年8月22日～29日、東京都)  
共催団体：日本農業経済学会外4学会
- ◆国際医用物理・生体工学学会議(第16回国際医用生体工学学会議・第9回国際医学物理学会議)  
(平成3年7月7日～12日、京都市)  
共催団体：(社)日本エム・イー学会外1学会
- ◆国際純正・応用化学連合1991国際分析科学会議  
(平成3年8月25日～31日、千葉市)  
共催団体：(社)日本分析化学会
- ◆第22回国際シミュレーション&ゲーミング学会総会  
(平成3年7月15日～19日、京都市)  
共催団体：日本シミュレーション&ゲーミング学会
- ◆一般相対論に関する第6回マールセルグロスマン会議  
(平成3年6月23日～29日、京都市)  
共催団体：(社)日本物理学会
- ◆第22回国際動物行動学会議  
(平成3年8月22日～29日、京都市)  
共催団体：日本動物行動学会

### 第4部報告—科学技術庁大型放射光施設建設計画について(要旨)

(平成2年5月25日、第755回運営審議会承認)

予算規模約一千億といわれる科学技術庁大型放射光施設が実施段階に入った。このような大型施設の順調な建設、稼働後の有効利用のためには、研究者、技術者の努力はもとより、関連政府諸機関相互の理解と協力が不可欠である。我が国の放射光研究開発はこれまで大学等基礎的研究機関を中心として発展してきたのであるが、その経験と成果は今回の大型計画においても活用され、さらに発展せられるべきである。日本学術会議は、先に「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—(平成元年第107回総会勧告)」において、大学等と各省庁研究機関の間の研究設備の相互利用、研究者の相互交流の必要性を指摘した。第4部は、今回の科学技術庁の大型放射光施設の建設及び共同利用がその重要な具体例であると判断し、物理学、結晶学、生物物理学三研究連絡委員会委員長より日本学術会議会長あての申入れにもとづいて本報告をとりまとめたものである。

### 化学研究連絡委員会報告—大学における研究環境、特に研究実験室のスペースについて(要旨)

(平成2年5月25日、第755回運営審議会承認)

我が国においては、基礎科学の振興が叫ばれながら、大学等の研究環境の改善は長い間取り残されたままである。日本学術会議化学研究連絡委員会の調査によると、我が国の大学における化学関係の学科の研究実験室のスペースを研究者一人当たりにした場合、欧米の大学と比べて2分の1から3分の1の広さに過ぎず、実験台や戸棚などの占める面積を勘定に入れると、実質的には3分の1から4分

の1のスペースしかない極度の狭隘さである。

各種の危険を伴う化学実験の安全性を確保するためには、大学等の研究実験のスペースを抜本的に改善することが絶対に必要であり、差し当たり現在の面積を倍増する必要がある。

### 日本学術会議主催公開講演会開催のお知らせ

本会議では、このたび、次の2つの公開講演会を開催いたします。是非、多数の方々の御来場をお願いします。

#### I 公開講演会「高度技術と市民生活」

- 日 時：平成2年10月13日(日)13時30分～17時
- 会 場：兵庫県社町福祉センター大ホール  
(兵庫県加東郡社町社26番地)
- 演題と講演者
  - ①「高齢化社会と高度技術」  
原澤 道美(第7部会員、東京通信病院院長)
  - ②「消費生活と高度技術」  
正田 彬(第2部会員、上智大学教授)
  - ③「地域振興と人間主導型高度技術」  
竹内 啓(第3部会員、東京大学教授)

#### II 公開講演会「資源エネルギーと地球環境に関する展望」

- 日 時：平成2年10月30日(水)13時～17時
- 会 場：日本学術会議講堂  
(東京都港区六本木7-22-34)  
(地下鉄「千代田線」乃木坂駅下車徒歩1分)
- 演題と講演者
  - ①「人間と環境」  
大島 康行(第4部会員、早稲田大学教授)
  - ②「エネルギー資源」  
石井 吉徳(第5部会員、東京大学教授)
  - ③「エネルギーと経済問題」  
則武 保夫(第3部会員、立正大学教授)
  - ④「エネルギーとCO<sub>2</sub>対策」  
上之園親佐(第5部会員、摂南大学教授)

★ 両講演会とも、入場無料です。

#### 【問い合わせ先】

日本学術会議事務局庶務課「公開講演会係」  
電話 03-403-6291 内線 227, 228

### 日学双書の刊行案内

日本学術会議の総会並びに主催公開講演会の記録を中心に編集された次の日学双書が刊行されました。

- ・日学双書 No.7 「地球環境問題」
- ・日学双書 No.8 「人間は地球とともに生きられるか」  
両書とも、定価1,000円(消費税込、送料210円)

#### 【問い合わせ先】

(財)日本学術協力財団 (電話 03-403-9788)  
〒106 東京都港区西麻布3-24-20、  
交通安全教育センタービル内

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

## 「創薬基礎科学研究の推進について(勧告)」を採択

平成2年11月 日本学術会議広報委員会

日本学術会議は、去る10月17日から19日まで、第110回総会を開催しました。今回の日本学術会議だよりでは、その総会で採択された勧告等を中心に、同総会の議事内容等についてお知らせします。

### 日本学術会議第110回総会報告

日本学術会議第110回総会(第14期・第6回)は、平成2年10月17~19日の3日間開催された。

1 総会第1日目の冒頭に、先に逝去された、時永淑会員(第3部)及び大谷茂盛会員(第5部)を追悼して黙禱を捧げた。続いて、会長からの経過報告、各部・委員会報告の後、内規改正、勧告、対外報告の3案件の提案説明が行われた。これらの案件については、同日の午後の各部会での審議を経た上で、第2日目の午前中に審議・採択された。

2 今回総会で採択された事項は次のとおりである。

(1)日本学術会議の運営の細則に関する内規の一部改正

本件は、①来年春の第14期最後の総会が5月(通常は4月)開催になったことに伴い、「副会長世話担当研究連絡委員会の運営に関する総会決定」の適用期間を、1か月間延長するとともに、②第14期限りの措置として、地球圏-生物圏国際協同研究計画(IGBP)のフォローアップ組織として、地理学研究連絡委員会に「IGBP専門委員会」を設置するために、関係各部等の研究連絡委員会委員定数について必要な処理を行ったものである。

(2)創薬基礎科学研究の推進について(勧告)

本件は、薬科学系の3研究連絡委員会と薬理学研究連絡委員会が従来からの検討結果を勧告案として取りまとめ、第7部提案として、今回総会に付議したものである(この勧告の詳細は、別掲参照)。この勧告は、同日午後直ちに内閣総理大臣に提出され、関係省庁に送付された。

(3)第6常置委員会報告-外国人研究者・大学院留学生受入れに関する問題点と改善の方策について

本件は、第6常置委員会が、今期的重要課題の一つとして審議を重ねてきた結果を「対外報告」として取りまとめたものを、外部に発表することについて承認したものである(この報告の詳細は、別掲参照)。

3 以上の諸報告及び提案審議のほか、特に、近藤会長から、前回総会で討議された南アフリカ共和国学者の我が国入国をめぐる諸問題については、その後、外務省と折衝した結果、ビザ発給手続きの合理化措置が講じられ、国際学術連合会議(ICSU)の理解が得られたとの報告があった。また、提案事項採決後行われた自由討議では、大学等高等教育関係予算拡充問題、遺伝子操作に関する法規制問題等について意見交換が行われた。

4 第2日目午後には、「特別委員会審議状況報告に基づく意見交換」が開催された(この意見交換の詳細は、別掲参照)。また、第3日目の午前中には各特別委員会が、午後には各常置委員会がそれぞれ開催された。

### 創薬基礎科学研究の推進について(勧告)

(勧告本文)

優れた医薬の創製すなわち創薬の研究は、空前の高齢化社会を目前にして、健やかな長寿を目指す健康社会実現のため、さらには国際的立場から地球上の全人類の福祉に貢献するため、我が国にとって大きな意味を持つものである。特に、多くの成人病、老年病、またエイズやいわゆる難病等についての的確な予防薬・治療薬の創製が待望されている。しかしながら、これらの疾患に対する優れた医薬の創製は世界的にみて、医薬創製のよりどころとなるべき基礎理論、研究技術の発展が十分でないため遅々として進んでいない。

とりわけ我が国は先進国の一角を占めているとはいえ、大学、企業、公的研究機関共に、ひとつの疾患の予防・治療に変革をもたらし得るほどの画期的医薬創製の実績に乏しく、国の内外から研究態勢の遅れが指摘されている。とはいえ、最近のバイオサイエンス分野の急速な展開と、我が国科学者のこの方面での活躍の実績をみるならば、学際的な創薬基礎科学研究の推進を図り、これによって人類の福祉向上に貢献することは、現下の我が国にとって緊要の課題である。

このため、早急に創薬基礎科学研究の推進組織を設け、これを核とした強力かつ広範な研究態勢の確立を図るべきである。これに当たっては、医薬の創製における倫理の尊重を基本理念とし、生体機構及び病態の解析研究とそれに基づいた独創的・画期的医薬の創製を指向する分子設計並びに薬効・安全性評価の基礎理論の樹立、さらに薬効・安全性の測定技術・ヒトの病態のシミュレーション技術等、各種の新技術の開発研究を特に重視すべきである。

この研究推進組織の設置には、関係省庁が関与すると共に、地方自治体、大学及び民間の参画を可能とし、また、関連科学各分野の学際的なネットワークを構築するなど多角的な協力と交流による研究の推進を図るため、格段の効果的措置を講じ得る形態とすべきである。

日本学術会議は、創薬基礎科学研究の推進を図るため、上記の趣旨に基づいて必要な施策を速やかに講ずるよう勧告する。



## 第6 常置委員会報告—外国人研究者・大学院留学生受入れに関する問題点と改善の方策について—(要旨)

(平成2年10月18日 第110回総会承認)

外国人研究者・大学院留学生の受入れを促進するうえで、言語、研究環境、外国人研究者の任用、大学院留学生の学位、外国人研究者・大学院留学生の選考が問題になる。

日本語能力は研究の対象とする学問分野や研究課題との関係が留意されねばならない。分野によっては、日本語能力は日常生活に必要なもので足り、研究のためには英語の能力が必須である。研究者の受入れに当たり、その研究に耐え得る日本語又は英語の能力を備えているかを十分に審査しておくことが、研究を実りあるものとするために必要である。

貧弱な研究設備のまま、また十分な研究費を持たないままで外国人研究者を受け入れる事は受け入れた外国人研究者を失望させるだけでなく、日本人研究者の研究を阻害する。また劣悪な居住環境や、事務局等の対応組織の不備も、外国人研究者の研究活動を妨げる。国は、研究環境を整備することに對して十分な予算措置を講ずべきである。

我が国の大学における外国人研究者の任用は、その道が開かれているとはいえ、まだ十分でない。外国人研究者の任用に関して広く情報を提供する機関の設置、あるいは大学等において外国人研究者を一定数受け入れる体制の確立が望まれる。

大学院留学生の博士学位の取得は、帰国後の処遇と関係して問題となっている。受入れ大学院において、博士学位の取得促進につき一層の改善努力が払われることが期待される。

外国人研究者の選考については、受入れ側が研究者の素質をよく理解し、公正な基準によって行うことが大切である。大学院留学生については、素質の多様化と学生数の急増に伴い多くの問題が生じており、その選考方法に対し根本的改善が要望される。

## 解剖学研究連絡委員会報告—日本における解剖学の教育と研究(現状の考察と将来への展望)—(要旨)

(平成2年9月21日 第758回運営審議会承認)

自然科学の急速な発展に伴い、医学部・医科大学における教育・研究・診療のすべての分野に、大きな変化が生じた。すなわち研究手法の開発、研究機器の発達により、既存の学問領域の進歩に加えて、新たな学問分野が分化し、教育内容は多様化すると共に著しく増大した。さらに人口の増加と高齢化、経済の成長など種々の社会的要因の変化も複合されて、医学における教育と研究の重点と目標にも変化が生じた。それらは、これまで医学の基礎を形成して来た伝統的な講座に、とりわけ強い影響を与え、その在り方について検討し、改善をはかる必要性を生じさせた。

本報告は、このような状況を踏まえ、我が国における解剖学の教育と研究について、現状を考察し、今後の在り方に関する指針をまとめたものである。報告では、解剖学の定義と使命、医学教育と研究における解剖学、解剖学教室の構成、解剖学者の養成、医学部他教室及び社会との関係などの、現状と問題点について検討し、医学の変貌に對処すべき改善の方途を明らかにすると共に、将来に向けての展望が示唆された。

## 総会中の「特別委員会審議状況報告に基づく意見交換」

今回総会の第2日目の午後には、1時から4時間にわたって「特別委員会審議状況報告に基づく意見交換」が行われた。従来この時間帯には、その時々々の学術上の重要課題を取り上げて、会員による「自由討議」が行われてきた。今回は、これに代わり、第14期も2年余を経過し、余すところ9か月足らずとなったこの機会に、今期の当初に決定された第14期活動計画において、「緊急に調査審議を行って第14期中に適切な形で報告・提言を取りまとめるべき課題」ごとに設置された各特別委員会から、今までの審議状況を報告してもらい、それに基づいて会員間の意見交換を行って、各特別委員会の今後の審議の参考に供することにしたものである。

1 まず最初に、医療技術と社会に関する特別委員会の水越治委員長(第7部)から、同委員会における「脳死をめぐる問題」に関する審議の経過を取りまとめた「中間まとめ」について報告がなされた後、「日本人の国民性に根ざした死の概念との関わり」、「臓器移植を必要とする患者と臓器提供者の需給関係の問題」、「死の認定基準のあり方」、「前期の学術会議における脳死問題に関する審議状況との関係」等について意見交換が行われた。

2 次に、農業・農村問題特別委員会の水間豊委員長(第6部)から、同委員会が今後取りまとめることを予定している「農業・農村のもつ今日的意義と課題(仮題)」の概要について報告がなされた後、「他の先進諸国の農業との比較の必要性」、「国内外の政治との関わり」、「世界の食糧問題に対する日本農業の果たすべき役割」、「他産業を絡めた農業・農村の振興策」等について意見交換が行われた。

3 最後に、人間活動と地球環境に関する特別委員会の吉野正敏委員長(第4部)から、同委員会が現在取りまとめを行っている「人間活動と地球環境に関する日本学術会議の見解(案)」について報告がなされた後、「地球環境教育の重要性」、「国際学術協力事業等国際的対応のあり方」、「医学・保健問題との関わり」、「地球環境保全と経済成長との関係」、「南北問題との関わり」等について意見交換が行われた。

## 第15期日本学術会議会員選出のための登録学術団体の概況

本会議では、現在第15期(平成3年7月22日～平成6年7月21日)会員(定員210人)選出のための手続きが進められているが、先般6月末日を締切期限として、学術研究団体からの登録申請が受け付けられた。その後日本学術会議会員推薦管理会が審査が行われ、結果は次のとおりであった。

学術研究団体の登録申請の審査結果

申請団体数……………952団体

登録団体数……………915団体

※日本学術会議会員推薦管理会が登録した915団体名は、日本学術会議月報平成2年12月号に掲載されるので、御参照願いたい。

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

## 会務報告

1990・1991 年度役員 (任期:1990.11.1~1992.10.31)

会 長 長堀 金造 (岡山大)

副会長 東 順三 (神戸大)

幹 事

(庶務) 三野 徹 (岡山大)

(会計) 島田 清, 天谷 孝夫 (岡山大)

(編集) 三浦 健志 (岡山大), 千家 正照 (岐阜大)

編集委員会

委員長 足立 忠司 (岡山大)

委 員 宮内 定基 (愛媛大), 井上 光弘 (鳥取大),

逸見 彰男 (愛媛大), 高木 東 (中国農試),

木村 真人 (名古屋大)

選出評議員

(北海道) 佐久間敏雄, 相馬 尅之, 波多野隆介

(東北) 東山 勇

(関東) 長谷川周一, 多田 敦, 田淵 俊雄,

軽部重太郎, 長野間 宏

(中部) 岩間 秀矩

(近畿) 丸山 利輔

(中国・四国) 三野 徹, 足立 忠司

(九州) 黒田 正治, 細山田健三

諸会議開催経過 (1990.7.1~11.9)

1. 編集委員会 (1990.7.12, 農環研)

1) 会誌第61号の編集状況について

2) 会誌第62号原稿の投稿・審査状況について

2. 事務局会議 (1990.7.12, 農環研)

1) 第32回シンポジウムの講演題目および講演者の決定

2) I C S S に関連した講演会の開催について

3) 学術研究団体登録について

4) 評議員選挙の実施について

3. 土壌物理研究会特別セミナー (東京)

日時: 1990年8月7日 (火) 13:15~16:30

場所: 東京大学農学部

テーマ: "Soil Physics Research in the Next Decade"

講演:

Nakano, M. (Univ. of Tokyo)

The Role of Soil Physics in Earth Conservation  
and Land Improvement

Nielsen, D. R. (Univ. of California)

Pushing up Frontiers in Soil Science

Vachaud, G.

Field Measurement of Water Balance and Solute  
Flux in the Soil

総合討論

4. 土壌物理研究会特別セミナー (つくば)

日時: 1990年8月10日 (金) 10:00~12:00

場所: 農業環境技術研究所

テーマ: "Modeling Solute Transport and Retention  
in Soils"

講演:

Selim, H. M. (Louisiana State Univ.)

Modeling Solute Transport and Retention in  
Soils; A Mechanistic Approach

5. 編集委員会 (1990.10.19, 農研セ)

会誌第62号の編集状況について

6. 事務局会議 (1990.11.6, 農環研)

1) 1989年度第2回評議員会, 1990年度総会について

2) 第32回シンポジウムについて

3) 会誌編集の進行状況

7. 1989年度第2回評議員会 (1990.11.9, 農環研)

1) 1989年度事業報告

2) 1990年度事業計画

3) 編集委員会報告

4) 1989年度会計報告

5) 会計監査報告

6) 1990年度予算

7) 次期評議員の選挙結果について

8) 次期会長の選出, および次期事務局体制について

9) 入退会者の承認・報告

10) その他

日本学術会議第15期 (1991.7.22~) 会員の選出にか  
かわる学術研究団体登録に際して, 関連研究連絡委員  
会としては農業総合科学 (第1順位) および土壌・肥  
料・植物栄養学 (第2順位) を, 推薦人の指名及び会  
員の候補者の選定に係わる研究連絡委員会としては農  
業総合科学 (推薦人1名) を登録したことが報告され  
た。

8. 1990年度総会 (1990.11.9, 農環研)

1) 1989年度事業報告

2) 1990年度事業計画

3) 編集委員会報告

4) 1989年度会計報告

5) 会計監査報告

6) 1990年度予算

7) 次期評議員の選挙結果について

8) 次期事務局体制について

## 9) その他

日本学術会議第15期(1991.7.22~) 会員の選出にかかわる学術研究団体登録について  
 なお、総会で可決された1989年度決算、1990年度予算は次の通り。

	項目	1989年度決算	1990年度予算
収 入	繰越金	1,614,934 円	1,734,190 円
	一般会費	2,940,500	2,700,000
	購読会費	252,000	270,000
	賛助会費	45,000	90,000
	出版物売上	139,000	100,000
	雑収入	322,257	100,000
	合計	5,313,691	4,994,190

支 出	会誌制作費	2,459,649 円	2,550,000 円	
	総会費	310,509	450,000	
	通信費	263,069	300,000	
	文具費	25,376	50,000	
	賃金	19,525	200,000	
	交通費	40,140	300,000	
	会議費	47,675	100,000	
	幹事手当	50,000	50,000	
	編集委員会費	45,610	100,000	
	選管委員会費	173,246	-	
	予備費	144,702	894,190	
	次年度繰越金	1,734,190	-	
		合計	5,313,691	4,994,190

## 9. 第32回シンポジウム

日時：1990年11月9日（金）10:00-17:00

場所：農業環境技術研究所大会議室

テーマ：熱帯における持続的土地利用をめぐる土壌物理的諸問題

講演：

- 東北タイ砂質土壌のキャッサバ湿害と塩類化の実態  
 一傾斜畑における水・溶質三次元移動計測の重要性—  
 谷山 一郎（農業研究センター）・三浦 憲蔵（熱帯農業研究センター）
- インド重粘土壌の畑作利用と物理問題  
 キマメとヒヨコマメの作付体系における意義を中心にして  
 有原 丈二（北海道農業試験場）・阿江 教治（農業環境技術研究所）・岡田 健介（熱帯農業研究センター）

## 3. 沖縄島北部赤黄色土の土壌侵食の評価と対策

翁長 謙良（琉球大学農学部）

## 4. ニジュール河流域の砂漠化防止

村山 忠一（農用地整備公団）

## 5. 熱帯低湿地開発の諸問題

久馬 一剛（京都大学農学部）

総合討論

## 会員の動向

## 1. 会員数（1990年11月9日現在、新入会員を含む）

会員種別	会員数
正会員および学生会員	571
地区	
北海道	70
東北	60
関東	206
中部	58
近畿	48
中国・四国	76
九州	50
海外	3
賛助会員	6
購読会員	64
合計	641

## 2. 新入会員(1990.4.1 ~1990.11.8)

氏名	種別	連絡先
村上 弘治	正	389-02 長野県北佐久郡御代田町塩野375-1 草地試験場山地支場
野見洋一郎	正	643 和歌山県有田郡吉備町奥 和歌山県果樹園芸試験場
大谷 隆二	正	004 札幌市豊平区羊ヶ丘1 北海道農業試験場農村計画部
沢村 篤	正	305 つくば市観音台3-1-1 農業研究センター機械作業部
三土 正則	正	305 つくば市観音台3-1-1 農環研土壌管理科
内村 浩二	正	897-03 鹿児島県川辺郡知覧町永里3964 鹿児島県茶業試験場
美座 芳江	正	897-03 鹿児島県川辺郡知覧町永里3964 鹿児島県茶業試験場
倉持 寛太	正	060 札幌市北区北9条西9丁目 北海道大学農学部土壌学研究室
三浦 憲蔵	正	305 つくば市大わし1-2 熱帯農業研

			究センター
黒田 康文	正	779-32	徳島県名西郡石井町石井 1660-1 徳島県農業試験場
窪田 順平	正	183	府中市幸町3-5-8 東京農工大学 農学部環境・資源学科
取出 伸夫	正	113	東京都文京区弥生1-1-1 東京大 学農学部農業工学科
三枝 俊哉	正	086-11	北海道標津郡中標津町桜ヶ 丘1-1 北海道立根釧農試
青山 喜典	正	679-01	加西市別府町南ノ岡甲1533 兵庫県立中央農業センター農業 試験場
古江 広治	正	891-81	鹿児島県大島郡伊仙町面繩 鹿児島県農業試験場徳之島支場
山本 真也	正	765	善通寺市生野町2575 四国農業 試験場地域基盤研究部
秋山 良司	学生	113	東京都文京区弥生1-1-1 東京大 学農学部土壌学研究室
高橋 千穂	学生	060	札幌市北区北9条西9丁目 北 海道大学農学部土壌学研究室
日本大学農 獣医学部図 書館	購読	252	藤沢市亀井野1866

## 3. 退会会員

(1990. 4. 1~1990. 11. 8)17名 (正会員17名)

(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	〃	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改正)****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。編集委員会是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がい、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しを鉛筆で記入する。(例：I-エル、I-イチ、I-アイ、 $x^2$ 、 $\text{Na}_2\text{CO}_3$ 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) 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 0298-38-7642

〒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 0298-38-8826



## — 編 集 後 記 —

本号は筑波の事務局が出します最後の会誌です。発行が常に遅れましたが、皆様のご協力により無事に会誌の発行を終えることができました。ありがとうございました。さて、最近、筑波で増えているものなかで、ちょっと気になるのが芝の生産です。筑波の芝は生産量および生産金額共に日本一ですが、品質にやや問題があるといわれています。芝の生産が急増した理由は、茨城県内のゴルフ場などの建設で需要が多いことと、収益性が高いことが考えられます。さて、この芝が気になる理由ですが、農家で生産されているのに、芝を研究している国

公立の研究機関が少ないことです。私の所属します農水省の場合、家畜の飼料としての牧草は重要な研究テーマですが、緑化のための芝は対象外となっています。ところが、筑波では水田の輪換作物として芝を生産する事例が増えています。1990年代はボーダーレスの時代といわれますが、水田で生産される芝は研究対象外のボーダー作物とでも呼ばばよいのでしょうか？

最後に、次期の岡山大学を中心とする事務局の皆様のご健闘をお祈りします。

(中司啓二)

## 正 誤 表

報文：造成草地の土壌形成に関する生物因子

著者：鈴木創三・小林裕志

土壌の物理性 第61号 p. 31~42 (1990)

訂 正 箇 所	誤	正
37ページ 図-11, 図中	小文字の ●クロボク土 Kuroboku soil	削除
37ページ 図-12, 図	(誤貼)	39ページ 図-16へ
39ページ 図-16, 図	(誤貼)	37ページ 図-12へ

ここに記してお詫び申し上げます。

## — 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)

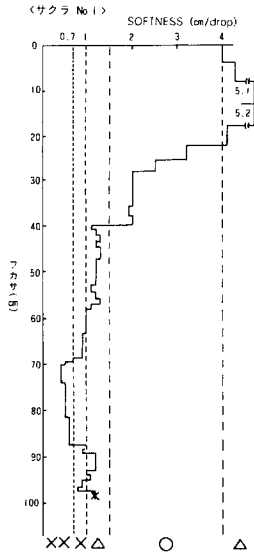
発行 土壌物理研究会 (〒305) 茨城県つくば市観音台3-1-1 農業環境技術研究所 土壌管理科  
 TEL 02975-6-8257 振替口座 東京5-17794  
 銀行口座 関東銀行谷田部支店 口座番号(普通預金) 030205  
 印刷 ニッセイエプロ㈱ 〒305 茨城県つくば市吾妻3-13-11  
 TEL 0298-51-7652 (代) FAX 0298-51-8238



# 土壌調査器具(長谷川式)



土壌貫入計作業風景



ポケットコンピューター処理による  
軟らか度(S値)グラフ

土壌を掘らずに簡便に硬度測定！

## 土壌貫入計(硬度計)

ポケットコンピューター利用

## 土壌貫入計 データ処理機

透水試験が現場で容易に可能！

## 簡易現場透水試験器

精度の高い土壌調査が少労働で可能！

## 大型検土杖

販売元

ダイトウ・グリーン(株) 緑化資材開発部  
東京都町田市原町田2丁目4番1号 TEL.0427-21-1703

製造元

大島造園土木(株) 緑化・土壌研究所

# Soil Physical Conditions and Plant Growth, Japan

No.62

March 1991

---

## Contents

<b>Foreword</b> .....	K. TOKUNAGA	1
<b>Originals</b>		
Transport of exchanging $\text{Ca}^{2+}$ and $\text{Na}^+$ in clay systems .....	N. TORIDE and M. NAKANO	3
On Shrinkage Behavior of Soil in Nakaumi Reclaimed Land .....	S. ISHIKAWA, E. KOHNO and T. ADACHI	13
Improvement of Soil in New Reclaimed Upland Fields by Accelerating the Weathering of Clay Slate .....	K. MIYASHITA, T. KOBAYASHI, Y. CHIBA, K. ISHIKAWA, M. SHISHIDO and H. SHIRAHATA	23
Fluctuation of Evapotranspiration from Wheat Fields as influenced by Radiation and Water Regime of the Soil-Plant-Atmosphere Continuum .....	C. TAKAHASHI, R. HATANO and T. SAKUMA	33
Effect of tillage method on physical properties of heavy soil of rotational paddy field .....	H. NAGANOMA, T. KODAMA, Y. KANETA and S. YAMAYA	43
<b>Explanation</b>		
Soil Water Potential Measurement Using Psychrometers .....	S. SHIOZAWA	53
<b>Notes</b>		
Applicability of the Fall Cone Test for Measuring the Plastic Limit of Cohesive Soils .....	T. KOUMOTO	63
Problems in Environment Assessment Related to Agricultural Development .....	H. MASUJIMA	69
<b>Seminar</b>		
Use of Neutron Moisture Meter to Estimate Water and Nutrient Uptake of Rainfed Crops .....	G. VACHAUD	76
Modeling Solute Transport and Retention in Soils .....	H. M. SELIM	78
<b>Reader's Column</b> .....	M. HATOU	79
<b>Book review</b> .....	M. ISHIGURO	81
.....	T. SAKUMA	83
<b>Announcement</b> .....		90

---

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