

土壌の物理性

第70号

1994年11月

| | | |
|----------------------------------|--------------------------------|----------|
| 巻頭言 | 粕淵 辰昭 | 1 |
| 報文 | | |
| 有底枠における数種作物の水分消費特性 | 竹内 晴信・宮脇 忠 | 3 |
| ピンホール試験による関東ロームの水食性の評価 | | |
| 4極法による土壌カラム内の電気伝導度測定とその応用 | 加藤 誠・安富 六郎・山田 恒利 井上 光弘・塩沢 昌 | 13 23 |
| 資料 | | |
| アブラナ科野菜根こぶ病の発生と土壌物理 | 岩間 秀矩・遅沢 省子・金子 幸男・久保田 徹 | 29 |
| 小特集「土層改良」 | | |
| 泥炭土輪換田の土壌実態 | | |
| 一石狩川下流域の泥炭土輪換田の土層改良(1) | 橋本 均 | 37 |
| 厚い粘質無機質層を持つ泥炭土輪換畑に対する土層改良(泥炭混層耕) | | |
| 一石狩川下流域の泥炭土輪換田の土層改良(2) | 橋本 均 | 43 |
| 泥炭地水田におけるケイ酸補給客土 | 柳原 哲司 | 49 |
| 北海道網走地域の畑作に対する軽石流堆積物客土の効果と問題点 | 竹内 晴信・大山 毅・宮脇 忠・菊地 晃二 | 55 |
| 東海中部地域における土層改良 | 吉野 昭夫 | 67 |
| 北海道における農地の造成と土層改良 | | |
| 一国営事業を中心として | 石渡 輝夫 | 73 |
| 会務報告 | | |
| 編集後記 | | |

土壌物理研究会

土壤物理研究会会則

- 第1条 本会は土壤物理研究会 (Research Association of Soil Physics, Japan) と称する。
- 第2条 本会は土壤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) 土壤の物理性 (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 | 年額 | 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 本会に次の会員をおく。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 本会の会務執行にに必要な規程は別に定める。

「土壤の物理性」投稿規定

1. 投稿要領

- 1) 投稿は本会会員に限る。ただし共著者の場合また編集委員会が依頼した場合はこの限りではない。
- 2) 投稿原稿の採否は、編集委員会において別途定める閲読基準により決定する。なお、「報文」は2名、その他は1名の閲読者を編集委員会において決定し、閲読を依頼する。
- 3) 投稿は以下に示す種別にしたがい、その内容は土壤の物理性に主体をおくもとする。

「報文」一編ごとに報文としての体裁を整え、独創性があり、土壤の物理性に関する研究および技術に寄与するとみなされるもの。他誌に未発表のものに限る。「ノート」新しい事実や、研究方法の改良などを含む短い報告。

「論説・総説」土壤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に書き改めたもの。

「解説」土壤の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など。

「その他」土粒子、書評など。

- 4) 投稿には下記形式の送り状を付け、正原稿1部、コピー2部の計3部を送付する。初校のみ著者校正とし、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。
- 5) 本誌に掲載された論文の著作権は、土壤物理研究会に帰属する。

| | | | |
|--------------|--|-------|--------|
| 発表年月日 | | 受付年月日 | |
| 種別 | | 原稿枚数 | |
| 表題 | | 函表数 | 表枚 函枚, |
| 著者名 | | 写真数 | 葉 |
| 所属 | | 別刷 | 30部+ 部 |
| キーワード(和文・英文) | | | |

付記：投稿は下記宛のこと

「土壤物理研究会編集幹事」

巻 頭 言

地象への取り組み

粕 渕 辰 昭*

一昨年山形大学に移り、私の子供と同年齢位の若い人たちに土壌物理学を教えたり、一緒に実験したり、考えたりすることを始めました。そのなかで、時々、“!”ということに出会います。この間も、『土とは何か、自分の考えを自由に述べなさい』、というレポートの解答のなかに、「自然界で土を通らない物質はない」とか、「土とは生物にとって生命維持装置のようなもの」といった記述があるのを見ると、“おっ、考えてるナ、今どきの若者捨てたものじゃない”，と感心したり嬉しくなったり、そして、“彼らと一緒にがんばらなくては”と改めて気を引き締めているところです。そこで、最近、土壌物理学について考えていることを少し書かせていただいて私の責めを果たしたいと思います。

私はこれまで主として土の中の温度や熱の流れを扱ってきましたが、最近、植生を含めた地表面におけるエネルギーと物質の流れ、特にそのなかでも熱と水の流れをポテンシャル概念だけによるのではなく、エネルギーの量的な流れを基幹として総合的に取り扱うことが必要ではないかと考え始めています。思考実験では、どのように大きなポテンシャル勾配や流量も作り出せます。しかし、現実に地表で生じているのはある範囲内ではしかありません。いささか飛躍するようですが、月の表面における温度は一日で（といっても地球から見れば29日で）約300度の振幅（+100～-200℃）で変化していることが知られています。地球も月も単位面積当たりに受け取る太陽エネルギーはほぼ等しいという条件下で、地球からみれば、信じられないような温度変化が月の表面では生じているわけです。この原因はいうまでもなく、地球の表面にあって、月には無い大気と水にあります。大気や水の存在が地球の温度環境に大きく関与しているのです。宇宙のことが分らなければ、地球のことや土のことが分らない、と言えると同時に、ある制限・範囲のなかで生じている現象を、私たちは対象としてることを忘れてはいけないと思います。もちろんその範囲を越えて、実験し、考え、理論化することは必要です。しかし同時にどの範囲か、ということも考えの中に十分入れておくことも

不可欠だと思います。

再び地表の流れの現象の話にもどれば、流れの駆動力は言うまでもなく太陽放射であり、地表や土中における熱や水の流れが、結局は大きな大気循環の流れを構成することになります。「大気の物理学が気象学、地面、地中の物理学は地象学である。この二者は相互に作用し、甲象の変化は乙象に影響し、その一つを切り離しては考えることが出来ない。」（鈴木清太郎著、農業気象学、1951）という記述のあることを、前田 隆先生からご教示いただいたのは、ずいぶん前のことでした。しかし、地表や土中での熱と水の流れすなわち地象を気象とのつながりの中で把握することを、“総合的にとらえる”と一言で片づけることはできても実行するとなると容易なことではありません。この複雑な関係を明らかにする手だてを私たちは今やっと手に入れつつあると言えます。それはコンピュータをはじめとする情報機器の発達です。多くの要素を同時にとらえ、相互の関係を明らかにしていくには、これまでの成果の上にこれらの機器の利用が不可欠です。そして、これからは地象を土壌物理分野の中の1つの研究方向と考え、若い諸君と一緒に取り組んでみようと思っているところです。

*山形大学農学部



報 文

有底枠における数種畑作物の水分消費特性

竹内晴信・宮脇 忠*

Water Consumption Properties of Some Upland Field Crops Estimated from the Decrease in Soil Water Content in a Lysimeter

Harunobu Takeuchi, Tadashi Miyawaki

Hokkaido Prefectural Kitami Agricultural Experiment Station

(Yayoi 52, Kunneppu, Hokkaido, 099-14 JAPAN)

Summary

Water consumption of spring wheat, potatoes, sugar beet, and onions grown in a lysimeter placed inside of a green house was measured using the change of soil water content profiles.

The results obtained were summarized as follows :

- 1) Water consumption per day of each crop gradually increased with crop growth up to August. The increases of water consumption pattern and their volume, however, were different among these crops. Spring wheat showed the largest water consumption, and it reached $12\text{mm}\cdot\text{d}^{-1}$ on July. An irrigation after water stress increased water consumption of potatoes.
- 2) Total water consumption from initial stage to August showed following order : spring wheat > sugar beet ≈ potatoes > onions. Water consumption of potatoes grown in Volcanic ash soil was about 10% more than that grown in Brown forest soil. There were no differences in water consumption between the wet and dry soil water treatments.
- 3) Soil chemical properties influenced dry matter production of crop and top-root ratio. And it is considered that increase of top-root ratio increased evapotranspiration. That may be one of important factors to explain the difference in total water consumption through the grown period and Apparent Water Requirement (defined as amount of water consumed to produce unit dry weight) between soils.
- 4) Apparent Water Requirement was higher in the dry treatment than the wet one. Therefore this suggests that the crops wasted water in the dry treatment.

Key words : Lysimeter experiment, Water consumption, Apparent Water Requirement, Soil water conditions

(Soil Phys. Cond. Plant Growth, Jpn, 70, 3-12, 1994)

1. はじめに

作物の蒸発散に伴う水分消費量を把握することは、作物に対する適切な水分管理を行なう上で欠くことのできない情報である。蒸発散量を把握することを目的に、従来から多くの研究者によってその測定や、理論的推定法の確立が試みられてきた (Hillel, 1984; 矢野, 1989; 高瀬・佐藤, 1989; 大槻, 1989)。その結果、蒸発散量

は一般的な気象条件のほかには作物や土壌の水分条件などによって大きな影響を受けることが明らかにされている。例えば、蒸散速度には作物間差異が見られること (内藤, 1969)、土壌水分がある値を超えて減少すると蒸散量は急激な低下を示し、その時点の土壌水分には作物間差異があること (鴨田ら, 1974)、作物の葉面積指数が3程度までは蒸散量は葉面積指数と密接な関連を示すが、そ

北海道立北見農業試験場 (099-14 北海道常呂郡訓子府町字弥生52) *現在北海道立中央農業試験場

キーワード: ラインメータ試験, 水分消費量, 見かけの要水量, 土壌水分条件

れ以上になると特に日射量に影響されやすくなること (内藤, 1969) などがあげられる。

一方、農業現場では、大規模な畑作地帯においても圃場の適切な水分管理を行おうとする方向にある。将来的には個別の圃場毎に、土壌、気象、作物とその生育ステージなどから簡易に圃場の土壌水分状態を予測する技術の実用化が期待されるが、その場合に作物の水分消費量を把握することが前提となる。このためには本来それぞれの環境条件に応じて、作物の群落状態での蒸発散量実測値あるいは信頼できる予測値を得なければならない。これまで北海道で作物の水分消費量を測定した例として、北村・今 (1970) がチャンパー法を用いて数種畑作物を比較したものや、小林 (1992) が十勝のテンサイ畑において熱収支法で算定した例などがある。しかしこれら測定例が土壌の違いや水分条件、あるいは作物の生育にどう影響されているかなどについては必ずしも明らかでない。

このような背景から本試験では、土壌、気象を同一にした枠条件において、北海道東部の畑地で広く作付けさ

れている春コムギ、バレイショ、テンサイ、タマネギの水分消費量の比較と時期的な変化について明らかにし、さらに土壌条件や作物の乾物生産量と水分消費量の関連について検討したので報告する。

2. 試験方法

1) 有底枠の概要と供試土壌

道立北見農業試験場内の雨よけ試験室内に設置されたコンクリート製有底枠 (幅1.5m×2.0m×深さ1.5m, 以下、有底枠とする。図-1) の底部に砂利層を約0.3m置き、その上に未耕地で採取した褐色森林土および黒ボク土の表土を充填した。充填後の土壌の容積重、孔隙量、透水係数、およびpH、有効態リン酸含量、リン酸吸収係数、熱水抽出性窒素含量を常法 (土壌標準分析・測定法, 1986; 北海道立中央農試, 1992) により分析し、表-1, 2に示した。なお透水係数の測定は100mlコアを用い、飽和状態での測定を行った後、 -3.12kPa 以下の重力水を除き温風蒸発法 (Arya et al., 1975) により不飽和透水係数を求めた。また1990年は施肥前と収穫

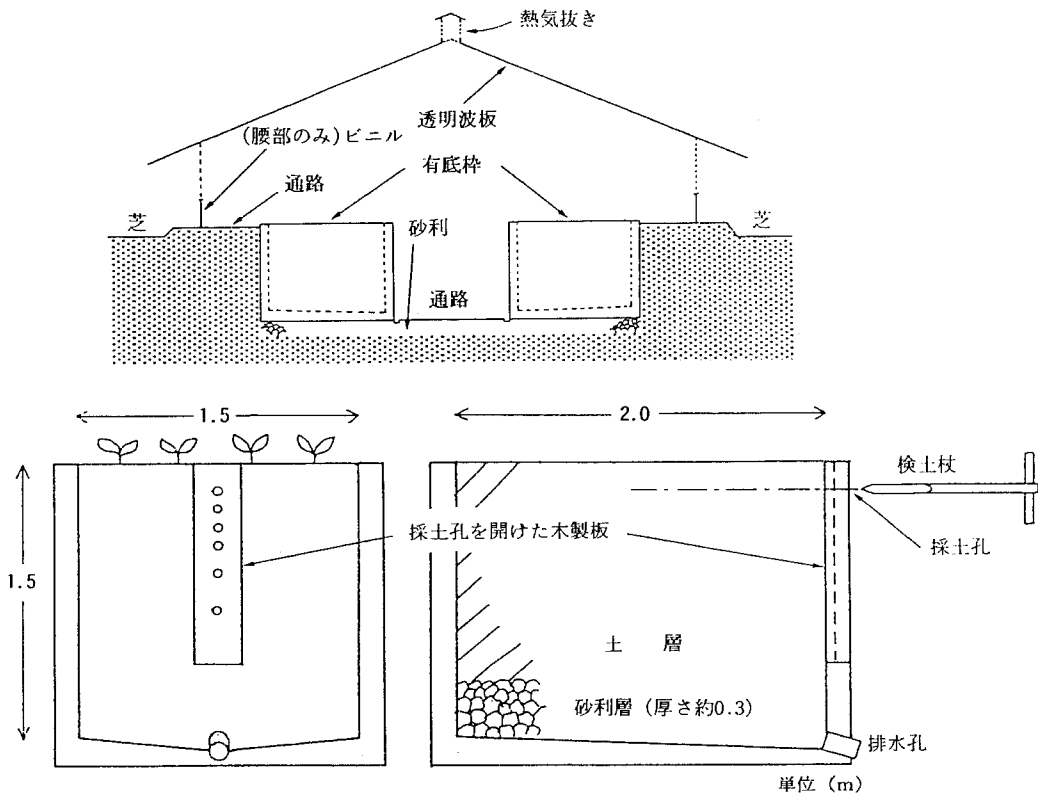


図-1 試験で用いた有底枠の概要と設置状況

Fig. 1 Scheme of the lysimeter and outline of the greenhouse used for experiment

報文：有底枠における数種畑作物の水分消費特性

後に表層部（0～0.2m）の土壤中無機態窒素濃度を常法（同前）により測定した（表-9）。

2) 供試作物

上記有底枠に、1989年は春コムギ、バレイシヨ、テンサイ、タマネギを、1990年はバレイシヨのみを栽植した。

表-1 有底枠充填土壌の物理性

Table 1 Physical properties of the soils filled in the lysimeter

| 土層 深さ 層 (m) | 容積重 (kg m ⁻³) | 全孔隙 率 (10 ⁻³ m ³ m ⁻³) | 有効* 孔隙量 (10 ⁻³ m ³ m ⁻³) | 透水係数(m s ⁻¹) | | |
|-------------------|------------------------------|--|--|--------------------------|--------------------|---------------------|
| | | | | 飽和 | 不飽和(kPa時) | |
| 0~0.1 | 912 | 64.3 | 21.4 | | | |
| 褐色 0.1~0.2 | 892 | 66.4 | 15.5 | 5X10 ⁻⁵ | 1X10 ⁻⁶ | 1X10 ⁻⁸ |
| 0.2~0.3 | 1105 | 57.2 | 16.3 | | | |
| 森林 0.3~0.4 | 1094 | 58.1 | 15.7 | 1X10 ⁻⁴ | 4X10 ⁻⁷ | 1X10 ⁻⁹ |
| 0.4~0.5 | 1040 | 59.5 | 17.7 | | | |
| 土 0.5~0.7 | 1099 | 57.5 | 17.8 | | | |
| 0.7~0.9 | 1161 | 56.2 | 17.3 | | | |
| 0~0.1 | 749 | 71.2 | 24.0 | 4X10 ⁻⁵ | 2X10 ⁻⁶ | 2X10 ⁻⁸ |
| 黒 0.1~0.2 | 755 | 73.7 | 21.6 | | | |
| ボ 0.2~0.3 | 636 | 74.8 | 19.6 | 5X10 ⁻⁵ | 5X10 ⁻⁸ | 8X10 ⁻¹¹ |
| ク 0.3~0.4 | 640 | 76.2 | 19.7 | | | |
| 土 0.4~0.5 | 647 | 75.0 | 19.3 | 3X10 ⁻⁵ | 3X10 ⁻⁸ | 5X10 ⁻¹¹ |
| 0.5~0.7 | 695 | 74.5 | 17.7 | | | |
| 0.7~0.9 | 736 | 72.1 | 18.9 | | | |

*-6.23kPa(pF1.8)~-623kPa(pF3.8)

表-2 有底枠充填土壌の化学性（1989年施肥前）

Table 2 Chemical properties of the soils filled in the lysimeter

| 土壌 | pH (H ₂ O) | 有効態* | リン酸 | AC-N** |
|-------|--------------------------|------|-----------------------------|--------|
| | | リン酸 | 吸収係数 (mg kg ⁻¹) | |
| 褐色森林土 | 5.5 | 62.4 | 480 | 57 |
| 黒ボク土 | 5.4 | 21.0 | 1060 | 65 |

*Truog法 (P mg kg⁻¹) **熱水抽出性窒素

肥料を単肥で条施した後、春コムギは条播、バレイシヨは点播、テンサイ、タマネギは苗移植を行なった。各作物の耕種概要は表-3に示した。兩年とも成熟期に収量調査を行い、乾物収量を求めた。さらに1990年は途中抜き取り用の枠に試験枠と同様の条件でバレイシヨを栽植し、生育途中の乾物重を調査した（表-8）。

3) 水分消費量の測定

本報告で用いた水分消費量とは、式(1)で示したように、一定期間内に測定対象土層（0～0.9m）から失われた水分量を測定期間の日数で除して水分減少量の1日あたり平均値とした。以下ではこれを各作物の水分消費量と呼ぶ。従って厳密な意味での作物の蒸発散量とは異なっている。

$$C = \left(\sum_{i=1}^n (Q_i - Q'_i) \right) / d \quad (1)$$

C : 水分消費量 (mm・d⁻¹)

n : 層の数, n=7

Q_i : iは1～7の値をとり、順に深さ0～0.1, 0.1～0.2, 0.2～0.3, 0.3～0.4, 0.4～0.5, 0.5～0.7, 0.7～0.9mの各土層の測定開始日における水分含量 (mm)。

Q'_i : 上記と同様に、各土層の測定終了日における水分含量 (mm)。

d : 測定日数

かん水後の土壌乾燥過程を見るために、かん水翌日から数日おきに0.01～0.02kgを採土し、105℃で一昼夜炉乾し含水率を求めた。採土位置は畝肩の地表から0.1mまでを上から採土したほか、有底枠側面の、地表から0.15, 0.25, 0.35, 0.45, 0.6, 0.8mの位置に設けた採土孔より、検土杖を用いて採土した。別に100ml採土管で採取した試料から各土層の容積重を算出し、採土した時点における各土層中の水分含量を求めた。なお深さ

表-3 作物栽培における耕種概要

Table 3 Outlines of cultivating for crops

| 作物 | 品 種 | 栽植密度 | | 播種 移植* | 収穫調査 (月・日) | 施肥量 N-P ₂ O ₅ -K ₂ O (10 ⁻³ kg m ⁻²) |
|---------|-------|----------|----------------|-----------|---------------|--|
| | | 枠あ たり | 畦数 ()=畦幅cm | | | |
| (1989年) | | | | | | |
| バレイシヨ | 男爵いも | 16株 | 4畦(50) | 5.1 | 9.1 | 8-22-15 |
| 春コムギ | ハルユタカ | 44g** | 8畦(25) | 5.1 | 8.18 | 10-15-10 |
| テンサイ | モノホマレ | 20株 | 4畦(50) | 5.1 * | 10.23 | 16-25-16 |
| タマネギ | 北もみじ | 91株 | 7畦(30) | 5.13* | 9.13 | 10-20-10 |
| (1990年) | | | | | | |
| バレイシヨ | 男爵いも | 16株 | 4畦(50) | 5.15 | 8.28 | 8-18-13 |

**播種粒重

表-4 水分消費量測定期間

Table 4 A period for measurement of soil water content

| | | (月. 日) | | |
|-------|--------------------------|--------|---------------|---------------|
| 1989年 | | 1990年 | 湿潤処理 | 乾燥処理 |
| I 期 | 6. 3 ~ 6. 12 | I 期 | 6. 5 ~ 6. 11 | |
| II 期 | 6. 20 ~ 6. 29 一部6. 26まで* | II 期 | 6. 12 ~ 6. 18 | |
| III 期 | 7. 5 ~ 7. 14 一部7. 10まで** | III 期 | 6. 20 ~ 6. 25 | |
| IV 期 | 7. 21 ~ 7. 26 | IV 期 | 6. 26 ~ 7. 2 | 6. 20 ~ 7. 2 |
| V 期 | 8. 19 ~ 8. 22 テンサイのみ | V 期 | 7. 4 ~ 7. 9 | 7. 4 ~ 7. 9 |
| VI 期 | 9. 22 ~ 9. 29 // | VI 期 | 7. 10 ~ 7. 16 | 7. 10 ~ 7. 17 |
| | | VII 期 | 7. 17 ~ 7. 23 | 7. 17 ~ 7. 23 |
| | | VIII 期 | 7. 24 ~ 7. 30 | 7. 24 ~ 7. 30 |
| | | IX 期 | 7. 31 ~ 8. 6 | 7. 31 ~ 8. 6 |
| | | X 期 | 8. 7 ~ 8. 17 | 8. 6 ~ 8. 20 |
| | | XI 期 | 8. 21 ~ 8. 27 | 8. 20 ~ 8. 27 |

*褐色森林土の春コムギ, 及び
黒ボク土の春コムギ, バレイシヨ
**両土壌の春コムギ, バレイシヨ

表-5 かん水日とかん水量

Table 5 The date of irrigation and watering volume

| 1989年 | 5. 25 | 6. 2 | 6. 19 | 7. 4 | 7. 20 | 8. 5 | 8. 18 | 9. 4 | 9. 13 | 9. 21 | | (月. 日) |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| バレイシヨ | 10 | 20 | 20 | 40 | 47 | 33 | 7 | | | | | |
| 春コムギ | 10 | 20 | 20 | 40 | 47 | | | | | | | |
| テンサイ | 10 | 20 | 20 | 40 | 47 | 33 | 40 | 20 | 17 | 50 | | |
| タマネギ | 10 | 20 | 20 | 40 | 47 | 33 | 7 | | | | | (mm) |
| 1990年 | 6. 4 | 6. 11 | 6. 18 | 6. 25 | 7. 2 | 7. 9 | 7. 16 | 7. 23 | 7. 30 | 8. 6 | 8. 20 | (月. 日) |
| 湿潤処理 | 10 | 10 | 10 | 45 | 10 | 30 | 30 | (30) | (40) | 20 | 30 | |
| 乾燥処理 | | | | | 20 | 30 | | (30) | (40) | | | (mm) |

()はスプリンクラーによる全面散水で概算値。

0.5mより下の層については、0.5~0.7m, 0.7~0.9mの0.2mの厚さをもって一つの土層とした。

測定期間は表-4に示した。1989年は6月始めから9月下旬までの期間内に合計6時期行ったが、8月下旬と9月下旬はテンサイのみ行った。測定を行った時期を順にI期~VI期として区別した。測定期間は3~9日間となった。測定期間の終了日は、深さ0.3mまでの土層内の土壌水分ポテンシャルが -623kPa (pF3.8)相当の含水率を超えた後の測定値をもってこれにあてた。従って枠によって数日のずれが生じた。有底枠試験は各作物とも2反復で行った。また含水率の測定もそれぞれの枠で2試料を採取し、その平均値を採用した。

1990年は、土壌水分条件を湿潤および乾燥の2処理を設けた。湿潤処理についてはほぼ毎週水分測定を行ない、測定期間は5~10日間であった。乾燥処理では乾燥の進んだ6月後半以降に8回測定を行い、期間は5~14日間であった。土壌試料の採取は前年と同様に2反復で行なったが、有底枠試験は無反復で行った。併行して、同様の処理を行なった隣接する有底枠で、テンシオメータを埋設し土壌水分ポテンシャルを測定した。

4) かん水方法

かん水は、水道につなげた散水ノズルで上からかん水した。かん水量はノズル手前に流量計を接続して確認した。1989年は20mm程度をかん水したが、かん水翌日でも深さ0.3m以深への水分補給が充分でなくなったため、7月以降はかん水量を40mm程度に増やした。各測定期間におけるかん水量は表-5に示した。かん水後の有底枠下部の排水孔からの水の流出は見られなかった。

1990年は、湿潤処理では6, 7, 8月の毎週10~20mmをかん水し、0.15mより下層の土壌水分ポテンシャルが -49.5kPa (pF2.7)より乾燥するような場合は次のかん水時に30mm以上のかん水をした。乾燥処理では6月無かん水で、作物の水分消費が多くなる7月以降に、深さ0.5mまでの土層の土壌水分ポテンシャルが -49.5kPa (pF2.7)より乾燥しているような極端な乾燥時に20~40mmをかん水した。7月下旬には全ての枠で極端に乾燥が進んだので、スプリンクラーにより全枠同時に全面散水を行った。この場合も排水孔からの排水はほとんど見られなかった。

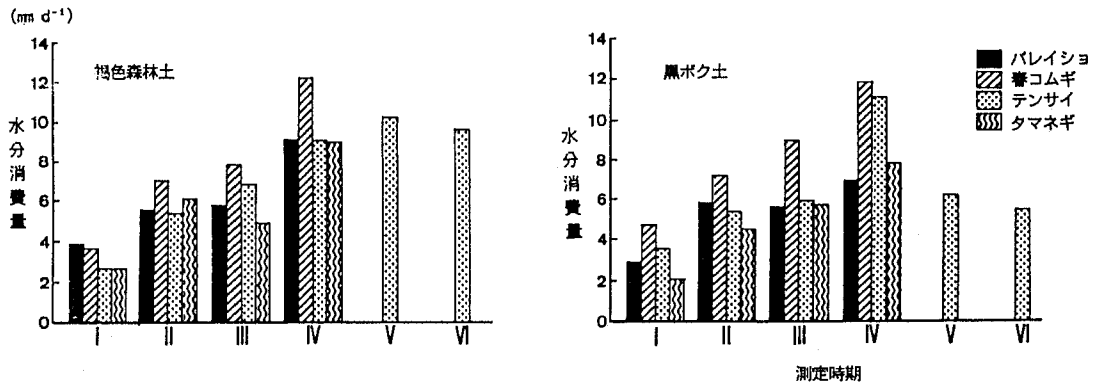


図-2 作物の生育に伴う水分消費量の推移 (1989年)

Fig. 2 Daily water consumption of potatoes, spring wheat, sugar beet, and onions measured at different growth stages (I to IV) in 1989

3. 試験結果

1) 水分消費量の作物間差と時期的推移 (1989年)

各作物の水分消費量は、測定を始めたI期からIV期にかけて生育に伴い徐々に増加した(図-2)。

バレイショでは全体として生育に伴う水分消費量の増加は少なかった。特にII期とIII期の水分消費量の差が小さかったのが特徴であった。しかしIV期には最高 $9\text{mm}\cdot\text{d}^{-1}$ 程度となった。

春コムギの水分消費量は供試した4作物の中で最も多かった。I期はバレイショと同程度の $4\text{mm}\cdot\text{d}^{-1}$ 弱であった。しかしII期以降は他の作物よりも $1\text{mm}\cdot\text{d}^{-1}$ 以上多く推移し、IV期には水分消費量が $12\text{mm}\cdot\text{d}^{-1}$ に達した。また土壌が異なっても春コムギの水分消費量やその時期的推移の傾向に大きな差はなかった。

テンサイの水分消費量が時期によって変化していく傾向には土壌によって違いが見られた。即ち、褐色森林土におけるテンサイの水分消費量は、生育に伴いV期まで増加を続け、最大 $10\text{mm}\cdot\text{d}^{-1}$ 程度となった。VI期にはV期よりわずかに低下したが $9\sim 10\text{mm}\cdot\text{d}^{-1}$ の高い値を維持した。これに対して黒ボク土におけるテンサイの水分消費量は、IV期に最大の $11\text{mm}\cdot\text{d}^{-1}$ を示した後、大きく低下して $6\text{mm}\cdot\text{d}^{-1}$ 程度になった。

タマネギの水分消費量はバレイショと似た傾向で推移した。生育初期はやや少な目であったが、IV期には最大 $9\text{mm}\cdot\text{d}^{-1}$ の水分消費量となった。また褐色森林土での水分消費量の方が黒ボク土の場合よりも各時期ともやや多かった。

裸地の土面蒸発に伴う水分減少量をI期に測定したところ、褐色森林土で $2.4\text{mm}\cdot\text{d}^{-1}$ 、黒ボク土では $2.0\text{mm}\cdot\text{d}^{-1}$ の値を得た。これはI期における各作物の

水分消費量と近似していた。播種あるいは移植後1ヶ月間程度は蒸散による水分消費量が少ないことが示された。

2) バレイショの水分消費量の推移と土壌および水分条件の影響 (1990年)

図-3に1990年のバレイショの水分消費量の推移を示した。湿潤処理を行った場合の水分消費量は6月始めに $3\text{mm}\cdot\text{d}^{-1}$ 程度で、その後生育の進展に伴って増加し、7月中旬から8月上旬にかけて $9\sim 10\text{mm}\cdot\text{d}^{-1}$ に達した。この傾向は褐色森林土と黒ボク土の両土壌とも同様であり、前年の試験結果とほぼ一致するものであった。また8月中旬以降の水分消費量は $4\text{mm}\cdot\text{d}^{-1}$ 程度まで低下した。これは茎葉の黄変、枯凋によるものと考えられる。乾燥処理では、一般的に水分消費量の多くなる7月に、深さ0.9mまでの土層が -98.8kPa (pF3.0) 相当よりも乾燥して易有効水分が無くなったと考えられるが、バレイショの水分消費は続き、土層内水分はさらに減少した。この段階での水分消費量は $4\sim 6\text{mm}\cdot\text{d}^{-1}$ であった。さらに乾燥が進むと褐色森林土ではバレイショの水分消費量は $2\text{mm}\cdot\text{d}^{-1}$ 前後まで低下した。こうした水分ストレスがかけられた後でもかん水を行って十分な水分供給を行うと、 $10\sim 15\text{mm}\cdot\text{d}^{-1}$ の高い水分消費量を示した。

3) 総水分消費量と乾物生産量との関連

1989年の作物の生育期間中を通した(5月29日~8月4日)土壌水分減少量を試験開始時と終了時の土壌水分含量の差から求め、これに合計かん水量を加えた値を総水分消費量とした。この値は、褐色森林土では春コムギが多く 312mm に達した(表-6)。バレイショ、テンサイがこれに続き、タマネギは春コムギの3/4程度であっ

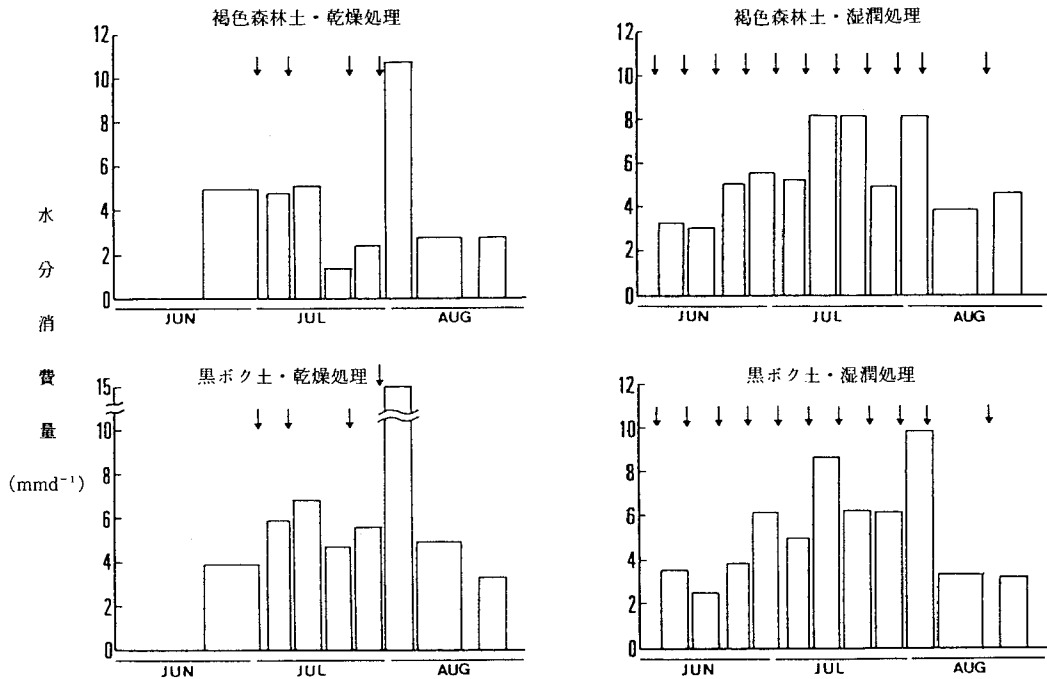


図-3 バレイショの生育に伴う水分消費量の推移 (1990年)
 グラフの棒の幅は各測定期間の日数の長さを, ↓はかん水を行った日をそれぞれ示す。

Fig. 3 Daily water consumption of potatoes grown at different soil and different soil water conditions measured at different growth stages in 1990

表-6 作物の総水分消費量と乾物生産量との関係

Table 6 Relation between total water consumption and dry matter products of several crops in 1989

| 土 壌 | 作 物 | 土層内 水 分 減少量 (mm) | 合 計 かん水 量 (mm) | 総水分 消費量 実測値 (mm) | 1 日 当 たり 平 均 (mm d ⁻¹) | 収穫日まで の総水分消 費量推定値 (mm) | 乾 物 生 産 量 (kg m ⁻²) | 見かけの 要水量 (mm kg ⁻¹ m ²) |
|-------|-------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|---|---------------------------------|---------------------------------------|--|
| 褐色森林土 | バレイショ | 141 | 127 | 268 | 4.0 | 380 | 1.27 | 299 |
| | 春コムギ | 185 | 127 | 312 | 4.7 | 377 | 1.61 | 234 |
| | テンサイ | 122 | 127 | 249 | 3.7 | 534 | 2.50 | 214 |
| | 〃 | 39 | 160 | 199 | 3.6 | | | |
| | タマネギ | 96 | 127 | 223 | 3.3 | 356 | 0.51 | 698 |
| 黒ボク土 | バレイショ | 168 | 127 | 295 | 4.4 | 418 | 1.20 | 349 |
| | 春コムギ | 231 | 127 | 358 | 5.3 | 433 | 1.83 | 237 |
| | テンサイ | 178 | 127 | 315 | 4.7 | 570 | 2.40 | 238 |
| | 〃 | 18 | 160 | 178 | 3.2 | | | |
| | タマネギ | 80 | 127 | 207 | 3.1 | 331 | 0.42 | 787 |

総水分消費量実測値は、5月29日と8月4日の0~0.9m土層中水分量の差にこの期間中の合計かん水量を加えたもの。ただしテンサイの下段は8月4日と9月29日の差。

収穫日までの総水分消費量推定値は、総水分消費量実測値の1日当たり平均に、8月5日以降収穫日までの日数を乗じて算出。ただしテンサイは9月29日までは実測数値を用い、9月30日以降について同様の計算を行って算出した。

た。黒ボク土ではタマネギを除いていずれも褐色森林土より多い値となった。

これらを1日あたりに換算すると $3.1\sim 5.3\text{mm}\cdot\text{d}^{-1}$ となり、各生育時期毎に示された「春コムギ>テンサイ>バレイショ>タマネギ」という傾向と一致した(表-6)。なおこれらの値は、II期以降に測定した水分消費量よりかなり小さかった。これは土壌が測定期間以外は乾燥状態にあり、ある測定時期の終了から次の測定開始まではかん水を行っていないため土層が乾燥状態となり、この間の作物の水分消費量が少なかったためと思われる。従ってこの期間を湿潤に保った場合は、水分消費量がさらに多くなったことが予想される。

次に作物の水分消費量の違いを乾物生産量との関連から比較検討した(表-6)。土壌水分の最終測定日である8月4日(テンサイは9月29日)以降、収穫調査までの水分消費量は、それまでの1日あたり平均水分消費量によって推定した。その結果、乾物あたりの水分消費量は作物間で大きな差を生じた。今ここで、単位乾物あたり水分消費量を見かけの要水量とした場合、乾物生産量の大きかったテンサイではこの値が $214\sim 238\text{mm}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{m}^2$ と最も低い値を示し、逆にタマネギでは総水分消費量が少なかったにもかかわらず乾物生産量も少ないため、 $700\text{mm}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{m}^2$ 以上の高い値を示した。水分消費量の最も多かった春コムギの見かけの要水量は $240\text{mm}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{m}^2$ 程度でテンサイに近かった。バレイショの見かけの要水量は春コムギより大きな値を示したが、茎葉の乾物重を算入していないことと、茎葉枯凋期以降の水分消費量を過大に見積もっている可能性があることなどから、見かけの要水量が多少過大に評価されていると思われる。

1990年のバレイショの萌芽期から収穫までの生育期間中に消費した水分量の合計は $490\sim 550\text{mm}$ で、1日あたりの平均は $5.9\sim 6.5\text{mm}\cdot\text{d}^{-1}$ となった(表-7)。この値は褐色森林土より黒ボク土で大きくなった。しかし乾

物生産量は褐色森林土の方が多く、従って見かけの要水量は黒ボク土の $401\text{mm}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{m}^2$ に対して褐色森林土は $322\text{mm}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{m}^2$ となって、より効率的な水分の利用がなされたと考えられる。また、乾燥処理でも生育期間中の水分消費量の総量は湿潤処理と大きく変わらず、同時に乾物生産量が低下したため、見かけの要水量の値は湿潤処理よりも $40\text{mm}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{m}^2$ 程度大きくなった(表-7)。

4. 考察

作物の生育の進展に伴う水分消費量の増加傾向が顕著に示されたこと、並びに作物の種類によって水分消費量が明確に異なっていたという結果に対して、土壌の違いによる差が比較的小さかったということは、同一の栽培条件では、水分消費量が主として大気蒸散要求と作物の種類や状態によって左右され易いということを示している。ここで言う作物の状態は、乾物重や葉面積指数、あるいは根張りの違いといった要因から特徴づけることができると考えられる。

図-4は1989年のIII期における深さ毎の水分消費量を示したものである。この図から、水分消費量の多かった春コムギでは水分消費量の少なかったタマネギと比較して、0.2mまでの表層と共に0.4mより下の層からも消費する量が多かったことがわかる。テンサイでも下層ではこれに近い傾向を示した。すなわち、表層の根密度と根域の深さが共に水分消費量に影響していたことが推察される。今回は根張り分布の調査は行っていないが、水分消費量の多い作物は、土層全体からまんべんなく水分を消費する傾向にあると考えられた。

土層中、特に下層の透水性が土壌の水分供給能を左右していることを金野・木下(1969)や佐久間ら(1975)が報告している。それによると、一般にかん水した後、重力水は比較的早く下層に浸透して失われ、その後の水分の再分配は緩かに進行する。そのため表層が下層より湿潤な状態にある間は下層への水分浸透と作物の主要根

表-7 バレイショの萌芽期から収穫までの総水分消費量と乾物生産量との関係

Table 7 Relation between total water consumption and dry matter products of potatoes in 1990

| 土 壤 | 水分 処理 | 土層内 | 合 計 | 総水分 消費量 実測値 (mm) | 1 日 当 たり 平 均 (mm d ⁻¹) | 乾 物 生 産 量 (kg m ⁻²) | 見かけの 要水量 (mm kg ⁻¹ m ²) |
|-------|----------|--------------------|------------------|---------------------------|---|---------------------------------------|--|
| | | 水 分 減少量 (mm) | かん水 量 (mm) | | | | |
| 褐色森林土 | 湿 潤 | 241 | 255 | 496 | 5.9 | 1.54 | 322 |
| | 乾 燥 | 373 | 120 | 493 | 5.9 | 1.36 | 363 |
| 黒ボク土 | 湿 潤 | 291 | 255 | 546 | 6.5 | 1.36 | 401 |
| | 乾 燥 | 420 | 120 | 540 | 6.4 | 1.23 | 439 |

総水分消費量実測値は、6月5日と8月28日の0~0.9m土層中水分量の差にこの期間中の合計かん水量を加えたもの。

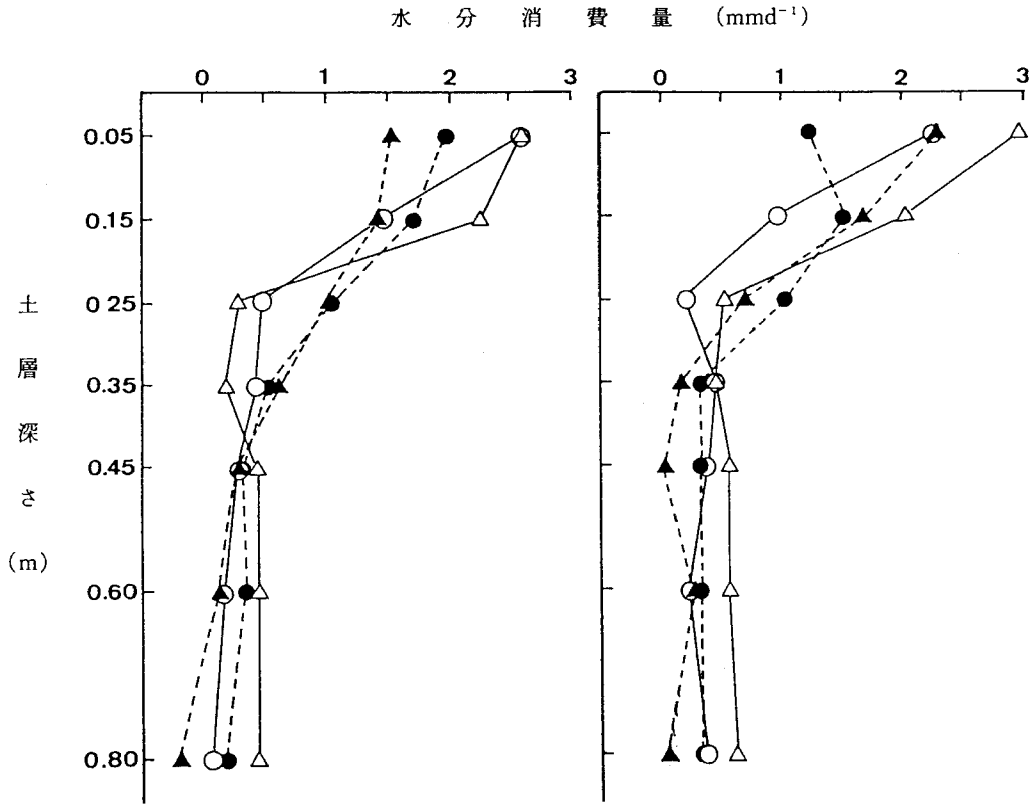


図-4 III期の各測定土層深における水分消費量 (1989年)
○パレイショ △春コムギ ●テンサイ ▲タマネギ

Fig. 4 Water consumption of crops in every depth of soil profile at growth stage III in 1989

群による水分消費が同時進行する。つまり主として表層の水分が利用され、表層の乾燥が急速に進んで行く、としている。さらに乾燥が進んだ段階では、作物は下層の水分が表層に移動(毛管上昇)してくるのを待つより、下層の水分を直接消費する方が効率よく水分を利用できるであろう。その場合、根の量が全体として多く、しかも下層により多く分布するほど作物の水分消費にとって有利になると考えられる。

次に、土壌間の水分消費量の差について検討した。黒ボク土が褐色森林土よりも僅かながら水分消費量が多くなったが、これは土壌の生産力の違いによる作物の生育差が蒸散量に影響を与えたことが第一に考えられた。しかし本試験では春コムギを除いて褐色森林土区の方が乾物生産量は上回っており(表-6)、必ずしも乾物生産量の多寡で説明できない。1990年のパレイショの生育調査結果(表-8)では、収穫期の総乾物量は褐色森林土区で高く、塊茎の収量性も良い。だがT/R比は生育調

表-8 パレイショの乾物量の推移 (1990年)

Table 8 Dry matter products of potatoes at some growth stage in 1990

| 土壌 | 処理 | 調査日 (月・日) | 乾物重(10 ⁻³ kg m ⁻²) | | | T/R |
|-------|------|--------------|---|------|-------|-------|
| | | | 茎葉 | 根* | 塊茎 | |
| 褐色森林土 | 湿潤 | 6.25 | 90 | 16.8 | — | 5.37 |
| | | 7.2 | 230 | 22.0 | 86 | 2.13 |
| | 7.30 | 311 | 19.3 | 789 | 0.39 | |
| | 8.28 | 127 | — | 1416 | 0.090 | |
| | 乾燥 | 8.28 | 126 | — | 1238 | 0.102 |
| 黒ボク土 | 湿潤 | 6.25 | 97 | 16.2 | — | 6.00 |
| | | 7.2 | 201 | 20.2 | 68 | 2.28 |
| | 7.30 | 383 | 17.9 | 652 | 0.57 | |
| | 8.28 | 97 | — | 1260 | 0.077 | |
| | 乾燥 | 8.28 | 127 | — | 1099 | 0.115 |

*根にはストロンを含む

査のいずれの時点においても黒ボク土が高くなり、地上部の繁茂が旺盛であったことを伺わせる。表-9では、

表-9 表層土壌の無機態窒素濃度(1990年)

Table 9 Inorganic nitrogen content in surface soil in 1990

| 土 壌 | 前 作 | 施肥前 | 収穫跡地 |
|-------|------|-----|------|
| 褐色森林土 | 春コムギ | 67 | 13 |
| | テンサイ | 21 | 14 |
| | タマネギ | 41 | 18 |
| | 平均 | 43 | 15 |
| 黒ボク土 | 春コムギ | 53 | 30 |
| | テンサイ | 44 | 21 |
| | タマネギ | 40 | 69 |
| | 平均 | 46 | 40 |

単位：(mg kg⁻¹)

土壌の無機態窒素濃度が黒ボク土では平均40mg・kg⁻¹もの残存量があり、土壌から無機化した窒素量が多いことが予想された。このため地上部の旺盛な生育が続き、茎葉の繁茂が続いていたため、蒸散強度の低下がおきづらかったことから水分消費量が多くなったと考えることができる。すなわち、土壌の化学的な生産力の違いが、作物の形態に作用して水分消費量に影響したものと推察された。

第二に、先に述べた土壌中の水分移動速度と下層における作物の根張りの多少による影響を考えた。仮に褐色森林土において、表層が-100kPa、深さ0.9mで-50kPaの水分ポテンシャルであるとすれば、本試験で測定した土壌の不飽和透水係数を用いると、ダルシー式によって0.9mより下層からの水分供給は1日に約5mmに達することが予想される。これに対して黒ボク土では2オーダー程度少なくなり、より多くの根が下層へ伸長することによって水分の吸収と同時に土壌中の無機態窒素を利用することが可能となり、上記の生育差を助長したのかもしれない。

なお1989年のバレイショでは、表-6に示すように5月29日から8月4日までの総水分消費量の実測値(注)はタマネギを除いて黒ボク土がやや多かった。しかし、図-2から各測定時期における水分消費量は、褐色森林土がやや多い傾向にあった。この違いについての要因は明らかでなかった。

(注：I期の測定が始まる前(5月29日)とIV期の測定が終了した後(8月4日)の土層内水分量の差にこの間の合計かん水量を加えたものを、総水分消費量の実測値とした)

1990年の試験では土壌水分条件の違いによる影響を検討したが、図-3に見るように乾燥条件で水分消費を抑制してきた状態でかん水を行うと、一時的に多量の水分消費量を示した。その結果、収穫日までの総水分消費量

の実測値は土壌の水分条件の違いにも関わらず、ほぼ同一の値を示していた(表-7)。

一般に蒸発散は熱の流れとして理解されており、単位面積に受ける日射エネルギーがその主たる源である(粕淵・中野, 1989; 三浦, 1989; 溝口, 1988)。本試験で用いた有底枠の設置状況は、図-1に示した通り雨よけハウス内に設置され、二方が隣の有底枠と接し、一方は通路としている土壌面に接している。さらにもう一方は枠のコンクリート壁面が掘り下げられた通路に露出しており、この壁面に対しても熱エネルギーが供給されて、露地圃場条件と比較してより多くの熱が有底枠内の土壌にインプットされたことが予想される。このため本試験で示したような10mmに達するような多量の水分消費量を引き起こしたのではないかと推察された。

このことから、本試験で得られた水分消費量の絶対値をそのまま露地に適用することは難しいと考えられる。また、1990年のかん水後の一時的な多量の水分消費量は、かん水により土壌中の水分の移動抵抗が低下して(透水係数が大きくなり)、こうした熱が多量の蒸発散によって急激に消費された結果ではないかと考えられる。収穫期までの総水分消費量実測値(表-7)が二つの水分処理間ではほぼ同じ値を示したことはこのことを裏付けると思われる。逆に作物生産の上から考えるならば、断続的な乾燥による水分ストレスで乾物生産が抑制され、見かけ上、乾物生産に結び付かない「無駄な」蒸発散が行なわれたことになる。従って露地においても水分を効率よく乾物生産に結び付けるには、適当な肥培管理による生育の管理を前提として、水分ストレスを与えないような土壌水分管理が必要である。限られた水資源である時、過度に乾燥させて初めてかん水するような手法は、むしろ非効率であると思われた。

5. まとめ

雨よけの大型有底枠において、春コムギ、バレイショ、テンサイ、タマネギを栽培供試し、断続的なかん水と、かん水後の土層内水分減少量を測定し、水分消費量とした。その結果は次のようにまとめられる。

1) 8月までの作物生育の進展に伴って、1日あたりの水分消費量は徐々に増加した。この水分消費量の増加の傾向と量は作物によって異なった。水分消費量の最も多かったのは春コムギで、7月下旬に1日あたり12mm・d⁻¹に達した。また水分ストレスをかけた後のかん水は、一時的に高い水分消費量を引き起こした。

2) 8月始めまでの総水分消費量は、1989年の測定では春コムギ>テンサイ≈バレイショ>タマネギの順であり、207~358mmの値となった。また1990年にはバレイショ

の収穫期までの総水分消費量は493~546mmとなり、褐色森林土よりも黒ボク土で10%程度多かった。土壌水分条件を乾燥処理したのも水分消費量に大きな違いはなかった。

3) 土壌の化学的生産力の違いは乾物生産量と作物の形態(特にT/R比)に影響した。特にT/R比が増大すると水分消費量も増加すると思われた。このことが、総水分消費量と見かけの要水量(単位乾物あたり水分消費量)の土壌間での違いをもたらす一つの要因であると考えられた。

4) 見かけの要水量は、土壌の乾燥処理で湿潤処理より高い値となり、極端な乾湿を繰り返すことで、見かけ上乾物生産に結び付かない無駄な蒸発散が行われると考えられた。

謝 辞

本報告を取りまとめるに当たり、道立天北農試土壌肥料科長松中照夫博士には、論点の明確化を初め、多くの指摘・助言をいただいた。記して厚く謝意を表します。

引用文献

- Arya, L.M., Farrell, D.A. and Blake, G.R. (1975) : A field study of soil water depletion patterns in presence of growing soybean roots : I. Determination of hydraulic properties of the soil. Soil Sci. Amer. Proc., 39 : 424-430.
- 土壌標準分析・測定法委員会編 (1986) : 土壌標準分析・測定法, 博友社, 東京.
- Hillel, D. (岩田・高見・内嶋監訳) (1984) : 土壌物理学概論, p199-222, 養賢堂, 東京.
- 北海道立中央農業試験場・北海道農政部農業改良課 (1992) : 土壌および作物栄養の診断基準—分析法(改訂版)—, p80-81.
- 鴨田福也・伴 義之・志村 清 (1974) : 野菜の光合成及び蒸散に関する研究 I : 野菜試報A 1 : 109-139.
- 粕淵辰昭・中野政誌 (1989) : 講座土の中の物質移動(その9) 熱エネルギーと物質移動との関係 : 農土誌, 57 : 237-241.
- 北村 亨・今 友親 (1970) : 主要畑作物の蒸発散量 : 道農試集報, 20 : 80-93.
- 小林信也 : 蒸発散量と消費水量 (1992) : 北海道土壌肥料研究通信, 第39回シンポジウム : 28-40.
- 金野隆光・木下 彰 (1969) : 畑地における根の発達と土壌環境(1) : 北農試集報, 94 : 7-21.
- 三浦健志 (1989) : 講座蒸発散(その2) 蒸発のメカニズム : 農土誌, 57 : 429-436.

溝口 勝・藤井克巳・宮崎 毅・中野政誌 (1988) : 講座土の中の物質移動(その3) 土中水の蒸発, 消費および凍結(上方移動のメカニズム) : 農土誌, 56 : 903-909.

内藤文男 (1969) : 作物の蒸散量および蒸発散量に関する研究 : 東近農試研報, 18 : 49-143.

大槻恭一 (1989) : 講座蒸発散(その8) 蒸発散量の推定法 : 農土誌, 57 : 1065-1070.

佐久間敏雄・小林信也・吉田 亨 (1975) : 畑地における水分および熱の動態(第2報) : 土肥誌, 46 : 514-520.

高瀬恵次・佐藤晃一 (1989) : 講座蒸発散(その6) 耕地の蒸発散 : 農土誌, 57 : 827-832.

矢野友久 (1989) : 講座蒸発散(その4) 蒸発散量の測定法 : 農土誌, 57 : 623-628.

(受稿年月日1994年2月10日)

報 文

ピンホール試験による関東ロームの耐水蝕性の評価

加藤 誠 安富 六郎 山田 恒利*

An Evaluation of Water Resistance on Kanto Loam by Pinhole Test.

Makoto Kato Rokuro Yasutomi Tunetoshi Yamada*
Tokyo University of Agriculture & Technology.
Mitubishi Construction Inc.*

Summary

This paper is intended as an investigation of water resistance on Kanto loam with rainfall.

A great deal of effort has been made on the study of erosion since old times.

What seems to be lacking, however, are studies about the dispersion of soil aggregation and the permeability for ground water. The purpose of this paper is to show how to decide the value of man-made slope design against erosion control.

Permeability test, pF test, pinhole test were made to carry out the purpose. The tested samples were the undisturbed and the compacted samples of Kanto loam which were obtained from experimental fields of ROLLING LAND LABORATORY, Tokyo University of Agriculture and Technology.

The pF test was carried out using the pressure plate apparatus to obtain soil moisture characteristics curves. Pinhole test was made to the pinhole test apparatus that was improved the J.L. Sherard's model.

The conclusion are as follows;

- (1) Kanto loam is easily eroded with rainfall because it has the pores in 15~17% of the soil volume, which is called "mesovoid" by Brewer's pore size classification system.
- (2) Kanto loam compacted greater than $0.6\text{g}/\text{cm}^3$ in dry density has high water resistance of soil.
- (3) The Water resistance of the undisturbed Kanto loam is evidently different from that of the compacted soil.

Key words : Pinhole test, Kanto loam, dry density, soil structure,
soil water characteristic curve.

(Soil Phys. Cond. Plant Growth, Jpn, 70,13-22, 1994)

1 はじめに

土壌の耐水蝕性に影響する物理的性質(土壌物理用語辞典, 1974)には(1)土壌の浸透能と、(2)水に対する分散性があげられる。(1)の浸透能に影響する要因には、土壌内に形成されているマクロポアやミクロポアの形や量、不透水層の有無や位置に関係している。(2)の分散性に影響する要因には、土壌団粒の性状や量、スレーキング、雨滴に対する抵抗性などがあげられる。造成される農地

の侵食対策はこの様な物理的性質を尺度に土壌の耐水蝕性を判定し、設計施工される必要があると考えられる。

農地の造成事業では、土地の条件が僅かでも異なれば土壌侵食による被害を受けたり受けなかつたりするようなことを十分反映した設計を行うために、土壌の物理的性質から示される係数を使用して、ミドルトンの提案した分散率や侵食率などの係数で受食性の評価をおこなう必要がある。しかし、このような方法は、間接的であり、

東京農工大学 農学部(東京都府中市幸町3-5-8) *三菱建設株式会社(東京都中央区日本橋本町3-3-6)

キーワード: ピンホールテスト, 関東ローム, 乾燥密度, 土壌構造, 土壌水分特性曲線

耐水蝕性を見積るために調査、サンプルの数、それに伴う試験の種類、などが膨大のものとなるので実用的ではない。

そこで、ダム工学の分野で（例えば松本ら、1991；吉田、1987）において土の耐水蝕性を直接的に評価する試験としてピンホール試験が行われている。この試験により得られる測定値は、土壌の浸透能と分散性の両方の耐水蝕性の主要素が混ざりあった値と考えられるが、この試験方法が関東ローム（立川ローム）の耐水蝕性の評価に適用できるかどうか実験的に研究を行ったのでここに報告する。

2. 研究の方法

2-1. 試料

試料は、東京都八王子市堀之内の東京農工大学農学部付属波丘地利用実験・実習施設の敷地内から掘削した関東ローム（立川ローム）である。供試体は、試料を実験室内で空気乾燥させ、所定の方法で100ccのサンプル缶に締固めて作成した。また、自然地盤より採取した不攪乱状態の供試体も使用した。

2-2. 締固め供試体の作成方法とその準備

含水比を調節した立川ロームを、100ccのサンプル缶に0.5kgfのランマーを高さ15cmから所定の回数（3層5回、3層15回、3層25回、3層55回）だけ自由落下させ、回数別の四本の締固め曲線を求めた。そして、求められた各々の締固め曲線上の異なる七つの含水比で締固め、合計28個の供試体を作成した。

このように締固められた供試体と不攪乱試料の供試体を約-30cmH₂Oの吸引圧で脱気して飽和させた。

2-3. 透水試験

変水位透水試験を行い、各締固め条件により締固められた試料と不攪乱試料の透水係数を求めた。

2-4. pF試験

加圧板法により、pF値の範囲を0.0~3.3として、土壌水分特性曲線を求めた。

表-1 関東ロームの物理試験結果

Table. 1 Physical Properties of Kanto Loam.

| | | |
|----------------------|--|----------|
| 比重 Gs | | 2.784 |
| シルト分 | | 15.9% |
| 粘土分 | | 53.2% |
| コロイド分 | | 19.8% |
| 60%粒径D ₆₀ | | 0.0023mm |
| 30%粒径D ₃₀ | | 0.0015mm |
| 10%粒径D ₁₀ | | |
| 液性限界 LL | | 137.5% |
| 塑性限界 PL | | 91.6% |
| 塑性指数 PI | | 45.9 |

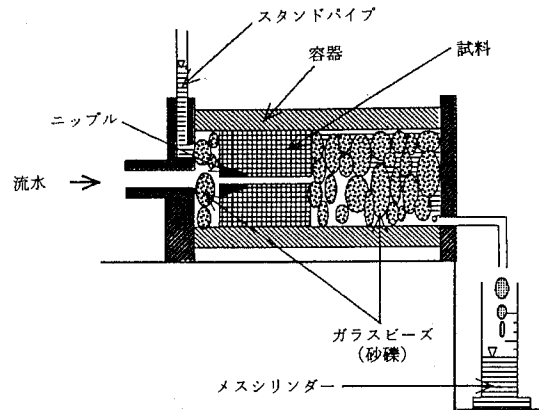


図-1(a) ピンホールテストの試験装置

Fig. 1(a) Experimental Apparatus of Pinhole Test.

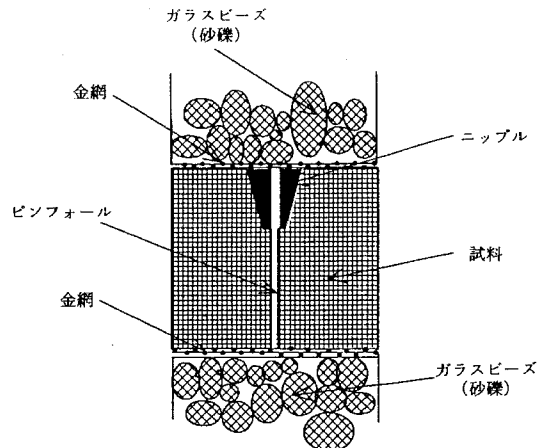


図-1(b) ピンホールの周辺の拡大図

Fig. 1(b) Details of Pinhole in sample.

2-5. ピンホール試験

2-5-1. 試験装置

研究に用いた試験器は、J.L.Sherard等⁶⁾によって考案された土の分散性を判別するピンホール試験器をもとに、本研究室で100ccのサンプル缶の試料を試験に供する事ができるように改良した装置である。（図-1）

2-5-2. 試験方法

本試験の供試体の中心部に図-1に示したように円錐筒のニップルを埋設した。ニップル中心には直径1.1mmの穴が開けてあり、その穴をガイドにして、供試体に直径1.0mmのニードルでピンホールを穿った。このピンホールの一端から、おおよそ、50、100、200、300、400、500、700、1000、mmH₂Oの水頭を持つ水を5分間隔毎に流した。

その水頭毎の透水流量を測定し、透過水の色調を観察した。試験終了後、供試体を半分に分断し、ピンホールの直径を測定した。

2-5-3. 侵食の判定方法

ピンホール試験において、50~1000mmH₂Oまで8段階に5分間ずつ圧力を上昇させた水を流出させ、ピンホールの壁面の土粒子が侵食され、流出口側より流れ出てくる土粒子の有無かどうかを目視により観察し、耐水蝕性を判定した。

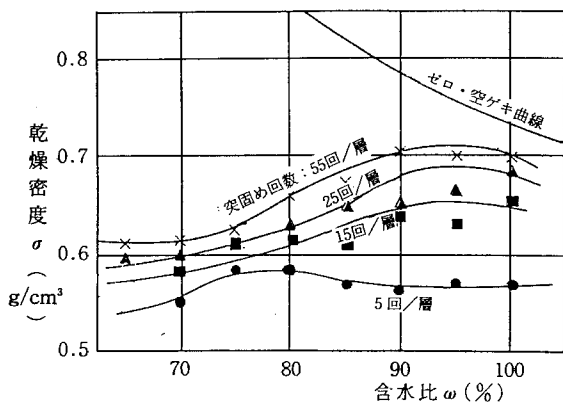


図-2 締固め曲線
Fig. 2 Compaction curves.

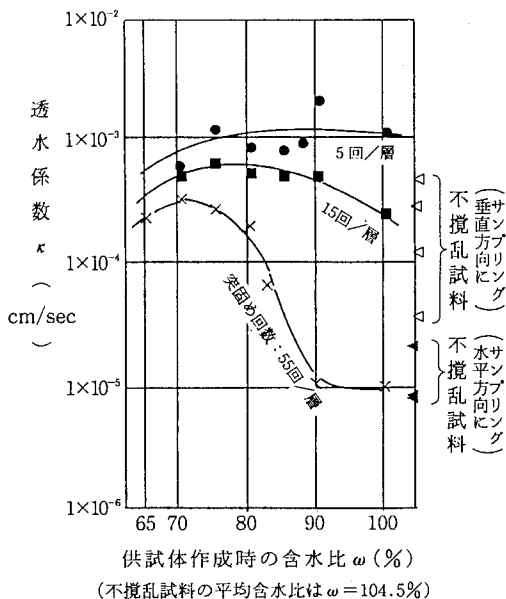


図-3 締固め含水比と透水係数

Fig. 3 Relation between Moisture content and Coefficient of Permeability.

今回の研究においては、土粒子の混ざった、濁った水が流出したかどうかにより、侵食されたかどうかを判断した。また、図-7に示した理論曲線から侵食が生じた場合には逸脱し、理論曲線に沿う実験値を示す場合には侵食がなかったとして、総合的に耐水蝕性を判断する場合のデータとした。

3. 結果

3-1. 締固め試験

締固め回数 5, 15, 25, 55回から得た、締固め曲線を図-2に示した。

3-2. 透水試験

締固め回数, 5, 15, 55回の供試体と不攪乱試料の $\kappa \sim \omega$ の関係を図-3に示した。

3-3. pF試験

締固め回数15と55回の供試体についてのpF試験の結果を図-4, 5に、不攪乱試料については図-6に示した。

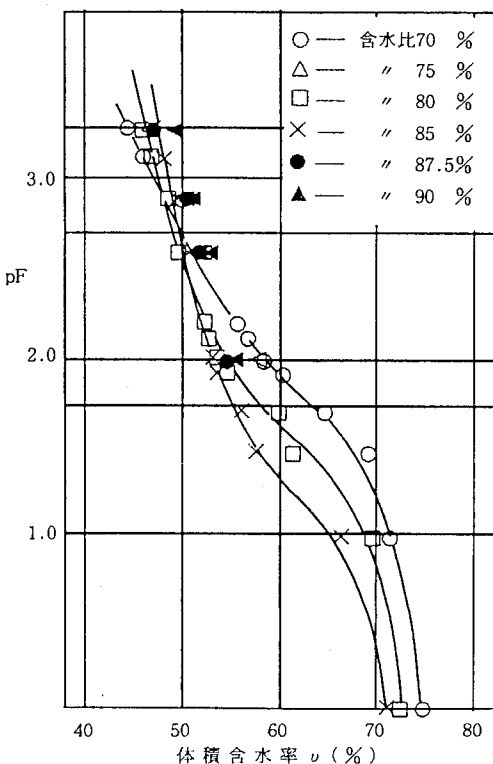


図-4 土壌水分特性曲線 (突固め回数5回/層)

Fig. 4 Soil Moisture Characteristic Curves.
(Compacted sample, 5 drops per a layer)

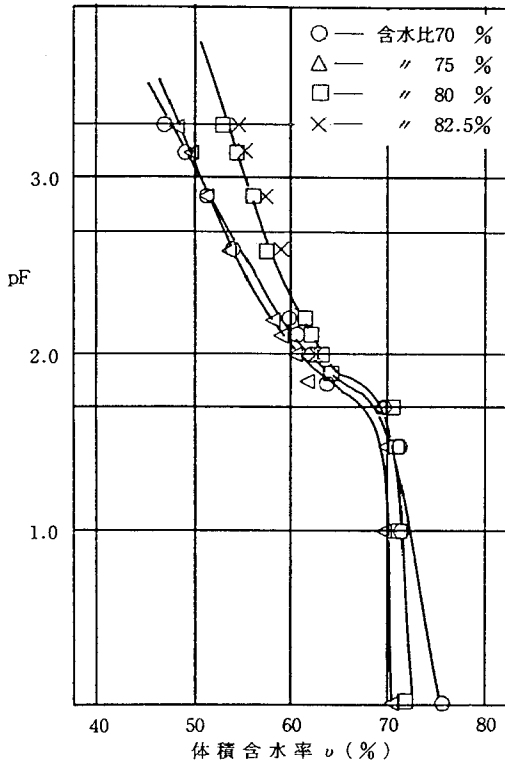


図-5 土壌水分特性曲線 (突固め回数55回/層)

Fig. 5 Soil Moisture Characteristic Curves. (Compacted sample, 55 drops per a layer)

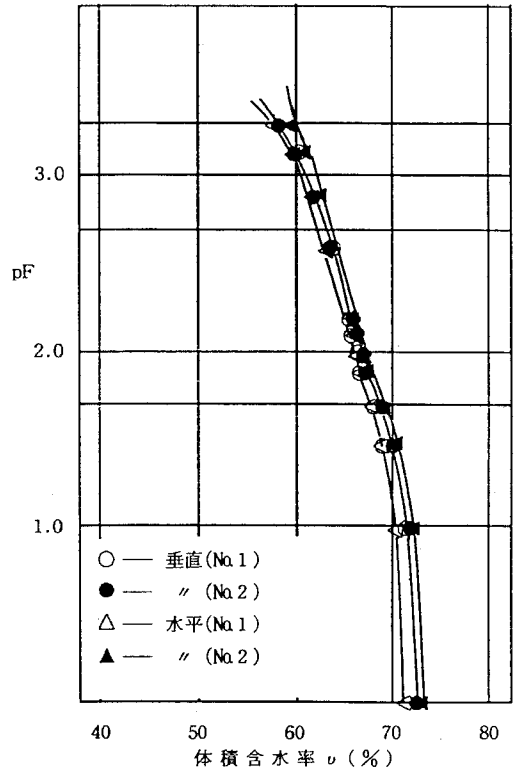


図-6 土壌水分特性曲線 (不攪乱試料)

Fig. 6 Soil Moisture Characteristic Curves. (Undisturbed sample)

3-4. ピンホール試験

3-4-1. ピンホール内の流量と直径

ここでは、供試体中央部にあけられたピンホールの直径と流量を求めた。

供試体の流入側のニップルと供試体に設けられたピンホールを径の異なるパイプと見なして、ピンホール内を流れる水の流量を水力公式に当てはめ、流量を求めた。

ピンホール内における損失水頭(h)は、

$$h = [V_1^2 (K_f + f_1 l_1 / d_1) + V_2^2 (K_c + f_2 l_2 / d_2 + K_o)] / (2g) \quad \dots\dots(1)$$

$$f = 64 / R = 64 \nu / V d \quad \dots\dots(2)$$

- V_1, V_2 : ニップル, 供試体内のピンホール内の流速
- f_1, f_2 : ニップル, 供試体内のピンホール壁面の摩擦損失係数
- l_1, l_2 : ニップル, 供試体内のピンホールの長さ
- d_1, d_2 : ニップル, 供試体内のピンホールの直径
- R : レイノルズ数 ν : 動粘性係数

V : 流速 d : パイプの直径

K_f : 水がピンホールに流入する時の収縮損失係数

K_c : ニップルから供試体へ水が流入する時の収縮損失係数

K_o : 水がピンホールから流出する時の拡大損失係数

(2)式を(1)式に代入し、ニップルと供試体のピンホールの中を流れる流量は等しい連続の方程式より(3)式の V_2 に関する二次方程式が得られる。

$$[K_f (d_2 / d_1)^4 + K_c + K_o] \times V_2^2 + [64 \nu (d_2^2 l_1 / d_1^4 + l_2 / d_2^2)] \times V_2 - 2gh = 0 \quad \dots\dots(3)$$

本研究では、

$d_1 = 0.15\text{cm}$, $l_1 = 1.25\text{cm}$, $l_2 = 3.85\text{cm}$, $K_f = 0.25$, $K_o = 1.0$, $\nu = 1.139 \times 10^{-2} \text{cm}^2/\text{s}$ (水温 15°C), $d_2 = 1.0$ または 1.1mm において、 K_c を求めた。

- $d_2 = 1.0\text{mm}$ の時 $K_c = 0.32$
- $d_2 = 1.1\text{mm}$ の時 $K_c = 0.25$

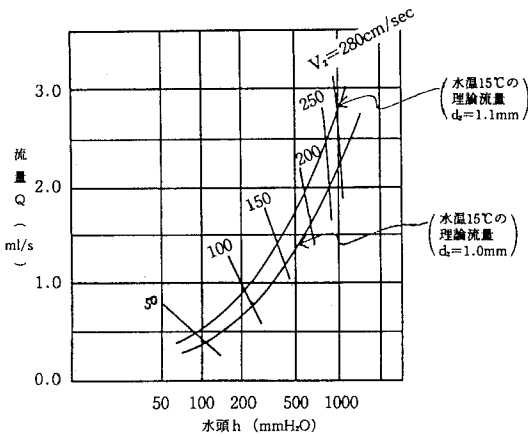


図-7 ピンホールの径と流量と水頭の関係

Fig. 7 Relation between Pinhole Diameter, Discharge and Head.

となる。

次に、このKcを用いて流量と水頭の関係を求めた。なお、実験に際し、供試体にピンホールを穿ける道具として、直径1mmのドリルの刃を用いた。なお、 d_2 は、ピンホールの直径を目盛り付きルーペで測定したところ、1.0~1.1mmであったので、計算には1.0mmと1.1mmの二つの値を用いた。実際のピンホール内を流れる水の

流量と水頭の関係は、この二つの d_2 より求めた曲線の間の値として測定されると思われる。その理論計算の結果を図-7に示した。

3-4-2. 測定結果

締め回数5, 15, 25, 55回の供試体と不攪乱試料の水平方向と垂直方向の供試体について、流水の侵食のために侵食したかどうかを判定した、侵食性の有無を

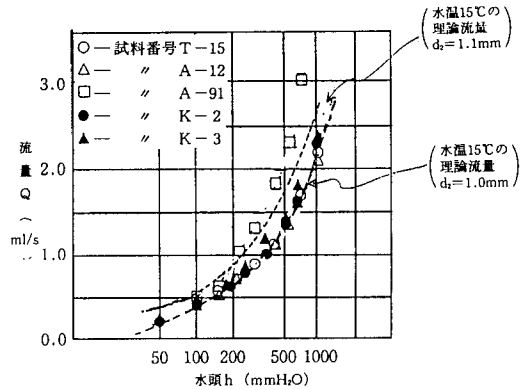


図-8 流量と水頭 (不攪乱試料, 垂直方向)

Fig. 8 Relation between Discharge and Head at Pinhole Test. (Undisturbed Sample from Vertical layer)

表-2 間隙径の分布と耐水蝕性の観測結果

Table. 2 Results of Calculated Pore Diameter & water resistanse test.

| 締め回数 含水比 | 供試体の間隙の直径 (mm) | | | | | | | | | | 侵食の有・無 |
|-------------|----------------|--------------|---------------|---------------|-----------------|-----------------|-----------------|-------------------|--------------|---|--------|
| | 0.30 以上 | 0.30 ~0.1 | 0.10 ~0.06 | 0.06 ~0.03 | 0.03mm 以上の合計 | 0.03 ~0.0075 | 0.01 ~0.0038 | 0.0038 ~0.0015 | 0.0015 以下 | | |
| 5-70 | 4.20 | 3.80 | 5.80 | 8.80 | 22.60 | 7.70 | 3.50 | 7.20 | 59.00 | 有 | |
| 5-75 | | | | | 22.40 | 8.30 | 3.00 | 3.20 | 62.90 | 有 | |
| 5-80 | 4.30 | 11.40 | 2.20 | 8.40 | 26.30 | 5.80 | 1.80 | 3.20 | 62.90 | 有 | |
| 5-85 | 6.50 | 12.70 | 2.10 | 4.20 | 25.50 | 3.90 | 1.60 | 3.20 | 65.80 | 有 | |
| 5-87.5 | | | | | 25.10 | 4.10 | 2.00 | 3.20 | 66.60 | 有 | |
| 5-90 | | | | | 24.50 | 4.00 | 2.10 | 4.80 | 65.60 | 有 | |
| 15-70 | 6.20 | 1.90 | 4.80 | 9.70 | 22.60 | 10.40 | 3.30 | 4.80 | 58.90 | 有 | |
| 15-75 | 2.10 | 2.00 | 5.00 | 9.80 | 18.90 | 8.90 | 3.20 | 5.60 | 63.40 | 有 | |
| 15-80 | 4.00 | 2.50 | 5.40 | 9.10 | 21.00 | 7.00 | 2.20 | 4.40 | 65.40 | 有 | |
| 15-85 | 1.50 | 8.20 | 3.00 | 4.60 | 17.30 | 11.00 | 1.70 | 5.00 | 71.40 | 有 | |
| 15-87.5 | 1.30 | 7.50 | 2.10 | 4.10 | 15.00 | 3.60 | 2.20 | 7.20 | 72.00 | 有 | |
| 25-65 | | | | | 16.20 | 12.30 | 4.30 | 4.30 | 62.90 | 有 | |
| 25-70 | | | | | 20.00 | 8.80 | 4.60 | 2.40 | 64.20 | 有 | |
| 25-75 | | | | | 19.20 | 7.40 | 0.10 | 5.90 | 67.40 | 有 | |
| 25-80 | | | | | 16.20 | 6.50 | 2.40 | 2.70 | 72.20 | 有 | |
| 25-82.5 | | | | | 13.20 | 5.40 | 1.80 | 2.70 | 76.90 | 無 | |
| 55-70 | 5.60 | 0.10 | 2.20 | 9.70 | 17.60 | 11.00 | 3.50 | 5.50 | 62.40 | 有 | |
| 55-75 | 1.10 | | 0.30 | 12.50 | 13.90 | 9.60 | 3.20 | 4.70 | 68.60 | 無 | |
| 55-80 | 0.70 | 0.60 | 0.20 | 10.30 | 11.80 | 7.40 | 2.10 | 4.60 | 74.10 | 無 | |
| 55-82.5 | | | | | 12.20 | 5.30 | 2.00 | 2.60 | 77.90 | 無 | |
| 垂直-1 | 1.80 | 1.00 | 1.20 | 2.20 | 8.40 | 3.80 | 2.20 | 5.70 | 79.80 | 無 | |
| 垂直-2 | 1.10 | 2.70 | 1.30 | 2.70 | 7.80 | 4.80 | 2.30 | 4.80 | 80.30 | 無 | |
| 水平-1 | 1.40 | 2.00 | 1.10 | 2.30 | 6.80 | 4.60 | 2.00 | 5.90 | 80.70 | 無 | |
| 水平-2 | 1.20 | 3.20 | 1.40 | 3.10 | 8.90 | 4.10 | 1.80 | 4.10 | 81.10 | 無 | |

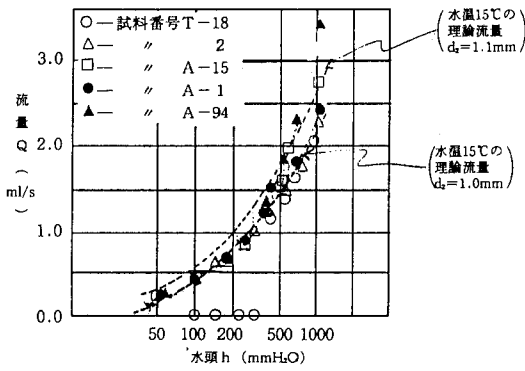


図-9 流量と水頭 (不攪乱試料, 水平方向)
Fig. 9 Relation between Discharge and Head at Pinhole Test. (Undisturbed Sample from Horizontal layer)

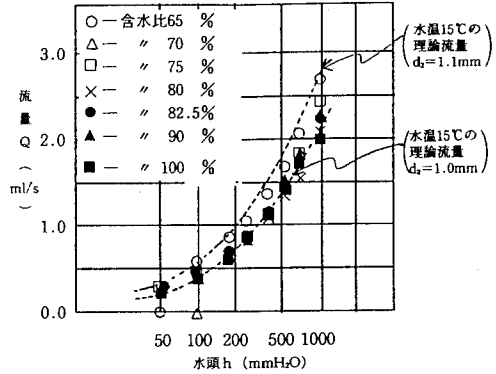


図-12 流量と水頭 (突固め回数25回/層)
Fig. 12 Relation between Discharge and Head at Pinhole Test. (Compacted Sample, 25 drops per a layer)

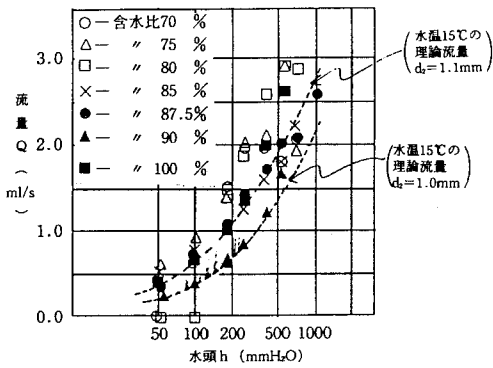


図-10 流量と水頭 (突固め回数5回/層)
Fig. 10 Relation between Discharge and Head at Pinhole Test. (Compacted Sample, 5 drops per a layer)

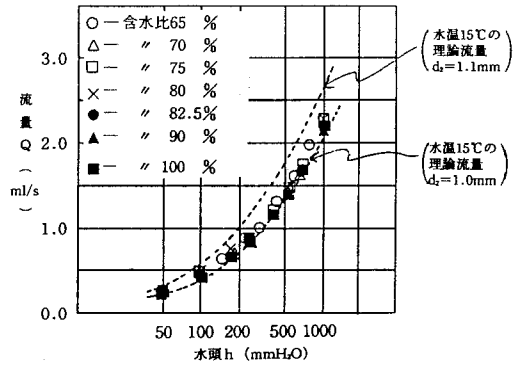


図-13 流量と水頭 (突固め回数55回/層)
Fig. 13 Relation between Discharge and Head at Pinhole Test. (Compacted Sample, 55 drops per a layer)

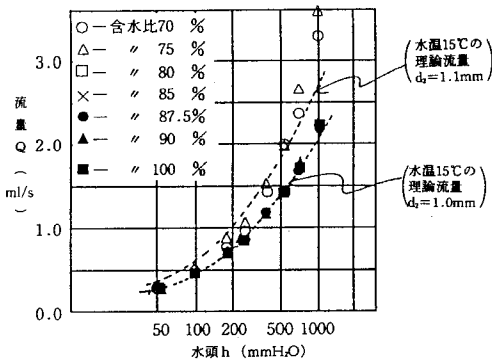


図-11 流量と水頭 (突固め回数15回/層)
Fig. 11 Relation between Discharge and Head at Pinhole Test. (Compacted Sample, 15 drops per a layer)

表-2に、また、透過流水の水頭と流量の測定結果を図-8~13に示した。

4. 考察

4-1. 乾燥密度と耐水性

締固め回数別の流量と水頭の関係を示す図より、締固め回数5回の供試体と与えた水頭と流量の測定値を図-10に示したが、図-10の測定値は乱れている。締固め回数が多くなるにつれて、理論曲線に沿った測定値が得られた。このように、理論曲線に沿うことは、ピンホールの直径が変化しないことを示し、理論曲線より上に離れることは、流量が通水圧の増加とともに多くなることであり、ピンホールの壁が侵食されて、ピンホールの直径が大きくなることである。そして、試験終了後、ピンホー

ルに沿って切断した供試体のピンホールの形状の観察により図-14を得た。図より、乾燥密度が約0.6g/cm³より小さい場合には、ピンホールの洗掘が起こり、乾燥密度が約0.6g/cm³よりも大きい場合には、洗掘を生じない結果が得られた。すると、供試体の締固め時の含水比よりも乾燥密度が耐水蝕性に影響すると考えられる。しかし、不攪乱試料の場合には、乾燥密度が約0.6g/cm³の試料においてでも、ピンホールの洗掘は観察されていない。

4-2. 間隙と耐水性

穴瀬 (1963) の「間隙分布と透水性」の論文の中で、Nelson, Baverらの研究 (Nelson W.L, Baver L.D., 1940) によれば、土の透水性は間隙の大きさと量に関係する。加圧板法においてpF～水分特性曲線を得る時、加圧力が0～40cmH₂Oの間で大間隙内の水が排水されてしまうので、このような大きさの間隙の量が土壌の透水性に最も関係があることを報告していると述べている。土壌中の間隙は、径が揃った多数の毛細管の束でできていると仮定し、40cmH₂Oの加圧力が毛管力と

平衡していると考えると、間隙の大きさは、ラプラスの式より、

$$h = 2 \sigma \cos \alpha / g \rho r \quad \dots\dots(4)$$

ここに、

- h : 毛細管上昇高さ σ : 水の表面張力
- ρ : 水の密度 g : 重力の加速度
- r : 毛細管の半径 α : 接触角

である。

土壌水分特性曲線と(4)式より、間隙の分布率を求めた。加圧力40cmH₂Oに平衡する毛細管の半径は r = 0.075mm である。このようにして、各供試体の土壌水分曲線より、間隙分布を計算して求めた。そして、ピンホール試験の結果、ピンホールが侵食されているかどうかを観察した結果を表-2に示した。

また、表-3は、Brewer (1964) が間隙の直径と形状について提案した表である。この表は、Johnson (1960) の土壌孔隙 (間隙) の分類の中の0.075mm以下の間隙の直径を細分化したものである。すると、表-2より得た間隙の直径が0.06～0.03mmのメソ孔隙 (間隙) 以上

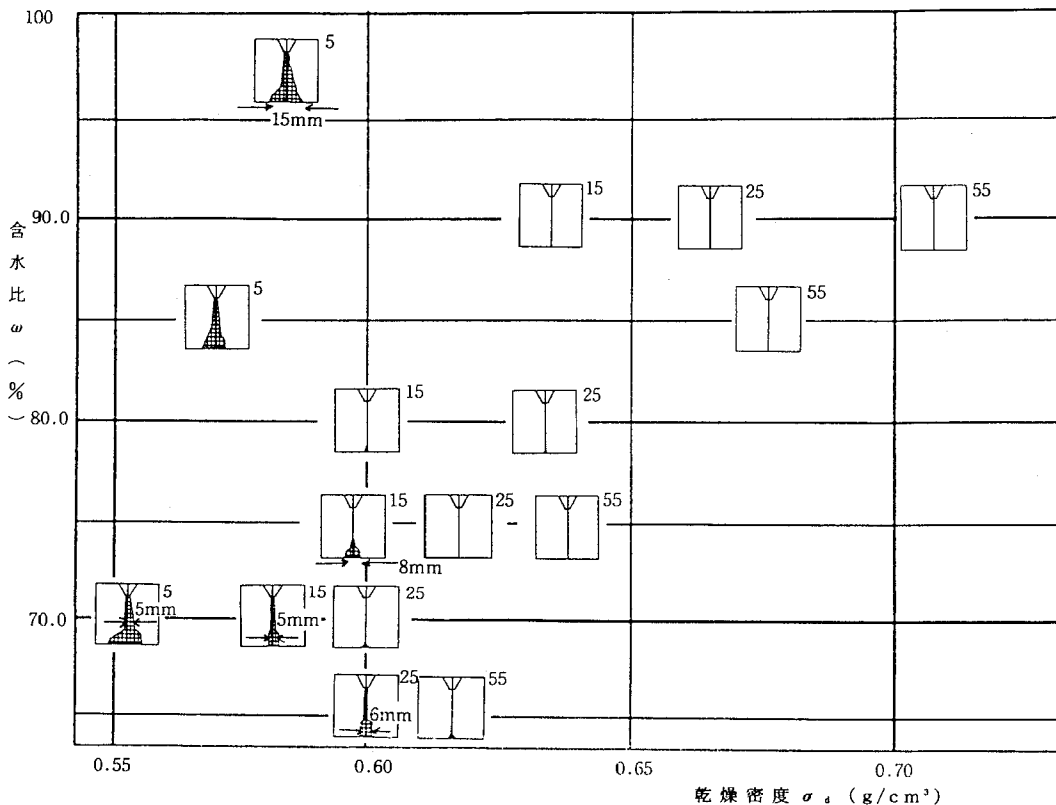


図-14 ピンフォールの侵食状況
Fig. 14 Comparison of Erosion Grade after Pinhole Test.

表-3 Brewerによる間隙の分類
Table. 3 Classification of pore by Brewer.

| 孔 隙 の 種 類 | 大 小 (μ) |
|------------------------------|-----------|
| マクロ孔隙(macrovaid) | 75< |
| 粗 マクロ孔隙(coarse macrovoid) | 5000< |
| 中 マクロ孔隙(medium macrovoid) | 2000~5000 |
| 小 マクロ孔隙(fine macrovoid) | 1000~2000 |
| 微細マクロ孔隙(very fine macrovoid) | 75~1000 |
| メソ孔隙(mesovoid) | 30~75 |
| ミクロ孔隙(microvoid) | 5~30 |
| ウルトラミクロ孔隙(ultramicrovoid) | 5> |
| クリプト孔隙(cryptovoid) | 0.1> |

の大きさの間隙が15~17%を占めた場合には、ピンホールは侵食されていることがわかった。

4-3. 不攪乱試料と締め固め試料の耐水性

4-1節において、締め固め試料では、乾燥密度が約0.6g/cm³以上であればピンホールの侵食は少ないか、または、侵食されないとの結論を得た。しかし、各水頭段階で便宜的に5分間と決め、その間の侵食の様子を観察して、土の分散性や、耐水蝕性を考察している。

4-3節では、乾燥密度が不攪乱試料と締め固め試料とともに似た値をもつ試料を使用して、耐水蝕性を比較した。不攪乱試料として乾燥密度が、0.609g/cm³のもの

を、締め固め試料としては、締め固め条件が1層あたり15回、含水比は75%で、乾燥密度が0.612g/cm³の供試体を選んだ。そして、85cmの水頭を持つ水を締め固め試料では1245分間、不攪乱試料では9日間通水した。その結果、不攪乱試料では、侵食が観察されなかった。一方、締め固め試料は、約20時間程度の短時間でも、写真-1に示すように、直径1mmのピンホールは直径約3mmまで侵食され拡張した。

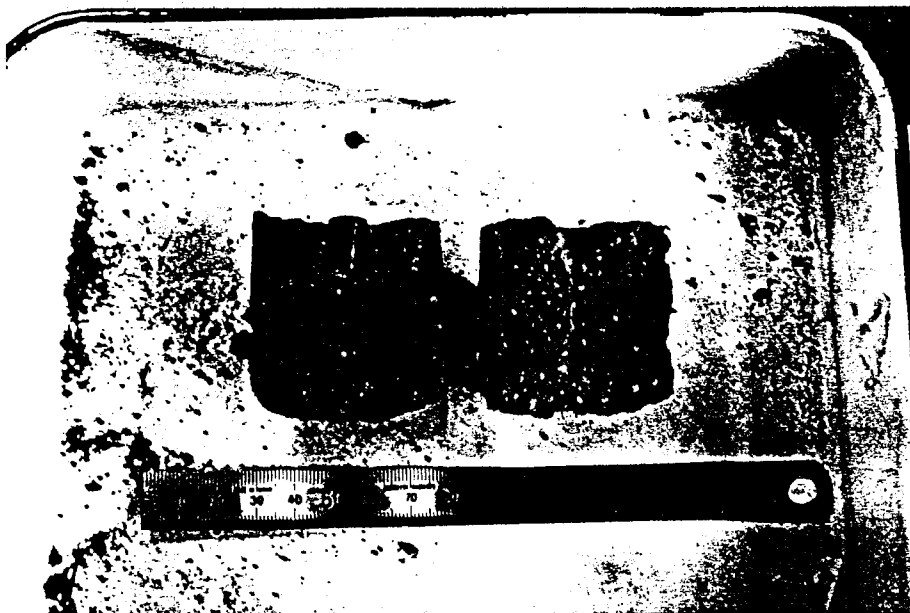
以上の結果を総合すると、土壌の侵食性を表すパラメータは乾燥密度に加えて、間隙の大きさとその量を土壌の耐水性を表すパラメータとすることが妥当性のある考え方と思われる。

5. 結論

1. 改良したピンホール試験器を土の耐水蝕性の判定に利用することができる。
2. 関東ロームの耐水蝕性の判定には、間隙の大きさと量によることが判明した。Brewerの間隙分類の中で、メソ間隙以上の大きさの間隙が15~17%を占めると侵食され易い。
3. 関東ロームを締め固める場合、乾燥密度を0.6g/cm³以上とすれば、耐水蝕性の土塊となる。
4. 不攪乱状態と締め固め状態の土では耐水蝕性が異なる。

写真-1 侵食されたピンホール

Photo. 1 Pinhole after Test.



6. おわりに

ピンホールを土塊に穿ち、通水し、土壌の耐水蝕性を評価する方法は実用的な評価法であると思われる。対象とする土壌を盛立てたり、切取ったりして農地が造成される。すると、これらの現地のサンプリング供試体に対して試験を行って得られた試験結果から対策工の設計や施工をおこなえば、ピンホール試験は耐水蝕性を評価するための優れた試験法であると思われる。しかし、土壌の供試体要素の試験からのデータより、実際の土構造物の挙動までも予測できるかどうかについては不明な点が多く残されていることは言うまでもないことである。

土壌の侵食性の問題に関する研究や実務は古くから多くの研究者や技術者により行われてきたが、今日まで、決定的な解決方法が見いだされていない困難な問題である。このような観点より考察すると、ピンホール試験は容易に実施できる試験法なので、現地毎の土の成因別の耐水蝕性の評価基準を設け、その判断をもとに法面保護工法の設計の対策にこの結果を取り入れたいと思う。

7. 参考文献

- 穴瀬真 (1963) : 間隙分布と透水性—Marshallのゼミから—, 東京大学農学部農地工学研究室研究の試料と記録, 13, 10—15.
- Brewer, R. (1964) : Fabric and Mineral Analysis of Soils. 131—133, John Wiley & Sons, Inc.
- 土壌物理研究会編 (1974) : 土壌物理用語辞典 (9. 土壌侵食) 養賢堂, 119—128.
- 土壌物理性測定法研究会編 (1987) : 土壌物理性測定法 養賢堂, 94, 1987.
- Johnson W.M., McClelland J.E., Mccaleb S.B., Rudolph Ulrich, Harper W.G., and Hutchings T.B (1960) : Classification and Description of Soil Pores. Soil Science, 89, 319—321.
- James I. Sherard, Lorn P. Dunnigan, Rey S. Decker and Edgar F. Steele. (1976) : "Pinhole Test for Identifying Dispersive Soils" Geotechnical Engineering Division. (ASCE) .102, NO. GT 1, 69—85.
- Nelson, W.L., Bayer, L.D. (1940) : Movement of water through soils in relation to the nature of the pores. Soil Science Society of American Proceeding, 5, 69—76.
- 山口嘉一, 松本徳久, 田原則雄 (1991) : ピンホール試験によるフィルダムコア材の分散性の判定, 第二六回土質工学研究発表会講演集, 1731—1733.

吉田 裕 (1987) : "ピンホールテスト" 土と基礎, 35, NO.11, pp87—88.

(受稿年月日 1994年3月5日)



4極法による土壌カラム内の 電気伝導度測定とその応用

井上 光弘・塩沢 昌*

Measurement of Electrical Conductivity in Soil Columns by the Four-electrode Method and its Application

Mitsuhiro Inoue and Sho Shiozawa*

Arid Land Research Center, Tottori University

*Faculty of Agriculture, Tokyo University

Summary

In order to investigate the simultaneous movement of salt and water in unsaturated soil, or in order to determine the dispersion coefficient associated with soil solution, we need the sensor that can monitor quickly the salinity of the soil solution and its changes with time.

In this paper, we developed a method to determine the changes in NaCl concentrations (C) and water contents (θ) in a laboratory soil column, in which bulk soil electrical conductivities (ECa) were measured by the four-electrodes and matric suction by tensiometers simultaneously.

We get a calibration equation for a sandy soil without clay particles that gives the bulk soil electrical conductivity (ECa) from volumetric water content (θ) and soil water electrical conductivity (ECw) :

$$ECa = a \cdot ECw \cdot \theta^2 + b \cdot \theta$$

where a and b are experimental coefficients.

Examples of applying this method for monitoring simultaneous movement of water and salt in the unsaturated sand during infiltration and evaporation process were shown.

Key words : four-electrode method, sandy soil, soil electrical conductivity, calibration equation, salinity measurements, soil water characteristics curve

(Soil Phys. Cond. Plant Growth, Jpn, 70,23-28, 1994)

1 まえがき

土壌中の溶質移動を定量的に測定したり、塩の分散係数を決定するためには、土壌溶液の濃度変化を土壌中で迅速に測定することが必要である。土壌溶液の塩濃度は電気伝導度で評価できる。採取された土壌サンプルであれば、飽和抽出や1:5, 1:1等の抽出液の電気伝導度を測定することができる。しかし、土壌水の電気伝導度を直接測定することは必ずしも容易ではない。多孔体を用いた現場用の土壌塩分センサーは、土壌溶液と多孔体センサー内の溶液濃度を平衡させて電気伝導度を測定するもので、この平衡をとるために数時間を要する(伊

藤ら, 1977, Rhoades et al., 1986)。また、田中ら(1991)が開発しているロックウール培地用のECセンサーも応答時間が約15分を要し、これより速い溶質移動の変化は測定できない。土壌の電気伝導度は4極法を用いて直接測定できる。しかし、土壌の電気伝導度は土壌溶液の電気伝導度(塩濃度)とともに土壌水分量に強く依存するため、事前のキャリブレーションが必要である。

著者らは、土壌カラム内の水と塩の同時移動現象を測定するために4極法を用いることを試みてきた(塩沢ら1993)。土壌カラム内の多点で電気伝導度を同時に測定しようとするとき、電極相互の干渉によって正しい測定

鳥取大学乾燥地研究センター(〒680鳥取市浜坂1390) *東京大学農学部(〒113東京都文京区弥生1-1-1)

キーワード: 4極法, 砂土, 土壌の電気伝導度, 校正式, 塩分測定, 土壌水分特性曲線

ができないため、これを防ぐ測定回路の工夫が必要であり、ここではまず、その方法を述べる。次に、粘土分を含まない砂丘砂を試料として、その電気伝導度と溶液濃度および土壌水分量との関係を求めるためにキャリブレーションを行い、その結果と得られた実験式を示す。そして、これを用いて、土壌カラム内の浸潤過程と蒸発過程において、水と塩の同時移動を測定した例を示し、4極法測定が、土壌中の塩濃度の測定とともに、限られた条件ではあるが、土壌水分量の測定にも使えることを示す。

2 4極センサーの構造と測定方法

本研究で作製した4極センサーは、外径1mmの4本のステンレス棒の電極を、高さが20mm、内径50mmの亚克力製リングの側面に平行に挿入したもので、このリングを土壌カラムの一部として使用する(図-1)。外側の2本が電流供給電極で16mmの間隔、内側の2本が電圧測定電極で8mmの間隔で配置した。電流供給電極は先端の長さ18mm、電圧測定電極は先端の12mmほどを露出させて他の部分は絶縁し、カラム断面の中央部の土壌の電気伝導度を測定する構造になっている。

外側の電流供給電極を流れる電流 e と内側の電圧測定電極間の電位差 V_2 の比(e/V_2)を測定すると、この比は媒体の比抵抗に反比例し、電気伝導度に比例する。内側の電圧測定電極には電流がほとんど流れないため、電流電極周囲の接触抵抗などの局所的な抵抗の影響を避けることができる。ただし、電極の分極を避けるために、高周波の交流電流を電流供給電極に流す必要がある。電流供給電極を流れる電流 e は、回路内に既知の値の抵抗 R_r を入れて、その両端の電位差 V_1 を測定することによって、 $e=V_1/R_r$ の関係から求まる。つまり、参照抵抗 R_r

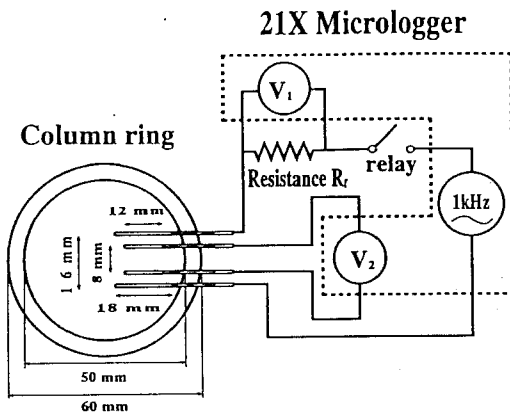


図-1 4極センサーと測定回路

Fig. 1 Four-electrode sensor and electric circuit for measurement.

にかかる電圧 V_1 と電圧測定電極の電圧 V_2 の比(V_1/V_2)が媒体の電気伝導度に比例する。

このような回路による測定は、Campbell Scientific社(Logan, Utah, USA)のデータロガー/コントローラ21xまたはCR7を使うと、簡単なプログラムをセットするだけで、容易に行うことができる。21XまたはCR7の「Instruction 9」を使うと、データロガーのExcitation端子から1kHzの矩形波の交流が出力され、この波形に同期させて、アナログ入力端子につないだ V_1 と V_2 の比が自動的に測定される。

土壌カラム内で塩や水の移動現象を測定しようとする場合、一つのカラムに複数のセンサーを設置して同時に測定することが必要になる。21Xの場合、8対のアナログ入力端子と4つのExcitation出力端子があるので、1台に4セットまでの4極センサーを接続することができる。しかし、一つのカラムに複数のセンサーをセットして1台の測定器につなぐと、一つのセンサーの電流供給電極に与えた電圧によって、他のセンサーの電流供給電極のアース線に向かう電流がカラム内に生じてしまい、それぞれのセンサー位置の電気伝導度を正しく測定できない。このセンサー間の干渉をなくすためには、測定中のセンサー(電圧を与えているセンサー)以外のセンサーのアース線を切断しておく、測定中のみ接続されるようにしなければならない。これには、アース線にリレースイッチを付けて測定に合わせて開閉させる必要がある。幸い、21XやCR7はこのようなリレー制御も簡単に行うことができる。21Xには、0~5Vの電圧で電流を出力できるCAO(Continuous Analog Output)端子が2チャンネルあるので、2つまでのリレーは、CAO端子で直接開閉できる。さらに3つ以上ならば、6チャンネルあるControl出力端子を使うことができる。Control出力端子は0Vか5VのON-OFF信号を出力する端子であるが、直接リレーを開閉するほどの電流を供給できないので、図-2のような回路で、トランジスタを介してリレーを開閉するようにした。

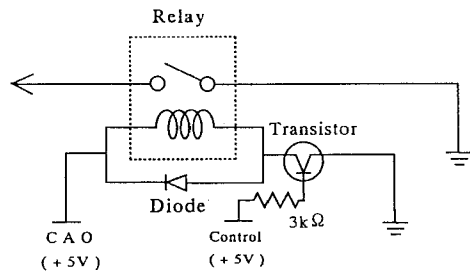


図-2 21Xマイクロロガーによる開閉回路

Fig. 2 Relay control circuit by 21X Micrologger.

3 キャリブレーション

1) センサー定数

4極法で測定される電圧比 (V_1/V_2) は媒体の電気伝導度に比例するが、その比例係数は電極とカラムリングの形状や構造に依存する。この比例係数 (センサー定数またはセル定数) は電気伝導度が既知の媒体を測定して決定できる。ここでは、濃度が既知の塩化ナトリウム水溶液 (NaCl溶液) の電気伝導度ECwを市販の電気伝導度計で求め、NaCl溶液濃度と温度を変えて、3つの4極センサーに対して、電圧比 V_1/V_2 を測定してセンサー定数を決定した。その結果、NaCl溶液の電気伝導度ECw (dS/m) は電圧比 V_1/V_2 および測定時の温度T (°C) との間に、電気伝導度への温度の影響を考慮して、 $ECw = \alpha \cdot [(V_1/V_2) / \{1 + 0.0199 \cdot (T - 25)\}] + \beta$ なる形の実験式を得た。3つの4極センサーに対して、相関係数が0.99999で、切片 β はほぼゼロとなり、センサー定数 α (dS/m) は、それぞれ、0.0136, 0.0155, 0.0147となった。なお、NaCl溶液の電気伝導度ECwは基準温度25°Cに温度補正したものである。

2) 実験方法

供試土壌を鳥取砂丘砂、溶質を塩化ナトリウムとして、土壌の電気伝導度ECaと、土壌溶液の電気伝導度ECwおよび体積含水率 θ との関係を調べた。

試料は蒸留水でよく洗って粘土分と塩分を取り除き、乾燥させた後、所定の濃度のNaCl溶液を加えて水分量を調節し、25°Cの恒温状態で2日間ビニル袋に保管して、測定に供した。すなわち、濃度、0.005, 0.01, 0.02, 0.03, 0.04, 0.05, 0.06, 0.08, 0.1, 0.2, 0.5, 1.0mol/dm³の12種類のNaCl溶液を調整し、これらの

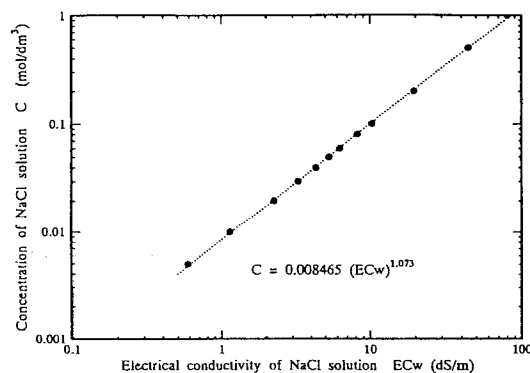


図-3 NaCl溶液の濃度と電気伝導度との関係

Fig. 3 Relationship between electrical conductivity and concentration of NaCl solution.

NaCl溶液の電気伝導度は市販の電気伝導度計で測定した。ここで、測定したNaCl溶液の25°Cの電気伝導度ECw (dS/m) と溶液濃度c (mol/dm³) との関係は、

$$c = 0.008465 ECw^{1.073} \quad (1)$$

であった (図-3)。したがって、(1)式によって、ECwの測定値をcに換算できる。

次に、粘土分と塩分を取り除いた乾燥砂250gに対して、調整した12種類のNaCl溶液を、メスピペットで5ml、あるいは10, 15, 20, 25, 30, 35ml加え、飽和状態も含めて96種類の試料を調整した。この調製した砂を内径50mm、高さ60mmの、中央に4極センサー付リングを入れた円筒カラムに均一に充填し、上面をシールして蒸発防止した後、土壌の温度と4極法による土壌の電気伝導度を測定した。その後、円筒カラムを解体し、土壌の乾燥密度と体積含水率を測定した。その結果、土壌の温度は25.0±0.5°C、乾燥密度は1.45±0.02g/cm³ではば一定であり、体積含水率は0.0287~0.454cm³/cm³の範囲であった。

3) 結果と考察

前述の96種類の試料を測定した結果、体積含水率 (θ) を一定とした場合の土壌の電気伝導度 (ECa) とNaCl溶液の25°Cの電気伝導度 (ECw) の関係を図-4に、また、ECwを一定とした場合のECaと θ との関係を図-5に示した。 θ を固定した場合、ECaとECwとの関係は1次式で与えられる。一方、ECwを固定した場合の、ECaの θ への依存性は複雑で、2次式やべき関数で表すことができる (井上ら, 1993)。いくつかの関数形を検討した結果、ECaとECwとの関係は1次式、ECaと θ との関係は2次式で表すことにして、実験結果を次式で表すことにした。

$$ECa = a \cdot ECw \cdot \theta^2 + b \cdot \theta \quad (2)$$

ここでa, bは定数で、最小2乗法で求めた値は、a = 1.45, b = 0.102であった。bの単位はdS/m, aは無次元である。(2)式を、図-4, 図-5に点線で示した。溶液濃度と水分量の広い範囲で実験結果を正確に表していることがわかる。

ところで、ECaと θ およびECwとの関係について、一般性のある物理的なモデルとして、代表的なものにRhoeadsら (1976) の次のモデルがある。

$$ECa = ECw \cdot \theta \cdot Tc + ECs \quad (3)$$

ここで、右辺第1項は間隙中の溶液を伝わる電導成分、第2項のECsは土粒子表面の吸着イオンによる粒子表面の電導成分であり、(3)式は、この2つの電導成分の並列配置で土壌の電気伝導度を表わそうとするモデルである。(3)式のTcは伝達係数 (transmission coefficient) と呼ばれ、屈曲度その他による、間隙中の溶液の電気伝導低

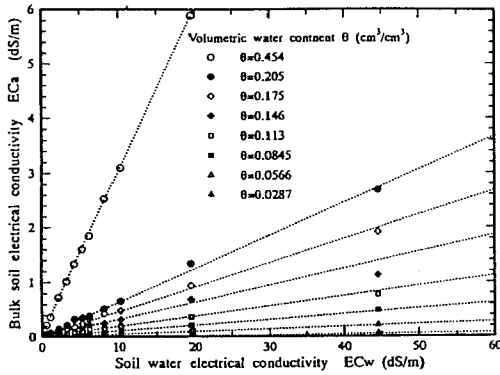


図-4 体積含水率を一定とした場合の土壌の電気伝導度と土壌溶液の電気伝導度との関係

Fig. 4 Relationship between soil water electrical conductivity and bulk soil electrical conductivity for fixed volumetric water contents.

下を示す因子で、体積含水率に依存する。このTcについて、Rhoadesら (1976) は、体積含水率に対して単純な場合として一次式

$$Tc = a \cdot \theta + b' \quad (4)$$

を仮定している。ここで a, b' は土に依存する実験定数である。

本研究の試料の特性を示す(2)式と、種々の土に対して成立するとされる理論的なモデルの(3)式を比較して、実験結果の物理的な内容を検討してみると、まず、(2)式は(3)式のECsに相当する定数項を含んでいない。本研究の試料は粘土分を含まないので、(3)式のECsはゼロとみてよく、粘土分を含まない試料では、固相は絶縁体で、間隙中の溶液だけを電気が流れると考えてよいことを示している。また、このとき(4)式のb'と(2)式の係数bとの関係は、b' = b/ECwであり、係数aは両者で同じものである。さらに、(2)式の係数a, bの値では、ECwがとくに小さい場合を除いて、右辺第1項が第2項に比べて大きく((4)式でb' = 0)、土壌と溶液との電気伝導度の比 (ECa/ECw) は、およそ、体積含水率θの2乗に比例することがわかる。これは、これまで他の土壌で測定された結果 (白井, 1961) と同様である。このように、本研究の試料でもRhoadesら (1976) のモデルが概略、成立するといえるが、キャリブレーション曲線としては、より正確な(2)式を使うことにした。

4) θとECwの推定

実験式(2)からは、土壌溶液の電気伝導度ECwが既知であれば体積含水率θを、また、θが既知であればECwを求めることができる。

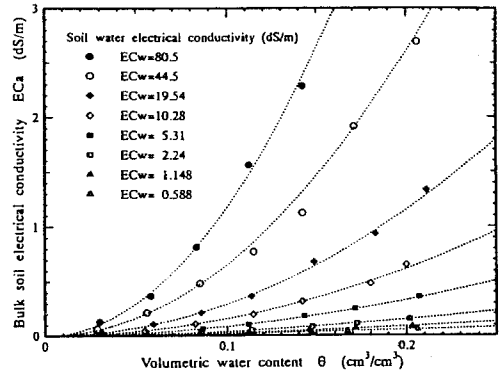


図-5 土壌溶液の電気伝導度を一定とした場合の土壌の電気伝導度と体積含水率との関係

Fig. 5 Relationship between volumetric water content and bulk soil electrical conductivity for fixed soil water electrical conductivity.

体積含水率の推定値[θ]eと、土壌溶液の電気伝導度の推定値[ECw]eは、(2)式から、それぞれ

$$[\theta]_e = \frac{-b + \sqrt{b^2 + 4 \cdot a \cdot ECa \cdot ECw}}{2 \cdot a \cdot ECw} \quad (5)$$

$$[ECw]_e = \frac{(ECa/\theta) - b}{a \cdot \theta} \quad (6)$$

なる式で得られる。キャリブレーションによる実験データ数を n, (5)式または(6)式による推定値をYe, 実測値をYmとして、 $100 \cdot \Sigma (|Ym - Ye| / Ye) / n$ を平均相対誤差(%)とすると、(5)式による体積含水率の推定平均相対誤差は2.41%, (6)式による溶液濃度の推定平均相対誤差は5.60%である。ECaの体積含水率への依存性が強いために、(5)式による体積含水率の推定精度が高くなっている。したがって、土壌溶液の濃度が既知であれば、4極法によるECaの測定と(5)式によって、体積含水率をかなり正確に求めることができる。

4 水と塩の同時移動問題への4極法による電気伝導度測定の適用

1) 塩濃度一定条件での水分量変化の測定

水の流れのある土壌カラム内において、体積含水率とマトリックサクションとの関係、つまり土壌水分特性曲線を得るために、4極法による電気伝導度測定を適用した。実験装置は浸潤実験に用いるために作製したもので、内径50mm、長さ300mmの円筒カラムの側面に、圧力変換器付きテンシオメータと4極センサーを深さ13, 23cmに取付けた。また、カラム上端から2連の定流量ポンプで2つのNaCl溶液を給水し、カラム下端には焼

結ガラスフィルターを介して一定のサクシオンを与え、排水量を電子天秤で測定できるようにした。

浸潤させるNaCl溶液の濃度は 0.02mol/dm^3 で一定条件とし、飽和からの排水過程の後に、上端からの給水流量を $0.4\text{cm}^3/\text{min}$ と $3.2\text{cm}^3/\text{min}$ の間で変化させて浸潤-排水を3回、繰り返した。こうして変化させた土壌水分量を、4種センサーで測定したECaから(5)式を使って求め、マトリックサクシオンをテンシオメータで同時に測定した。こうして、非定常な溶液の流れの中で、深さ23cmの測定で得られた体積含水率(θ)とマトリックサクシオン(h)との関係を図-6に示した。排水過程と浸潤過程での土壌水分特性曲線の相違、つまり、ヒステリシスが測定されている。なお、Bottrandら(1985)によると、土壌の電気伝導度は、土壌溶液の塩濃度が一定ならば、土壌水分量で決まり、ヒステリシスの影響はほとんどないとされている。

2) 水分量と溶液濃度変化の同時測定

土壌カラム内の体積含水率も溶液濃度も変化する場合、テンシオメータでマトリックサクシオンを測定し、あらかじめ得られた土壌水分特性曲線を使って体積含水率 θ を求めれば、4種センサーで測定したECaの値と(6)式、さらに(1)式から、土壌溶液の濃度 c を測定できる。

前述の浸潤実験装置において、水分フラックス 0.000321cm/s 、塩濃度 0.02mol/dm^3 の定常流を作っておき、2連の定流量ポンプと3方コックを用いて、上端からの給水のフラックスを 0.00258cm/s 、溶液濃度を 0.1mol/dm^3 に瞬時に切り替えた(このときの時刻を

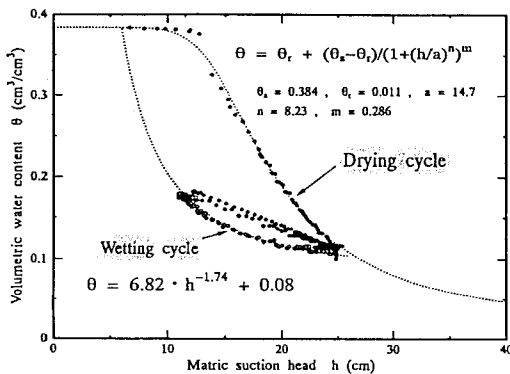


図-6 塩濃度一定の砂丘砂カラム内の浸潤-排水過程で測定したマトリックサクシオンと体積含水率との関係

Fig. 6 Relationship between matric suction head and volumetric water content of dune sand during wetting and drying cycle for constant salt concentration in soil column.

$t = 0$ とする)後の、深さ23cmにおけるマトリックサクシオン h 、土壌の電気伝導度ECa、体積含水率 θ 、土壌溶液中のNaCl濃度 c の経時変化を図-7に示した。

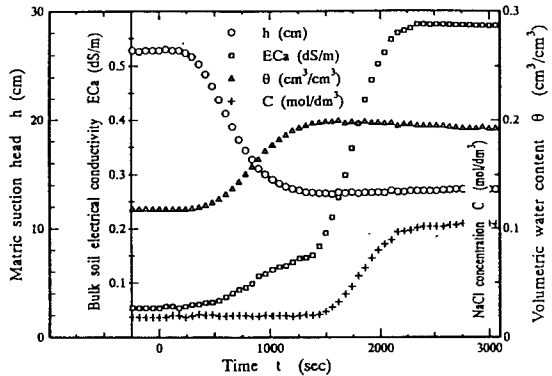


図-7 浸潤する塩溶液の水分フラックスと溶液濃度を同時に変えた後の、土壌カラム内深さ23cmにおけるマトリックサクシオン h 、土壌の電気伝導度ECa、体積含水率 θ 、塩溶液濃度 C の経時変化

Fig. 7 Variation of matric suction head h , bulk soil electrical conductivity ECa , volumetric water content θ and $NaCl$ concentration C with time at the depth of 23 cm in soil column after changing both water flux and salt concentration of applied water at $t = 0$.

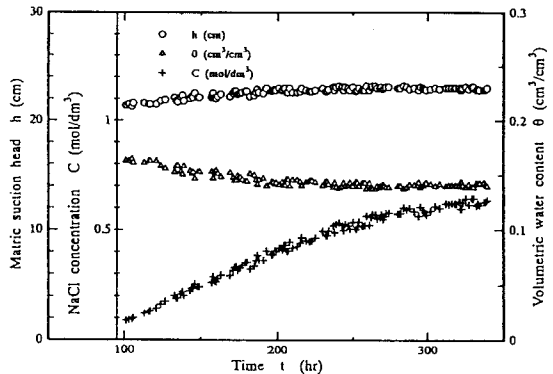


図-8 地下水位深さ20cm一定条件下の蒸発過程の土壌カラム内深さ3cmにおけるマトリックサクシオン h 、体積含水率 θ 、塩濃度 c の経時変化

Fig. 8 Variation of matric suction head h , volumetric water content θ , and $NaCl$ concentration C with time at the depth of 3 cm in soil column during evaporation process on the condition of constant of water table at the 20 cm depth.

$t=250$ 秒頃から深さ23cmにおける体積含水率が増加し、これより遅れて、 $t=1400$ 秒頃から塩濃度が増加している様子がわかる。

もう一つの例として、塩濃度 $0.1\text{mol}/\text{dm}^3$ で飽和した砂を充填したカラムにおいて、マリOTT管を使ってこの塩濃度の地下水位を深さ20cmに一定に維持し、 35°C 、25%の恒温恒湿室で $0.0182\text{cm}/\text{h}$ で蒸発させた時の深さ3cmのマトリックサクシオン h と体積含水率 θ 、土壌溶液中のNaCl濃度 c の経時変化を図-8に示した。 θ は、テンシオメータの測定から排水過程の土壌水分特性曲線を使って求め、塩濃度 c は4極法で測定したECaから、(6)式と(1)式を使って求めたものである。蒸発に伴うカラム内の土壌溶液の塩濃度の上昇の様子がわかる。

5 まとめ

土壌の電気伝導度ECaは、土壌溶液の電気伝導度ECwと体積含水率 θ に依存する。それぞれの土壌について、この $\text{ECa} = f(\text{ECw}, \theta)$ の関係を実験によって求めておけば、土壌の電気伝導度の測定値から、体積含水率が既知であれば土壌溶液の濃度を、土壌溶液の濃度が既知であれば体積含水率を求めることができる。本研究では、4極法のキャリブレーションを示し、洗い砂と塩化ナトリウム溶液という単純な系ではあるが、4極法で土壌カラム内の電気伝導度を直接測定し、テンシオメータによるマトリックサクシオン測定と組み合わせることによって、水と塩の同時移動を把握できることを示した。

なお、本研究は、乾燥地研究センターの共同研究によって遂行されたもので、実験に乾燥地研究センターのアリッドトロンを使用した。また、トランジスタによるリレー

制御回路の作り方を東京大学農学部山本愷博士に教えていただき、実験装置の製作に同学部、井本博美技官の助力を得た。記して感謝の意を表するものである。

引用文献

- Bottraud, Jean-Christophe and Rhoades, J.D. (1985) : Referencing water content effects on soil electrical conductivity-salinity calibrations, *Soil Sci. Soc. Am. J.* 49 : 1579-1581.
- 井上光弘・塩沢 昌 (1993) : 4極法による土壌の電気伝導度測定, 平成5年度農業土木学会講演会講演要旨集, 42-43.
- 伊藤純雄・湯村義男 (1977) : ECセンサーによる電気伝導度の現場連続測定法, *土壌誌*, 48 : 59-60
- Rhoades, J.D. and Oster, J.D. (1986) : Slute content, In A. Klute (ed.) 'Method of soil analysis Part 1', 2nd ed. SSSA, 985-994.
- Rhoades, J.D., Raats, P. A. C. and Prather, R. J. (1976) : Effects of liquid-phase electrical conductivity, water content, and surface conductivity on bulk soil electrical conductivity, *Soil Sci. Soc. Am. J.* 40 : 651-655.
- 塩沢 昌・井上光弘 (1993) : 浸潤に伴う不飽和砂中の水分・塩分移動の実験と解析, 平成5年度農業土木学会講演会講演要旨集, 24-25.
- 白井清恒 (1961) : 土壌の物理的伝導度に関する研究, 三重大学農学部学術報告24 : 127-191.
- 田中和夫・安井秀夫 (1991) : ロックウール培地用ECセンサーの開発, *生物環境調節* 29 : 39-43.

(受稿年月日1994年3月6日)

資 料

アブラナ科野菜根こぶ病の発生と土壌物理性

岩間秀矩・遅沢省子*・金子幸男**・久保田徹

Occurrence of clubroot disease of crucifers and soil physical conditions

Hidegori IWAMA, Seiko OSOZAWA*, Yukio KANEKO**, and Toru KUBOTA

National Institute of Agro-Environmental Sciences

*Shikoku National Agricultural Experimental Station

**Highland Branch of Gunma Prefectural Agricultural Experimental Station

(Soil Phys. Cand. Plant Growth, Jan, 70, 29-36, 1994)

1 はじめに

近年、畑地における土層改良の目的には、作物根伸張や作業性の改善とともに、品質向上あるいは土壌病害の軽減が含まれるようになり、機械力を駆使した天地返し等の大規模な土層の改変が行われるようになってきている(深谷・宮川 1987; 樋口ら 1988)。天地返し等による土壌病害軽減効果については、病原菌や土壌の種類、表土と下層土の混合状態、有機物施用など土壌管理により変動し(深谷・宮川 1987; 樋口ら 1988; 小林・茂木 1987; 松田・下長根 1983)、土壌特性との関係には未解明な部分が多いとされている(小林 1988; 駒田 1985; 小沢 1983)。

ここでは、キャベツ、ハクサイなど主要なアブラナ科野菜にとって最も被害の大きい土壌病害であり、かつ、土壌水分により発病度が大きく影響されることが知られている根こぶ病を対象として、土壌の物理性制御による病害軽減法を確立するために、いくつか調査を行った結果(Iwama et al. 1994; Osozawa et al. 1994)を紹介する。

2 アブラナ科野菜の根こぶ病

アブラナ科野菜の根こぶ病は、変形菌の一種であるネオプラズマ (*Plasmiodiophora brassicae* Woronin) に起因する土壌伝染性病害であり、わが国では、1970年以降、野菜産地形成に伴う連作化により被害面積が拡大し、キャベツやハクサイ産地の殆どで激しい被害が発生している(野菜試 1984)。現在、根こぶ病の防除対策は、PCNBなど有機塩素系農薬の土壌への多量施用が主となっ

ているが、効果が必ずしも確実でないことや環境影響への懸念から、土壌pH、土壌水分、土質、有機物施用、日長、土壌中菌(孢子)密度など環境要因の制御や輪作などによる、いわゆる生態的防除の試みも多くなされてきた(桂 1965; 内記 1987)。このうち、土壌水分については、過湿状態で病害発生が著しく、排水改良により軽減されることが知られているが、これは根こぶ病菌特有の感染様式に関連があると考えられている(Dobson, et al. 1982; 桂 1965)。すなわち、土壌中の休眠孢子は根の接近などにより発芽して第一次遊走子を生じ、まず根毛に感染し、そこで増殖して第2次遊走子を形成する。第2次遊走子は再び土壌中に放出され、遊泳して根の皮層細胞に感染を起こすが、この過程には特に潤湿な土壌水分状態が必要とされる(Dobson et al. 1982)。根細胞が肥大する根こぶ病徴を呈するには、後段の皮層感染が必須であり、根毛感染のみでは発病しないことが認められている(Dobson & Gabrielson 1982; 内記 1987)。

3. 根こぶ病発生畑における現地調査

1) 調査圃場

群馬県嬭恋村のキャベツ栽培畑、および神奈川県三浦市の野菜畑を1985年から1986年にかけて現地調査を行った。調査は前者では秋季(9, 10月)に、後者では冬季(12月)に行った。前者の土壌は表層多腐植質黒ボク土であり、表層約50cmは多腐植質であり(以下、多腐植質表土と呼ぶ、全炭素含量約11%)、その下層は黄褐色を呈し、粗い半腐朽浮石層とその下位にある粒径1~3

** 群馬県農業総合試験場高冷地分場 〒377-16 群馬県吾妻郡嬭恋村田代301

キーワード: 根こぶ病, 土壌通気性, 発病限界水分, 抑止型土壌, 孢子移動性

mmの浮石層（両者併せて黄褐色下層土と呼ぶ、全炭素含量約2%）から構成されていた。地形修正による切土部等には黄褐色下層土が露出し、斜面下半部では多腐植質表土が厚くなっていた。嬌恋村の黄褐色下層土は、根こぶ病の発病抑止型土壌であることが報告されているが（木村ら 1983；小林 1985）、調査地においても根こぶ病は黄褐色下層土露出部で殆ど発生が見られず、多腐植質表土部で激発していた。

三浦市の土壌は、起伏に富む海岸段丘上に分布する表層腐植質黒ボク土であり、表層40~50cmは暗褐色を呈し、下層は黄褐色のローム層となっていた。ここではやや発病の見られる自然層序に近い畑地と、天地返しが行われてほとんど発病の見られない畑地において土壌の物理性を調査した。

2) 発病畑と非発病畑の土壌物理性：

表1に畑地の物理性を示したが、嬌恋村の根こぶ病発生畑と非発生畑では、前者において耕盤層の圧縮が著しく、浸透能及び気相率が低下し、根が物理的制約を受けない非制限有効水分範囲（遅沢ら 1990）もやや狭くなっていた。土壌硬度が根の伸張を阻害する12kg/cm²（山中式）以上となる水分点のpF値については、両土壌間の差異が小さいが、これは黄褐色下層土に浮石が多く含まれているために、硬度が高くなったものであろう。三浦市の野菜畑土壌についても、軽度の発生畑と天地返し畑の間に差異があり、後者において耕盤層の気相率や透

水性に改善効果が認められた。また、嬌恋村の多腐植質黒ボク土畑と比較して、三浦土壌は全体的に物理性が良好で発病頻度が少ない理由として、三浦では地形的に起伏が大きく排水性が良いこと、一般に圃区が小さく区切られていて、大型機械の導入が少なく土壌踏圧が進んでいないことなどが関係するものと考えられる。

2) キャベツ畑の土壌空気中における炭酸ガス濃度の推移と発病度：

根こぶ病は、多腐植質で圧縮された土壌に激発することから、土壌中の炭酸ガス濃度との関わりが予想された。そこで群馬県農業総合試験場高冷地分場内（嬌恋村田代）の多腐植質表土畑並びに黄褐色下層土（造成）畑において、キャベツを栽培し、定植（7月1日）から収穫（9月21日）までの期間、毎週1回、株下10cmにおける土壌空気中の炭酸ガス濃度を測定した。なお、分場内キャベツ畑の土壌物理性についても調査したが、前項で述べた農家圃場とはほぼ類似していた。収穫時には収量および発病度を調査した。発病度の判定は以下の基準によった。

- 発病指数 0：健全
- 1：小さい根こぶが側根などに見られる
 - 2：明瞭な根こぶが主根・側根に見られる
 - 3：多数の肥大した根こぶが見られる
- 発病度 = Σ (指数 × 発病株数) / (3 × 調査株数) × 100

表-1 キャベツ根こぶ病発生型土壌と非発生型土壌の物理性

| 測定項目 | 踏圧度 | 土壌の排水性 | | | | 根の生育限界相当水分 pF | | | | pF1.8における物理性 | | |
|---------------------|-------------------------------|-------------------------|----------|--|----------------------|-----------------------------------|------------------------------|-------------------------------|----------------------|----------------------|---------------------------|---|
| | | 仮比重 | 最終浸透能 Ib | 飽和透水係数 | 24時間含水量 | 相対ガス* 拡散係数 D/D ₀ =0.02 | 土壌硬度 H =12kg/cm ² | 非制限** 有効水分範囲 | 非制限** 有効水分病 | 気相率 | D/D ₀ | 通気係数 |
| 群馬県嬌恋村 | cm | g/cm ³ | mm/hr | cm/s | pF | pF | pF | pF | vol.% | vol.% | | ×10 ⁻¹ mpa ⁻¹ s ⁻¹ |
| 多腐植質黒ボク土 (発生型) | 作土 0-20 耕盤 20-44 下層 44- | 0.568 0.724 0.614 | 6 | 5 × 10 ⁻³ 4 × 10 ⁻⁵ 2 × 10 ⁻⁴ | 1.71 1.62 — | 1.0> 2.8 3.0 | 4.2< 3.2 3.4 | 1.8-4.2 2.8-3.2 3.0-3.4 | 20.9 2.4 4.2 | 32.2 7.5 5.3 | 0.080 0.0004 0.0003 | 42.8 0.2 0.5 |
| 黒ボク土黄色下層土造成相 (非発生型) | 作土 0-16 耕盤 16-35 下層 35- | 0.617 0.753 0.710 | 220 | 1 × 10 ⁻³ 2 × 10 ⁻³ | 1.68 1.65 | 1.1 2.5 2.3 | 4.2 3.0 2.5 | 1.8-4.2 2.5-3.0 2.3-2.5 | 19.8 4.0 2.7 | 33.8 14.3 20.7 | 0.073 0.010 0.008 | 59.6 2.5 6.4 |
| 神奈川県三浦市 | 作土 0-30 耕盤 30-45 下層 45- | 0.713 0.786 0.485 | 114 | 2 × 10 ⁻³ 5 × 10 ⁻⁴ 2 × 10 ⁻³ | 1.81 1.79 1.79 | 1.8 1.9 1.9 | 4.2 3.8 4.0 | 1.8-4.2 1.9-3.8 1.9-4.0 | 26.3 21.6 17.2 | 17.8 10.0 18.4 | 0.014 0.008 0.016 | 4.1 3.7 5.9 |
| 多腐植質黒ボク土 (非発生型) | 作土 0-30 耕盤 30- | 0.655 0.622 | 260 | 4 × 10 ⁻³ 7 × 10 ⁻³ | 1.74 1.78 | 1.7 1.8 | 4.2< 4.2 | 1.8-4.2 1.8-4.2 | 23.3 24.7 | 23.4 21.5 | 0.027 0.018 | 15.9 4.2 |

* 相対ガス拡散係数：遅沢（1987）の方法により測定された土壌のガス拡散係数の大気中のガス拡散係数との比
 **非制限有効水分域：畑作物の根の生育に制約の加わらない有効水分範囲、すなわち、pF1.8~4.2の範囲内で、さらにD/D₀>0.02となる水分と土壌硬度<12kgcm⁻²となる水分の間をいう（遅沢ら 1990）

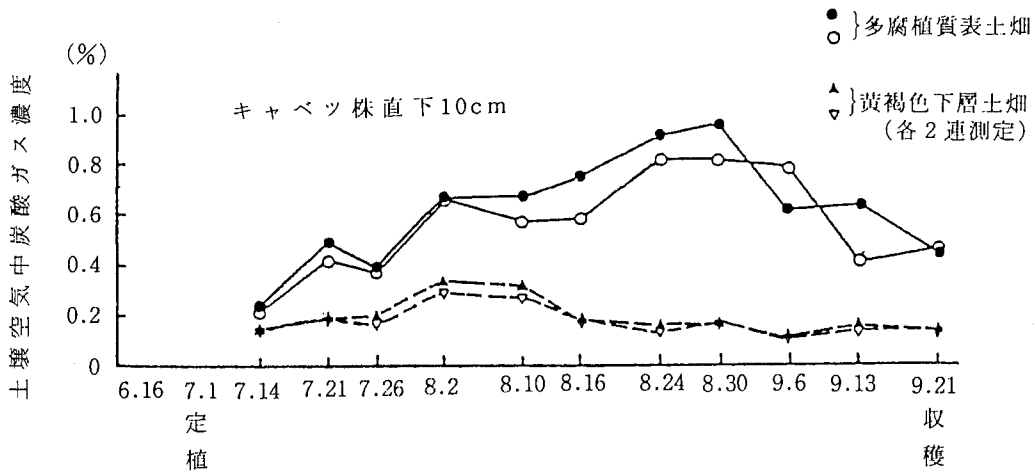


図-1 キャベツ栽培期間における畑地作土中炭酸ガス濃度の推移 (孺恋村圃場, 1988)

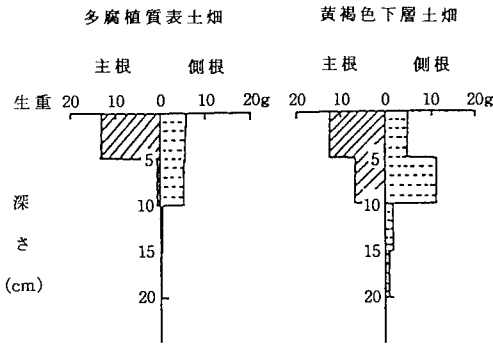


図-2 土壌によるキャベツ地下部重の分布の差異 (孺恋村圃場, 3株平均)

その結果、図1に見られるように、7月から9月までの深さ10cmの土壌空気中の炭酸ガス濃度は、多腐植質表土畑では黄褐色下層土畑より2倍から4倍高い濃度で推移し、8月には最高0.9%まで高まった。他方、黄褐色下層土畑では0.1~0.3%と低く安定していた。また、根こぶ病の発生程度は、黄褐色下層土畑では全く発生が見られなかったのに対し、多腐植質表土畑ではほぼ全株発病し、発病指数も3と著しかった。収穫時におけるキャベツ地上部重量についても、多腐植質表土畑では425g±178g/株、および黄褐色下層土畑では1107g±212g/株であり、前者は後者の4割以下であった。また、図2に示したように、地下部の生育も多腐植質表土畑では主根、側根ともに表層に分布し、黄褐色下層土畑ではより深くまで分布し根量も多かった。

4. 炭酸ガス濃度がコカブの根こぶ病発生に及ぼす影響

上述のように、根こぶ病発生型の多腐植質表土畑では、土壌空気中の炭酸ガス濃度が非発生型土壌より2~4倍高濃度であることが認められたので、ここでは土壌ポットに炭酸ガスを通気して、水分および土壌(発生型・抑止型)を変えたコカブ栽培試験により炭酸ガスの影響を確認しようとした。また、耕盤層の土壌中炭酸ガス分布への影響を明らかにするために、内径25cmの塩ビパイプに土壌を詰め、圧縮により形成した模擬耕盤層の有無と炭酸ガス濃度および土壌溶液pH分布の関係を検討した。

実験1：土壌水分および炭酸ガス濃度とコカブ根こぶ病発生

土壌水分を負圧水循環法(岩間ら 1993)により一定に制御できる容量10Lの土壌槽に、黒ボク土畑表土(4mm>, 筑波表土)を7L充填し、表層7cmには、休眠孢子懸濁液を加えて孢子濃度 $10^7/cm^3$ とした接種土壌を置き、コカブ(四季蒔きコカブ)を播種・栽培した。栽培期間中、土壌水分を発病域(-3kPa, pF1.5, 5節参照)および非発病域(-16kPa, pF2.2)の2段に設定した。また、ポットの底部から、炭酸ガス濃度を10%及び100%とした空気を $20cm^3/min$ にて流入させ、対照区には空気を同一速度で通気した。コカブは屋内窓際で園芸用ランプの補光下で50日間栽培し、根こぶ病徴を観察し前節と同様に発病度を求めた。

その結果、表2に見られるように、根こぶ病は土壌水分が-16kPa(pF2.2)では全く発病せず、-3kPa(pF1.5)の高水分条件において激しく発病した。土壌空気中の炭酸ガス濃度の増大は、後者において発病度を

表-2 土壌水分と炭酸ガス濃度が根こぶ病発生に及ぼす影響 1
(つくば黒ボク土畑表土, 四季蒔きコカブ)

| 土壌水分ポテンシャル | 処理 | | CO ₂ 濃度(%) (深さ10cm) | 発病指数 | | | | 発病株率 (%) | 発病度 (%) |
|--------------------|----|--|-----------------------------------|------|---|---|---|----------|---------|
| | 接種 | CO ₂ | | 0 | 1 | 2 | 3 | | |
| -3kPa (pF 1.5) | + | - | 0.20 | (株数) | | | | 100 | 70 |
| | + | - | 0.20 | - | 3 | 3 | 4 | 100 | 83 |
| | + | 10%CO ₂ 10cm ³ /min. | 0.40 | - | - | 4 | 6 | 100 | 87 |
| | + | 100%CO ₂ 10cm ³ /min. | 1.33 | - | - | 3 | 7 | 100 | 90 |
| -16kPa (pF 2.2) | + | - | 0.11 | 7 | - | - | - | 0 | 0 |
| | + | - | 0.10 | 7 | - | - | - | 0 | 0 |
| | + | 10%CO ₂ 10cm ³ /min. | 0.29 | 6 | - | - | - | 0 | 0 |
| | + | 100%CO ₂ 10cm ³ /min. | 0.89 | 9 | - | - | - | 0 | 0 |

実験条件……休眠孢子接種濃度：表層7cmに
9.3×10⁶/g soil
照射時間：5:00~19:00
室温：22±2℃
栽培期間：50日

表-3 土壌水分と炭酸ガス濃度が根こぶ病発生に及ぼす影響 2
(孺恋村多腐植質黒ボク土表土, 四季蒔きコカブ)

| 処理 | CO ₂ 濃度(%) | CO ₂ 濃度(%) | | 発病指数 | | | | 発病株率 (%) | 発病度 (%) |
|---|-----------------------|-----------------------|------|------|---|---|---|----------|---------|
| | | 40日目 | 47日目 | 0 | 1 | 2 | 3 | | |
| - 空気 | 0.5 | 0.2 | 0.2 | 6 | - | - | - | 0 | 0 |
| + 同上 | 0.7 | 0.2 | 0.2 | 2 | 4 | - | - | 67 | 22 |
| + 1.5%CO ₂ 7cm ³ /min. | 1.5 | 0.7 | 0.7 | 2 | 4 | - | - | 67 | 22 |
| + 5%CO ₂ 7cm ³ /min. | 4.8 | 2.8 | 2.8 | - | - | 6 | - | 100 | 78 |
| + 10%CO ₂ 7cm ³ /min. | 9.6 | 5.8 | 5.8 | - | 1 | 5 | - | 100 | 61 |

実験条件…土壌水分ポテンシャル：-5kPa (pF 1.7)
休眠孢子接種濃度：1.8×10⁶/g soil
照射時間：5:00~21:00
室温：15~25℃
栽培期間：56日

増大させる傾向であった。この傾向は反復実験でも認められており、炭酸ガスは土壌水分および菌密度等が発病条件を満たしている場合に、発病や病徴発現を促進するように作用するものと推定された。

実験2 根こぶ病発生型土壌および抑止型土壌における根こぶ病発生と土壌中炭酸ガス濃度：

実験1と同様の装置・方法を用いたが、土壌には孺恋

村未耕地より採取した未感染の多腐植質表土および黄褐色下層土を用いた。根こぶ病胞子を同様に接種し、コカブを播種し、土壌水分ポテンシャルは-5kPa (pF1.7)に設定した。また、炭酸ガスの供給濃度を0% (空気)、1.5%、5%および10%として7cm³/min. にて供給した。

表3には、多腐植質表土の結果のみを示したが、土壌中炭酸ガス濃度増大の影響は、前実験と類似し、発病条件下で病徴発現を促進していた。他方、発病抑止型土壌とされる黄褐色下層土では、土壌水分を発病条件としては十分に高く設定してあっても発病が全く認められなかった。この土壌の抑止性については、既に、小林 (1985)により加熱殺菌によって抑止性は消滅せず、また、胞子を土壌と接触させた場合に抑止効果が発現するとされていることから (小林・茂木 1987), 良好な排水性がその主因ではなく、焼成パーミキュライトについて推定されている胞子吸着等の機構 (宮田 1983) によるものと推察された。但し、圃場においては、排水の良いことも発病抑止に寄与していると思われる。

実験3 土壌カラムにおける炭酸ガス濃度分布：

内径25cm, 高さ65cmの塩ビカラムを黒ボク土畑に埋設し、孺恋村未耕地の多腐植質表土と黄褐色下層土を充填した。模擬耕盤層は2.5kgランマーを用いて圧縮成形した。土壌の安定後、無作付条件下で深さ10cm間隔にて、土壌空気と土壌溶液を採取した。

土壌カラム内における気相中炭酸ガス濃度分布を図3に示した。耕盤の無い場合には両土壌の炭酸ガス濃度分布に殆ど差異は認められないが、耕盤のある場合には、耕盤より下層の炭酸ガス濃度が高まる傾向があり、多腐植質表土でその傾向がより顕著であった。これはち密化した耕盤層により、土壌内から発生した炭酸ガスの拡散が妨げられ、耕盤層以下に蓄積する現象であると推察された。

また、耕盤形成土壌について、土壌溶液中に溶存している炭酸ガス量 (強酸添加法による) と、土壌溶液pH値から溶液平衡しているとして求めた炭酸ガス量はほぼ一致しており、通常の畑土壌では炭酸ガスの気液平衡が成り立っていることが確認された。したがって、土壌気相中の炭酸ガス濃度の上昇は土壌溶液pHを低下させることが予想され、実際にも同図内に示したように耕盤層の下層ではpHの低下が認められた。前述のように、実際のキャベツ栽培畑 (多腐植質表土) では、カラム試験におけるよりかなり高い炭酸ガス濃度が観測されており、根の呼吸などの影響とともに、耕盤による排水不良の影響が作土層まで及んでいたことが推定された。以上のことから、炭酸ガス濃度の上昇による病徴発現の促進は、

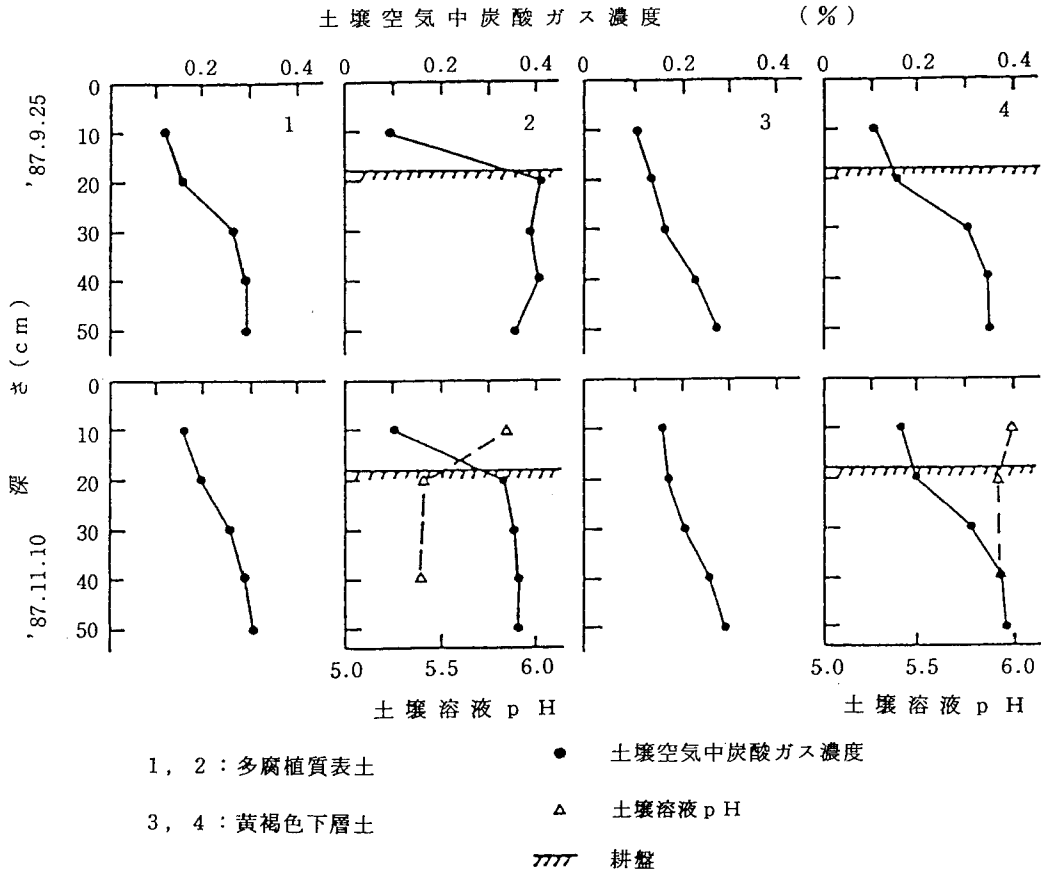


図-3 耕盤が土壌空气中炭酸ガス濃度と土壌溶液pHに及ぼす影響 (土壌カラム試験)

土壌溶液中のpHの低下が根こぶ病菌の活性を高めることにより、あるいはアブラナ科作物の根の活性を低下させることにより生じた可能性が考えられる。

5. 土壌水分・孔隙径と根こぶ病菌の移動性

1) 根こぶ病発病限界水分ポテンシャル

根こぶ病の発病限界水分ポテンシャルについては、Dobsonら (1982) により-150mbars (-15kPa, pF2.2) 付近であることが報告されている。しかし、この値は土壌水分を50cmH₂O以上の間隔に設定した実験によるものであり、著者らは表層腐植質黒ボク土 (つくば土壌) について、負圧水循環装置を用いてより詳細に調査した。この実験については、既に、別報 (岩間ら 1993; Iwama et al. 1994) にて報告したので、ここでは概略を述べる。

図4は、病菌接種土壌に発芽から1ヶ月間栽培したコカブの根の発病率を示したものである。根こぶ病は土壌

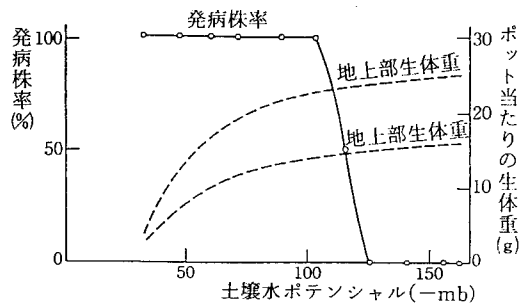


図-4 土壌ポテンシャルと根こぶ病の発生

水分ポテンシャル-11.2kPaより湿潤側で発現し、-12.2kPaより乾燥側では全く認められなかった。したがって、限界値は-12.0kPa (pF2.08) 付近であると推定された。この水分値は根毛から第2次遊走子が再度土壌中に出て根の皮層に感染する過程が限界となる値であり、-12.0kPaに相当する毛管直径、およそ25μmより

大きい孔隙が水で満たされていることが、遊走子の遊泳に必要なことを示唆している。

2) 水の毛管上昇による病菌の移動と孔隙径

図5に示すように、休眠孢子懸濁液を浸した粗砂の上に、粒径を異にする砂層フィルターを介して土壌（無接種）カラムを置き、コカブを栽培した。栽培期間中、給水は毛管上昇のみで賄った。結果は表4に示したが、粒径0.1mm以下の砂層フィルターのカラムでは発病が見られず、孢子・遊走子は孔隙径が $30\mu\text{m}$ 以下になると移動が妨げられることが示唆された。これは限界水分ポテンシャルより推定された第2次遊走子の移動限界の孔隙径 $25\mu\text{m}$ とほぼ等しく、根こぶ病菌は休眠孢子、第1、2次遊走子という形態を問わず、移動性はほぼ等しいことを示すものと思われる。ところで、Dobsonら(1982)によれば第1次感染の限界水分ポテンシャルは -800mbar s (-80kPa) 付近とされ、第2次感染の限界水分と大きく異なっている。Dobsonらはその理由として、第2次遊走子が細胞融合した2核体でサイズが大ききことを挙げているが、上記の結果は、孢子・遊走子のサイズによる移動性の差異は大きくないことを示唆している。したがって、第1次と第2次の感染限界水分の差異は、桂(1965)が言うように第1次感染は根毛が伸張して孢子に接触感染するのに対し、第2次感染では根毛から根表面へ遊走子は能動的に移動する必要があるためと推察さ

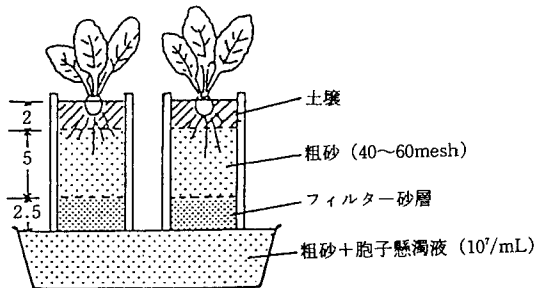


図-5 砂層フィルター毛管上昇による根こぶ病菌休眠孢子の移動性試験

表-4 砂層フィルター毛管上昇による根こぶ病菌休眠孢子の移動とコカブの発病。

| フィルター砂粒径 mm | 平均孔径 mm | 発病株/調査株 | |
|----------------|------------|---------|-----------|
| | | 本/本 | 発病株率 % |
| 1. 0.54 -0.38 | 0.18 | 12/12 | 100.0 |
| 2. 0.38 -0.25 | 0.13 | 6/12 | 50.0 |
| 3. 0.25 -0.15 | 0.08 | 10/12 | 83.3 |
| 4. 0.175-0.10 | 0.055 | 3/12 | 25.0 |
| 5. 0.10 -0.05 | 0.030 | 0/12 | 0 |
| 6. 0.05 -0.02 | 0.014 | 0/12 | 0 |

れる。

6. 結論

1) 群馬県嬭恋村のキャベツ畑において、根こぶ病が激発する土壌は、多腐植質で保水性に富み、圧縮により排水性等物理性が悪化しやすいが、連作条件でも発病が少ない畑地は、排水が良く、耕盤の物理性があまり悪化していなかった。

2) 群馬県嬭恋村の多腐植質黒ボク表土の畑と浮石質黄褐色下層土の畑における、夏作キャベツ栽培期間中の土壌空气中炭酸ガス濃度は、前者において後者の2~4倍高濃度であった。

3) 圧縮された耕盤層はガス拡散性を阻害し、耕盤層より下層の炭酸ガス濃度を上昇させた。炭酸ガス濃度の上昇は気液平衡により土壌溶液pHを低下させた。

4) 土壌水分を制御したポット栽培接種試験から、土壌中炭酸ガス濃度の上昇は、発病可能条件において病徴発現を促進したが、その理由として土壌溶液のpH低下が推察された。

5) 群馬県嬭恋村の火山性浮石を含む黄褐色下層土の根こぶ病発病抑止性は、圃場での良好な排水性以外の要因、すなわち、孢子の土壌吸着等に起因することが推察された。

6) 腐植質黒ボク土の根こぶ病発病限界土壌水分ポテンシャルは -12.0kPa ($\text{pF}2.08$) であった。 -12.0kPa に相当する毛管孔隙径 $25\mu\text{m}$ は第2次遊走子の移動限界を示すと考えられた。

7) 休眠孢子の水毛管移動にともなう移動限界孔隙径は $30\mu\text{m}$ であり、第2次遊走子のそれとほぼ等しいことから、第1次感染と第2次感染における限界水分ポテンシャルの大きな差異は、後者において遊走子の能動的な移動を要するという感染様式の差異に起因することを推察した。

8) 以上の結果から、土壌の排水性および通気性の改良による根こぶ病抑制の意義が明らかになり、今後、土壌水分制御および抑止型土壌のより意図的な活用が望まれる。

謝辞 根こぶ病実験について懇切な指導をいただいた駒田 旦氏(現島根大学農学部)ならびに小林紀彦氏(現 野菜茶試久留米支場)、現地調査の便宜をいただいた小林和弘氏(群馬県農業総合試験場)および大林延夫氏(神奈川県園芸試験場三浦分場)に深く感謝いたします。

引用文献

- Dobson, R.L., Gabrielson, R.L. & Baker, A.S. (1982) : Soil water matrix potential requirements for root-hair and cortical infection of chinese cabbage by *Plasmodiophora brassicae*. *Phytopathology* 72, 1598-1600.
- Dobson, R.L. & Gabrielson, R.L. (1982) : Role of primary and secondary zoospores of *Plasmodiophora brassicae* in the development of clubroot in chinese cabbage. *Phytopathology* 73, 559-561.
- 深谷雅博・宮川壽之 (1987) : カリフラワー根こぶ病の発生に及ぼす超深耕の影響. 愛知農総試研報, 19, 187-192.
- 福代和子 (1982) : 数種土壌におけるアブラナ科野菜根こぶ病の発生, 近畿中国農研, 63, 69-76.
- 樋口太重・小松憲一・山田和義・赤沼礼一・林 宏一・松下利定・中村伴蔵 (1988) : 土層反転による野菜の連作障害回避について. 長野中信農試報 6, 97-104.
- 岩間秀矩・遅沢省子・後田経雄・久保田 徹 (1993) : 負圧水循環法による土壌水分制御とその応用. 土壌の物理性, 68, 69-76.
- Iwama, H., Osozawa, S., Ushiroda, T., and Kubota, T. (1994) : Analysis of soil water matrix potential requirement for infection of turnip with *Plasmodiophora brassicae* using negative pressure water circulation technique. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 40 (2), 293-299
- 桂 崎一 (1965) : 土壌中における絶対的寄生菌の生活様式, 日植病報, XXXI, 407-409.
- 木村康夫・渡辺 進・山崎勝明 (1983) : キャベツ根こぶ病発生と土壌の種類および土壌水分との関係, 群馬園試報, 11, 79-81.
- 小林和弘 (1985) : 高原キャベツの病害防除—根こぶ病を中心として—. 植物防疫, 39, 581-585.
- 小林和弘・茂木正道 (1987) : キャベツ根こぶ病の発病抑止土壌に対する堆肥混合の影響および抑止土壌の苗床と本圃での利用. 関東病虫研報, 34, 64-66.
- 小林紀彦 (1988) : 土壌病害に対する発病抑止土壌とその抑止機構, ならびに生物防除へのアプローチ. 土・水研究会資料, 5, 46-66.
- 駒田 旦 (1985) : 作物の連作障害 (イヤ地) とは. 農土誌, 53, 967-974.
- 松田 明・下長根 鴻 (1983) : 耕起と土壌病害発生との関係, 植物防疫, 37 (1), 23-29.
- 宮田義雄 (1983) : 根こぶ病における物理的発病抑止型土壌モデルとしてのパーミキュライト. *Ann. Phytopath. Soc. Japan* 49 (1) . 101.
- 内記 隆 (1987) : アブラナ科野菜根こぶ病菌の生活環からみた防除視点. 土と微生物, 29, 25-39.
- 遅沢省子 (1987) : 土壌ガス拡散係数測定と土壌診断. 土壌の物理性, 55, 53-60.
- 遅沢省子・小財 伸・久保田徹 (1990) : 「根生育非制限有効水分域」による熊本県主要畑土壌の物理性評価. 土壌の物理性, 60, 6-14.
- Osozawa, S., Iwama, H., and Kubota, T. (1994) : Effect of soil aeration on the occurrence of clubroot disease of crucifers. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 40 (3), 445-455
- 小沢龍生 (1983) : は場における根こぶ病の発病抑止現象. 植物防疫, 37, 327-329.
- 野菜試験場 (1984) : 最近における野菜・花きの連作障害の実態. 野菜試研究資料 18, 1-104.
- (受稿年月日 1994年3月8日)

報 文

泥炭土輪換田の土壌実態 —石狩川下流域の泥炭土輪換田の土層改良(1)—

橋本 均

Soil Survey Results of Peaty Paddy-Upland Rotation Field —Subsoil Improvement for Peaty Paddy-Upland Rotation Field Spread Along the Basin of the Lower Stream of the River Ishikari (1) —

Hitoshi Hashimoto

Hokkaido Central Agricultural Experiment Station

Summary

This report summarizes the soil survey results of peaty paddy-upland rotation fields spread along the basin of the lower stream of the River Ishikari.

- 1) The thickness of surface soil layer, composed of peat and clayish dressed soil, is about 30cm in average.
- 2) Soil physical properties of surface layer are better than those of the fields of clayish lowland and upland soils. But some fields have too-thick clayish surface layer caused bad soil tilth and poor surface permeability.
- 3) Ground water level of upland crop fields is above 60cm in the farming season, and trafficability for tractor is not inferior to that of the fields of clayish soils.
- 4) In this area, soil dressing by government enterprise started around 1955-1960, and it was carried out 3-5 times in total so far at each field.

Key words: Peaty paddy-upland rotation field, Soil dressing, Ground water level

(Soil Phys. Cond. Plant Growth, Jpn, 70, 37-42, 1994)

1 はじめに

土壌学の従来常識では、泥炭土は地下水位が高く排水不良で、地耐力も小さく、表土の養分も少ない、農地としては不良な土壌である、とされている。自然状態の泥炭土についてはその通りである。しかし、ここで取り上げる石狩川下流域(石狩支庁中・北部及び空知支庁中・南部)の約4万haにおよぶ泥炭土水田地帯においては、昭和30年代以降の客土をはじめとする大規模な土地改良事業を基盤に日本最大規模の水稲単作専業地帯として大きな発展をとげてきた。また、転換畑利用においても表土の良好な物理性や高い土壌窒素供給力により小麦、大豆等の生産力が高い実態も報告されている(橋本, 高橋, 1990, 志賀, 1993)。一方、最近の社会、経済情勢の変化により、泥炭耕地に関する種々の問題が提起されてきており、全体で10万haもの広大な面積を有する泥炭耕地の今後の土地利用のあり方は北海道農業の今後にとっても重要なテーマの一つと考えられる。

泥炭土水田地帯における従来の土層改良としては客土と暗渠排水があり、土層改良に関する問題点、特徴としては、i) 排水、客土、田畑輪換等に起因する地盤沈下 ii) 適当な客土材の取得の困難さ(大量確保の限界、酸性硫酸塩土壌の存在) iii) 表土の物理性が粘質転換畑よりも良好なことによる転換作物栽培における有利性 iv) 粘質層が厚くなり過ぎたほ場における碎土性、表面排水性の不良化 v) 水稲作における食味の低下傾向、および客土によるその改善、等がある。

北海道立中央農業試験場, 〒069-13 夕張郡長沼町東6北15
キーワード: 泥炭土輪換田, 客土, 地下水位

本報では、石狩支庁新篠津村の泥炭土水田・転換畑(1988年)、および空知支庁南幌町の泥炭土およびその周辺に分布する強粘質低地土の水田・転換畑の土壌実態調査(1989年)の結果を基に、現在の泥炭土壌の性状を低地土と対比させながら論ずる。さらに、新篠津村での農家アンケートの結果を基に、過去30年間の客土事業による客土(計画)量と現行客土層厚との関連について論ずる。

なお、両地区には共に高位泥炭土と低位泥炭土が存在するが、本報では土壌の性質等については両者を区別せずに泥炭土として扱い、参考として両者の調査点数を明記するにとどめた。また、本地域の客土事業の変遷および客土層厚については有用な知見(神山ら,1992)が発表されている。

2. 水田・転換畑の客土層厚, 物理性, 地下水位, 地耐力などの実態調査

1) 調査方法

①新篠津村(1988~1989年)

転換畑: 24ほ場(内15ほ場は転換初年目)、作物は秋まき小麦または春まき小麦、全層泥炭土(高位泥炭土14, 低位泥炭土10)、8月(収穫後)には場中央部1ヶ所を断面調査し土壌試料採取。同時に地耐力(円錐貫入抵抗)の測定も行った。地下水位は10ほ場について1988年6月~89年7月(麦2回作付)調査。
水田: 21ほ場(全て復元初年目)、全層泥炭土(高位泥炭土12, 低位泥炭土9)、10月(収穫後)転換畑と同様に調査および土壌試料採取。同時に地耐力(円錐貫入抵抗)の測定も行った。

②南幌町(1989~1990年)

転換畑: 泥炭土(全て低位泥炭土)14ほ場, 低地土(細粒質の灰色低地土, グライ土)16ほ場, 8月

(収穫後)に新篠津村と同様に調査, 作物は全て秋まき小麦。地下水位は1989年5月から90年7月まで調査(泥炭土8, 低地土5)。

水田: 泥炭土12ほ場(高位泥炭土3, 低位泥炭土9)、低地土18ほ場, 4月末(耕起前)同様に調査。

2) 分析項目と方法

粒径組成: 過酸化水素で有機物を分解後、ヘキサメタリン酸ナトリウムを分散剤としてピベット法で行った。
強熱減量: 試料を電気炉で600℃, 6時間以上加熱し, その減量分を重量%で示した。

三相分布: 100ml採土管を用い, 実容積法により行った。
有効水分: 100ml採土管を用い, 砂柱法(pF1.5), および加圧板法(pF2.7, 3.0)でpFを調整し, その差を有効水分量とした。

円錐貫入抵抗: SR-2型自記式土壌貫入計(DIK5520)で, 底面積2cm²のコーンを用いて深さ60cmまで測定した。1ほ場につき10ヶ所行いその平均値で示した。
減水深: N型減水深測定法により測定した。

地下水位: 内径3cmの塩化ビニール管を土中深さ1mまでさし込み, 管内の水位を測定した。ほ場の中央部に約10m離して2本さし, その平均値をとった。

以上の分析法は「土壌標準分析・測定法」(土壌標準分析・測定法委員会, 1986)および「土の理工学性実験ガイド」(農業土木学会土の理工学性実験ガイド編集委員会, 1983)に原則として依った。

3) 調査結果および考察

①表層無機質層の厚さとその土性, 強熱減量

表-1に両地区の無機質層厚(断面観察による)および表土の土性, 強熱減量を示した。泥炭土水田の表層の無機質層の厚さの平均は34cm(新篠津), 26cm(南幌), 泥炭土転換畑のそれは同じく31cmと35cmであり, おおまかに言ってこの地域の表層の無機質層の厚さは30cm程

表-1 泥炭土水田・転換畑の無機質層の厚さと表土の強熱減量、粒径組成

Table. 1 Thickness of clayish surface layer of peaty paddy-upland rotation field, and ignition loss and soil texture of surface soil

| 地区 | 地目 | 点数 | 無機質層の厚さ ¹⁾ (cm) | 強熱減量 ²⁾ (%) | 粒径組成(国際法) | | | | 農学会法 | |
|-----------|--------|----|----------------------------|------------------------|-----------|--------|-------|-----|-------|----|
| | | | | | 砂(%) | シルト(%) | 粘土(%) | 土性 | 粘土(%) | 土性 |
| 新篠津(1988) | 泥炭土水田 | 21 | 34(25-48) | 12.7(6.2-24.8) | 43.8 | 27.3 | 28.9 | LiC | 42.3 | CL |
| | 泥炭土転換畑 | 24 | 31(22-46) | 14.1(6.4-30.4) | 43.7 | 29.2 | 27.1 | LiC | 41.5 | CL |
| 南幌(1989) | 泥炭土水田 | 12 | 26(17-41) | 11.6(5.6-21.1) | | | | | | |
| | 低地土水田 | 18 | 90以上 | 8.1(4.8-13.2) | | | | | | |
| | 泥炭土転換畑 | 14 | 35(22-65) | 11.8(7.8-22.5) | | | | | | |
| | 低地土転換畑 | 16 | 90以上 | 8.7(5.1-12.0) | | | | | | |

注1), 2) ()内は最大-最小値 注2) 強熱減量以下の項目の分析値は表土0~15cmについてのもの

度以上となっている。ただし、ここで言う無機質層とは泥炭層（有機物含量20%以上）には該当しない土層という意味であり、最近客土されたばかりの、ほとんど有機物を含まない粘質層から、畑転換時のプラウ耕、深耕により多量に泥炭が混入している土層（しかし、泥炭層の定義には該当しない）まで、かなりその中身は幅があり、泥炭の混入、分解の程度や客土後の経過年数によって2～3の土層に分けられる場合が多い。これは後述する様に、この地帯は過去に少なくとも3～4回客土（1回につき2～10cm）されており、また、連作水田、復元田、普通畑、野菜畑等各種の栽培管理が行われていることを反映しているものであろう。

表土の土性（粒径組成）は、表-1に示す様に国際法でLiC、農学会法でCLである。客土事業においては客入後の表土の土性は農学会法でL（粘土含量32.5%）が一応の基準とされている。しかし客土の土取場となる

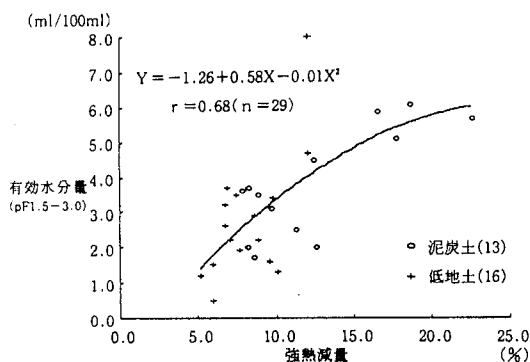


図-1 転換畑作土の強熱減量と有効水分量の関係（南幌町、1989年）

Fig. 1 Relations between ignition loss and available moisture of surface soil of peaty upland crop field

近隣の台地土壌は粘性が強く、また、地耐力を増大させるためには粘質土の方が良い、という判断もあり、概して客土材の土性は必要以上に粘性が強い傾向がある。そのため、粘質客土層が厚くなりすぎて、表面排水不良や碎土性不良の水田、転換畑が一部に出現し、これを改善するために次報で述べる土層改良（泥炭混層耕）が現場における現実的対応策として行われている。

②表土の三相分布と有効水分量

表-2に水田、転換畑の土層深さ別の三相分布と有効水分量を、図-1に低地土を含む転換畑作土の有効水分量と強熱減量の相関を表すグラフを示した。泥炭土は低地土に比べて明らかに容積重は小さく孔隙率は大きい。一方、有効水分量は低地土よりは大きく、また、泥炭混入量の増加に伴って増大する。しかし細粒質の火山灰土壌に比べると小さく、泥炭混入による保水性の改善には限界があるものと思われる。

③地耐力（円錐貫入抵抗）

図-2に新篠津の水田、転換畑におけるSR-2型自記式貫入計による貫入抵抗値を示した。いずれも表層0～15cmの平均値は5kg/cm²近くあり、機械走行上の基準値（農林水産技術会議、1969）以内におさまっていた。排水改良により地下水位が低下して地盤がほぼ安定し、客土により地耐力が向上している現状を反映しているものであろう。ただし、今回の調査地点には含まれないが、トラクターが自重で沈下・埋没してしまう場がごく一部に存在した。

④水田の減水深

表-3に、隣接した連作水田（3年以上）と復元田（初年目）のN型減水深の実測値を示した。泥炭土水田は一般に減水深が大きいと考えられている。しかし実態はかなり小さく、復元初年目においても全て10mm/日以下であった。このことは、以前に道立農試、北海道農

表-2 泥炭土水田・転換畑の表土の深さ別三相分布、有効水分量

Table. 2 Three phases and available moisture of surface soil of peaty paddy-upland rotation field

| 地区 | 土壌、地目 | 深さ* | 容積重 g/100ml | 三相分布、水分** (%) | | | | 有効水分量ml | |
|---------------|--------|-----|----------------|---------------|------|------|------|---------------------|------------------|
| | | | | 固相 | 液相 | 気相 | 含水比 | 1.5~2.7*** (3.0) | 2.7~4.2 (3.0) |
| 新篠津 (1988) | 泥炭土水田 | 1層 | 97.7 | 39.3 | 54.8 | 5.9 | 59.5 | 4.2 | 13.9 |
| | | 2層 | 90.5 | 37.3 | 55.2 | 7.5 | 68.3 | 3.7 | 15.0 |
| | 泥炭土転換畑 | 1層 | 95.1 | 38.9 | 42.0 | 19.0 | 47.6 | 4.9 | 12.0 |
| | | 2層 | 90.7 | 38.5 | 48.1 | 13.1 | 62.6 | 4.4 | 14.7 |
| 南幌 (1989) | 泥炭土水田 | 1層 | 97.7 | 39.1 | 57.7 | 3.2 | 60.6 | — | — |
| | 低地土水田 | 1層 | 111.2 | 43.0 | 54.8 | 2.2 | 71.8 | — | — |
| | 泥炭土転換畑 | 1層 | 91.7 | 36.7 | 48.7 | 14.6 | 61.4 | 4.1 | — |
| | 低地土転換畑 | 1層 | 110.7 | 42.9 | 45.5 | 11.6 | 42.5 | 3.0 | — |

* 1層0-15cm, 2層15-30cm **新篠津は現地状態, 南幌はpF1.5状態 ***新篠津は1.5~2.7, 南幌は1.5~3.0

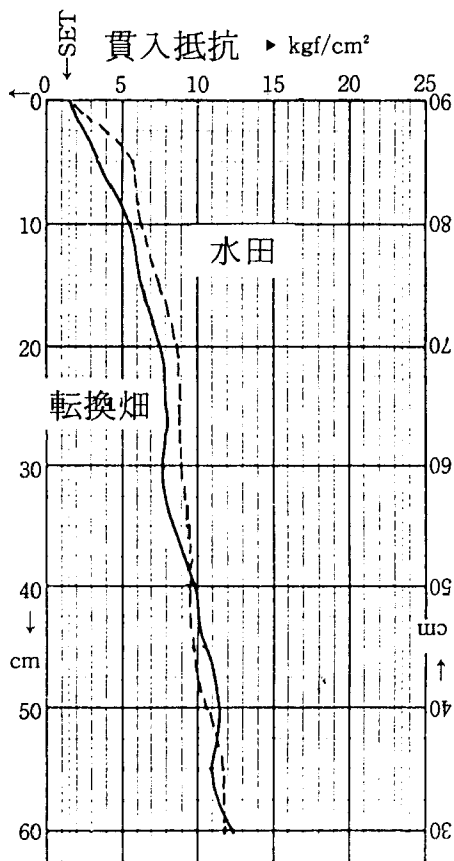


図-2 泥炭土水田、転換畑の貫入抵抗 (SR-2型, 2 cm² コーン使用, 新篠津村, 1988年10月)
Fig. 2 Cone penetration resistance of peaty paddy - upland rotation field

表-3 泥炭土水田の減水深(N型)(1988年7月、新篠津)

Table. 3 Vertical percolation of peaty paddy field (measured by N-type apparatus)

| 地点 | 減水深(mm/日) | | 備考 |
|----|-----------|-----|-------------|
| | 連作田 | 復元田 | |
| 1 | 4 | 9 | 低位泥炭土 |
| 2 | 2 | 3 | 低位泥炭土、客土1作目 |
| 3 | 2 | 4 | 高位泥炭土 |
| 4 | 0 | 3 | 高位泥炭土、客土1作目 |
| 5 | 1 | 2 | 高位泥炭土、客土1作目 |
| 6 | 4 | 3 | 低位泥炭土 |

試が共同で行った復元田に関する試験の中でも報告されている(昭和59年度北海道農業試験会議資料, 1985)。復元田において減水深が大きくなる原因としては、粘質な無機質層の存在の他に、たん水期間中の地下水位が高いこと、復田する直前にブルドーザ等では場面を均平、圧密すること、等があげられる。

⑤ 転換畑における地下水位の推移

図-3に小麦作付転換畑における地下水位(1mの測水管を土中にさした状態での管内の水位)の推移を新篠津(1988年5月~89年7月)、南幌(1989年5月~90年7月)について示した。転換畑の地下水位は一般に低く、両地区とも夏期は地表下70~90cmであった。しかし、大雨の直後や降水量が増加する10月以降、融雪直後の4月期には概して高く、50~60cm以内となっていた。また、南幌における低地土との比較では、平均して10cm程度低地土より高い結果となっていた。ただし、両地区合わせて18地点のうち3地点では10月~4月の地下水位が30cm以内で推移しており、これらはいずれも高位泥炭土地帯に属していた。基幹排水が整備されていても排水不十分な場がまだ残っている例と思われる。一般に

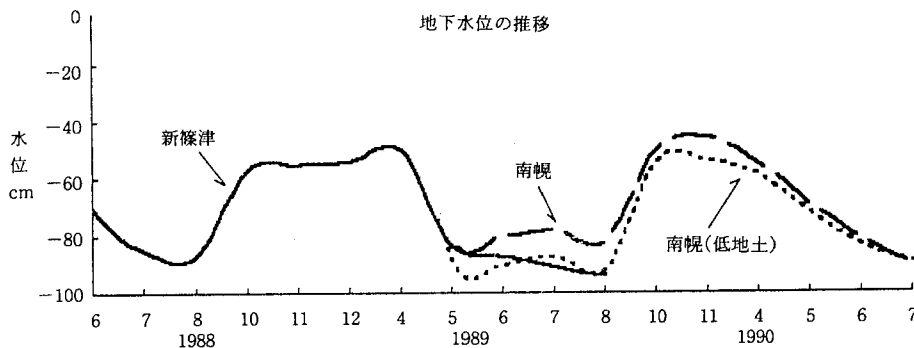


図-3 泥炭土転換畑における地下水位の推移 (新篠津村: 1988~1989年, 南幌町: 1989~1990年)

Fig. 3 Movement of ground water level of peaty upland crop field

転換畑においては地下水位は50~60cm程度が望ましく、必要以上に水位を下げることは作物栽培上も泥炭の乾燥・収縮、分解を防止する上でも好ましくないとされている(汎用耕地化のための技術指針,1979)。事実、夏期の水位が90cm程度の泥炭土は場において乾ばつ傾向を訴える農家の例もあった。

3. 新篠津村での農家アンケートによる過去30年間の客土計画量の把握

1) 調査方法

土壌実態調査をした新篠津村において、無機質層(≡客土層)の厚さが30cm前後になっている理由を検討する目的で、泥炭土地帯の農家49名にアンケート用ハガキを出し、43名の解答を得た(1988年)。そのうち、1955(昭和30)年前後からの客土量の記録がほぼ残っている農家は32名であった。うち低位泥炭土に立地する農家が20名、高位(中間)泥炭土に立地する農家が12名であった。

2) 結果および考察

表-4にその客土量(計画量)の平均値を減反政策が始まった1970(昭和45)年を境にして示した。1955年前後から1989年までの期間に平均して3~5回の客土が行われ、計画量の単純合計からみると客土層の厚さは16~20cmとなる。しかし前述した様に現状の無機質層の厚さは30cm前後となっている。この差の原因は、i) 1955年前後以前にも客土が一部で行われていたため ii) 一般に計画量よりも実際に搬入される量の方が多い傾向にあるため iii) 転換歴のあるほ場が多いため、プラウ耕、深耕等により下層の泥炭層と客土が混層され、結果として当初の客土層厚よりもやや厚い無機質層が形成されたため、等によると思われる。

この様に地盤がかなり安定化し、無機質層厚も30cm程度になっている現状でも、一部の農家からは依然として客土の要望がある。これは水田における良食味米生産の意欲の表われであろうが、他方、少しでも多く無機質土を客土して土地の評価を上げておき、農地を手離す時

にはなるべく良い条件で手離したい、という考えもその根底にあるようである。

4. おわりに

泥炭土が広く分布している石狩川下流域において、水田については水稻の栽培試験を含めて数多くの試験研究例があるが、転換畑にかんする調査、研究例は多くはない。泥炭土に関する研究テーマは色々あると思うが、土地改良事業の進展により地下水位が低下し、客土層が厚くなってきている現状を踏まえた調査、研究が望まれていると思う。今回は農耕地面積の半分以上が泥炭土からなる新篠津村、南幌町においてその実態を調査し、報告した。次報では現場で行われている土層改良(泥炭混層耕)についてその効果、問題点等について報告する。

引用文献

- 土壌標準分析・測定法委員会編(1986):土壌標準分析・測定法, P10-69, 博友社, 東京。
- 橋本 均, 高橋市十郎(1990):石狩川下流域泥炭土水田の土壌実態, 土肥学会講要集, 36:102
- 北海道立中央農試, 上川農試, 北海道農試(1985):復元田の土壌環境と施肥対策, 昭和59年度北海道農業試験会議資料
- 神山和則, 宮地直道, 粕淵辰昭(1992):石狩泥炭地中央部における客土事業の推移と客土層厚区分図, 北海道農試研究資料, 第46号
- 農業土木学会(1979):汎用耕地化のための技術指針, P25-33, 農業土木学会, 東京。
- 農林水産技術会議事務局(1969):大型機械化に伴う水田土壌基盤整備に関する研究, P33, 農林水産技術会議事務局, 東京。
- 志賀弘行(1993):北海道の農業情報システム—土地評価のための農耕地情報統合とリモートセンシング利用—, システム農学, 9(1):32-39
- 土の理工学性実験ガイド編集委員会編(1983):土の理工学性実験ガイド, P35-118, 農業土木学会, 東京。(受稿年月日 1994年7月10日)

表-4 農家アンケートによる客土(計画)量
(1988年,新篠津)

Table. 4 Amount of design dressed soil gathered by the questionnaire to farmers

| 泥炭土の種類 (農家数) | 1952 ~1969年 | 1970 ~1987年 | 合計 (cm) | 客土の回数 |
|-----------------|----------------|----------------|------------|-------|
| 低位泥炭土 (20) | 6.5 | 10.1 | 16.6 | 3.1 |
| 高位泥炭土 (12) | 7.7 | 12.5 | 20.2 | 4.2 |



報 文

厚い粘質無機質層を持つ泥炭土転換畑に対する土層改良(泥炭混層耕)
—石狩川下流域の泥炭土輪換田の土層改良(2)—

橋本 均

Cultivation Experiment of Subsoil Improvement by Peat Layer Mix Plowing for
the Upland Crop Field Which Have Thick Clayish Surface Layer
—Subsoil Improvement for Peaty Paddy—Upland Rotation Field
Spread Along the Basin of the Lower Stream of the River Ishikari(2)—

Hitoshi Hashimoto

Hokkaido Central Agricultural Experiment Station

Summary

This report summarizes the cultivation experiment results of subsoil improvement by peat layer mix plowing for the peaty paddy—upland rotation field(upland crop use) which have too—thick clayish surface layer.

- 1) Soil tilth, soil porosity and surface permeability were improved by layer mix plowing.
- 2) Trafficability for tractor is not inferior to that of the fields of normal plowing.
- 3) The whole field ground did not subside after layer mix plowing, but the degree of configuration is worse than that of the field of normal plowing.

Key words: Peaty paddy—upland rotation field, Subsoil improvement, Peaty layer mix plowing

(Soil Phys. Cond. Plant Growth, Jpn, 70, 43—48, 1994)

1 はじめに

前報でふれたように、石狩川下流域の泥炭土水田地帯では泥炭土水田・転換畑の表層の無機質層の厚さは平均で30cm程度あり、一部は場ではその無機質層(粘質層)が厚くなりすぎて表面排水や碎土性が不良となる問題が生じている。降雨後はなかなか場に入れない、碎土性が不良のため豆類、ニンジン等の作物の出芽が不良となる、等の問題が現場で言われている。本地帯では水田・野菜の複合経営が多く、高収益な園芸作物を栽培していく上では転換畑表土の物理性改善の要求は強い。

以上の背景から、下層の泥炭の一部を表層へ持ち上げて粘質な表層と適度に混合させ、物理性の良好な表土をつくる目的で大型プラウによる土層改良(泥炭混層耕、あるいは分割混層耕と言われている)が現場で行われている。しかし一方では、泥炭土を深耕することによる地

盤の沈下も懸念されている。以上より本報では、この泥炭混層耕の効果、問題点等を明らかにする目的で、35~40cm前後の厚さの粘質客土層を持つ泥炭土転換畑に対して二段プラウを用いて行った土層改良耕法の試験結果を論じる。

2. 試験方法

(1) 試験地および施工方法

南幌町内の3ヶ所の泥炭土転換畑は場において、二段プラウ(北海道農業開発公社製の分割混層耕プラウ、耕深範囲は25~63cmで第1ボトム25~38cm、第2ボトム0~25cm、リバーシブルタイプ、9t級湿地トラクターでけん引)による土層改良(下層の泥炭を適度に表層に持ち上げて粘質層と混層する耕法)を行い、同一は場内あるいは隣接は場に設けた慣行プラウ耕(耕深25~

北海道立中央農業試験場, 〒069-13 夕張郡長沼町東6北15

キーワード: 泥炭土輪換田, 土層改良, 泥炭混層耕

30cm) を対照として、土壌の物理性、作物生育を調査した。耕起深は現場の判断により50~55cmとし、下層の泥炭層の上部15cm程度を表層に混入させる深さを目安とした。施工時に慣行区と同程度になるように石灰質、リン酸質資材を投入し、施工後は農家の慣行法により作物栽培を行った。試験地の概要は表-1に示した。また、A、Bの2ヶ所においては、施工後は場のレベルを5mメッシュで測定し、土層改良後の地盤変動の程度を把握した。

(2)分析・測定方法

砕土率：砕土直後の表土(深さ15cm)を採取、風乾し、ふるいにより径2cm以下の土塊を分け、その重量%を砕土率とした。

畑地浸入能：径20~30cmの鉄製の円筒をは場表面に打ち込み(深さ15cm前後)、円筒内に水を加えて土への浸入速度を測定した。

その他の調査・分析項目は前報と同様である。

3. 試験結果と考察

上記3ヶ所における、慣行区と混層区の2処理区の試験結果を、土壌の物理性、地耐力、表面排水性などについて以下に述べる。作物については収量結果のみを示した。

(1)表層への泥炭の混入程度

二段プラウによって最大耕深60cm程度まで深耕し、

下層の泥炭を表層に持ち上げる耕法のため、施工に当っては表層への泥炭の混入量が適切な範囲に納まるように対象は場の無機質層の厚さに応じた耕深を行う必要がある。各は場の表土の泥炭混入程度を強熱減量で表したものを表-2に示した。これらによると、施工前の強熱減量は8~11%であるのに対し、施工後は12~13%となっている。これは、前報の泥炭土転換畑の土壌実態の項の表1に示した表土の強熱減量の平均値(南幌11.8, 新篠津14.1)とはほぼ同程度であり、混入量はそれほど多くない。ただし、3ヶ所とも施工前に比べてその一筆は場内のバラツキが大きく、最大値が20%を越える地点もみられた。これは、施工前の無機質層の厚さの不均一さに起因しているものと思われ、混層耕後の営農管理対策上留意すべき事項であろう。

(2)表土の三相分布、有効水分量、砕土性、排水性

表-3にA、B両は場の表土の三相分布、有効水分量を示した。いずれも、容積重は低下し(土が軽くなり)、固相率が減少し、孔隙が増加している。有効水分量(pF1.5~3.8)も増加しており、保水性が改善されていることが示されている。また、表-4に砕土率(2cm以下の土塊の重量%)を示した。いずれのは場も混層区は慣行区よりも砕土性は良い。表-5には畑地浸入能(円筒打ち込み法)の測定値を示した。いずれも混層区が慣行区より大きく、泥炭混層により表面排水性が改善されたことを示している。

表-1 泥炭混層耕の試験地の概要(1989~90, 南幌町)

Table. 1 Method of cultivation experiments of peat layer mix plowing

| 試験地 | 土 壤 | 無機質層の厚さcm | 表土の土性 | 施工深cm | 試験規模 | 施工時の転換来歴 | 施工年月 | 作物名 | 備 考 |
|-----|-------|-----------|-------|-------|---------------------|----------|--------|------------|---------|
| A | 高位泥炭土 | 40 | LiC | 55 | 125×45mのは場を2区分して施工 | 転換3年目 | 1989.8 | 小麦 | 過去に客土5回 |
| B | 低位泥炭土 | 38 | LiC | 50 | 85×35mのは場を2区分して施工 | 〃 2年目 | 1990.5 | 大豆,大根,キャベツ | |
| C | 高位泥炭土 | 36 | HC | 50 | 100×30mの隣接2は場の一方を施工 | 〃 2年目 | 1990.8 | 小麦 | |

表-2 泥炭混層耕区の表土の強熱減量(1989~90, 南幌町)

Table. 2 Ignition loss of surface soil of layer mix plowed field

| 試験地 | 施 工 前 | | | 施 工 後 | | |
|-----|--------------|----------------|----------|--------------|----------------|----------|
| | 強熱減量 平均値% | (同) 最小~最大値% | 採取 点数 | 強熱減量 平均値% | (同) 最小~最大値% | 採取 点数 |
| A | 10.7 | 6.5~13.1 | 12 | 12.1 | 7.0~19.5 | 30 |
| B | 9.4 | 5.2~13.1 | 36 | 13.2 | 8.2~27.3 | 187 |
| C | 8.7 | 6.7~12.0 | 30 | 12.4 | 9.1~16.1 | 40 |

注) 調査時の作業事情により点数が異なり、5~15mメッシュで採取した。

表-3 泥炭混層耕区の表土の三相分布, 有効水分量 (南幌町, 1989~1990年)

Table. 3 Three phases and available moisture of surface soil of layer mix plowed field

| 試験地 | 処理区 | 容積重 g/100ml | pF1.5における(%) | | | pF有効水分量(ml) | | |
|-----|-----|----------------|--------------|------|------|-------------|---------|---------|
| | | | 固相 | 液相 | 気相 | 1.5~2.7 | 2.7~3.8 | 3.8~4.2 |
| A | 慣行 | 117.2 | 47.5 | 39.2 | 13.3 | 1.8 | 3.5 | 3.7 |
| | 混層 | 85.5 | 37.7 | 40.6 | 21.8 | 5.6 | 9.3 | 4.8 |
| B | 慣行 | 98.4 | 37.7 | 42.4 | 19.9 | 6.7 | 4.5 | 3.7 |
| | 混層 | 84.1 | 32.2 | 44.7 | 23.1 | 8.2 | 4.7 | 4.1 |

注) Aは1989.10月、Bは1990.10月採土

表-4 作物は種時の碎土率(%)

Table. 4 Pulverization after harrowing

| 処理区 | 小麦は種時 (A, Cは場) | | | 大豆は種時 B (1990.6) |
|-----|----------------|-------------|--------------|---------------------|
| | A (1989.10) | A (1990.10) | C (1990.10)* | |
| 慣行 | 52 | 37 | 17 | 71 |
| 混層 | 71 | 71 | 42 | 78 |

注) 2cm以下の径の土塊の重量割合を碎土率とした
*多湿状態での碎土

表-5 畑地浸入能 (現場透水速度, cm/秒)

Table 5 Infiltration capacity

| 処理区 | Aは場 (1991.9) | Bは場 (1991.8) |
|-----|----------------------|----------------------|
| 慣行 | 5.0×10^{-3} | 1.2×10^{-3} |
| 混層 | 3.4×10^{-2} | 5.2×10^{-3} |

注) 20cm径円筒打込み法による

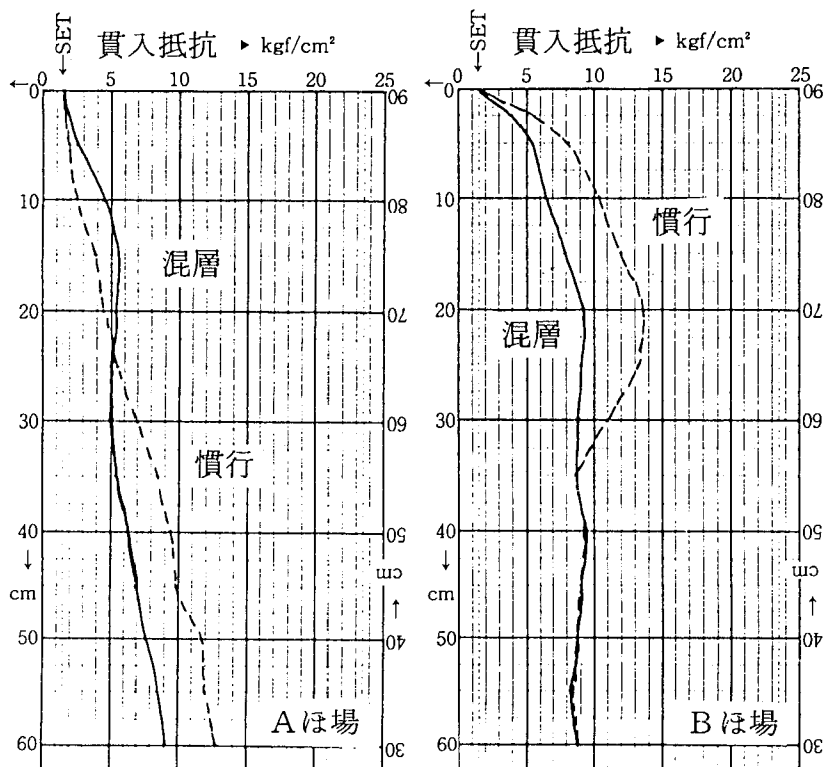


Fig. 1 Change of cone penetration resistance after peat layer mix plowing

図-1 泥炭混層耕による貫入抵抗の変化(SR-2型, 2cm²コーン) (A:1989年10月, B:1990年6月, 南幌町)

(3)地耐力

本耕法は地耐力の低下についても懸念される。図-1にA, B両は場のSR-2型自記式貫入計による深さ別の円錐貫入抵抗(地耐力)のグラフを示した。Aは小麦は種直後のためか両区ともやや軟く、その差は小さいが、20cm以浅ではむしろ混層区の方がやや大きい。また、Bでは30cmの深さまでは慣行区が混層区より大きい。これは、慣行区の表層は粘質で、圧密されて硬いのに対し、泥炭混層された混層区では軟くなったためと思われる。水田におけるトラクタ(タイヤ型)作業の走行可能性の基準(農林水産技術会議, 1969)のうち、円錐貫入抵抗は表層0~15cmの平均値が2.5~5.0で作業可能、5.0以上で作業容易とされており、泥炭混層によって地耐力が作業上大きな支障となるほど低下することはないと判断された。

(4)地盤の変動程度

本土層改良耕法において、地耐力の低下と共に懸念されることは、泥炭混層耕後の不等沈下(不陸)やほ場面全体の地盤沈下である。本試験においてはこの点を大きな課題として考え、施工直後から、5mメッシュによるレベル測定を行い、地盤変動の経年的な把握を行った。

表-6, 表-7にその測定結果を示した。Aは場では隣接する転換畑も含めて4年後まで継続測定した結果、平均地盤高としては全くその沈下は認められなかった。一方、地盤の高低のバラツキは、混層区は施工直後は大きく、その後はある程度納まっている。しかし慣行区や隣接畑よりは大きく、4年後では混層区内の最大標高、最低標高の差が35cmで、また、均平精度も他区よりやや低かった。平均地盤高にほとんど差はなく、均平精度に差がある理由は判然としない。しかし、もともと無機質層が薄く、施工後に多量の泥炭が混層された場所では標高が低い(沈下量が大きい)傾向にあり、これがバラツキを大きくしている主因と考えられた。また、Bは場では、混層区について1作後、4作後の2回測定した結果、Aは場と同様に平均地盤高の低下はみられなかったが、高低差は20cm以上あった。ただし、高低差が経年的に大きくなる傾向は認められなかった。両は場とも施工前後の比較がなく、また、短期間の調査のため厳密な比較はできない。今後は広域的、長期的な調査が必要と思われる。

(注)水田のは場整備時に要求される仕上げ精度は、レベルを測定した全地点が平均地盤高の±10cm以内で、か

表-6 施工は場の地盤高の変化(A試験地, 1989~1993年, 施工は1989年8月)

Table. 6 Change of mean altitude of A field after mix plowing

| 処理区 | 1989.10(小麦作付中) | | | | | 1990.10(小麦作付中) | | | | | 測定密度 m ² /点 |
|-----|----------------|------|----------|---------|--------|----------------|------|----------|---------|--------|---------------------------|
| | 平均地盤高m | 高低差m | ±10cm以内% | ±5cm以内% | 均平精度mm | 平均地盤高m | 高低差m | ±10cm以内% | ±5cm以内% | 均平精度mm | |
| 混層区 | 9.84 | 0.34 | 85.3 | 52.7 | 71 | 9.83 | 0.27 | 96.7 | 69.3 | 54 | 21 |
| 慣行区 | 9.82 | 0.20 | 93.9 | 87.8 | 42 | 9.82 | 0.13 | 100.0 | 89.8 | 31 | 24 |
| 隣接畑 | 9.84 | 0.26 | 96.4 | 73.7 | 49 | 9.83 | 0.19 | 99.6 | 89.3 | 32 | 21 |
| 処理区 | 1991.10(小麦収穫後) | | | | | 1993.11(小麦収穫後) | | | | | 測定密度 m ² /点 |
| | 平均地盤高m | 高低差m | ±10cm以内% | ±5cm以内% | 均平精度mm | 平均地盤高m | 高低差m | ±10cm以内% | ±5cm以内% | 均平精度mm | |
| 混層区 | 9.83 | 0.26 | 94.7 | 65.3 | 57 | 9.84 | 0.35 | 92.0 | 64.7 | 59 | 21 |
| 慣行区 | 9.81 | 0.20 | 98.0 | 81.6 | 41 | 9.83 | 0.24 | 95.9 | 85.7 | 46 | 24 |
| 隣接畑 | 9.81 | 0.28 | 96.0 | 75.9 | 38 | 9.83 | 0.25 | 97.8 | 82.2 | 43 | 21 |

注) 混層区と慣行区は同一は場を区分けした。前者は125×32m, 後者は125×13m。
隣接畑はほぼ同一来歴の転換畑(未施工)で、125×45m。各5mメッシュでレベル測定。

表-7 混層耕は場の地盤高の変化(B試験地, 1990~93, 施工は1990.5月)

Table. 7 Change of mean altitude of B field after mix plowing

| 測定年月 | 平均地盤高m | 高低差m | ±10cm以内% | ±5cm以内% | 均平精度mm | 測定密度 m ² /点 | 備考 |
|------------------|--------|------|----------|---------|--------|---------------------------|--------|
| 1990.10 (1作後) | 9.95 | 0.22 | 96.9 | 80.6 | 47 | 21 | 大豆跡地 |
| 1993.11 (4作後) | 9.98 | 0.20 | 99.0 | 80.6 | 43 | 21 | キャベツ跡地 |

注) 混層区(75×35m)について5mメッシュでレベル測定。

つ、80%以上の地点が±5 cm以内であること、あるいは、均平精度（全地点の標準偏差にはほぼ等しい値）が39 mm以下であることとされている。しかし、A、B両は場の測定は畑作物作付中、あるいは収穫後であって、水田の仕上げ精度の基準をそのまま適用するのは無理があり、現場サイドでは±10cm以内の地点が90%以上あれば良いと判断している。

(5)作物の収量、出芽率

表-8、表-9に、Aは場における秋まき小麦（2作）、Bは場における大豆（2作）、ダイコン、キャベツの規格内収量、及び大豆の出芽率を示した。表土の物理性（碎土性、保水性）の改善により混層区の作物は対象区より良好な生育、収量となっている。

(6)まとめ

上記3試験地における泥炭混層耕の試験結果から、本耕法は表土の物理性を改善し、作物の生育、収量を良好にすることが認められた。また、施工に伴い均平精度の悪化は認められたが、平均地盤高の低下は施工4年後までは認められなかった。

4. おわりに

泥炭土の水田は田畑輪換は場としては最高である、と言った普及員がいる。筆者も泥炭土地帯の周辺に広く分布している強粘質の低地土（細粒質の灰色低地土、グライ土）や台地土（灰色台地土、グライ台地土）に比べ作業性、生産力からみると優れていると考えている。これまでの客土、暗渠等の土層改良の成果であろう。

畑作利用時における表土の物理性（碎土性、保水性、

表-8 作物（小麦）の収量（1990～91、A試験地）

Table. 8 Yield of wheat

| 処理区 | 1990.7、秋まき小麦 | | | 1991.7、秋まき小麦 | | |
|-----|--------------|-------------|----------|--------------|-------------|----------|
| | 総重 kg/a | 子実重 kg/a | 千粒重 g | 総重 kg/a | 子実重 kg/a | 千粒重 g |
| 慣行 | 107.2 | 46.2 | 43.5 | 115.0 | 47.9 | 45.1 |
| 混層 | 136.6 | 54.0 | 44.8 | 134.5 | 56.4 | 41.9 |

表-9 作物の出芽率と規格内収量（1990～91、B試験地）

Table. 9. Germination degree and quality standard yield of some crops

| 処理区 | 1990.10、大豆 | | | 1991.10、大豆 | | | 1990、大根 | | 1991、キャベツ | |
|-----|-------------|----------|-----------|-------------|----------|------------|------------|----------|------------|----------|
| | 子実重 kg/a | 百粒重 g | 出芽率* % | 子実重 kg/a | 百粒重 g | 出芽率** % | 収量 kg/a | 1ヶ重 g | 収量 kg/a | 1ヶ重 g |
| 慣行 | 29.5 | 42.6 | 40 | 32.0 | 43.3 | 30 | 93.6 | 693 | 380 | 1138 |
| 混層 | 36.5 | 47.7 | 66 | 29.5 | 43.6 | 76 | 220.5 | 771 | 486 | 1385 |

*は種17日後 **は種20日後

表面排水性は強粘質転換畑より明らかに泥炭土転換畑が良く、農作業が容易である。さらに、土壌の窒素供給力も大きい。新篠津村における小麦、大豆の転換畑作物の高収の実態（橋本、高橋、1990）や、南幌町におけるキャベツを主とする野菜栽培の実績は泥炭土転換畑の有利性を表わしているものと言える。一部で行われている泥炭混層耕はこの有利性が薄められたは場に対する現場対応策と言える。一方、水田利用時においても、復元時の場面均平化作業の必要性や、食味に関するマイナス面（米のタンパク含量が他の土壌に比べてやや高い）はあるが、収量的には一定のレベルに達している。

しかし、長期的な土地利用を行っていく上では問題が多い。転換畑利用は一般には場の均平を悪化させ、また、地盤沈下を助長するとされている。従って、耕地の安定的、保存的利用の観点からは泥炭土の田畑輪換利用は望ましくない。長期間たん水状態にあって泥炭の乾燥・収縮、分解の程度が小さい水田利用が最も地盤沈下が起こり難く、自然かつ望ましい土地利用法と言える。土層改良においては、地下水位を必要以上に低下させず、また、客土材は粘質が強くないものを選び、客土後は深耕を避けることが重要である。

本地帯の現状は水田・野菜の複合経営が多く、小面積の野菜作で高収益を上げている例が多い。連作水田や半永久的な転換畑が一部にみられる他は大部分が転換歴のある水田、あるいは水田に復元可能な転換畑（畦を残す場合と壊す場合の両方がある）であり、畑作あるいは野菜作を数年間続けた後に復田するのが一般的な作付け体系となっている。今後の農業情勢により農業経営がどう変化していくかは不明である。しかし、長期的な観点から泥炭耕地を利用して行きたいものである。

なお、本調査、研究に当たっては、新篠津村役場、同農協、南幌町役場、同農協、石狩北部普及所、空知南西部普及所、北海道農業開発公社から多大なご協力を得た。また、中央農試土壌改良科（当時）の各研究員の方々には調査、分析に協力していただき、同土壌肥料科（当時）の田丸研究員（現上川農試）、熊谷研究員（現原子力環境センター）の両氏には作物収量データの一部を提供し

ていただいた。ここに記して感謝申し上げる。

引用文献

土壌標準分析・測定法委員会編 (1986) : 土壌標準分析・測定法, P10-69, 博友社, 東京.

橋本 均, 高橋市十郎 (1990) : 石狩川下流域泥炭土水田の土壌実態, 土肥学会講要集, 36 : 102

農林水産技術会議事務局 (1969) : 大型機械化に伴う水田土壌基盤整備に関する研究, P33, 農林水産技術会議事務局, 東京

土の理工学性実験ガイド編集委員会編 (1983) : 土の理工学性実験ガイド, P35-118, 農業土木学会, 東京.

(受稿年月日 1994年7月10日)

報 文

泥炭地水田のケイ酸供給力に及ぼす客土の効果

柳原 哲司

The Effect of Soil Dressing to Peaty Paddy Field on Supplyment of Silicic Acid

Tetsuji Yanagihara
Hokkaido Central Agric. Exp. Stn.

Summary

The effects of soil dressing on the silicic acid supplying capacity of paddy field soil were investigated, and the results of investigation were summarized as follows.

1. Available silicic acid content of soil for dressing was very high compared to that of paddy field soil.
2. Elution patterns following the change of pH of extraction buffer and extraction capacity are different for soil for dressing and paddy field soil. This result suggest the difference in the forms of supplying source.
3. From the quantitative ratio of silicic acid and alumina which is eluted simultaneously, the form of supply source was assumed to be aluminosilicate, and results of calculation were as follows.
 $\text{SiO}_2(\text{Al}_2\text{O}_3)_{1.52}$ for paddy field soil and $\text{SiO}_2(\text{Al}_2\text{O}_3)_{0.59}$ for soil for dressing.
4. Effect of supplying silicic acid by soil dressing was large in test cultivation of paddy rice and amount of absorption of silicic acid was so large as 2-5 times compared to the plot without soil dressing.
5. Easy soluble silicic acid which is contained in soil for dressing is estimated to be migrated and accumulated in soil layer in soil excavation site.
6. Based on the results of investigation of paddy field site, effect of silicic acid by soil dressing showed decrease following the passage of year, and its years of lasting was supposed to be about 10 years.

Key Words : Peaty Paddy Field, Soil Dressing, Supplyment of Silicic Acid.

(Soil Phys. Cond. Plant Growth, Jpn, 70,49-54, 1994)

1 はじめに

客土は、地耐力の向上、漏水防止など、泥炭地水田特有の物理的な不良要因を改善することを主な目的として実施されてきた。その結果、これらの不良要因はほぼ改善され、水稻の収量も他の土壌型に劣らない水準に達している。また、泥炭地水田に対する客土は物理的な改善効果に加えて、化学的な改善効果も大きい。特に、代表的なケイ酸植物である水稻にとっては、ケイ酸をはじめ

とする無機成分の供給効果は、非常に大きな意義がある。

しかし、これまで、客土のケイ酸補給効果について詳細に解析した例は少ない。そこで本報告では、客土によるケイ酸の補給効果に着目し、その量と質的な特徴を明らかにし、水稻に対する効果を確認するとともに、供給効果の持続性についても検討を加えた。

北海道立中央農業試験場 (〒069-13 北海道夕張郡長沼町東6線北15号)

キーワード：泥炭地水田、客土、ケイ酸供給

2. 試験方法

1) 客土材および水田土壌のケイ酸溶出試験

供試土壌：ケイ酸の溶出実験に用いた土壌は表1に示した水田作土（泥炭土3点，対照としてグライ土2点）5点，土取り場の異なる客土材4点である。

土壌からのケイ酸の抽出は以下に示す(1)~(4)の方法を用いた。ケイ酸の定量はモリブデン青による比色法により定量した（新版農芸化学実験書，1957）。

(1)可給態ケイ酸：湛水保温静置法（土壌標準分析・測定法，1986）を採用した。

(2)pH別ケイ酸溶出試験：pH4,5,6,7に調整した酢酸ナトリウム緩衝液を用い，40℃の温水浴中で5時間振とう培養後ろ過し，ケイ酸を定量した。

(3)抽出力別ケイ酸溶出試験：各土壌に非晶質物質を選択的に溶解するpH3.5シュウ酸ナトリウム緩衝液（加藤・佐藤，1977）、可給態ケイ酸抽出法の一つであるpH4.0酢酸ナトリウム緩衝液（今泉・吉田，1958）および水をそれぞれ土液比1：6になるように加え40℃で1週間培養し，ろ液中のケイ酸およびアルミニウムを定量した。アルミニウムの測定は日立Z-8000型原子吸光度計を用い，原子化は黒鉛炉で行った。分析はマニュアル（日立理化学機器分析データ集，1987）に従い，乾燥；80℃、60秒，灰化；800℃、30秒，原子化；2900℃，10秒，キャリアーガス；アルゴン，100ml/min.の条件でおこなった。

(4)連続培養実験：フタ付き遠沈管に風乾土と水を1：10の割合でとり，40℃で1週間培養後，遠心分離により上澄液をとりケイ酸を定量した。沈澱部分は35℃で1日乾燥後再び水を加え同様の操作を繰り返した。

2) 水稲栽培試験

1987年2月に当該稲作部泥炭地水田（岩見沢市）(No.1)に2種類の客土材（No.6；土性SLおよびNo.7土性LiC）を客土し，同年春から水稲栽培試験を実施した。客土量はそれぞれ100，200および300m³/10aの3段階（客土深として10，20，30cm）とし無客土水田を対照とした。

品種は1987年「ともひかり」，1988~1990年「ゆきひかり」，1990年「きらら397」を供試した。

3) 現地調査

1989年美唄市において，客土後経過年数が0~22年までの異なる泥炭地水田30ヶ所を選定し，成熟期水稲のケイ酸吸収量と客土後の経過年数の関係について調査した。選定した水田は，同一の土取り場からの客土が行われており，客土量はほぼ同一（50m³/10a）である。

表-1 供試水田土壌および客土材

Table. 1 Properties of soils

| 地目 No. | 採取地点 | 土 壤 | 土性 | pH |
|--------|------|---------|--------|---------|
| 水田作土 | 1 | 岩見沢市上幌向 | 無客土泥炭土 | HC 5.8 |
| | 2 | 岩見沢市上幌向 | グライ土 | SiC 5.2 |
| | 3 | 北村豊里 | グライ土 | CL 6.0 |
| | 4 | 北村大願 | 客土泥炭土 | CL 5.7 |
| | 5 | 新篠津村 | 客土泥炭土 | LiC 5.1 |
| 客土材 | 6 | 美唄市峰延 | 洪積土 | SL 5.1 |
| | 7 | 美唄市峰延 | 洪積土 | LiC 5.4 |
| | 8 | 美唄市峰延 | 洪積土 | LiC 5.9 |
| | 9 | 当別町ビトエ | 洪積土 | CL 5.3 |

3. 試験結果および考察

1) 客土材および水田作土中のケイ酸含量および形態的な特徴

表2に供試土壌の可給態ケイ酸およびpH別の溶出ケイ酸量を示した。水田作土の可給態ケイ酸含量は，無客土泥炭土およびグライ土水田で低く，客土された泥炭土水田ではそれらよりもやや高かった（全水田作土試料平均8.5mg/100g）のに対して，客土材は17.0~33.4mg/100g（平均25.2mg/100g）と圧倒的に多く，客土材は多量の可給態ケイ酸を含んでいることを示している。

さらに，ケイ酸溶出条件を詳しく検討するためにpH別のケイ酸溶出量を測定した。両土壌ともにpHが下がるにつれて溶出量が増加する傾向は同様であったが，いずれのpHでも客土材のケイ酸溶出量は水田作土より多かった。これは，今泉・吉田(1958)によると，含まれるケイ酸の形態が主にSilicate Typeであることを示すものであった。しかし，水田作土と客土材のpHの変化に対するケイ酸溶出量の変化を比較すると，明かな違いが

表-2 供試土壌の可給態ケイ酸およびpH別溶出ケイ酸量

Table. 2 Available silicic acid content of soils and elution patterns following the change of pH

| 地目 No. | 可給態ケイ酸 | pH別溶出ケイ酸量(mg/100g) | | | | pH7/pH4 (%) | |
|--------|--------|--------------------|------|------|------|-------------|------|
| | | 4 | 5 | 6 | 7 | | |
| 水田作土 | 1 | 5.7 | 10.9 | 7.9 | 3.1 | 1.0 | 9.2 |
| | 2 | 6.7 | 5.8 | 5.4 | 2.3 | 0.6 | 10.3 |
| | 3 | 7.8 | 13.5 | 6.2 | 3.8 | 1.4 | 10.4 |
| | 4 | 12.1 | 18.4 | 9.2 | 4.5 | 1.7 | 9.2 |
| | 5 | 10.1 | 6.7 | 4.2 | 3.5 | 1.2 | 17.9 |
| 平均 | 8.5 | 11.1 | 6.6 | 3.4 | 1.2 | 11.4 | |
| 客土材 | 6 | 33.4 | 20.5 | 20.1 | 16.3 | 14.2 | 69.3 |
| | 7 | 23.2 | 22.4 | 19.8 | 12.0 | 9.9 | 44.2 |
| | 8 | 27.0 | 26.7 | 23.2 | 15.8 | 12.9 | 48.3 |
| | 9 | 17.0 | 14.8 | 13.0 | 6.5 | 4.4 | 29.7 |
| 平均 | 25.2 | 21.1 | 19.0 | 12.7 | 10.4 | 47.9 | |

表-3 各種抽出液とケイ酸溶出量の関係

Table. 3 Silicic acid content eluted by some extracting solvents

| 地目 No. | ケイ酸溶出量(mg/100g) | | | 溶出割合(%) | | |
|--------|-----------------|------|-------|---------|------|------|
| | 水 | 酢酸塩 | シュウ酸 | 水 | 酢酸塩 | |
| 水田作土 | 1 | 5.7 | 18.6 | 105.5 | 5.4 | 17.6 |
| | 2 | 6.7 | 13.9 | 97.4 | 6.9 | 14.3 |
| | 3 | 7.8 | 27.7 | 105.7 | 7.4 | 26.2 |
| | 4 | 12.1 | 29.6 | 146.3 | 8.3 | 20.2 |
| | 5 | 10.1 | 17.6 | 125.8 | 8.0 | 14.0 |
| 平均 | 8.5 | 21.5 | 116.1 | 7.2 | 18.5 | |
| 客土材 | 6 | 33.4 | 51.5 | 227.5 | 14.7 | 22.6 |
| | 7 | 23.2 | 39.6 | 173.9 | 13.3 | 22.8 |
| | 8 | 27.0 | 52.3 | 172.7 | 15.6 | 30.3 |
| | 9 | 17.0 | 31.8 | 134.4 | 12.6 | 23.7 |
| | 平均 | 25.2 | 43.8 | 177.1 | 14.1 | 24.8 |

認められた。すなわち、水田作土ではpHが中性になるに従い急激に溶出量が減少し、pH7での溶出量はpH4での溶出量の1~2割程度であるのに対し、客土材ではその減少がゆるやかで、pH7でも3~7割もの溶出量が認められた。

このように、客土材からのケイ酸溶出は、水田作土に比較して量が多いのみではなく、pHの変化に対する溶出パターンも異なることから、両者の可溶性ケイ酸はその溶解性に違いがあると考えられた。そこで抽出力の異なる溶媒を用いて溶出するケイ酸を測定し、その結果を

表3に示した。

pH3.5シュウ酸塩可溶ケイ酸は、非晶質画分のケイ酸と考えられ、通常の水田状態で可溶化し得るケイ酸の潜在量を示している。また、酢酸塩および水可溶のケイ酸はより易溶性の画分であり、シュウ酸塩可溶画分に含まれると考えられる。いずれの画分でもケイ酸溶出量は水田作土より客土材の方が多かった。しかも、シュウ酸塩可溶画分に対する酢酸塩および水可溶画分の比率で比較すると客土材の方が高いことから、客土材中のケイ酸は水田作土中のケイ酸に比較して量が多いだけではなく、より易溶性の画分の比率が高いことが明らかとなり、ケイ酸給源物質の存在形態に違いがある事がわかった。

今泉・吉田(1958)は、土壌中のケイ酸給源物質はおもにアルミナと結合した形態であると推定している。そこで、本報告でもケイ酸の給源形態をアルミノケイ酸塩と仮定し、溶出実験から得られたアルミニウムの量からその組成式の推定を試みた。その結果、水田作土では $\text{SiO}_2(\text{Al}_2\text{O}_3)_{1.52}$ であるのに対して、客土材は $\text{SiO}_2(\text{Al}_2\text{O}_3)_{0.50}$ と推定された。このことから、客土材中のケイ酸給源物質は水田作土に比較して約3倍もケイ酸に富んでいることが示唆され、客土材が易溶性ケイ酸に富む一つの要因と推定された。

次に、供試した客土材中にこのような易溶性ケイ酸含量が多い原因を知るために、岩見沢近辺3ヶ所の土取り場(表1の土取り場とは地点が異なる)で層位ごとに試料を採取し、pH、交換性塩基および可給態ケイ酸の土

表-4 土取り場での層位別ケイ酸、塩基含量

Table. 4 Content of silicic acid and bases in layer at soil excavation site

| 土取り場層位 | 深さ(cm) | 備考 | pH | 可給態ケイ酸* | 交換性塩基* | | | |
|--------|--------|---------|--------|---------|--------|-----|------------------|----|
| | | | | | CaO | MgO | K ₂ O | |
| ビトエ-1 | 0-20 | 地表 | 5.1 | 17.7 | 135 | 22 | 17 | |
| | -2 | | 20-100 | 5.8 | 36.2 | 220 | 112 | 7 |
| | -3 | | 100以下 | 6.4 | 46.7 | 316 | 120 | 6 |
| 光珠内1 | 0-25 | 地表 | 6.5 | 21.9 | 316 | 163 | 9 | |
| | -2 | | 25-70 | 6.7 | 28.3 | 248 | 145 | 7 |
| | -3 | 70-120 | 鉄結核有り | 6.6 | 35.7 | 316 | 189 | 9 |
| | -4 | 120-170 | | 6.2 | 59.3 | 329 | 200 | 10 |
| | -5 | 170以下 | | 6.2 | 45.4 | 242 | 140 | 7 |
| 光珠内2 | 0-20 | 地表 | 5.5 | 8.8 | 27 | 15 | 7 | |
| | -2 | | 20-50 | 5.6 | 17.9 | 128 | 97 | 12 |
| | -3 | | 50-80 | 5.6 | 37.0 | 174 | 114 | 13 |
| | -4 | 80-110 | 鉄結核有り | 5.7 | 33.4 | 253 | 154 | 17 |
| | -5 | 110-140 | | 5.8 | 38.6 | 380 | 229 | 16 |
| | -6 | 140以下 | | 5.7 | 44.1 | 208 | 116 | 15 |

* : (mg/100g)

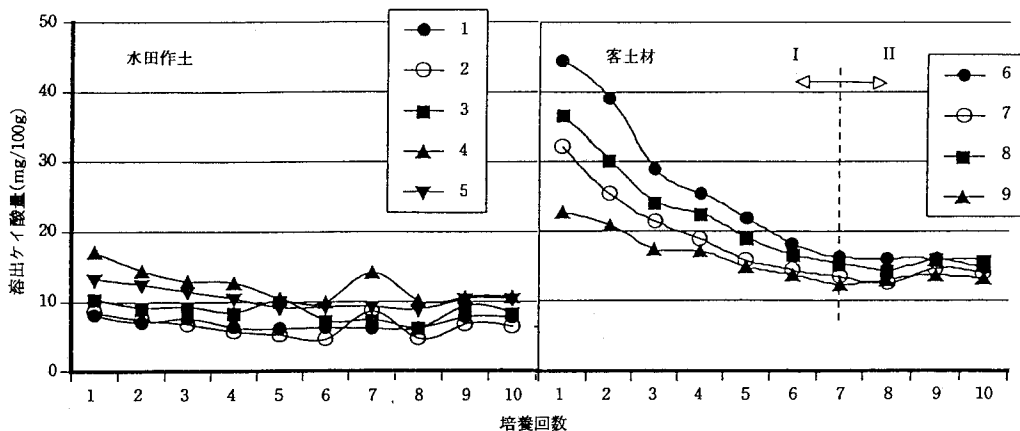


図-1 連続培養実験によるケイ酸溶出量の推移

Fig. 1 The change of extracted content of silicic acid by continuous incubation

層内分布を調査した(表4)。

可給態ケイ酸含量の分布を見ると、上層部の値が低く、下層ほど高い傾向を示した。また、カルシウムおよびマグネシウムも下層に一部集積層が認められることから、土層内で溶脱された塩基およびケイ酸が下層に移動したと推定され、これが客土材中に存在する豊富な易溶性のケイ酸の給源物質となっていると考えられた。

客土材からのケイ酸溶出の持続性を検討するために、湛水培養と風乾を繰り返し、溶出するケイ酸量の推移を調べた。図1に示したように、水田土壌は培養の繰り返しにかかわらず溶出量はほとんど変化しないが、客土材では培養を繰り返す毎にケイ酸溶出量は減少し(7回目まで、図中I)その後ほぼ一定に推移(8回目以降、図中II)した。これは、客土材中には溶解性のことなる2種類のケイ酸給源があることを示しており、培養の初期に速やかに溶出するI画分が客土材に特徴的な易溶性の画分であり、II画分は水田作土中のケイ酸と類似の形態であると推察された。

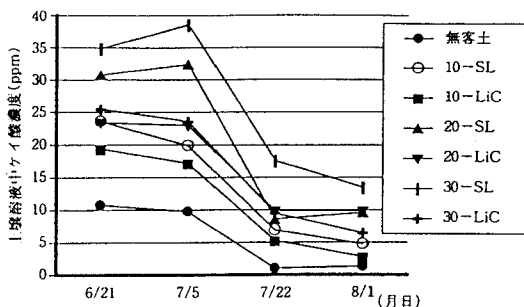


図-2 土壤溶液中ケイ酸濃度の推移

Fig. 2 The change of silicic acid concentration in soil solution

表-5 成熟期の茎葉ケイ酸含有率の年次推移

Table. 5 The change of silicic acid content of rice shoot by years

| 客土深 (cm) | 土性 | 客土材 表1 No. | 茎葉ケイ酸含有率(%) | | | | |
|-------------|-----|---------------|-------------|------|------|------|-------|
| | | | 1987 | 1988 | 1989 | 1990 | 4カ年平均 |
| 0 | - | - | 5.6 | 3.8 | 3.8 | 4.9 | 4.5 |
| 10 | SL | 6 | 14.1 | 12.4 | 11.7 | 10.2 | 12.1 |
| 10 | LiC | 7 | 13.6 | 11.0 | 10.7 | 9.5 | 11.2 |
| 20 | SL | 6 | 16.8 | 14.4 | 13.9 | 12.7 | 14.5 |
| 20 | LiC | 7 | 15.5 | 12.7 | 13.8 | 12.1 | 13.5 |
| 30 | SL | 6 | 18.3 | 15.5 | 16.1 | 13.7 | 15.9 |
| 30 | LiC | 7 | 17.2 | 13.9 | 15.2 | 12.8 | 14.8 |

2) 客土が水稻のケイ酸吸収に及ぼす影響

表1に示したNo6, 7の客土材をNo1の無客土泥炭土水田に客土し、水稻のケイ酸吸収の変化を検討した。

図2に湛水期間中における土壤溶液中のケイ酸濃度の推移を示した。土壤溶液中のケイ酸濃度は常に客土区において無客土区よりも高く推移した。これは圃場条件でも客土材から豊富にケイ酸が溶出していることを示している。

表5に客土の量、種類の違いが成熟期の茎葉ケイ酸含有率に及ぼす影響を示した。客土区的水稻はケイ酸含有

率が無客土区の約3倍と顕著に高まり、その程度は客土量が多いほど多かった。また、客土材間の比較をすると、ケイ酸溶出量の多かったNo6客土材（土性SL）の方がNo7客土材（土性LiC）よりケイ酸含有率が高く、土壌の分析値と一致する結果となった。

以上のように、客土材から溶出するケイ酸は、水稻に非常に吸収利用され易く、客土のケイ酸補給効果は大きいことが認められた。

3) 客土によるケイ酸補給効果の持続性

図1で示したように客土材からのケイ酸溶出量は湛水培養の繰り返により徐々に減少した。また、表5に示すように圃場試験でも客土後の経過年数にともなって、ケイ酸の吸収量は減少する傾向が認められた。そのため、

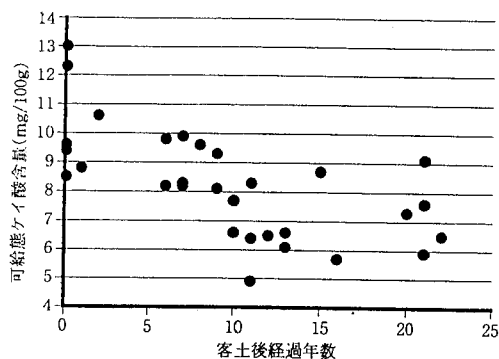


図-3 客土後経過年数と可給態ケイ酸含量の関係

Fig. 3 The relationship of available silicic acid content and years from soil dressing

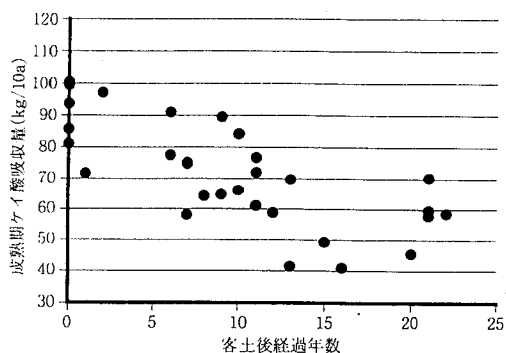


図-4 客土後経過年数とケイ酸吸収量の関係

Fig. 4 The relationship of silicic acid uptake by rice and years from soil dressing

より長期的な視点から、客土のケイ酸補給効果の持続性を検証する必要性が認められた。そこで、客土後の経過年数が異なる水田を調査し、水稻栽培年数とケイ酸供給力の関係について検討を加えた。調査地域は、長年同一の土取り場から採取した客土材を客土してきた地域であり、客土量もほぼ50m³/10aである。調査地点における客土後経過年数と可給態ケイ酸含量の関係を図3、水稻のケイ酸吸収量との関係を図4に示した。これより可給態ケイ酸およびケイ酸吸収量は客土直後が多く、以後経過年数とともにほぼ10～15年までは明らかに減少する推移を示した。しかし、10年目以降の圃場でみるとばらつきは大きい、ほぼ横ばいの推移を示した。これらの推移と連続培養実験の結果を総合すると、客土材に含まれる易溶性ケイ酸の溶出は10年程度は持続すると推察された。

4) おわりに

水稻は、年間10aあたり100kg以上のケイ酸を吸収する最も代表的なケイ酸植物である（吉田，1965）。また、水稻に対するケイ酸の生理的な意義は広く認められており（三井・高遠，1959；奥田・高橋，1961a,b；吉田，1965），収量や食味の向上に有意義であることが示されている（水野，1992；柳原ら，1992）。

ところで、水稻へのケイ酸の供給は、水田土壌からの寄与が圧倒的に大きく（今泉・吉田，1958），資材による補給はあくまでも補助的な寄与に過ぎない。そのため、水田土壌中の可給態ケイ酸は、水稻による年々の吸収により常に減少する傾向にあると考えられる。特に、元来無機成分に乏しい泥炭地水田ではこの傾向がいっそう顕著であり、これに対する客土のケイ酸補給効果は大きいことから、将来的には物理性の改善を目的とした客土だけではなく、ケイ酸の供給力向上を目的とした客土の発想も必要と考えられる。

引用文献

- 土壌標準分析・測定法委員会編(1986)：土壌標準分析・測定法，161-165，博友社。
- 日立理化学機器分析データ集編集委員会編(1987)：日立理化学機器分析データ集，偏光ゼーマン原子吸光，P9。
- 今泉吉郎，吉田昌一(1958)：水田土壌のケイ酸供給力に関する研究。農業技術研究所報告B第8号：261-304。
- 加藤秀正，佐藤久雄(1977)：腐植粘土複合体の構造に関する研究（第2報），非晶質物の分別溶解法について，土肥誌，48：419-424。
- 京都大学農学部農芸化学教室編(1957)：新版農芸化学実験書（増補），第1巻，p130，産業図書。

- 三井進午, 高遠宏(1959): 禾本科作物に対する珪酸の栄養学的意義 (第1報), 水稻の無珪酸栽培とその症状, 土肥誌, 30: 535-539.
- 水野直治(1992): 水稻の登熟に対するケイ酸の効果 (第7報), 総合考察, 北農, 54(11), 16-21.
- 奥田東, 高橋英一(1961a): 作物に対するケイ酸の栄養生理的役割について (第2報), ケイ酸欠除の時期が水稻の生育ならびに養分吸収におよぼす影響, 土肥誌, 32: 481-488.
- 奥田東, 高橋英一(1961b): 作物に対するケイ酸の栄養生理的役割について (第3報), ケイ酸の供給量が水稻の生育ならびに養分吸収におよぼす影響, 土肥誌, 32: 533-537.
- 柳原哲司, 宮森康雄, 藤倉潤治, 稲津脩, 関口久雄, 谷口健雄(1992): 客土による泥炭地産米の食味向上, 北農, 59(1): 76-81.
- 吉田昌一(1965): 水稻体内におけるケイ素の存在様式と生理的意義に関する研究. 農業技術研究所報告B第15号, 1-55.

(受稿年月日 1994年4月16日)

報 文

北海道網走地域の畑地における軽石流堆積物客土の効果と問題点

竹内晴信・大山 毅*・宮脇 忠**・菊地晃二***

Effect of Applied Pumice Flow Deposit as Soil Dressing on Crop Yields, Soil Properties, and Field Workabilities in Abashiri district of Hokkaido

Harunobu Takeuchi, Takeshi Ohyama*, Tadashi Miyawaki, and Kohji Kikuchi
(Yayoi52, Kunneppu, Hokkaido, 099-14 JAPAN)

Hokkaido Prefectural Kitami Agricultural Experiment Station
(E 6 N15, Naganuma, Hokkaido, 069-13 JAPAN)

*Hokkaido Prefectural Central Agricultural Experiment Station

Summary

The operation of the soil dressing using Pumice Flow Deposit (Pfld) has been spreading in recent years to improve productivities of upland crops. However, quantitative data to evaluate this type of soil dressing were still lacking. In this study, field experiments were conducted at three sites of different soil origins in Abashiri district. The amount of applied Pfld were 50 and 100mm for Fine Brown Lowland soil, and 36, 70 and 100mm for Fine Brown Forest soil and for Kuroboku soil. As Pfld, which is a kind of volcanic ash, is composed of high rate of pumice sand, its fertilities are very poor except for phosphorus. Pfld has pH of about 7.

Some physical properties of these soils were ameliorated by application of Pfld. These were an increase of sand fraction, a convergence of solid ratio to $0.4\text{m}^3\text{m}^{-3}$ and of bulk density to 1.0Mg m^{-3} , an increase of easily available moisture when its value of original soil was under $0.1\text{m}^3\text{m}^{-3}$, an increase of saturated hydraulic conductivity of the order of 10^{-6}m s^{-1} , and an improvement of soil tilth for fine soils with the decrease of soil stickiness. However, soil pH was unchanged, and CEC, exchangeable cation and available nitrogen were decreased slightly by the soil dressing.

Pot experiments showed that mixing $0.6\text{m}^3\text{m}^{-3}$ of Pfld with fine lowland soil suppressed crust formation and the rate of emergence increased up to 80%.

Crop yields except of potatoes and sugar beet in Fine Brown Forest soil decreased with the increase of the Pfld applied. The cause of lower yields were considered by the decrease of soil chemical fertilities. However the facts that lower inner quality of crops and higher T/R ratio with higher yield at the 70 or 100mm dressing plot, indicate the higher release of soil nitrogen in a latter growth stage. While in the Kuroboku soil, outer color of potatoes became to light due to decrease of the adhesion of soil particles.

Above results indicate that application of Pfld as the soil dressing does not always increase crop yields but improves some physical properties of the soils which enhances efficiency of field operations. Therefore we have to estimate not only crop yields but various factors such as workability or crop quality when we judge the effect of soil dressing.

Key Words : soil dressing, pumice flow deposit, soil tilth, crop yield, outer color of potatoes

(Soil Phys. Cond. Plant Growth, Jpn, 70, 55-66, 1994)

北海道立北見農業試験場 (099-14 北海道常呂郡訓子府町字弥生52), **同 (現在, 北海道立中央農業試験場), ***同 (現在, 北海道立天北農業試験場), *北海道立中央農業試験場 (069-13 北海道夕張郡長沼町東6線北15号)
キーワード: 客土, 軽石流堆積物, 易耕性, 作物収量, バレイショの外観色

1 はじめに

北海道東部のオホーツク海南部沿岸から内陸にかけての網走地方は、十勝地方と並ぶ代表的な畑作地帯である。この地域は国内有数の日照時間があり、様々な畑作物、園芸作物が生産されている。こうした条件から、近年では生産基盤となる畑土壌にも、何でも作れる畑、機械作業や水分管理のしやすい畑が求められており、農家が基盤整備や土地改良に期待する意欲も大きいものがある。

近年、この地方に堆積する軽石流堆積物と呼ばれる軽石質の粗粒な火山灰を畑地に客土し、生産性を向上させた農家の事例が広まり、農地整備事業に取り入れることが要望された。その結果、1987年度より道営土地改良事業の一環として軽石流堆積物を用いた客土が実施に移されている。こうした流れの中で、客土効果確認試験が実施され、作物の収量性と土壌特性に与える影響、および望ましい客土量が公表された（北海道立北見農試・同中央農試（1990）：畑土壌に対する軽石流堆積物の客土効果、平成2年度北海道農業試験会議指導参考事項）。

本稿では、網走地方で広まりつつある軽石流堆積物の客土によって得られるメリットの評価と、併せて作物収量性の変化を明らかにするため、農家圃場に試験区を設置し、客土の効果と問題点を検討してきた結果を報告する。なお、本客土は特定の土壌に対してのみ実施される状況ではなかったため、今後客土がさらに広く実施されることが想定される3種の代表的な鉱質土壌において試験区を設置した。

2. 軽石流堆積物の特徴

この地方に分布する軽石流堆積物の起源は次のように考えられている（日本の地質「北海道地方」編集委員会：1990）。本地域南東に位置する屈斜路カルデラが中～後期更新世の約30万年間に爆発的噴火を繰り返し、オホーツク海側の広範囲に火砕流台地を形成した。これは、合計10枚の屈斜路軽石流堆積物（Kpfl）などから成り、厚さ数十mに達する。最表層のKpfl-Iで約3万年前のものである。網走川以東の斜網地域では台地を形成する基

盤となっているが、北見地域では水による侵食、再堆積などの影響を受けて分布にやや偏りがある。なお北見地域西部には類似した性状の大雪山由来の大雪火砕流堆積物が分布し、客入土としてKpfl同様に利用されている。以下ではこのようなものも含めて一括し軽石流堆積物（Pfld）と呼ぶ。このように客土に利用され得る軽石流堆積物の資源量は無尽蔵に近いと考えられる。

軽石流堆積物の性状は、灰白色～淡紅色の非熔結の軽石を主体とした粗しょうな火山灰で、上部に降下火山灰の被覆がない台地、丘陵では土壌母材となっている。これまで客土に用いられたいくつかの試料についての分析値を表-1に示した。一般的に砂含量が0.8～0.9kgkg⁻¹で、土性はS～SLを示す。この砂は微小な軽石質なもので微細な孔隙を含んでいる。有機物はほとんど含まれていない。pHはほぼ中性であり、リン酸固定力、CECは共に小さい。塩基養分にも乏しいが、有効態リン酸含量は100mg kg⁻¹以上の値を示す場合が多い。この点に関しては、実際に有効態リン酸が存在するのか、あるいは抽出上の問題であるのかは明らかになっていない。

軽石流堆積物のこれまでの農業利用としては、例えば畑取り付け部に置き土して、てん菜積み出し時の作業性向上を図ったり、牛舎の通路や敷藁の下に散布する例があった。

3. 細粒質低地土における客土効果

1) 本土壌の作物生産上の特徴と問題点

北見市を中心とする内陸部の低地ではかつて水田が広く見られたが、現在では転作が進みタマネギを中心とした園芸畑作の産地となっている。こうした畑では細粒質土壌であることが多く、圃場の排水性や保水性が不良で、土壌の物理性が作物生産を規制していることが多い。また土壌が粘質であると耕起・砕土、除草などの作業性も効率化しづらいという問題を抱えている。

2) 試験方法

北見市若松の細粒質褐色低地土の圃場に、客土量50mm、100mmの試験区を設置した。施工は1988年4月

表-1 軽石流堆積物の理化学性

Table. 1 Physical and Chemical properties of Pfld

| 地点 (土取場) | 粒径組成 (kg kg ⁻¹) | | | | 土性 | pH (H ₂ O) | リン酸 吸収係数 | 有効態 リン酸 ²⁾ | CEC ³⁾ | 交換性塩基 (cgkg ⁻¹) | | | 備 考 |
|-------------|-----------------------------|------|------|------|----|--------------------------|-------------|--------------------------|-------------------|-----------------------------|-----|-----|-----------------|
| | 粗砂 | 細砂 | シルト | 粘土 | | | | | | K ₂ O | CaO | MgO | |
| 斜里町三井 | 0.47 | 0.43 | 0.09 | 0.01 | S | 6.5 | — | 132 | 3.6 | 17 | 59 | 15 | |
| 北見市小泉 | — | — | — | — | — | 6.9 | 20 | 124 | — | — | — | — | 細粒質褐色低地土試験区で利用 |
| 端野町 | 0.76 ³⁾ | — | 0.21 | 0.03 | SL | 6.9 | 110 | — | 4.9 | 31 | 51 | 13 | 細粒質褐色森林土試験区で利用 |
| 訓子府町福野 | 0.95 ³⁾ | — | 0.04 | 0.01 | S | 6.8 | 100 | 239 | 3.4 | 1 | 35 | 8 | 表層腐植質黒ボク土試験区で利用 |
| 北見市北陽 | 0.55 | 0.36 | 0.09 | 0.01 | S | 6.9 | 50 | 165 | — | 21 | 46 | 60 | 客土事業で利用 |

³⁾粗砂+細砂 ²⁾Truog法による P₂O₅(mgkg⁻¹) ³⁾(cmol(+)kg⁻¹)

表-2 細粒質褐色低地土試験圃の土壌断面

Table 2 Soil profile at the experiment field of Fine Lowland soil

| |
|---|
| 地形：沖積低地。母材：非固結堆積岩 |
| 第1層：0～27cm。層界明瞭。Ap層。腐植富む。土性LiC～HC。石礫なし。土色10YR3/3。硬度21。 |
| 第2層：27～50+cm。B層。腐植なし。土性SiC。石礫なし。土色10YR4/4。斑状の酸化沈積物あり。7.5YR3/4。硬度18。 |

表-3 細粒質褐色低地土試験区における土壌理化学性

Table 3 Changes in soil physical and chemical properties at the experiment field of Fine Brown Lowland soil

| 客土量 (mm) | 粒径組成 (kg kg ⁻¹) | | | | 土性 | 三相分布 ¹⁾ | | | 容積重 (Mg m ⁻³) | 孔隙量 ²⁾ | | 飽和透水 係数 ³⁾ | 通気係数 ⁴⁾ ソンステンシ- | |
|-------------|-----------------------------|---------------------------|--------------------------|---------------------------|-------------------|---|-------|-------|------------------------------|-------------------|-------|--------------------------|----------------------------|-------|
| | 粗砂 | 細砂 | シルト | 粘土 | | 固相 | 液相 | 気相 | | 易 | 難 | | 液性限界 | |
| 0 | 0.163 | 0.268 | 0.259 | 0.310 | Lic | 0.479 | 0.440 | 0.080 | 1.27 | 0.035 | 0.072 | 5.1×10 ⁻⁷ | 5.0×10 ⁻⁸ | 0.292 |
| 50 | 0.250 | 0.304 | 0.200 | 0.246 | CL | 0.444 | 0.457 | 0.099 | 1.16 | 0.054 | 0.081 | 2.2×10 ⁻⁶ | 1.5×10 ⁻⁷ | 0.270 |
| 100 | 0.323 | 0.307 | 0.167 | 0.203 | SCL | 0.434 | 0.390 | 0.176 | 1.14 | 0.062 | 0.073 | 1.0×10 ⁻⁵ | 3.3×10 ⁻⁷ | 0.281 |
| | pH | 有効態 (H ₂ O) | リン酸 リン酸 ⁵⁾ | リン酸 吸収係数 ⁶⁾ | CEC ⁷⁾ | 交換性塩基 ⁸⁾ (cgkg ⁻¹) | | | 腐植 可給態 ⁹⁾ | | | | | |
| | | | | | | K ₂ O | CaO | MgO | (kg kg ⁻¹) | N ¹⁰⁾ | | | | |
| 0 | 7.0 | 1360 | 820 | 28.8 | | 79 | 625 | 125 | 0.032 | 57 | | | | |
| 50 | 6.9 | 1180 | 500 | 24.6 | | 66 | 503 | 98 | 0.026 | 39 | | | | |
| 100 | 7.0 | 1230 | 600 | 20.4 | | 49 | 435 | 85 | 0.025 | 50 | | | | |

¹⁾-6.23kPa(pF1.8)における値(m³m⁻³) ²⁾(m³m⁻³)、易：-6.23kPa(pF1.8)～-100kPa(pF3.0)、難：-100kPa(pF3.0)～-1.57MPa(pF4.2) ³⁾(m s⁻¹) ⁴⁾含水比(kgkg⁻¹) ⁵⁾Truog法によるP₂O₅(mgkg⁻¹) ⁶⁾(cmol(+))kg⁻¹) ⁷⁾オートクレーブ法による熱水抽出性N(mgkg⁻¹) 試料は1988年10月に採取。ただし、有効態リン酸、可給態N用の試料は1990年10月採取。

に軽石流堆積物を規定の厚さに置き土した後、ステアアップロータリで深さ0.3mを攪拌耕起鎮圧した。他の土壌の試験区でも同様の施工である。試験区の面積は1区あたり1000m²である。施工後に試験圃(原土区)の土壌調査を行い、土壌断面を表-2に示した。また各処理区の作土の土壌分析を常法(土壌物理性測定法編集委員会, 1982; 土壌分析法編集委員会, 1987)によって行った。三相分布, 容積重, 孔隙量, 飽和透水係数, 通気係数については試験区から100ml採土管で採取した未攪乱土壌を用いた。-6.23kPa(pF1.8)および-100kPa(pF3.0)の水分は加圧板法で, -1.57MPa(pF4.2)は遠心法で測定した。通気係数の測定には大起理化学工業製土壌通気性測定器を用いた。その他の分析項目には風乾細土を供試した。可給態窒素はオートクレーブ法(AC法)による熱水抽出性窒素(北海道立中央農試・北海道農政部農業改良課, 1992)をもってこれにあてた。同時に土壌の粘着力を一軸圧縮試験により測定した(土の理工学性実験ガイド編集委員会, 1983)。施工後2作目の跡地において、機械作業性の変化を見るため、ロータリ耕うん時におけるトラクタの牽引抵抗の測定(農業機械学会, 1977), および耕うん後の土塊分布の測定(土壌物理性測定法編集委員会, 1982)を行った。

試験区設置後、農家慣行でタマネギが連作され、3年

間収量調査を行った。なお各作付年度毎に、0.2m程度のロータリ砕土整地を春先に農家慣行で行っている(他の土壌の試験地でも同様)。

細粒質土壌では乾燥時に土層表面にクラストを形成することが見られることが多い。ここでは、客土がクラスト形成と出芽へどのように影響するのかをみるためのモデル試験を併行して行った。原土は北海道立中央農試圃場で採取した灰色低地土の作土(生土)を用い、北見市で採取した軽石流堆積物を0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8m³m⁻³の割合で混合し、市販の小型プランタに充填した。この土壌にアズキ(エリモショウズ), 秋コムギ(チホコムギ), タマネギ(セキホク), ニンジン(SM KJ2)を播種した。播種粒数はそれぞれ30, 30(反復2は38), 24, 45粒で、アズキ, 秋コムギのみ2反復で行った。播種時に2mmのかん水を行った後の出芽率を調査した。またかん水後の乾燥過程で生じたクラストの硬度をクラスト硬度計を用いて測定した。コーンは球形スティックで、アズキ, 秋コムギには4kgバネを、タマネギ, ニンジンには1kgバネをそれぞれ用いた。

3) 試験結果

客土によって、細砂の割合が増加し粘土が低下して粗粒になった。これに伴って容積重や固相率が低下し、気

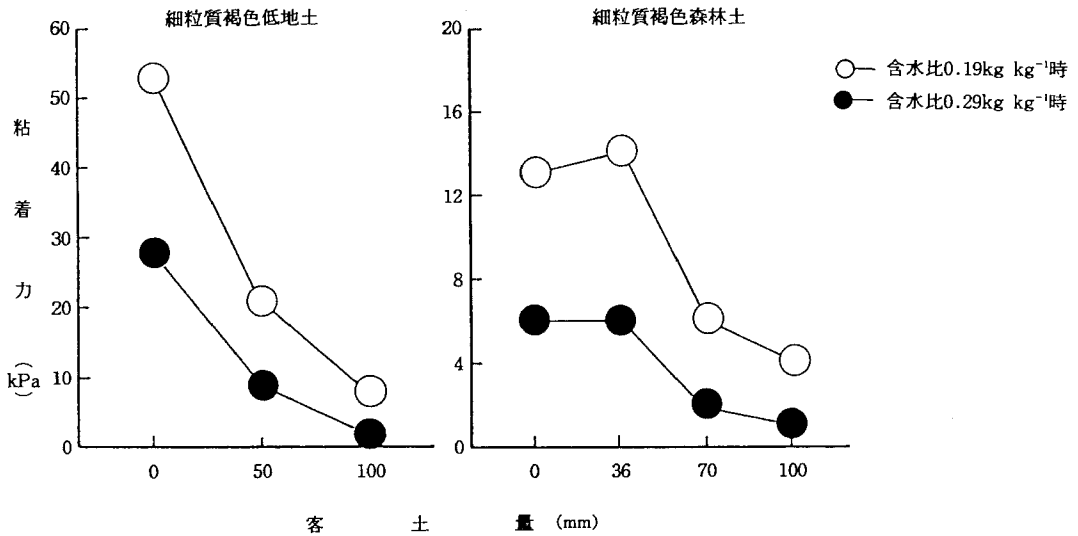


図-1 客土による土壌粘着力の変化

Fig. 1 Changes in soil adhesion caused by soil dressing in soil of experiment plots

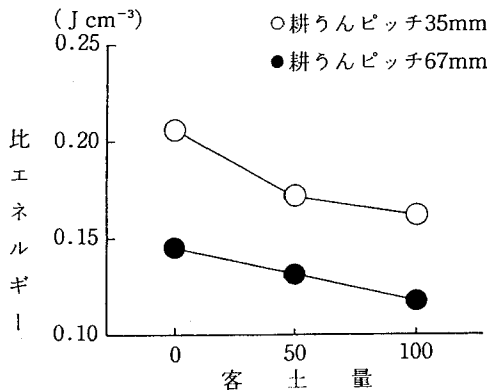


図-2 細粒質低地土における客土による易耕性の変化 (ロータリ耕における単位体積土壌あたりの耕うん所要エネルギー。耕うんピッチは耕うんつめ1回転ごとの土壌の耕うん長さ)

Fig. 2 Changes in required energy at rotary tillage caused by soil dressing at the experiment field of Fine Lowland soil

相率 (=粗孔隙量) が増加した。また-6.23kPa (pF1.8) ~ -100kPa (pF3.0) の易有効水孔隙量は100mm客土区で0.027m³m⁻³の増加で保水性が向上したと考えられた。飽和透水係数と通気係数の値も改善された。化学性ではCEC, 交換性塩基含量, 腐植含量が客土によって低下する傾向が示された。

一軸圧縮試験による粘着性は, 含水比0.19kgkg⁻¹の時

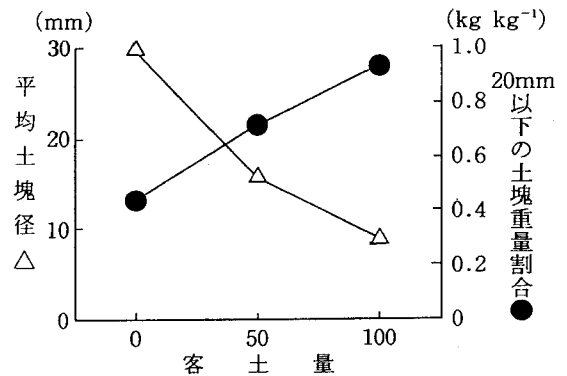


図-3 細粒質褐色低地土における客土による碎土性の変化 (ロータリ耕後の土塊の平均直径および20mm以下の土塊の占める重量割合)

Fig. 3 Changes in averaged soil size and the rate of small clod under 20mm diameter after rotary tillage caused by soil dressing at the experiment field of Fine Lowland soil

に53kPa (原土区) から8kPa (100mm客土区) へと大きく低下した (図-1)。機械作業性に与える影響調査では, ロータリ耕うん時の比エネルギー (単位土壌体積あたりの耕うん所要エネルギー) は客土量に応じて減少した (図-2)。また耕うん後の20mm以下の土塊割合は原土区で約40%程度であったものが100mm客土区で90%に増加し (図-3), 平均土塊径も小さくなって,

客土により碎土性は向上したと考えられた。

タマネギの収量調査結果を表-4に示した。客土初年目のタマネギの規格内収量は、50mm客土区でやや増加したが100mm客土区では収量比87と減収した。平均一球重は客土量に伴って低下した。客土2年目は客土量に関わらず、総収量と規格内球重は原土区に及ばなかった。客土3年目は客土区の総収量は原土区を下回ったが、変形球が多く規格内率が低かった中で、50mm客土区の規格内率がやや高く、規格内球重は原土区より6%多かった。

表-5に客土がクラスト形成と出芽に及ぼす影響を示した。軽石流堆積物の混合割合を高めるとクラスト形成が抑制され出芽率は向上した。混合割合が $0.2\text{m}^3\text{m}^{-3}$ でもクラスト硬度は大きく低下し、 $0.6\text{m}^3\text{m}^{-3}$ ではクラストが形成されず、出芽率が約80%より高い実用的な数値に達した。

4) 考察

図-1~3から、細粒質褐色低地土の機械作業性は改

善されると考えられた。一般に土性が細粒質の低地土壌では、客土により砂質になり容積重が低下することが予想されるので、客土による作業性改善効果は、排水条件に関わらず細粒質低地土壌一般に適用できると思われる。また、一般に行われている手作業による除草は、土壌の重さや粘着性、土性などがその効率に影響していると思われるが、これらの物理性は客土により変化するため作業効率も向上する可能性が考えられる。

土壌の物理性の変化では、他に保水性、透水性が共に向上していた。これらの特性は、環境変動に対する土壌の緩衝力を増す方向にあると考えられ、迅速な表面排水や、干ばつ時の被害軽減に役立つものと思われる。

客土によるタマネギ収量低下の要因として、土壌のCECの低下により、施肥養分が流亡し易くなったこと、交換性塩基養分が減少したことが考えられる。しかし土壌の窒素、リン酸肥沃度が顕著な変化を示していないので、単純にこれらの土壌肥沃度低下だけの影響とすることは無理があるように思われる。100mm客土区の原土区に対する総収量比は客土後の年次順に92→93→95と回復するように思われたが、規格内率の変動が大きく、客土後の収量性に対する経年変化の要因は明らかではなかった。しかし1990年(客土3年目)はタマネギ肥大期に入った7月下旬以降に多雨条件となっており(北見農試では8月下旬まで平年比+163mmの降水量)、土壌物理性改善が効果として表われたことが推定される。

北見市周辺の畑地では、今後園芸作物を大規模かつ省力的に栽培する方向に進むものと考えられる。ここで種子の小さな野菜類を直播した場合に、土壌表面にクラストが形成されると出芽が大きな影響を受けることが予想される。極端な場合、モデル試験で示されたようにタマネギ、ニンジンでは出芽が不可能な場合もある。客土によってこれを回避することが可能となり、今後の作付け多様化の可能性を広げるものと言える。ただし現在のところ、土壌クラストがどのような土壌で生じ、問題になっているかの実態把握は行われていない。

表-4 細粒質褐色低地土試験区におけるタマネギ収量

Table. 4 Yield of onion cultivated at the soil dressing experiment field of Fine Lowland soil

| 試験年度 | 客土量 (mm) | 総収量 (Mg) | 規格内球重 (ha ⁻¹) | 規格内率 (%) | 平均一球重 (g/ヶ) |
|------|----------|----------|---------------------------|----------|-------------|
| 1988 | 0 | 52.6 | 43.4 | 82.5 | 194 |
| | 50 | 52.3 | 45.1 | 86.3 | 184 |
| | 100 | 48.5 | 37.7 | 77.6 | 175 |
| 1989 | 0 | 54.9 | 54.7 | 99.7 | 186 |
| | 50 | 49.7 | 49.1 | 98.6 | 172 |
| | 100 | 50.8 | 50.8 | 100.0 | 174 |
| 1990 | 0 | 54.5 | 36.8 | 67.6 | 157 |
| | 50 | 49.7 | 38.9 | 78.3 | 171 |
| | 100 | 51.7 | 34.1 | 65.9 | 178 |

表-5 クラストを形成しやすい細粒質灰色低地土の客土に対する軽石流堆積物の混合がクラスト形成と出芽に及ぼす影響

Table. 5 Influences on soil crust formation and emergence from mixing Fine Gray Lowland soil with Pfid

| | 軽石流堆積物の混合割合 (m^3m^{-3}) | | | | | |
|------------|---|------|------|------|------|----|
| | 0(原土) | 0.2 | 0.4 | 0.6 | 0.8 | |
| クラスト硬度(kg) | 1.21 | 0.28 | 0.03 | 0.00 | 0.00 | |
| クラスト厚さ(mm) | 12.6 | 7.0 | 3.8 | 0.4 | 0.0 | |
| 出芽率 (%) | アズキ | 50 | 67 | 70 | 100 | 96 |
| | 秋コムギ | 14 | 44 | 45 | 79 | 85 |
| | タマネギ | 0 | 25 | 25 | 90 | 96 |
| | ニンジン | 0 | 0 | 38 | 93 | 92 |

注：クラスト硬度は全プランタでの平均値である。

4. 細粒質褐色森林土における客土効果

1) 本土壌の作物生産上の特徴と問題点

本地域に分布する非火山性の台地土には細粒質なものが多く、堅密で排水不良を呈する例が多く見られる。こうした土壌では粘着性も一般に大きい。客土によってこの土壌物理性を改善できれば、根群域の拡大や湿害の軽減が期待できる。また、特に根菜類の作付時に作業効率の向上や土壌付着の軽減も期待される。

2) 試験方法

端野町協和の細粒質褐色森林土の圃場に、1988年4月

表-6 細粒質褐色森林土試験圃の土壌断面

Table 6 Soil profile at the experiment field of Fine Brown Forest soil

地形：河成段丘。母材：非固結堆積岩および表層部は火山灰混入。

第1層：0～20cm。層界判然。Ap層。腐植富む。土性CL。小歪角礫含む。土色7.5YR2/2。硬度13。

第2層：20～38cm。層界明瞭。AB層。腐植含む。土性CL。小歪角礫含む。土色7.5YR2/3。硬度22。

第3層：38～50+cm。IIBC層。腐植なし。土性L。石礫なし。土色7.5YR4/4。硬度21。

表-7 細粒質褐色森林土試験区における土壌理化学性

Table 7 Changes in soil physical and chemical properties at the experiment field of Fine Brown Forest soil

| 客土量 (mm) | 粒径組成 (kg kg ⁻¹) | | | | 土性 | 三相分布 ¹⁾ | | | 容積重 (Mg m ⁻³) | 孔隙量 ²⁾ | | 飽和透水 係数 ³⁾ | 通気係数 ⁴⁾ 液性限界 | | |
|-------------|-----------------------------|---------------------------|---------------------------|--------------------------|--|------------------------------|-------|------------------------|------------------------------|-------------------|-------|--------------------------|----------------------------|-------|--|
| | 粗砂 | 細砂 | シルト | 粘土 | | 固相 | 液相 | 気相 | | 易 | 難 | | | | |
| 0 | 0.206 | 0.328 | 0.267 | 0.199 | CL | 0.420 | 0.384 | 0.194 | 1.09 | 0.052 | 0.126 | 1.1×10 ⁻⁵ | 1.7×10 ⁻⁶ | 0.272 | |
| 36 | 0.167 | 0.399 | 0.257 | 0.177 | CL | 0.415 | 0.413 | 0.172 | 1.10 | 0.062 | 0.115 | 2.3×10 ⁻⁶ | 3.0×10 ⁻⁷ | 0.287 | |
| 70 | 0.164 | 0.414 | 0.276 | 0.146 | L | 0.434 | 0.390 | 0.176 | 1.01 | 0.089 | 0.101 | 1.1×10 ⁻⁵ | 1.3×10 ⁻⁶ | 0.349 | |
| 100 | 0.207 | 0.430 | 0.251 | 0.112 | L | 0.361 | 0.428 | 0.211 | 0.96 | 0.120 | 0.121 | 4.1×10 ⁻⁶ | 1.6×10 ⁻⁶ | 0.371 | |
| | pH | 有効態 (H ₂ O) | リン酸 吸収係数 ⁵⁾ | リン酸 CEC ⁶⁾ | 交換性塩基 ⁷⁾ (cgkg ⁻¹) | 腐植 可給態 N ⁷⁾ | | | | | | | | | |
| | | | | | K ₂ O | CaO | MgO | (kg kg ⁻¹) | | | | | | | |
| 0 | 5.9 | 428 | 720 | 23.0 | 64 | 299 | 32 | 0.053 | 54 | | | | | | |
| 36 | 6.0 | 445 | 350 | 21.0 | 63 | 305 | 41 | 0.045 | 47 | | | | | | |
| 70 | 5.9 | 477 | 560 | 14.6 | 60 | 296 | 41 | 0.035 | 46 | | | | | | |
| 100 | 6.1 | 471 | 460 | 9.4 | 60 | 245 | 35 | 0.024 | 38 | | | | | | |

¹⁾-6.23kPa(pF1.8)における値(m³m⁻³) ²⁾(m³m⁻³)、易：-6.23kPa(pF1.8)～-100kPa(pF3.0)、難：-100kPa(pF3.0)～-1.57MPa(pF4.2)³⁾(m s⁻¹) ⁴⁾含水比(kgkg⁻¹) ⁵⁾Truog法によるP₂O₅(mgkg⁻¹) ⁶⁾(cmol(+)kg⁻¹) ⁷⁾オートクレープ法による熱水抽出性N(mgkg⁻¹)物理性測定用試料は1988年10月、化学性測定用は1989年9月に採取。ただし、有効態リン酸、可給態N用の試料は1990年10月採取。

に客土量36mm, 70mm, 100mmの試験区を設置した。試験区は各処理とも1000m²である。施工並びに作土の調査・分析は細粒質褐色低地土での試験と同様に行った。

客土施工後、年毎にバレイショ、秋コムギ、テンサイの順で作付けを行ったが、収量調査はバレイショ、テンサイについて行った。

収穫後のバレイショの外観色に対する客土の影響をみるため、ミノルタ色彩差計CR-200を用いてL* a* b* 表色系による外観色の測定を行った。サンプルは各客土処理区から収穫後のLサイズ(120g～190g)の上いも15個を風乾後、軽く手で土を払い、1個あたり5ヶ所を測定した。

3) 試験結果

試験区の土壌特性を表-7に示した。細粒質褐色低地土試験区と同様に細砂割合が増加し、粘土割合が低下した。70mm以上の客土区で0.1Mg m⁻³程度の容積重低下が見られ、易有効水孔隙量が客土量に伴って増加した。三相分布、難有効水孔隙量、および飽和透水係数、通気係数には大きな変化が認められなかった。また客土によって土壌の液性限界の含水比が明らかに上昇し、一軸圧縮試験による粘着力は、原土区でも13kPa(含水比0.19

kg kg⁻¹時)と細粒質褐色低地土試験区よりかなり小さかったが、同じ水分条件では70mm以上の客土により低下した(図-1)。有効態リン酸含量は客土によって僅かに増加した。CEC、腐植含量、可給態Nは低下する傾向であった。pH(H₂O)、交換性塩基含量には明らかな変化の傾向が認められなかった。

表-8に作物収量調査結果を示した。客土初年目のバレイショの上いも収量は、客土によって増収したが、客土量70mmで頭打ちとなった。これは主に上いも数の増加によるもので、平均いも重は客土によって低下した。でんぷん価は70mm以上の客土区で原土区より低くなった。客土3年目のテンサイの根重は36mm区でやや落ちこんだが70mm, 100mm客土区で大きく増収した。しかしバレイショと同様に、内部品質で見ると根中糖分は1.0～1.5%低下し、不純物価もやや高くなったため、修正糖量は36mm, 70mm客土区で原土区を下回った。100mm区では原土区並の修正糖量であった。

バレイショ外観色の変化(表-9)は、明るさ(L*)値が高まり、赤み値(a*)、黄色み(b*)値、彩度(C*)値が低下する傾向が示された。原土区を基準にした場合、総合的な色差は70mm客土区でもっとも大き

表-8 細粒質褐色森林土試験区におけるバレイショおよびテンサイの収量・品質

Table 8 Yield of potatoes and sugar beet cultivated at the soil dressing experiment field of Fine Brown Forest soil

| 試験年度 | 客土量 (mm) | 塊茎総収量 (Mg ha ⁻¹) | 上いも収量 (kg/10a) | 株当たり上いも数 | 平均上いも重 (g) | 澱粉価 (%) | | |
|------|----------|------------------------------|----------------|----------|------------|---------|-----------------------------|------|
| 1988 | 0 | 46.4 | 45.6 | 9.1 | 140 | 14.0 | | |
| | 36 | 49.2 | 48.6 | 10.5 | 130 | 14.4 | | |
| | 70 | 55.8 | 54.1 | 11.6 | 131 | 12.7 | | |
| | 100 | 51.7 | 51.0 | 11.0 | 130 | 12.8 | | |
| 試験年度 | 客土量 (mm) | 茎葉重 (Mg ha ⁻¹) | 根重 | T/R | 根中糖分 (%) | 不純物 (%) | 修正糖量 (Mg ha ⁻¹) | |
| 1990 | 0 | 68.4 | 66.5 | 1.03 | 16.60 | 11.1 | 4.01 | 9.73 |
| | 36 | 69.7 | 63.5 | 1.09 | 16.53 | 10.5 | 4.14 | 9.22 |
| | 70 | 83.2 | 69.7 | 1.12 | 15.45 | 11.2 | 5.60 | 9.10 |
| | 100 | 79.4 | 76.1 | 0.93 | 15.28 | 11.6 | 5.60 | 9.75 |

表-9 細粒質褐色森林土試験区における客土によるバレイショ外観色の変化

Table 9 Improvement of outer color of potato due to soil dressing at the experiment field of Fine Brown Forest soil

| 客土量 (mm) | L*a*b*表色系による測定値 | | | | 色差 ΔEa*b* |
|----------|-----------------|------|------|------|-----------|
| | L* | a* | b* | C* | |
| 0 | 46.3 | 3.78 | 17.0 | 17.4 | 基準 |
| 36 | 48.0 | 3.54 | 16.6 | 16.9 | 1.75 |
| 70 | 48.4 | 3.39 | 15.4 | 15.8 | 2.69 |
| 100 | 47.4 | 3.53 | 15.6 | 16.0 | 1.85 |

L*：明度 a*：赤み b*：黄色み C*：彩度
 ΔEa*b*：上記の色成分の違いから計算した総合的な色の差
 0.5～1.5だと「わずかに異なる」
 1.5～3.0だと「感知し得るほど異なる」
 3.0～6.0だと「著しく異なる」

く、多少明るく色の薄まる方向へと「感知し得る程に」変化した。

4) 考察

70mm, 100mm客土区でバレイショ、テンサイの収量が増収したことは、内部品質の低下やT/R比の増大を考え併せると、土壌の窒素供給能が拡大した影響ではないかと思われた。かつて千葉(1951)、森(1959)は北海道において重粘土圃場に対する海砂客土を行い、作物収量を向上させたことを報告している。この中で客土により土壌の物理的環境の改善のみならず、pHの上昇適正化、硝酸化威力の増大による腐植の分解促進といった客土の効果を論じている。本土壌でも易分解性の有機物由来の窒素が客土によって多く放出されたことが想像できる。原土区、客土区ともにpHや有効態リン酸、交換

性塩基含量は土壌診断基準値(北海道農業試験会議, 1991)の下限値を上回っており、化学的肥沃度が必ずしも低下していなかったことが予想されるため、客土を行っても生産性は維持されたと考えられよう。しかし先に記したように、土壌物理性の分析値は変化が小さく、根の生育環境改善効果とその影響は明らかにはできなかった。

岩間(1974)は、不攪乱土壌の一軸圧縮強度は、碎土率の指標として見ることも可能であり、重粘性土壌では碎土好適となる少水分側の限界が400kPaであったとしている。我々の行った試験では、原土区でもこの限界値よりも遙かに小さな値を示しており、もともと乾燥時の碎土には問題が少なかったことが伺われる。しかしバレイショの外観色が客土によって白っぽく変化したことは、バレイショ肌に対する土壌粒子の付着量減少の影響と考えられた。

5. 表層腐植質黒ボク土における客土効果

1) 本土壌の作物生産上の特徴と問題点

本地域内の訓子府町、女満別町、網走市の台地の一部、および東藻琴村、清里町の低位段丘の一部には、腐植の多い黒ボク土が分布する。特に湿性の場合(表層または厚層多腐植質多湿黒ボク土)は古くから「ろ土」と呼ばれ、粗孔隙量が少なく通気水性に乏しいため、多雨時には過湿になり易いという生産阻害要因を抱えていた。この土壌に対して軽石流堆積物を客土することにより、粗孔隙量の増加と地温上昇が図られ、特に根菜類の収量増加が得られることが普及技術として過去に示されている(北海道立北見農試(1981)：ろ土に対する屈斜路軽石流堆積物の客土効果, 昭和55年度北海道農業試験会議指導参考事項)。ここで客土量は36～42mmが適当とされた。しかし近年は腐植含量や、腐植層の厚さや量がろ土より少ない表層腐植質黒ボク土でも、より多量の客土が実施され始めている。こうした土壌では一般的に物理的な障害性は少ないとされているが、例えばこの地域の他の土壌と比較して軽しようで腐植が多いため、春季の風害を受け易いことや、収穫したバレイショが「真っ黒で埃っぽい」との市場での評価で生産物価格にハンディを負う場合が生ずる、などの問題点も抱えている。

2) 試験方法

訓子府町北栄の表層腐植質黒ボク土(下層台地)の圃場に、客土量36mm, 70mm, 100mmの試験区を設置した。処理区面積は1区あたり506m²で、施工並びに作土の調査・分析は細粒質褐色低地土での試験と同様に行った。試験圃の土壌断面を表-10に示した。

客土施工後、バレイショを2年間連作し、その後秋コムギの作付けがなされた。栽培管理は農家慣行で行われ、

表-10 表層腐植質黒ボク土試験圃の土壌断面

Table10 Soil profile at the experiment field of Kuroboku soil

| |
|--|
| 地形：洪積台地。母材：非固結火成岩(表層は完新世の降下火山灰、下層は軽石流堆積物)。 |
| 第1層：0~26cm。層界判然。A _{p11} 層。腐植富む。土性L。石礫なし。土色10YR2/1。硬度14。 |
| 第2層：26~46cm。A _{p12} 層。腐植富む。土性L。石礫なし。土色10YR2/1。硬度16。 |
| 第3層：46~70+cm。IIBC層。腐植なし。土性SL。小軽石礫含む。土色10YR7/3。硬度17。 |

表-11 表層腐植質黒ボク土試験区における土壌理化学性

Table11 Changes in soil physical and chemical properties at the experiment field of Kuroboku soil

| 客土量 (mm) | 粒径組成 (kg kg ⁻¹) | | | | 土性 | 三相分布 ¹⁾ | | | 容積重 (Mg m ⁻³) | 孔隙量 ²⁾ | | 飽和透水 係数 ³⁾ |
|-------------|-----------------------------|--------------------------|-------------|----------------------|----|----------------------------|-------|-------|------------------------------|-------------------|-----------------|--------------------------|
| | 粗砂 | 細砂 | シルト | 粘土 | | 固相 | 液相 | 気相 | | 易 | 難 | |
| 0 | 0.184 | 0.295 | 0.340 | 0.180 | CL | 0.275 | 0.469 | 0.229 | 0.69 | 0.092 | 0.139 | 1.4×10 ⁻⁶ |
| 36 | 0.209 | 0.322 | 0.300 | 0.169 | CL | 0.316 | 0.492 | 0.192 | 0.76 | 0.097 | 0.150 | 1.9×10 ⁻⁶ |
| 70 | 0.183 | 0.283 | 0.320 | 0.214 | CL | 0.334 | 0.489 | 0.178 | 0.81 | 0.091 | 0.144 | 2.8×10 ⁻⁶ |
| 100 | 0.290 | 0.322 | 0.251 | 0.136 | L | 0.364 | 0.502 | 0.134 | 0.87 | 0.101 | 0.148 | 4.7×10 ⁻⁶ |
| | pH (H ₂ O) | 有効態 リン酸 ⁴⁾ | リン酸 吸収係数 | CEC ⁵⁾ | | 交換性塩基(cgkg ⁻¹) | | | 腐植 | 可給態 | | |
| | | | | | | K ₂ O | CaO | MgO | (kg kg ⁻¹) | | N ⁷⁾ | |
| 0 | 5.5 | 166 | 2080 | 34.5 | | 24 | 497 | 31 | — | | 98 | |
| 36 | 5.7 | 198 | 1180 | 22.0 | | 24 | 327 | 27 | — | | 79 | |
| 70 | 5.6 | — | 1430 | 23.3 | | 32 | 283 | 20 | — | | 66 | |
| 100 | 4.6 | 287 | 920 | 22.1 | | 61 | 333 | 22 | — | | 55 | |

¹⁾-6.23kPa(pF1.8)における値(m³m⁻³) ²⁾(m³m⁻³) 易：-6.23kPa(pF1.8)~-100kPa(pF3.0)、難：-100kPa(pF3.0)~-1.57MPa(pF4.2) ³⁾(m s⁻¹) ⁴⁾含水比(kgkg⁻¹) ⁵⁾Truog法によるP₂O₅(mgkg⁻¹) ⁶⁾(cmol(+))kg⁻¹ ⁷⁾オートクレーブ法による熱水抽出性N(mgkg⁻¹)

物理性測定用試料は1990年10月、化学性測定用は1988年5月に採取。ただし、有効態リン酸、可給態N用の試料は1988年10月採取。

それぞれの年次に収穫調査を行った。収穫後のバレイショの外観色の測定を、細粒質褐色森林土での試験と同様に行った。

3) 試験結果

試験区の作土の土壌分析結果を表-11に示した。客土によって70mm客土区を除き土性がやや粗くなる傾向であったが、上記2土壌と異なり、粗砂割合が高まり、粘土とシルトが減少した。同時に固相率、容積重も増加し、その分、気相率(=粗孔隙量)は低下した。易有効水孔隙量には変化が見られなかった。飽和透水係数は僅かに大きくなった。リン酸吸収係数、CEC、可給態N(前出)濃度、交換性塩基(カリを除く)含量はいずれも客土によって低下する傾向にあった。有効態リン酸と交換性カリは大きく増加した。

客土初年目と2年目のバレイショの上いも収量は、いずれも表-12に示すように客土によって減収した。でんぷん価は向上した。3年目の秋コムギの子実収量もバレイショと同様に、客土量に伴って減収する傾向であった。

バレイショの外観色は、客土によって著しく変化した。特に明度(L*)が大きく上昇し、赤み(a*)値が低下して彩度の低い外観色となった(表-13)。

表-12 表層腐植質黒ボク土試験区におけるバレイショおよび秋コムギの収量・品質

Table12 Yield of potatoes and winter wheat cultivated at the soil dressing experiment field of Kuroboku soil

| 試験 年度 | 客土量 (mm) | 塊茎 | | 上いも | | 株当たり 上いも数 | 平均 いも重 | 平均 澱粉価 (%) |
|----------|-------------|-------------------------------|------|--|------|--------------|-----------|------------------|
| | | 総収量 (Mg ha ⁻¹) | 収量 | 量 | (g) | | | |
| 1988 | 0 | 46.6 | 45.3 | 11.7 | 111 | 12.9 | | |
| | 36 | 45.2 | 44.3 | 10.9 | 116 | 13.4 | | |
| | 70 | 40.8 | 39.3 | 11.8 | 95 | 13.8 | | |
| | 100 | 42.2 | 41.8 | 12.2 | 98 | 14.3 | | |
| 1989 | 0 | 59.6 | 44.8 | 14.0 | 91 | 13.8 | | |
| | 36 | 51.1 | 43.0 | 13.3 | 92 | 14.6 | | |
| | 70 | 48.9 | 37.7 | 11.6 | 92 | 15.4 | | |
| | 100 | 55.6 | 37.5 | 11.6 | 92 | 14.4 | | |
| 試験 年度 | 客土量 (mm) | 子実 ¹⁾ 収量 | | 茎葉重 ¹⁾ 一粒重 ¹⁾ | | 稈長 | | |
| | | (Mg ha ⁻¹) | (mg) | (cm) | | | | |
| 1990 | 0 | 5.43 | 8.44 | 37.9 | 88.9 | | | |
| | 36 | 5.29 | 8.05 | 38.2 | 87.7 | | | |
| | 70 | 5.06 | 8.32 | 39.2 | 84.7 | | | |
| | 100 | 4.56 | 7.29 | 40.2 | 83.4 | | | |

¹⁾風乾重

表-13 表層腐植質黒ボク土試験区における客土によるパレシヨ外觀色の変化

Table13 Improvement of outer color of potato due to soil dressing at the experiment field of Kuroboku soil

| 客土量 (mm) | L*a*b*表色系による測定値 | | | | 色差 $\Delta E_{a^*b^*}$ |
|-------------|-----------------|------|------|------|---------------------------|
| | L* | a* | b* | C* | |
| 0 | 52.4 | 4.25 | 19.0 | 19.5 | 基準 |
| 36 | 54.5 | 4.05 | 18.8 | 19.3 | 2.11 |
| 70 | 56.8 | 3.68 | 18.7 | 19.0 | 4.48 |
| 100 | 59.6 | 3.69 | 19.6 | 19.9 | 7.25 |

(各指標値の意味は、表-9と同じ)

4) 考察

分析値から明らかになった、客土による土壌物理性の改善メリットは、土壌が重くなった程度であった。他の2ヶ所の細粒質土壌試験区と異なり、本土壌では原土の物理性に生産阻害要因となるような問題点を抱えていないことによる。さらに、リン酸とカリを別とすると、土壌化学性も希釈効果により低下している。このように、客土がむしろ土壌の生産力を低下させる方向に影響していることは、パレシヨと秋コムギの収量が客土量に伴って共に減少したことから明らかであると思われた。特に秋コムギの稈長が短くなっていることから、分けつ期以前の春季に客土区の窒素供給力が低下していたことが推測される。しかし千粒重がやや増えていたことから、7月以降の地温上昇期には客土区で土壌からの窒素供給が多くなった可能性は捨てきれないであろう。

本土壌に対する客土効果の一つとして指摘されているパレシヨの外觀色の変化は顕著であった。軽石流堆積物の大部分を占める軽石質の砂は白色だが粘着力がほとんど無い。従って客土によって原土の土壌粒子が変わって軽石流堆積物が付着することはありえないと考えられる。むしろパレシヨ外觀色の黒さがなくなったことから見て、腐植の付着量が減ったと考えるべきであろうか。この点に関連して、藍(1968)は、犁体への火山灰土の付着性は、耕起時の通常の水分条件では腐植が少ないほど付着量が多いという逆の傾向を整理している。すなわち単に腐植濃度が低下しただけの影響と考えるのは早計であろう。原土区のパレシヨは風乾後も黒さが落ち難いことや、土壌のCECが客土区で低下していることから、前田(1980)が指摘するように、土壌粒子の荷電特性が変化したことによる影響も考えられる。

6. 総合考察

畑地において従来行われてきた客土は、作土の粘土含量の適正化や、多量の礫による耕土深の薄さを改善する

表-14 北海道で策定された土壌別の望ましい客土量

Table14 Desirable volume of Pfld for dressing determined by Hokkaido Agricultural Experiment Commission

| 原土 | 原土の特性 | 適正客土量 (mm) |
|-----------|---------------|---------------|
| 細粒質低地土 | 物理性、 作業性不良 | 50~100 |
| 細粒質褐色森林土 | 排水不良 粘着性強い | 36~70 |
| 表層腐植質黒ボク土 | 腐植に富み 軽しよう | 36~70 |

など、原土の持つ著しい作物生産阻害要因を、他の土壌を入れることによって改善しようというものであり、その結果は収量性向上という形で表われた。近年、客土の目的が多様化し、機械化省力化対応、品質コントロール、環境調和型農業への対応というように変化してきている。このため、様々な客入土と原土(被客土圃場の土)を組み合わせた事例が各地で見られるようになったが、作物生産力(収量性)を低下させるような方向に客土が効いている場合も生じている。しかし軽石流堆積物客土についてみると、農家はむしろ収量にこだわらずに総合的に客土をとらえているように思われる。本試験の結果でも、易耕性改善や土壌の付着性が低下するといった効果を強調してきた。これに対して北海道では普及技術の策定という立場から、収量性の変化を勘案して一般的な目標客土量が36~100mmの範囲で土壌毎に表-14のように設定された(北海道立北見農試・同中央農試(1990):畑土壌に対する軽石流堆積物の客土効果,平成2年度北海道農業試験会議指導参考事項)。しかし、作業性や土壌物理性などの特定の土壌特性を改善することを目標とする場合は、客土量を弾力的に設定することが考えられないだろうか。例えば黒ボク土におけるパレシヨの外觀色は、100mm客土区の方がより改善効果は大きい。また、細粒質褐色森林土でも細粒質低地土と同様に100mm客土区がより大きな付着性低下を示している。事実、事業実施にあたっては、農家の意向に沿ってほとんどが100mmで行われていることから、むしろ事業における実施基準の弾力化や普及技術の目的(効果判定基準)の多様化といった面が、今後重要になってくるものと思われる。農家の経営面からは、投資の効果を充分考えて客土を行うのが重要と考えられる。なお、客土施工費は客入土の運搬距離によって変化するが、一例として、事業補助率80%で農家負担がhaあたり30万円程度で行われている。

客土事業を実施した地域の農家に対して、北海道網走

支庁農業振興部ではアンケートを実施した。その結果を表-15に示した。アンケート実施地区は北見市周辺で、泥炭土や細粒質灰色台地土（いわゆる重粘土）は含まれていない。この結果を見ると、回答のあった66戸の農家全体が客土効果がありとしている。しかしその内容を見ると、収量増加に効果なしとする農家が20%以上ある反面、むしろ品質向上や作業効率向上に効果を認めている農家が多かったのが特徴的である。排水性については評価が別れ、保水性はほぼ全員が良くなったとしている。従って土壌物理性に何らかの問題を抱える圃場を持った農家では、積極的に客土を評価していると思われた。同時に作物収量が必ずしも増収しないことなど、試験で得られた結果とうまく整合しており、客土の効果が農家にも比較的良く理解されていると思われた。

1993年度の冷湿害では作物の被害が著しかったことは記憶に新しいが、本客土を実施した農家から、特に湿害に弱いてん菜などで客土圃場の被害が大きかったという指摘があった。試験結果に示したように、客土によって土壌の保水力は一般に向上している。しかし下層が排水不良であると、多雨時に重力水が行き場を失い作土中に保持されてしまう。このため根が水浸し状態となるためではないかと推察された。このことは、土層の排水を同時に改良しなければ、客土による保水性の改善効果が逆に制限要因となったことになる。客土と併行して下層土を含めた土層全体の改良によって、軽石流堆積物客土の効果を高めることになるだろう。

7. おわりに

今回の試験によって軽石流堆積物の客土による現象面での効果はある程度明らかにされた。しかし個々の結果については未だその機作がはっきりしないことが多く、さらに踏み込んだ試験を行う必要があると感じられた。

例えば残された重要な問題として、客土効果の経年的変化が挙げられる。客土の攪拌混和の状況、土壌窒素の無機化、有機物の消長、微生物性の変化など、客土後の時間が作物生産性に与える影響は小さくないと思われるが、農家圃場で試験を継続するのは非常に困難があり、今後の検討が望まれる。作物収量性の変化の要因を明らかにし、化学性の維持回復による収量低下対策についても検討する必要があるだろう。

謝辞 本試験の実施に当たって、試験圃場を提供いただいた農家の方、並びに試験実施に協力いただいた地元各市町の農業関係機関、北海道各行政部局の方々には心より感謝いたします。

引用文献

- 藍 房和 (1968) : 火山灰土壌の耕うんの諸問題, 土壌の物理性, 18 : 27-32.
 岩間秀矩・石井和夫 (1978) : 重粘性土壌に対する砂客土の易耕性改善効果, 土壌の物理性, 30 : 7-14.
 千葉 登 (1950) : 重粘地に於ける砂客土の効果, 北農, 17 : 169-172.
 土の理工学性実験ガイド編集委員会編 (1982) : 土の理工学性実験ガイド, p150-153, 農業土木学会, 東京.
 土壌物理性測定法委員会編 (1982) : 土壌物理性測定法, 養賢堂, 東京.
 土壌標準分析・測定法委員会編 (1986) : 土壌標準分析・測定法, 博友社, 東京.
 日本の地質「北海道地方」編集委員会編 (1990) : 日本の地質1北海道地方, p173-176, 共立出版, 東京.
 農業機械学会編 (1977) : 農業機械・施設試験方法便覧 (I), p24-25, 農業機械学会, 東京.
 北海道農業試験会議 (1991) : 土壌および作物栄養の診

表-15 客土効果に関するアンケート結果
 (調査対象農家数102戸、回収率65%、各数値は全回答者に対する割合%)

Table15 Result of the questionnaire about soil dressing effect answered by farmers

| | 効果あり | 効果なし | やや増加 | かなり増加 | おおいに増加 | 無回答 | 効果あり(増加)の内訳 (20%以上の項目のみ。重複回答あり) |
|---------|------|------|------|-------|--------|-----|------------------------------------|
| 客土の総合効果 | 100 | 0 | — | — | — | — | |
| 増収効果 | — | 21 | 49 | 21 | 6 | 3 | |
| 品質向上効果 | — | 12 | 45 | 29 | 9 | 5 | 規格保留 45、形状 42、サイズ 27、色 24 |
| 農作業効率向上 | — | 0 | 24 | 44 | 32 | 0 | 砕土86、収穫74、移植59、耕起56、播種48、培土42 |
| 圃場排水性 | — | 32 | 30 | 21 | 15 | 2 | 適期作業 35、春耕早期 21、根腐防止 20 |
| 土壌保水性 | — | 3 | 42 | 46 | 6 | 3 | 干ばつ軽減 68、移植 29、品質向上 26 |

断基準—改訂版—.

北海道立中央農試・北海道農政部農業改良課（1992）：

土壤および作物栄養の診断基準—分析法（改訂版）—.

前田 隆（1980）：土壤の理工学性に関連する物理化学的
成果の現状と今後の問題，土壤の物理性，41：36—
54.

森 哲郎・深井 強（1959）：北海道における重粘性土
壤の研究，北農試彙報，74：30—41.

（受稿年月日 1994年5月13日）



解 説

東海・中部地域における土層改良
—超深耕を中心として—

吉野 昭 夫

Subsoil Improvement by Ultra-Deep Tillage
in the Central Part of Main Land, Japan.

Akio Yoshino

Hokkaido National Agricultural Experiment Station

(Soil Phys. Cond. Plant Growth, Jpn, 70, 67-72, 1994)

1. はじめに

土層改良の目的は、各種土壌の生産阻害要因を改善して、作物にとって好適な土壌条件を策出することである。真弓(1986)は、土壌の生産阻害別要因を①表土の理化学的性質に阻害要因、②下層の土壌断面に物理的・化学的に劣悪な土層が介在、③土地全体が過湿または過乾、の場合として大別している。土層改良の対象としては、②と③が主たるものであろうし、その方法として広く普及しているのは深耕である。深耕の種類としては(真弓1986)、①混層耕法、②反転客土耕法、③改良反転客土耕法、④耕盤破碎耕法、⑤心土破碎耕法、⑥深耕耕法(耕起深が40cmまで)、⑦超深耕耕法(40cm以上の耕起深)等々である。また、用いられている機械は、耕耘的機械として、①混層耕プラウ(ボトム型)、②反転客土耕プラウ(ディスク型)、③改良反転客土耕プラウ(三段混層耕プラウ)、④深耕プラウ、⑤深耕ロータリ、⑥深耕スクリーベータ、⑦深耕トレンチャー、⑧心土耕プラウ、等々、さらに、土木的機械として、①ブルドーザ、②レーキドーザ、③バックホー(ユンボ)等々が使用されたい。

ここでは、東海・中部地域における土層改良の実施例の概要及び愛知県渥美半島を中心に普及している超深耕について紹介する。

2. 東海・中部地域における土層改良の実施例

東海・中部地域における営農上の特徴は、畑作・野菜畑・樹園地が多く、また、これらの生産基盤となっている土壌は、鈳質土壌の比率が高いということである。そこで、先般、豊橋で開催された「鈳質土壌の改良と高品質作物生産」に関するシンポジウム資料(農研センター北海道農業試験場

1993)により、土層改良耕法とその効果に関する幾つかの事例を以下に紹介すと次の通りである。

1) 中粗粒黄色土造成園における二十世紀ナシの果肉硬化症発生防止対策(山口農試環境部)。溝状深耕・放射状深耕と暗渠、炭カル・ようりん、牛糞オガクズ堆肥を組み合わせた総合改善区は、根群分布が広がり、特に細根数が増加した。そのため、石ナシ果(水分が少なく石のように硬いナシ果)の発生が減少した。

2) 細粒黄色土を対象に露地トマトの品質に及ぼす深耕(ユンボで60-80cm耕起)、有機物、無機改良資材(三重農技セ環境部)。無深耕区では、すじ腐れ、不良果及び裂果が多かった。また、アスパラガスを供試作物として、隔畦に畝間部分を27cm、深さ50cmにトレンチャー深耕を実施した結果、有機物深層混合により根系が深く分布した。しかし、トレンチャー末端を圃場外排水路に連結させないと、トレンチャー内に雨水が溜まる。このことは、大変重要な事実で、深耕を施工したときは必ず水はけの水みちをつけることが大切である。

3) 細粒黄色土造成圃の水収支特性(岡山農試化学部)。地表下50cmの土層について、土壌の過湿時を避けて盛土により均平化造成を行ったところ、粘土含量40~50%の重粘土にもかかわらず排水性は極めて良好となった。このことは、過湿時に土壌をねり返したり、重機器で圧密、不透水層を形成させてしまうと、その後いくら有機物の施用、あるいは暗渠排水等を施工しても、その効果は見られないことを示唆している。即ち、造成時(施工時)における圃場の水分状態が、効果発現の決定的な規制要因となる。

4) 黄色土地域の水田転換園を含むバラ園土壌の実態調査(静岡農試化学部)。黄色土地域は、土壌が締まり

キーワード: 土層改良、超深耕、畑土壌、透水性改善、根圏域拡大、

易いので、深耕と有機物の投入により物理性の改善を図るとともに、改植時に多量の有機物を混合して深耕し、下層土の透水性を良好にすることが必要であると結論された。

3. 超深耕の背景

鈣質土壌(赤黄色土)は、東海地方から関西、中国地方に広く分布し、四国、九州北部にもかなりの分布がみられる。全耕地面積は37万haを超え、南西日本では畑・樹園地面積の25%を占めている。鈣質土壌は、堆積様式がちなため固相率が大きく、かつ、強粘質であるため排水性が極めて悪い。さらに、腐植含量並びに保水力に乏しいなど黒ボク土や灰色低地土と比較して、理化学的特性は諸々の面で劣っている。中でも、下層土はち密・強粘質で土壌の物理性は極めて劣悪である。そのため、この下層土の不良な物理性が梅雨などの多雨期には作物の湿害を助長し、また、は種期並びに定植期においては、停滞水のため農作業機が降雨後なかなか畑に入れずに作業適期を逃す原因となっている。一方、下層土がち密であるため根群域が浅層、狭少化し易く、これに土壌自体の保水力の乏しさも加わって干ばつにかかり易くなる。そのため、作物の生産性を増大し、安定させるためには、下層土の改良、中でも、透水性を如何に向上させるかが決定的に重要である。

4. 超深耕に対する基本的な考え方

「超深耕」とは(吉野1992)、従来の深耕を一步進めた土層改良法で、深さ1mから時には数mを一挙に掘り起こして作土下の不透水層を破壊し、浅層地下水層につなげて排水性を確保する耕法である。このように、超深耕は、耕起深度を如何にするかということではなく下層土の透水性と作土層の土性を中心とする物理的条件を改善する耕法である。超深耕の工法と機械は、バックホー(ユンボ)、ブルドーザー、レーキドーザ及びオーガなどであるが、露地畑においては、耕起深度が調節できるなど作業性の面からバックホーが多く用いられている。

5. 超深耕畑の土壌理化学特性と作物の生育・収量

1) 土壌の物理性及び化学性

超深耕施工前、施工直後及び3ヶ年経過後の三相分布、硬度及び現場透水係数を図-1に示した。施工前には、20cm以下の層において固相率が60%以上、逆に気相率は20%以下と低く、硬度(山中式)も28mm以上と著しく高かった。また、現場透水係数も 10^{-5} のオーダーを示し、作土下の層は極めてち密であった。しかし、このような土壌でも超深耕を行うことによって、下層まで固相率の減少と気相率の増加が認められ、理想的な三相分布に近くなった。また、三相組成の変化にともなって、土壌硬度も下層まで10~15mmに低下し、施工前に比べて土壌構造が発達し(写真-1)著しく膨軟になった。さ

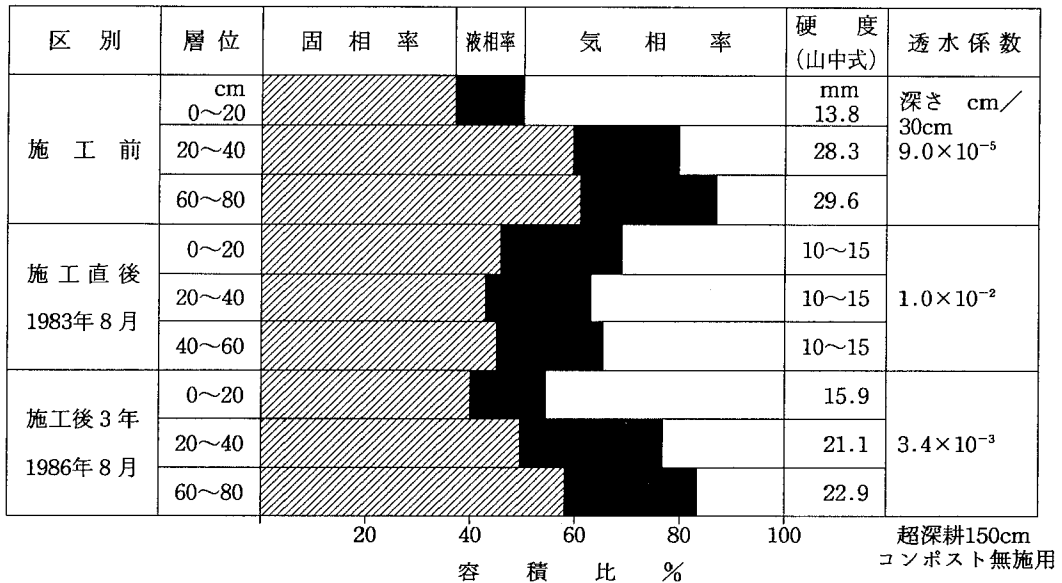


図-1 超深耕による三相分布、硬度及び透水係数の推移

80cm混層耕、作土の総合的
改良を施した畑土壌の断面

鈣質畑土壌の一般的断面

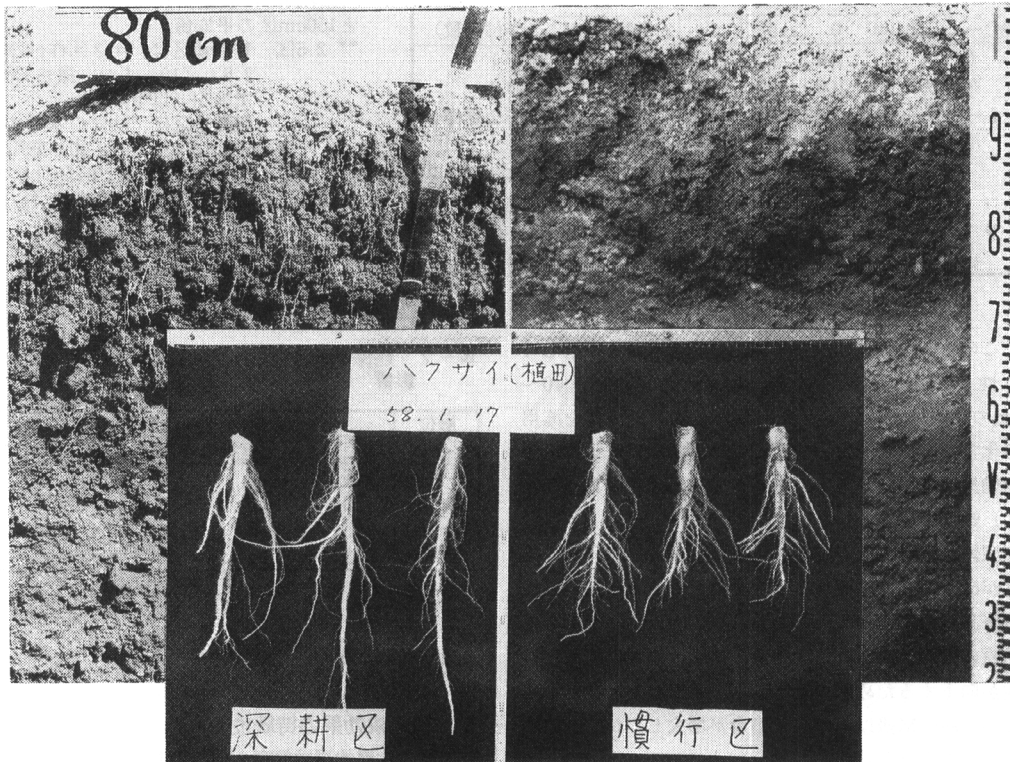


写真-1 超深耕による土壌構造の発達状況とハクサイの根の生育状況

らに、超深耕後3ケ年を経過しても、施工前に比べて作土下の固相率、硬度及び現場透水係数の各項目とも明らかに差異が認められ、改善効果が持続していることがうかがえた。

作土の化学性は、超深耕耕法の種類や土壌各層位の肥沃度レベルによって異なる。ブルドーザなどを利用したリッパー耕の場合は、あまり作土と下層土を攪乱しないため土壌の化学性は殆ど変化がない。しかし、当地域で多く行われているバックホーによる混層耕の場合は、掘削した深度までの土壌が全層に混合されるため、土壌の性質は施工前と異なったものとなる。概して作土の化学性は、化学的に劣悪な下層土が混和されるためほとんどの項目で悪化した。特に、有効態リン酸（トルオーグ P_2O_5 ）の低下が著しかった。

一方、渥美半島の東部地域は、下層に砂に富んだ渥美累層が存在している畑地帯がある。この地帯のは場では、作土の粘質土壌と作土下の砂質土壌を混合して作土の土性を改良するために超深耕を実施している地域もある。

2) 作物の収量

表-1は、超深耕畑と普通畑（無施工畑）に有機物資材の施用の有無を組み合わせる8作、延べ20作を3ケ年にわたって当地域の慣行施肥量で栽培し、その収量調査結果を示したものである。ダイコン、ハクサイ、スイートコーン及びソルガムの各作物においては超深耕を行うだけで増収効果があるのに対して、キャベツ、カリフラワー、ブロッコリー及びレタスにおいてはむしろ減収することがあった。全般的に、超深耕による増収が顕著な作物は、直播による栽培が主流で、比較的根群域が深い作物である。従って、超深耕によって下層土まで物理性が改善されて根群域が深くなったことが（写真-1）、これらの作物の増収につながったものと考察された。しかし、超深耕施工+有機物施用の両区は、ほとんどの作物で対照区（普通耕、コンポスト0t）の収量指数に比較して高くなった。有機物資材の施用方法としては、毎作1t/10a（乾物換算、以下同じ）の連用より、施工時に深さ40cm～50cmの中層位まで12t/10aを一挙に多量施用した方がほとんどの作物で増収する傾向にあっ

表-1 作物別にみた収量指数

| 作物 | 普通耕 | | 超深耕* | | | 備考 (作付回数) |
|---------|-----|-------|------|-------|-------|--------------|
| | 0 | 2.5** | 0 | 2.5** | 30*** | |
| ダイコン | 100 | 120 | 172 | 180 | 163 | 秋作1 |
| ハクサイ | 100 | 131 | 127 | 133 | 136 | 秋作2 |
| スイートコーン | 100 | 114 | 108 | 125 | 128 | 春作2 夏作2 |
| ソルガム | 100 | 198 | 176 | 242 | 285 | 夏作2 |
| レタス | 100 | 138 | 76 | 108 | 122 | 秋作3 春作2 |
| ブロッコリー | 100 | 110 | 92 | 99 | 115 | 春作2 |
| カリフラワー | 100 | 100 | 95 | 103 | 117 | 秋作2 |
| キャベツ | 100 | 102 | 95 | 98 | 107 | 秋作2 |

*超深耕区の収量指数は、超深耕100cm区と150cm区の平均値

** 2.5区 普通耕区は、年2回作付け前に2.5t/10aずつ、深さ20cmまで施用(以下同じ)
超深耕区は、初作のみ深さ40~50cmまで5.0t/10a施用。2作目以降、年2回作付け前に2.5t/10aずつ施用(以下同じ)

***30区 超深耕施工時にのみ30t/10aを深さ40~50cmまで施用(以下同じ)

た。このことから、超深耕の施工は不透水層を掘削して排水性の確保など物理性を改善すると同時に、40~50cmの中層位まで無機及び有機の土壌改良資材を施用して化学性の改良を行って、はじめて超深耕による土壌改良効果が期待できるものと考えるのが妥当であろう。

3) 野菜の品質

超深耕施行畑では下層まで土壌が膨軟で、通気性や排水性が改善された結果ダイコンでは尻ぼそりや曲がり等の規格品外の割合が少なくなり、肌つやが良くなるなど高品質のものが得られた。また、スイカにおいても、排水性が向上するため水のコントロールが容易となり価格の良いL級~M級以上の収量割合が増大し、かつ、糖度の向上もみられた。

4) 土壌病害、その他

超深耕が土壌病害の発生に及ぼす影響は、病害の種類により異なる。概して、土壌水分の高いことが発病に関係するような病気(ダイコンの横しま症など)及び病原菌が地表近くに存在すると発病し易い病気(疫病など)には超深耕の効果は高い。しかし、土壌の深いところでも棲息可能な病原菌による病気(ダイコン萎黄病など)には効果が低い。そのため、病害の蔓延を防ぐ意味から超深耕の施工に当たってはどのような病害が発生しているかを事前に調査し、あらかじめ土壌消毒などの対策を講じておく事が大切である。

超深耕は、雑草の防除に関してもその効果が大きい。バックホーによる超深耕を施工することによって、雑草の全発生数は超深耕前の約55%に減少するとともに、雑草の発生に関与する0~20cmの表層部分の種子密度の減少は著しく、超深耕施工前の2.5%となった。

次に、経費の問題であるが、超深耕実施事例227件の調査によると、その経費は10aあたり4万円台から18万円に及んでおる。このような価格差が生まれる理由として、耕起深度の深さによる違いに加えて機械の運搬経費などの関与が考えられる。およそバックホーで10aを

表-2 超深耕施工後の土壌硬度の変化とリッパー耕の影響

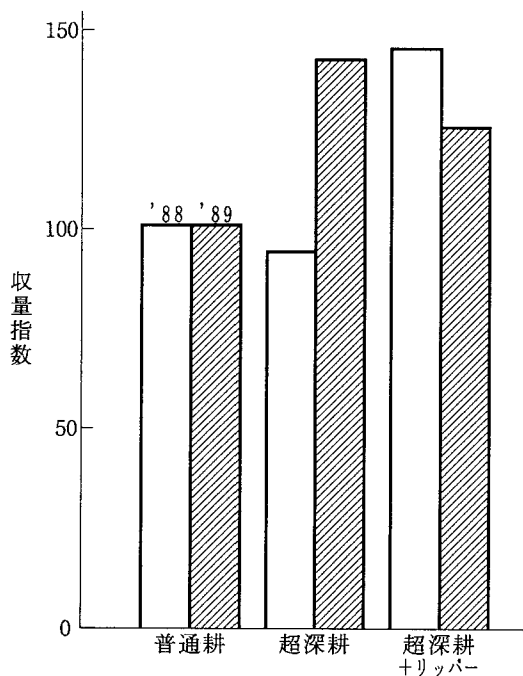
| 層位 (cm) | 超深耕施工後の変化 | | | |
|------------|-----------|------|-----|----------|
| | 施工前 | 施工直後 | 4年後 | 同左+リッパー耕 |
| 0~20 | 16 | 12 | 16 | 16 |
| 20~40 | 26 | 12 | 25 | 13 |
| 40~60 | 25 | 13 | 21 | 16 |
| 60~80 | 25 | 12 | 16 | 15 |

注 硬度測定：山中式、単位：mm

1m耕起した場合、10万円前後である。

6. 超深耕効果の持続性

土壌の物理的環境管理と作物の栽培ということでは、超深耕効果の持続性をいかに長く維持するかが最も大切になる。超深耕の効果は、前述したように多様にわたるが、超深耕を行う主目的は排水性の向上と根の伸張など下層土の透水性及び保水性の改善である。そこで、超深耕効果の持続性を排水性の改善効果に限定して考えると、排水性に対して効果の無くなる理由は作土層の下に耕盤が再び形成されるためである(表-2)。従来、耕盤が再形成されて効果がなくなると再度バックホーで掘削する方法がとられていた。しかし、この方法は再度超深耕を行うわけであるから経費や時間がかかり、さらに、下層に礫があるときは礫が混入したり、せっかく塾畑化した作土が再びその化学性を劣化させたりする。そこで、超深耕施工後4年目の圃場を供試し、レーキドーザによりリッパー耕を行って作土下の耕盤を破壊したところ土壌硬度、透水性等が改善され、十分その効果を回復することができた。スイカの収量は、果実肥大期に干ばつ傾向に見舞われた年(1988)には、普通耕及び超深耕区においては葉の萎れが見られ生育が抑制されたのに対して、超深耕+リッパー耕区は根群域が拡大されたことにより順調に生育し増収した(図-2)。



6月中旬～7月中旬までの降水量：1988年 68mm、
1989年 289mm（平成 222mm）

図-2 耕起方法とスイカの収量

7. 超深耕施工上の留意点

鈣質畑土壌において超深耕による効果が期待できる土壌条件は、下層に砂質の土壌があって混層耕によって土性が改善される地帯、あるいは地表下2mか3mの所に砂礫層の不圧浅層地下水層があると理想的である。しかし、超深耕の施工が不適当だと超深耕の特性を活かしきれず、思ったほど効果が挙げられなかったり、かえって収量の低下を招くことがある。そこで以下に超深耕施工上の留意点を示す。

1) 試掘りを行って不良土層の成因や特性、その出現位置と厚さ、地下水の高さ及び下層土の性状等を把握して耕起方法や耕起深度を決める。

2) 耕起方法としては、1m以内のところに排水不良の原因となる不透水層が存在する場合は、は場全面にわたって全層を混合する混層耕法を、1m以上深いところに不透水層が存在する場合は、不透水層を打破するようにバックホーのアームの可動範囲内(4m×5m)に1個(10a当たり約50個)の割合で逆円錐形のスポットを掘り、その後1m以内をは場全面にわたって混層する。

3) は場の一部に病気が発生しているときには、全面に拡散する恐れがあるので必ず防除をしてから行うこと

が必須条件である。

4) 混層耕の場合、作土の肥沃度が低下するので深耕ロータリーなどで中層位(40～50cm)まで有機・無機の土壌改良資材を施用する。

5) リッパー耕導入後は、透水性が良好となるためハクサイ等にはう素欠乏症が発生する地帯においては、BMようりんの施用が必要である。また、有機物の施用量が少ない場合は、コーティング肥料等緩効性の肥料を使用する。

引用文献

- 1) 真弓洋一(1986)：土層改良，農業技術体系，土壌施肥編5：畑243-246。
- 2) 農業研究センター(1993)：シンポジウム資料-鈣質土壌の改良と高品質作物生産，p104，農業研究センター，つくば。
- 3) 吉野昭夫(1992)：超深耕による畑土壌の改良，農業技術体系，土壌施肥編5：畑152/1/1-6

(受稿年月日 1994年4月26日)

資料

北海道における農地の造成と土層改良 —国営事業を中心として—

石 渡 輝 夫

Land Reclamation and Soil Modification in Hokkaido —Mainly about National Projects—

Teruo Ishiwata

Civil Engineering Research Institute, Hokkaido Development Bureau,

(Soil Phys. Cond, Plant Growth, Jpn, 70, 73-78, 1994)

1 はじめに

北海道の農業は江戸時代末期から始まり、その歴史は約130年に過ぎない。しかし、現在の耕地面積はおよそ120万haであり、全国の耕地面積の23%強を占めるに至っている。北海道ではその開拓が明治時代の屯田兵制度や第2次世界大戦後（以下、戦後という）の緊急開拓などの政策として実施されてきたことも、耕地面積が急速に増加した大きな要因と考えられる。

そこで、北海道における耕地面積の推移と戦後の農地造成に関する事業制度を概説するとともに、科学的でかつ機械による造成が本格的に行われるようになった農業基本法成立後の農地造成と主にそれに伴う土層改良について述べる。

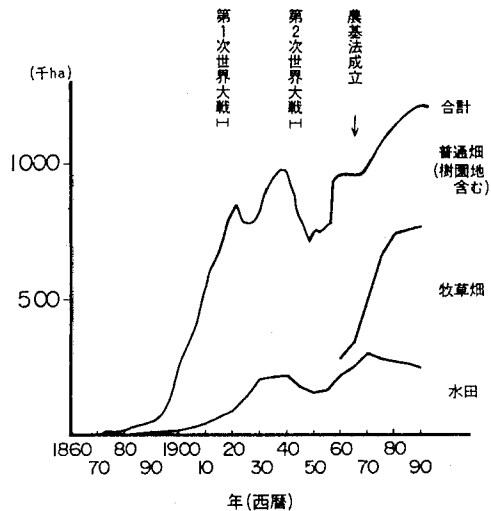
2 耕地面積の推移と戦後の農地造成に関する 国営事業制度の沿革

北海道における耕地面積の推移を図-1（飯村（1987））に示す。第1次および第2次の世界大戦の前後を除き、1990年まで北海道の耕地面積は増大しており、全国の耕地面積が1961年の609万haをピークに漸減してきたことと対照的である。戦後の耕地面積の増大は1950年代の急速な増加と、農業基本法成立後の着実な増加に分けられる。そこで、戦後の農地の造成に関する事業制度の沿革を示すと表-1のようにまとめられる。

北海道での戦後の公的な農地造成は1945年11月の「緊急開拓事業」に始まった。この5カ年計画は全国的規模で、155万haの開墾と10万haの干拓を行い、100万戸の帰農を促進し、食糧の増産と失業の解消を図るものであり、そのうち、70万haの開墾と20万戸の入植が北海道に割当られた。これらの開拓事業において、農地造成作

北海道開発局開発土木研究所（〒062 札幌市豊平区平岸1-3）

キーワード：農地造成，改良山成工，土層改良，暗渠排水，客土



（飯村（1987）を改変）

図-1 北海道における耕地面積の推移

Fig. 1 Acreage change of arable land in Hokkaido

業は人力や畜力によるため、開拓作業自体を入植者あるいは農家が請負うことが多かった。

その後、わが国の復興に伴い、社会情勢も大きく変化した。これに対応して、1961年に、農業基本法が制定され、開拓事業も抜本的に改革され、規模拡大や適地適作政策に基づき農家個人の畑地を造成する開拓パイロット事業が発足した。この事業では機械造成が本格的に採用され、受益者と事業の実施者が完全に分離して行われるようになった。また、それまでの開拓事業は行政主導であったが、開拓パイロット事業は受益者の申請に基づく

表一 国営による農地の開発事業制度の沿革

Table 1 Changes of national farmland reclamation projects

| 区分 | 西暦 | 農地造成の事業制度の沿革 注) | 一般農政 |
|-------|------|-------------------------------|---|
| I 期 | 1945 | 緊急開拓事業実施 | 食糧増産5ヶ年計画の制定 酪農振興法の制定 入植の抑制 農業基本法の制定 |
| | 1947 | 開拓事業実施 | |
| | 1949 | 開拓地選定基準制定 | |
| | 1953 | | |
| | 1954 | | |
| | 1957 | | |
| II 期 | 1961 | 開拓事業の廃止 | 開田の抑制, 米の生産調整の開始 |
| | 1961 | 国営開拓パイロット事業の発足 | |
| | 1969 | | |
| | 1970 | 国営開拓パイロット事業の廃止 国営農地開発事業の発足 | |
| | 1989 | 国営農地開発事業の廃止 | |
| III 期 | 1989 | 国営農地再編パイロット事業の発足 | 新しい食糧・農業・農村政策の方向の策定 |
| | 1992 | | |

注) : この他, 草地開発事業(公共草地の造成)と畑地帯総合土地改良パイロット事業も農用地の造成を実施

ものであり, 受益者主体の事業へと大きく変化した。

1960年代後半には, 米は生産過剰となり, 1969年には開田が抑制され, さらに, 稲作転換が行われるようになった。これに符合して水田面積は減少し始めた。さらに, 1970年に開拓パイロット事業は廃止された。そして, 需要の増大が見通される畜産物や果樹等の生産の増強, あるいは経営規模拡大の推進等の総合的な観点に立って, 農家の規模拡大を的確に推進する農地開発事業が発足した。

その後, わが国の第2次あるいは第3次産業が世界的規模で発展するにともない, 円高が急速に進行し, わが国の農産物価格が世界に比べ高いものとなった。このような情勢を反映して, 農地造成の要望が減少した。このため, 1989年には国営の農地開発事業は廃止となり, 代わって, 既耕地の整備を主眼とし, 既耕地に錯綜する農地造成をも行う国営農地再編パイロット事業が発足した。

このように, 北海道における戦後の農地基盤整備は, I 期: 終戦直後から農業基本法成立までの開拓・入植を主体とした時期, II 期: その後の農業の選択的拡大のための農地の面的な拡大の時期, そして, III 期: 農地の質的な向上を図る時期へと, 移行してきた。

そして, 農業基本法成立後, 農家の経営規模は拡大する一方で, 就農者数は減少しており, このため農作業の機械化, さらに機械の大型化が進展してきた(図-2)。このような大規模な機械化営農を効率的かつ安全性の高いものとするため, 農地造成や土層改良の整備水準も変化してきたと考えられる。

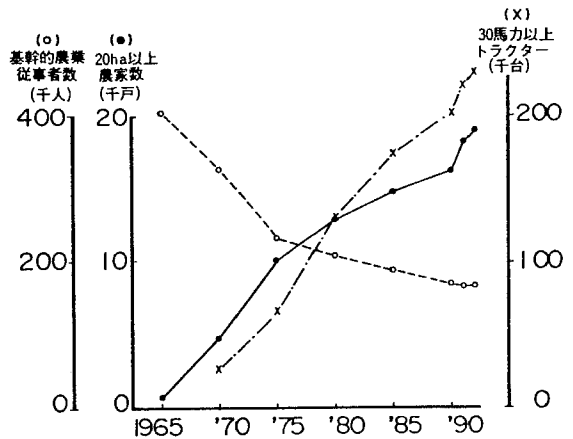


図-2 経営規模20ha以上の農家数, 基幹的農業従事者数および30馬力以上の乗用トラクター台数

Fig. 2 Changes of the number of farm households which manage more than 20ha farmland, full-time farmers, and tractors which h.p. is more than 30.

3 農地造成地の土地条件と土層改良

(石渡・斎藤 (1989))

農地造成は未開の原野や山林を耕地化するものであり, 基本的には地表の原植生を除去あるいは処理する障害物処理作業と, 耕起碎土や土層改良資材の散布・混和を行う播種床造成作業よりなる。そして必要に応じ, 傾斜改良(改良山成工)や, 土壌の物理性を改良する暗渠, 心土破碎, 客土, 除礫あるいは混層耕などの土層改良が行

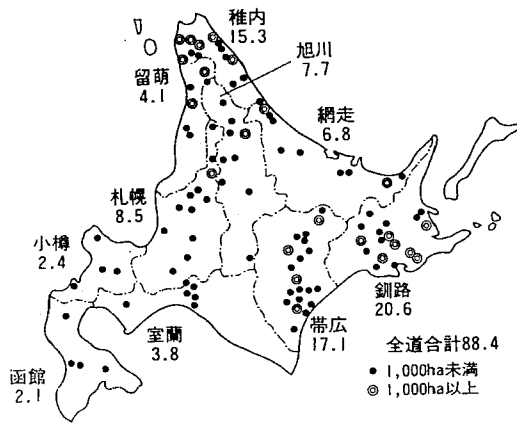


図-3 造成地の位置および地域別造成面積 (千ha)
 Fig. 3 Sites and total acreage of land reclamation in each district. (10³ha)

われる。北海道には重粘土、泥炭土あるいは粗粒火山灰土などの物理性の不良な土壌が広く分布するため、農地造成の大部分が土層改良を伴ったものである。

国営の開拓パイロット事業および農地開発事業の対象地の地区所在地と地域別面積を図-3に示した。

造成面積の広い釧路、帯広および稚内地域での造成地は、他の地域より傾斜はゆるやかであるが、湿性土壌の割合は50%を超えている(図-4)。この値はこの3地域の農牧地および農牧適地の湿性土壌の割合(富岡悦郎(1985))より高い。すなわち、釧路では泥炭土、湿性低地土および湿性火山性土が、帯広では湿性火山性土が、そして稚内では泥炭土が重点的に造成されている。この3地域の大部分が気象条件的に稲作に不適であるので、1960年までの農業は一般畑作が指向されていた。したがって、農地造成は乾性な土壌を中心とした開畑であり、平坦であっても湿性な土壌は造成から除外されていたことを物語っている。しかし、1953、1954および1956年の大冷害や各種の酪農振興(畜産)を契機として、1960年前後から草地の造成が急増した(飯村(1987))。このため、従来、造成からとり残されていた低平な湿地がこの造成対象として、選定されるようになった。これは大規模な河川改修や明渠の掘削により排水が可能となったためである。そして、暗渠排水の施工や農地造成の機械化により、湿地の開発が大規模に行われるようになったと考えられる。

一方、北海道農業の先発地である北海道南部の函館、小樽および室蘭では、比較的温暖であり、湿地を含む低平地はかなり古くより水田として耕地化されていた。こ

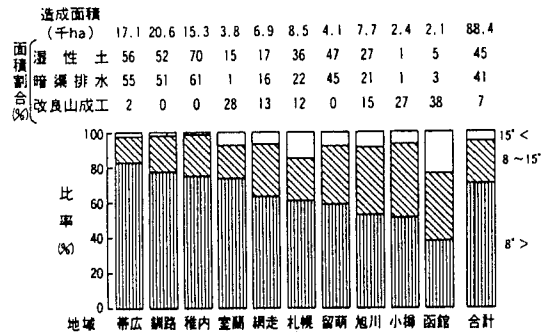


図-4 地域別の造成面積と、湿性土、暗渠排水、改良山成工および傾斜別の面積割合

Fig. 4 Land reclamation acreage, acreage ratios of poor drainage, tube drainage, reclamation with grading, and slope in each district.

のため、この3地域での造成面積は2千~4千haと少なく、土質的には函館で台地土(酸性褐色森林土)が、室蘭では粗粒火山灰土が、小樽では褐色火山性土が重点的に造成された。したがって、傾斜地の割合が高く、改良山成工の割合も高いが、暗渠排水の割合は低い。これらの地域では収益性の高い作物が栽培されるため、改良山成工による造成が可能となっている。

札幌、旭川、留萌および網走での造成地の土地条件は上記2者の中間的なものであり、4地域ともに台地土(主に酸性褐色森林土および疑似グライ土)が重点的に造成されている。

このような北海道における開発対象地の推移は、ある地域の開発適地としての優先順位が、導入作物の気象適性だけでなく、主に、土木工事からなる河川や道路の整備とともに、土層改良技術の進捗状況によっても異なることを改めて教示するものである。

経時的に造成面積は減少しており、傾斜地の面積割合は高まっている。これに伴い、土壌も湿性なものから、排水の良好な土壌へ移行し、低地土や泥炭土の割合が減少している。このため、改良山成工や心土破碎の面積割合が増加し、暗渠排水の比率は減少している。

4 農地造成および土層改良における土壌学的課題

1) 改良山成工と心土破碎

平坦な造成対象地が少なくなり、傾斜地の割合が高まったが、大型機械による効率的な農作業のため、大規模で緩傾斜の圃場を農家が要望している。このため、改良山成工による造成が近年では大半を占めている。また、北海道における改良山成工造成ではすべてが表土扱い作業を伴ったものである。この作業により、性状の良好な表

土を造成後の作土として確保するだけでなく、造成後の作土層厚および性状の均一化も図られている (Sakuma and Takeuchi (1988))。したがって、表土扱い作業は土層改良の一工種と考えられる。

なお、表土扱い作業では運土の過程において、粗粒質土を除き、表土扱い層は圧縮や練返しを受け、物理的性状が劣悪化し易い。この程度は施工時の土壌水分や含有される粘土鉱物によって異なるようである (石渡輝夫ら (1994))。また、改良山成工造成地では過湿地や土壌侵食が発生し易いことも各地で指摘されている (佐藤 (1985))。これらの点は今後解明されねばならない。

さらに、改良山成工では表土戻し直後に心土破碎が施工される。この効果や持続性も施工時の土壌水分や粒径組成によって異なり、この定量的な解明も必要である。

2) 客土

国営農地開発事業における従来の客土は泥炭土に対する鈣質土客土、粗粒火山灰土や砂丘土に対する細粒質土の客土、および重粘土に対する粗粒質土の客土の3種類である。

客土対象地は地域性が強く、同一種類の土壌でも客土の要否は異なる。泥炭土の場合、釧路地域では土層内に降下火山灰や河川氾濫時の土砂を含み、鈣質土含量が客土の基準値である60%を上回るため、客土は行われていない。現行の客土基準 (表-2: 北海道開発局農業水産部農業調査課 (1983))は作物収量の観点から決定されている (斎藤 (1986))が、近年、重機械による営農が主体となったため、主に地耐力増強の面から客土に対する要望が高まっている。また、本号にも報告されているようにケイ酸補給の観点からも泥炭土に対する客土が行われるようになってきた。

一般に、粗粒火山灰土の重力水孔隙 (水頭63cm以下)量は多く、水はけは良いが、易有効水分孔隙 (水頭63~1000cm)量が少なく、CECも小さいため、保水力と保肥力は小さいと考えられている。したがって、粗粒火山灰土に対する客土はこれらの増大を目的として行われる。しかし、粗粒火山灰土の軽石粒の発泡や腐朽の程度は母

材によって異なり、駒ヶ岳の噴出物を母材とする土壌で易有効水分孔隙量は小さく、カムイヌプリ岳近傍の粗粒火山灰土で大きく、支笏湖および樽前山近傍の粗粒火山灰土は両者の中間である (石渡ら (1993))。したがって、粒径組成だけでなく、これらの点も考慮した客土の施工が必要である。なお、深さ約60cm以内に中~細粒質な埋没層を有する粗粒火山灰土においては、混層耕あるいは反転客土などで対応が可能である。

重粘土に対する砂客土は網走、留萌および稚内で行われていたが、1979年以降、海砂などの客土材の採取規制が厳しくなったことなどの理由で、あまり行われていない。重粘土に対する砂客土では、水はけに関与する重力水孔隙は増加するが、水持ちに関与する易有効水分孔隙は増加しないことが指摘されており、軽石粒堆積物の客土がこの面で有効であることが確認されている (古畑・岩間 (1978))。

近年、上川や網走地域の一部では軽石流 (火砕流) 堆積物を用いた客土の要望が高まっており、一部地域で行われている。この客土では保水性が増加し、営農機械の走行による土壌の密実化や降雨後のソイルクラスト (土膜) 生成が抑制され、作物の増収や品質向上効果だけでなく、易耕性の改善も認められる (横井ら (1989))。

このように、客土の基準は、営農機械の大型化や土壌あるいは栽培作物の特性などを考慮した新たな観点からの検討が必要とされている。

なお、客土はその運搬に多大な経費を要し、土取り場の環境保全上の問題もある。また、客土は原土の作物生育に対する障害性を改善するために行われるが、これにより、作土の粒径組成や化学的性質は変化するが、原土と客土が混和するだけで、土壌構造は即時には変わらない。したがって、今後、有機物の多量投入も含めた土壌構造の改良策を検討すべきであろう。さらに客土にとりなり土壌物理性の変化を科学的に解明する必要もあろう。

3) 暗渠排水

北海道では、粗粒質土を除き、湿性土壌には水田だけでなく、畑地でも暗渠排水が施工される。モミ殻暗渠を除く暗渠排水では、一般に、暗渠管を敷設後、被覆材 (笹、麦稈あるいは砂利など) で覆った後、掘削土が埋戻されている。

しかし、暗渠施工数年後に暗渠の直上部に湛水し、暗渠排水の機能低下を示している圃場もある。このような暗渠排水では図-5 (土壌保全研究室 (1994)) に示すように、埋戻し下部の容積重はかなり小さく、膨軟な埋戻しがなされたと考えられる。したがって、埋戻し直後に、この部分にはかなりの重力水孔隙量が存在した。しかし、この部分は多水分状態になるため、土塊が崩壊し、重力

表-2 各種土壌に対する客土基準

Table 2 Criteria of soil dressing on specific soils

| 土壌 | 客土量の算出基準 |
|------|-------------------------|
| 泥炭土 | 鈣質土含量を60%以上にする |
| 粗粒質土 | 粒径10um以下の土粒子含量を25%以上にする |
| 細粒質土 | 粒径20um以下の土粒子含量を55%以下にする |

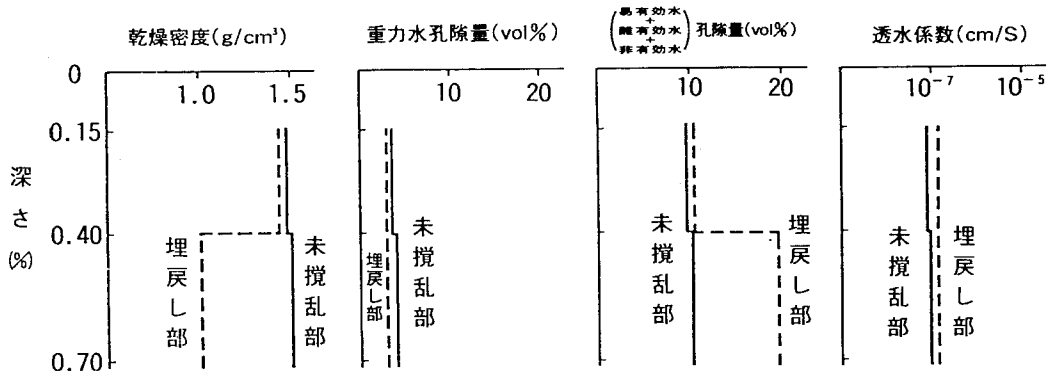


図-5 排水不良を呈する暗渠排水の埋戻し土の物理性模式図

Fig. 5 Schematics of physical properties of backfilled soil on the malfunctioned tube drainage.

水孔隙が水はけに関係しない水頭63cm以上の孔隙に変化したと言える（このことは容積重、腐植含量および粘土含量を用いて算出した圧縮度合や単位重量当りの非有効水分孔隙（水頭15850cm以上）量の増加、あるいは活性二価鉄量の増加などで傍証された）。このため、埋戻し下部の透水性が透水不良な未攪乱部と同程度に低下した。

一方、埋戻し上部の容積重は透水不良な未攪乱部とはほぼ等しく、かなり圧縮された埋戻し状態にある。これは暗渠排水の施工作業において、掘削土をすべて埋戻すことや、施工後の営農機械の走行によるものと考えられる。このため、水はけに寄与する重力水孔隙量が少なくなり、透水性も低下していると考えられる。

このように、埋戻し上部および下部ともに、重力水孔隙量が少なく、透水不良となり、このために暗渠排水の直上部でも湛水するようになった。

したがって、このような圃場では暗渠の掘削部に掘削土を埋戻すのではなく、粗間隙を多量に有する、砂や貝殻あるいは砂利などを、その圃場の耕種管理を考慮して埋戻すことが必要である。

なお、暗渠排水の掘削形状はバックホーによる逆台形で断面積の大きなものと、トレンチャーによる長方形で、断面積の小さなものに大別される。上記のように、掘削部に掘削土以外の資材を用いる場合には断面積の小さなトレンチャー掘削により、資材量を節減することができる。なお、バックホー掘削の断面で埋戻し資材がモミ殻のような場合には、農作業トラクターのタイヤが沈没する恐れもある。すなわち、埋戻し資材自体に農作業機械の荷重に対する支持力がない場合には、掘削部の上幅をタイヤ幅未満とする必要があろう。

泥炭地の暗渠排水でも暗渠の直上部に湛水することが

ある。この場合にも埋戻し部の重力水孔隙量が少ない（石渡（1992））。したがって、泥炭地においても埋戻し部に重力水孔隙量を確保する施工が重要である。なお、泥炭地では造成後、圃場の凹地形化と、圃場内での不等沈下などによる凹凸が形成される事が多い。この解明とその対策も排水不良の解決に重要と考えられる。

5 おわりに

改良山成工における表土扱い作業や各種の土層改良は耕土の改善を目的として行われているが、その作業自体により、あるいはその後の土壌の変化により、弊害が発生している場合もある。これらを明かにし、その改善を図ることは今後の農地基盤整備において重要な課題である。また、上記のような造成や土層改良の工事が主に、出来上がりの寸法（出来型）を依りどころに施工されることにも課題が残されている。作物培地としての土壌は保水性と通気・通水性を共に有する必要があるが、道路工事や河川工事のように強度のみあるいは遮水性のみが重要視される道路や堤防などの工作物とは全く異なる。したがって、各種の土層改良などの農地にかかわる工事が大型機械で行われる現在、土壌としての特性に留意してこれらが施工されることが、あらためて強調されねばならない。

文献

- 飯村康二（1987）：北海道農業の発達と土壌肥料問題，北海道農業と土壌肥料1987，p. 1-8，北農会，札幌
 古畑哲・岩間秀矩（1978）：重粘性土壌に対する各種資材の保水性改良効果，土肥要旨集，24：4
 北海道開発局開発土木研究所土壌保全研究室（1994）：暗渠排水の機能不良要因の解明とその改善対策，北海

- 道農業試験会議成績会議資料, p1-22
- 北海道開発局農業水産部農業調査課 (1983) : 農地開発事業調査計画要領, p436-439
- 石渡輝夫・斉藤万之助 (1989) : 北海道における国営農地開発事業対象地の土地条件と課題, 農土誌, 57: 91-97
- 石渡輝夫 (1992) : 排水不良を呈する泥炭土草地の地形と土壌 —排水不良の要因とその対策案一, ベドロジスト, 36: 76-84
- 石渡輝夫・小林信也・斉藤万之助・佐久間敏雄 (1993) : 北海道の農耕地土壌の孔隙分布特性とその分布図, 土肥誌, 64: 685-696
- 石渡輝夫・沖田良隆・宍戸信貞 (1994) : 土壌の異なる改良山成工造成地での表土扱い層の物理性の経時変化, 土肥要旨集, 40: 2
- 斉藤万之助 (1986) : 客土量算定の根拠, 北海道開発局土木試験所月報, 401: 33-36
- Sakuma T. and Takeuchi H., (1988) : Spatial variation of soils due to accelerated erosion in the hilly areas of Hokkaido, Japan. Proceedings of the 5th International Soil Conservation Conference Vol. 1, p.579-587
- 佐藤晃一 (1985) : 大規模農地造成に伴う過湿地発生原因とその対策, 農土誌, 53: 691-695
- 富岡悦郎 (1985) : 北海道の土壌 (北海道土壌図, 農牧地および農牧適地説明書), p58-69, 北海道農業試験場
- 横井義雄・長谷川進・坂本宣崇 (1989) : 堅密固結性土壌に対する砂質火砕流堆積物の客土効果, 北農, 56: 16-23

(受稿年月日1994年6月27日)

会務報告

諸会議等開催経過

1. 編集委員会 (1994. 6. 3. 北大農学部)
2. 第2回評議員会 (1994. 8. 30. 北大農学部)
 - 1) 会計年度の変更に対応した事務局体制、評議員の任期案
 - 2) 新評議員・事務局体制
 - 3) 1993年度・1994年度事業について
 - 4) 1993年度・1994年度会計について
 - 5) 編集委員会報告
 - 6) 土壌物理研究会新入会者の承認

3. 1993年度総会 (1994. 8. 30. 北大農学部)
 - 1) 会計年度の変更に対応した事務局体制、評議員の任期
会計年度

・1994年度は1994年11月1日～1995年3月31日までとする。

・1995年度以降は当該年度4月1日から翌年3月31日までとする。

事務局・編集委員会体制

・1994年度は1992・1993年度事務局・編集委員会(北海道大学農学部)が担当する。

・1995年度・1996年度(1995. 4. 1～1997. 3. 31)は新事務局・編集委員会が担当する。

評議員

・1994年度・1995年度の新評議員15名は1996年度も担当する。但し会長委嘱評議員3名は1995年度・1996年度を任期とする。

- 2) 新評議員・事務局体制

事務局

会 長 穴瀬 真
(東京農業大学)

副 会 長 足立 忠司
(岡山大学)

庶務幹事 成岡 市
(東京農業大学)

会計幹事 平野 繁
(東京農業大学)

編集幹事 東城 清秀
(東京農工大学)

西村 拓
(東京大学)

編集委員会

- 委 員 長 河野 英一
(日本大学)
- 委 員 竹迫 紘
(明治大学)
- 加藤 誠
(東京農工大学)
- 駒村 正治
(東京農業大学)
- 軽部 重太郎
(茨城大学)
- 青木 正雄
(日本大学)
- 安中 武幸
(農業工学研究所)

評議員

北海道 石渡 輝夫、佐久間 敏雄
東 北 柏淵 辰昭、古賀 深、藤井 克巳

関 東 岩田 進午、岩間 秀矩、加藤 英孝、久保田 徹、宮崎 毅

中 部 溝口 勝

近 畿 斉藤 万之助

中国・四国 赤江 剛夫、三野 徹

九 州 井上 久義

- 3) 1993年度・1994年度事業について

1994年度事業計画

・評議員会：1995年3月中旬東京において行う。
その際新事務局・編集委員長の出席をお願いする。

・会誌発行：土壌の物理性70号、71号の発行

- 4) 1993年度・1994年度会計について

- 5) 編集委員会報告

70号、71号で20編の原稿を掲載する予定。

3. 第36回シンポジウム (1994・8・30・北大農学部)

日 時：1994年8月30日(火) 9:30～16:30

場 所：北海道大学農学部大講堂

テ ー マ：異常気象下の作物生育と土壌物理

話題提供：

1. 冷害気象と微気象調節
北海道大学農学部 堀口 郁夫
2. ランドサットを利用したビートの冷湿害解析
北海道立中央農業試験場 安積 大治
3. 水環境が作物の生理・生態に及ぼす影響
東京農工大学農学部 平沢 正
4. 草地をとりまく水環境
—大きな水循環のなかで—

北海道立天北農業試験場 中辻 敏朗
 5. 圃場の水分環境と土壌病害の発生
 北海道立北見農業試験場 赤司 和隆

総合討論：座長

菊地 晃二 北海道立天北農業試験場
 伊藤 純雄 北海道農業試験場

1993年度決算

土壌物理研究会 1993年度 会計決算

自 1993.11.1
 至 1994.10.31

| 項目 | 予算額 | 決算額 | 増減 | 備考 |
|---------------------|-----------|-----------|------------|---------------------------------------|
| 繰越金 | 330,395円 | 330,395 | 0円 | ¹⁾ 内訳 バックナンバー 8,000円 |
| 一般会費 | 4,400,000 | 3,163,500 | △1,236,500 | 別刷り 83,200 |
| 購読会費 | 580,000 | 382,500 | △197,500 | シンポ要旨 32,000 |
| 賛助会費 | 240,000 | 280,000 | 40,000 | ²⁾ 広告掲載料、 預金利子等 |
| 出版物売上 ¹⁾ | 100,000 | 123,200 | 23,200 | |
| 雑収入 ²⁾ | 99,605 | 144,489 | 44,884 | |
| 合計 | 5,750,000 | 4,424,084 | △1,325,916 | |

△：収入減

支出の部

| 項目 | 予算額 | 決算額 | 増減 | 備考 |
|--------|------------|------------|-----------|----------------------------|
| 会誌制作費 | 3,200,000円 | 2,480,858円 | 719,142円 | 会誌第67,68, 69号 93度総会分 |
| 総会費 | 600,000 | 376,596 | 223,404 | |
| 通信費 | 300,000 | 205,785 | 94,215 | |
| 文具費 | 100,000 | 61,512 | 38,488 | |
| 賃金 | 100,000 | 21,988 | 78,012 | |
| 交通費 | 250,000 | 89,320 | 160,680 | 会誌第68,69 号査読 |
| 会議費 | 100,000 | 21,988 | 78,012 | |
| 幹事手当 | 50,000 | 50,000 | 0 | |
| 編集委員会費 | 150,000 | 100,000 | 50,000 | |
| 選管委員会費 | 350,000 | 222,126 | 127,874 | |
| 予備費 | 550,000 | 0 | 550,000 | |
| 次年度繰越金 | 0 | 769,899 | 769,899 | |
| 合計 | 5,750,000 | 4,424,084 | 1,325,916 | |

△：支出増

93年度の総会 (1994. 8. 30) におきまして承認いただきました会計報告以降、会費納入、総会費の支払い等を行いました。したがって、1993年度会計決算は上記の通りとなりました。ご報告いたします。

1993年度会計監査報告

1994年11月15日

土壌物理研究会
 会長 佐久間 敏雄 殿

土壌物理研究会

会計監査

大崎 友作 雄
 伊藤 純雄 雄

会計監査報告書

1993年度、土壌物理研究会の収入支出決算書ならびに関係帳簿類について、1994年11月15日厳正に監査を行った結果、その執行は適正であり、提出のとおり相違ないことを確認した。

1994年度予算案

土壌物理研究会 1994年度 会計予算(案)

自 1994. 11. 1
 至 1995. 3. 31

| 項目 | 予算額 | 備考 |
|---------------------|-----------|--|
| 繰越金 | 769,899円 | ¹⁾ 93年度以前未回収会費 1,470,000 ²⁾ 94年度会費 1,827,000 (1,496,000 + 1,855,000) × 0.7 = 2,345,700 |
| 一般会費 ¹⁾ | 2,340,000 | |
| 購読会費 ²⁾ | 211,500 | ²⁾ 93年度以前未回収会費 211,500 |
| 賛助会費 ³⁾ | 120,000 | ³⁾ 93年度以前未回収会費 15,000 |
| 出版物売上 ⁴⁾ | 150,000 | ⁴⁾ 94年度会費 105,000 |
| 雑収入 | 108,601 | ⁴⁾ 94年度の購読会費は71号 (94年度会誌) の売上として計上する |
| 合計 | 3,700,000 | |

支出の部

| 項目 | 予算額 | 備考 |
|--------|------------|-------------|
| 会誌制作費 | 2,000,000円 | 会誌第70,71号発行 |
| 総会費 | 0 | |
| 通信費 | 240,000 | |
| 文具費 | 80,000 | |
| 賃金 | 80,000 | 10,000*5名 |
| 交通費 | 200,000 | |
| 会議費 | 50,000 | |
| 幹事手当 | 50,000 | |
| 編集委員会費 | 100,000 | |
| 選管委員会費 | 0 | |
| 予備費 | 900,000 | |
| 次年度繰越金 | 0 | |
| 合計 | 3,700,000 | |

93年度の総会（1994. 8. 30）以降の活動により、次年度繰越金として、承認いただきました予算案の975,348円から769,889円になり、予算合計を3,900,000円から3,700,000円に訂正いたします。なお支出の部につきまして、減額分を予備費の中で処理しましたので、以外の項目の予算額に変更はありません。

94年度の会費（93年度総会において承認済み）

一般会費：正会員 3,500円 学生会員 2,000円

購読会費：会期の変更に伴いまして、円滑に会計処理行われるように94年度予算の購読会費には、93年度以前未回収会費を計上し、94年度分の会誌（71号）の代金として2,250円を請求し出版物売上として処理する。

賛助会費：15,000円

以上の1993年度決算、1994年度予算案について承認していただきますよう、お願い申し上げます。

会員の動向

1. 会員数（1994. 10現在）

| 会員種別 | 会員数 |
|--------|-----|
| 正・学生会員 | 548 |
| 北海道 | 85 |
| 東北 | 49 |
| 関東 | 192 |
| 中部 | 46 |
| 近畿 | 42 |
| 中四国 | 75 |
| 九州 | 55 |
| 海外 | 4 |
| 購読会員 | 63 |
| 賛助会員 | 7 |
| 合計 | 618 |

2. 新入会員（1994. 4～1994. 10）

| 氏名 | 種別 | 連絡先 |
|---------------|----|--|
| 柳原 哲司 | 正 | 069-13 夕張郡長沼町東6線北15 北海道立中央農業試験場 |
| 吉野 昭夫 | 正 | 062 札幌市豊平区羊ヶ丘1 北海道農業試験場 |
| 平野 繁 | 正 | 156 東京都世田谷区桜丘1-1-1 東京農業大学農学部 |
| 中村 貴彦 | 正 | 156 東京都世田谷区桜丘1-1-1 東京農業大学農学部 |
| 大淵 清志 | 正 | 080 帯広市西18条北1丁目 (株)ズコーシャ |
| 中橋 正行 | 正 | 074-12 深川市音江町広里129 (財)北海道農業近代化 コンサルタント |
| 熊谷 朝臣 | 正 | 113 東京都文京区弥生1-1-1 東京大学農学部 |
| 渋沢 栄 | 正 | 083 東京都府中市幸町3-5-6 東京農工大学 |
| 神山 和則 | 正 | 062 札幌市豊平区羊ヶ丘1 北海道農業試験場 |
| 江口 定夫 | 学 | 060 札幌市北区北9条西9丁目 北海道大学農学部 |
| 日笠 基嘉 | 学 | 156 東京都世田谷区桜丘1-1-1 東京農業大学大学院 |
| 農業技術 環境研究所 | 購 | 305 つくば市観音台3丁目1-1 |

3. 住所変更 (1994. 4 ~ 1994. 10)

| 氏名 | 旧 | 新連絡先 |
|-------|-----|--------------------------------------|
| 石田 陽博 | 兵庫 | 651-13 神戸市北区唐櫃台2丁目 15-23 |
| 久保田 徹 | 茨城 | 300-12 茨城県牛久市南7丁目 32- 8 |
| 加納 利博 | 石川 | 501-37 岐阜県美濃市上河和1114番 地 加納技術士事務所 |
| 松元 順 | 鹿児島 | 892 鹿児島市山下町14-50 鹿児島県農政部 |
| 黒田 康文 | 徳島 | 772 鳴門市大津町吉永字三石756-6 徳島県鳴門農業改良普及所 |
| 角 博 | 佐賀 | 849-13 鹿児島市高津原3400 藤津農業改良普及所 |
| 真弓 洋一 | 茨城 | 020-01 盛岡市下厨川字赤平4 東北農業試験場 |
| 藍 房和 | 東京 | 156 東京都世田谷区桜丘1-1-1 東京農業大学 |
| 小路 敦 | 岩手 | 329-27 栃木県那須郡西那須野町千 本松768 草地試験場 |
| 金野 隆光 | 茨城 | 950-21 新潟市五十嵐2の町8050 新潟大学農学部 |
| 神田 健一 | 茨城 | 885 宮崎県都城市横市町6644 九州農業試験場畑地利用部 |

4. 退会会員 (1994. 4 ~ 1994. 10)

正会員 8名

シンポジウムのお知らせ

第4回

「基礎研究の振興と工学教育」シンポジウム

21世紀に向かっての大学・学協会の連帯と社会教育

日時：平成6年12月19日(月) 10:00~16:50

場所：建築会館ホール

東京都港区芝5-26-20 (Tel 03-3456-2051)

問い合わせ先： 社団法人 日本工学会

〒107 東京都港区赤坂9-6-41 乃木坂ビル3階

tel 03-3475-4621 FAX 03-3403-1738

第15期最後の総会開催される

平成6年6月 日本学術会議広報委員会

今回の日本学術会議だよりでは、5月25日から27日まで開催された第118回総会の概要と同総会で採択された「新しい方式の国際研究所の設立について(勧告)」、「公的機関の保有する情報の学術的利用について(要望)」、「女性科学研究者の環境改善の緊急性についての提言(声明)」についてお知らせします。

日本学術会議第118回総会報告

日本学術会議第118回総会(第15期・第6回)が、5月25日～27日の3日間にわたって開催されました。

総会の初日(25日)の午前は、会長からの前回総会以降の経過報告に続いて、各部、各委員会等の報告が行われました。次いで、今回総会に提案されている13案件について、それぞれ提案説明と質疑応答が行われました。午後からは、各部会が開催され、総会提案案件の審議及び各部会個別案件について審議が行われました。

総会2日目(26日)の午前は、前日提案された13案件のうち、9案件の審議・採択が順次行われました。

まず、「日本学術会議会則の一部を改正する規則」、「日本学術会議の運営の細則に関する内規の一部改正」、「日本学術会議の行う国際学術交流事業の実施に関する内規の一部改正」、「副会長世話担当研究連絡委員会の運営について(申合せ)の一部改正」及び「第16期における研究連絡委員会委員の在任期間等に関する規定の適用について(申合せ)」について一括して討論が行われ、採決の結果、いずれも可決されました。これらの会則、内規等の改正は、

1. 運営審議会の構成員等の見直し

常置委員会と運営審議会の連絡を緊密にし、運営審議会の議論をより充実させるため、常置委員会委員長が常時運営審議会に出席することとし、併せて、運営審議会の構成員の見直しを行うこと。

2. 第7常置委員会の設置及び第16期に向けての研連の見直し

国際対応委員会の改組について(申合せ)(平成

5年4月22日第116回総会決定)に沿って第7常置委員会を設置し、併せて、各部等での検討結果を踏まえ、第16期へ向けての研連の見直しを行うこと。

3. 研連委員の在任期間等関係

研連委員の在任期間に関する運営内規の解釈をより一層明確化するとともに、将来に向けての研連活動の継続的発展・活性化を図るため、研連委員の在任期間等についての関係規定を整備すること。を趣旨とするものです。

次に、「運営審議会附置会員推薦手続検討委員会の設置」についての討論・採決が行われ、可決されました。これは、会員推薦制度導入以来、今回で4度目となり、会員推薦手続の過程において、幾つかの問題点がみられたことから、これらの諸問題について審議するため、新たな委員会を運営審議会に附置するものです。

続いて、「新しい方式の国際研究所の設立について(勧告)」、「公的機関の保有する情報の学術的利用について(要望)」、「女性科学研究者の環境改善の緊急性についての提言(声明)」についての討論・採決が行われ、可決されました。午後は、「第6常置委員会報告～国際学術交流・協力の飛躍的発展のために～」、「人口・食糧・土地利用特別委員会報告～21世紀の人口・食糧問題に対する全人類的取組に向けて～」、「学術国際貢献特別委員会報告～学術国際貢献のための新たなシステムについて～」及び「死と医療特別委員会報告～尊厳死について～」の4件の対外報告について討論が行われ、それぞれ承認されました。

総会3日目(27日)は、午前は各常置委員会及び国際対応委員会が、午後は各特別委員会がそれぞれ開催されました。

新しい方式の国際研究所の設立について (勧告) (抄)

近年、学術の国際交流がますます盛んになるとともに、新しい方式の研究所が世界の国々に設立されている。それらの新しさは、固有の研究員をほとんどたず、国内外から招請した客員研究員による共同研究を企画し実行する点にある。この方式にふさわしい分野としては、自然科学のみならず、人文科学、社会科学を含め様々な領域が考えられるが、理論構築を主眼とする研究領域においては、研究テーマを学際的、機動的に選択する上で特に有効である。これは、また国を異にする若手研究者が相集い、生活と研究ないし研修を共にする場としても大きな効果を生むであろう。実際、世界的には、この意味で成果をあげている新研究所も少なくない。

さらに、いま国際貢献が基礎科学においても強く求められているが、それは、学術研究の推進と相互に強め合うべきものであって、このためにも新しい方式は最適である。

こうした観点から、新しい方式の国際研究所の設立が必要であり有用であるとの結論に達したので、ここにその設立を勧告する。

公的機関の保有する情報の学術的 利用について (要望) (抄)

研究者が学術研究のために必要とする情報には、極めて広範囲なものが含まれており、その内容は、学問分野によっても多種多様である。学問分野によっては、公的機関の保有する情報が学術研究にとって極めて重要なしは不可欠な意味をもつことになる場合も少なくないが、多くの場合に、かかる公的機関の保有する情報を学術情報として利用することには困難が伴っている。それは、公的機関の保有する情報の少ない部分が公開されておらず、学術情報としての利用についてもその開示を求めることができないからである。

このような公的機関の保有する情報の学術的な利用のためにも、まず基本となるのは、国民の基本的な権利に基づく公的機関の保有する情報の公開制度である。この制度の確立によって、公的機関の保有する情報の学術情報としての利用も同時に保障されることになるからである。公的機関としては、国家機関及び地方公共団体機関を挙げることができるが、国家機関の保有

する情報についての公開制度が設けられていないことは、学術研究にとっても特に重大な障害となっている。国民の「知る権利」を中心とする基本的権利を保障するための国家機関の保有する情報の公開制度は、学術研究にとっても極めて重要な意味をもっているといえることができる。国民の基本的な権利を保障するために、また学術研究の推進のためにも、原則公開を基本とした確かな内容を持つ国の情報公開制度の確立が不可欠であると考えられるので、ここに情報公開法の制定を要望する。

なお、公的機関の保有する情報の学術的利用については、情報の保存及び研究者による非公開情報の利用についての検討が必要である。

女性科学研究者の環境改善の緊急性 についての提言 (声明) (抄)

女性の社会的地位の向上を目指す取組が、国際的にも国内的にも種々行われているが、日本学術会議においても第10期及び第12期に女性科学研究者の地位の向上に関する「要望」を決議した。今期、すなわち第15期の発足に当たり、日本学術会議は「女性研究者の地位の向上」に留意することを再確認し、今期の活動計画の一つにこの課題を取り上げ審議してきた。その結果、女性科学研究者の地位の向上の必要性は理念的には一般化したものの、科学者全体の対応の遅れもあって、その地位は実質的に余り改善されていないことが明らかになった。

このため、特に基礎科学分野における科学研究者不足の事態が目前に迫っている現在、我が国における科学の調和のある発展のために、第10期、第12期での男女平等の視点を前提としつつ、日本学術会議は、改めて女性科学研究者の環境改善の緊急性を指摘するとともに、関係方面に環境改善の促進を強く訴えるものである。

「日本学術会議だより」について御意見、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(3403)6291

第16期最初の総会開催される

平成6年8月 日本学術会議広報委員会

日本学術会議の第16期が平成6年7月22日(金)からスタートし、7月25日から7月27日までの3日間、第119回総会が開催されました。今回の日本学術会議だよりでは、総会の概要等についてお知らせします。

日本学術会議第119回総会報告

平成6年7月22日から、第16期が開始されましたが、この第16期会員による最初の総会である、日本学術会議第119回総会が、7月25日から27日までの3日間にわたって開催されました。

初日(25日)の午前は、辞令交付式が、総理大臣官邸ホールで行われ、210名の会員のうち海外出張中等の22名を除く188名の会員が出席しました。式は、村山内閣総理大臣、五十嵐内閣官房長官、石原官房副長官、文田総理府次長等の出席を得て行われ、第1部から第7部までの全会員の名前が読み上げられた後、会員を代表して最年長である中田易直第1部会員が、村山内閣総理大臣から辞令を受け取りました。この後、村山内閣総理大臣が「会員の皆様には独創性豊かな学術研究の発展等のため、総合的観点に立って学術研究に係わる諸問題の解決に御尽力いただきたい」とあいさつし、これに応じて、中田易直第1部会員が「微力ながら全力を尽くし、重要な職責を全うし、国民の期待に応えたい」とあいさつしました。午後は、日本学術会議講堂において、総会が開催され、会長、副会長(2名)の互選が行われました。その結果、会長には、伊藤正男第7部会員が、人文科学部門の副会長には、利谷信義第2部会員が、自然科学部門の副会長には、西島安則第4部会員が、それぞれ選出され、伊藤会長及び利谷副会長(西島副会長は海外出張中)からそれぞれ就任のあいさつを行いました。続いて、各部署が開かれ、各部の部長、副部長及び幹事の選出等が行われました。(第16期の役員については、別掲を参照)

2日目(26日)は、午前10時から総会が開催され、近藤前会長が海外出張中のため代理として川田前副会長が第15期の総括的な活動報告を行い、続いて、会員推薦管理会報告として、久保亮五委員長の代理として高岡事務総長が、第16期会員の推薦を決定するまでの経過報告を行いました。引き続き、事務総長から第16期会員対して実施した「第16期の日本学術会議が取り組むべき課題について」のアンケートの結果について説明がありました。総会終了後は、各運営審議会附置委員会、各部署、各常置委員会等が開催されました。また、夕方には、総理大臣官邸ホールにおいて、村山内閣総理大臣主催の日本学術会議第16期会員との懇談会が初めて開催されました。懇談会は、村山内閣総理大臣のあいさつで開会し、五十嵐内閣官房長官の発声による乾杯、伊藤会長の答礼のあいさつの後、懇談に入りました。来賓として、与謝野文部大臣、田中科学技术庁長官、吉田農林水産政務次官、藤田日本学士院院長ほか大勢の方が出席され、あふれんばかりの人々で歓談が続き盛会となりました。

3日目(27日)は、午前10時から総会が開会され、会長から「第16期活動計画の作成について」の申合せ案について提案があり、原案どおり可決されました。続いて、第16期の活動計画についての自由討議が行われ、各部長から各部署での意見が披露されるなど活発な発言がありました。総会終了後は、地区会議合同会議、各運営審議会附置委員会、各常置委員会等が行われました。その後、運営審議会が開催され、第16期の活動計画の素案作成のために、運営審議会構成員の中から起草委員を選出し、審議に入りました。

第16期日本学術会議役員

| | |
|--------|---------------------------|
| 会 長 | 伊藤 正男 (第7部・生理科学) |
| | 理化学研究所国際 フロンティア研究システム長 |
| 副会長 | 利谷 信義 (第2部・基礎法学) |
| | お茶の水女子大学 (生活科学) 教授 |
| 副会長 | 西島 安則 (第4部・化学) |
| | 日本ユネスコ国内委員会会長 |
| 〔各部役員〕 | |
| 第1部 部長 | 中田 易直 (歴史学) |
| | 副部長 戸川 芳郎 (哲学) |
| | 幹 事 堀尾 輝久 (教育学) |
| | 幹 事 森岡 清美 (社会学) |
| 第2部 部長 | 中山 和久 (社会法学) |
| | 副部長 山口 定 (政治学) |
| | 幹 事 兼子 仁 (公法学) |
| | 幹 事 山中永之佑 (基礎法学) |
| 第3部 部長 | 柏崎利之輔 (経済政策) |
| | 副部長 岡本 康雄 (経営学) |
| | 幹 事 河野 博忠 (経済政策) |
| | 幹 事 二神 恭一 (経営学) |
| 第4部 部長 | 伊達 宗行 (物理科学) |
| | 副部長 竹内 郁夫 (生物科学) |
| | 幹 事 井口 洋夫 (化学) |
| | 幹 事 新藤 静夫 (地質科学) |
| 第5部 部長 | 内田 盛也 (応用化学) |
| | 副部長 大橋 秀雄 (機械工学) |
| | 幹 事 増子 昇 (金属工学) |
| | 幹 事 松尾 稔 (土木工学) |
| 第6部 部長 | 志村 博康 (農業工学) |
| | 副部長 北村貞太郎 (農業工学) |
| | 幹 事 島田 淳子 (家政学) |
| | 幹 事 平田 熙 (農芸化学) |
| 第7部 部長 | 渥美 和彦 (内科系科学) |
| | 副部長 金岡 祐一 (薬科学) |
| | 幹 事 入江 實 (内科系科学) |
| | 幹 事 細田 恭弘 (病理科学) |

〔常置委員会〕

| | |
|----------|-------------|
| 第1常置 委員長 | 利谷 信義 (第2部) |
| 第2常置 委員長 | 中塚 明 (第1部) |
| 第3常置 委員長 | 村上 英治 (第1部) |
| 第4常置 委員長 | 増本 健 (第5部) |
| 第5常置 委員長 | 山中永之佑 (第2部) |
| 第6常置 委員長 | 鹿取 廣人 (第1部) |
| 第7常置 委員長 | 井口 洋夫 (第4部) |

(注) カッコ内は、所属部・専門

第16期日本学術会議会員の概要について

この度任命された210人の第16期日本学術会議会員の概要を以下に紹介します。(カッコ内は第15期)

| | | |
|--------------------|--------------------|------------|
| 1 性別 | 男性209人 | 女性1人 |
| 2 年齢別 | 45～49歳 1人 | 50～54歳 3人 |
| | 55～59歳 26人 | 60～64歳 93人 |
| | 65～69歳 72人 | 70～74歳 12人 |
| | 75～79歳 1人 | |
| | 最年長 75歳 (74歳) | |
| | 最年少 47歳 (54歳) | |
| | 平均年齢 63.6歳 (63.3歳) | |
| 3 勤務機関及び職名別 | | |
| (1) 大学関係 | 国立大学 | 59人 |
| | 公立大学 | 2人 |
| | 私立大学 | 111人 |
| | 公私立短期大学 | 2人 |
| | 計 | 174人 |
| (2) 国立私立試験研究機関・病院等 | | 9人 |
| (3) その他 | 法人・団体関係 | 5人 |
| | 民間会社 | 6人 |
| | 無職 | 14人 |
| | その他 | 2人 |
| | 計 | 27人 |
| 4 その他の分類 | | |
| (1) 前・元・新別 | 前会員 | 82人 |
| | 元会員 | 3人 |
| | 新会員 | 125人 |
| (2) 地域別 (居住地) | | |
| | 北海道 | 3人(5人) |
| | 東北 | 9人(8人) |
| | 関東 | 136人(133人) |
| | 中部 | 14人(19人) |
| | 近畿 | 41人(34人) |
| | 中国・四国 | 3人(5人) |
| | 九州・沖縄 | 4人(6人) |

(注) 詳細については、日本学術会議月報7月号を参照

「日本学術会議だより」について御意見、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(3403)6291

—編集後記—

農業農村整備事業の中で、土地基盤整備にかかわる土層改良は土壌物理性の改良を主目的として行われ、暗渠、心土破碎、客土、除礫、あるいは混層耕などよりなる。これらの工種自体は古くから人力あるいは畜力で実施されてきた。しかし、機械力を用いて大規模に行われるようになったのは、ここ40年ほどであろう。

これらの土層改良を、農家が自己資金で行うのではなく、補助のもとに事業として実施するのは、設計基準などに準拠し、その効果が明瞭な場合に限定される。近年、従来とは異なる土層改良に対する農家の要望が強いため、その新たな土層改良の効果を確認し、かつ、その根拠を科学的に解明するための現地試験が行われている。

現地試験では多くの課題に遭遇する。例えば、細粒質な土壌には砂などの粗粒土が客土されるが、一般に前者は発達した構造あるいは壁状構造を有し、後者は単粒状

である。このため、客土材を客土地の表面に撒き出した後、耕起碎土を行っても、両者が均質に混合されることはない。ある場合には耕起深の底部の客土の砂が落ち込んでしまう。また、耕起碎土された土塊の周囲に客土材の砂が付着したり、土塊間に砂が集積してしまう。このような場合、土壌の性状をどのように評価するかが調査担当者にとって課題となる。また、土層改良により、何等か改善が図られることは当然であるが、それ自体あるいはその機械施工に起因して予期せぬ悪影響が発生する場合もある。これらを現地調査の中で見出すことも担当者の責務である。

本号には小特集「土層改良」が掲載された。現地試験での課題に対する各著者の取組みをも読み取って頂ければと思う。

石渡輝夫

土壌物理研究会

事務局構成 会長 佐久間敏雄(北大)
副会長 堀口 郁夫(北大)
会計幹事 倉持 寛太(北大), 柏木 淳一(北大)
庶務幹事 相馬 尅之(北大)
編集幹事 松原 一実(北見農試), 石渡 輝夫(開発土木研)

編集委員 委員長 波多野隆介(北大)
委員 長沢 徹明(北大), 中司 啓二(北農試), 橋本 均(中央農試)
前田 要(中央農試), 矢沢 正士(北大)

土壌の物理性 第70号(会員配布) 1994年11月30日発行

発行 土壌物理研究会(〒060)札幌市北区北9条西9丁目 北海道大学農学部土壌学講座内

電話 011-716-2111(内線2566) FAX 011-706-4960 振替口座 東京5-17794

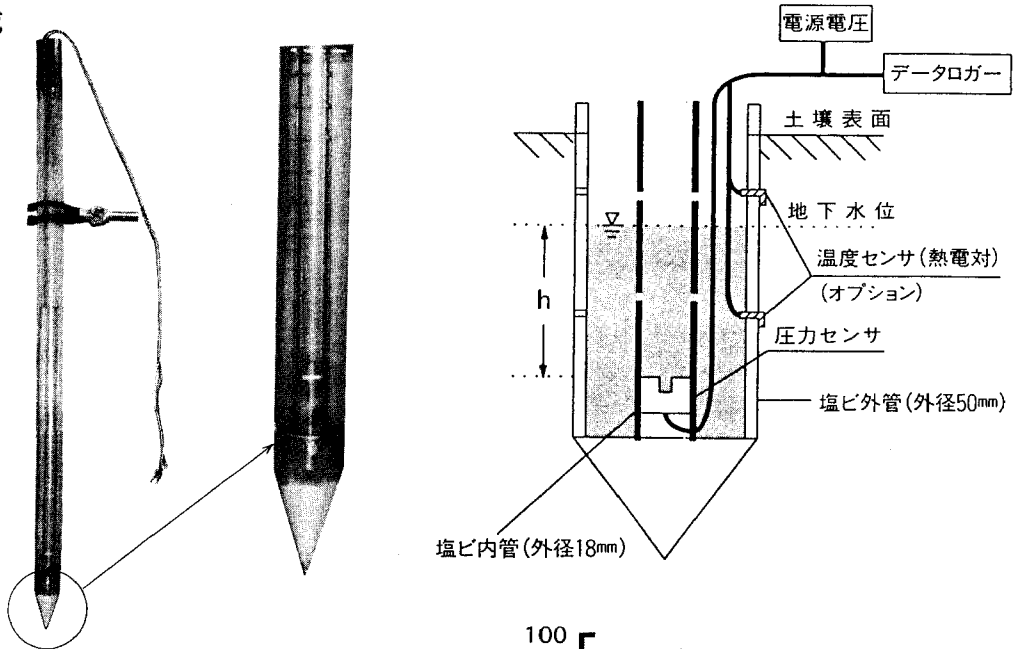
銀行口座 北海道拓殖銀行札幌駅北口支店(店番号012) 口座番号(普通預金) 768526

印刷 株式会社印刷(〒065)札幌市西区八軒2条東5丁目3-16 電話(011) 643-7602(代)

地下水の動きを迅速かつ容易に見る

圧力センサ式地下水位メータ (EN-GW-501)

1. 構成



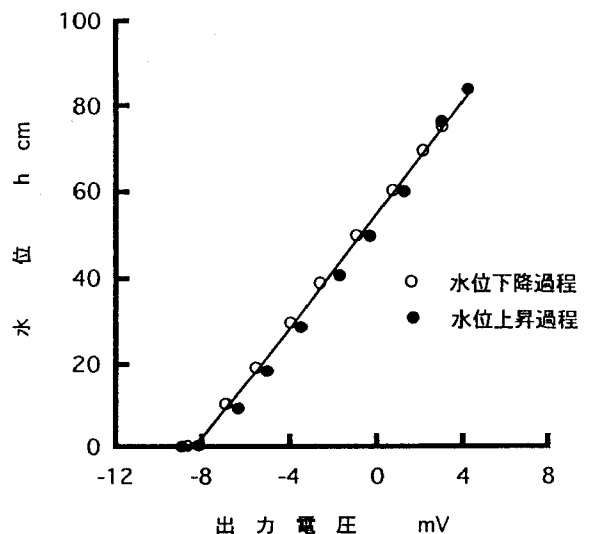
2. 圧力センサ (拡散型半導体圧力変換器)

1) 仕様

| | |
|---------|--|
| 定格圧力 | 0~ 9.81×10^{-2} MPa (0~1000cmH ₂ O) |
| 最大圧力 | 0.196MPa |
| 動作精度 | ±0.3% FS (0~50℃) |
| ヒステリシス | 定格圧力の1%以下 |
| アナログ出力 | |
| オフセット電圧 | ±5 mV (0 MPa) |
| スパン電圧 | 100 mV ±50mV |
| 駆動電流 | 1.5 [mA] |

2) 特性

圧力センサの出力電圧の初期値(水位0 cm)によらず水位と出力電圧は直線関係を保ち、ヒステリシスは非常に小さい(直線性/ヒステリシス=±0.3%FS)



3. 地下水位メータ仕様

- | | |
|----------|--------------|
| 1) 標準仕様 | 外管・内管 1 m |
| | 延長ケーブル 5 m |
| 2) オプション | 外管・内管 1 m 以上 |
| | 電源装置 埋設用オーガー |

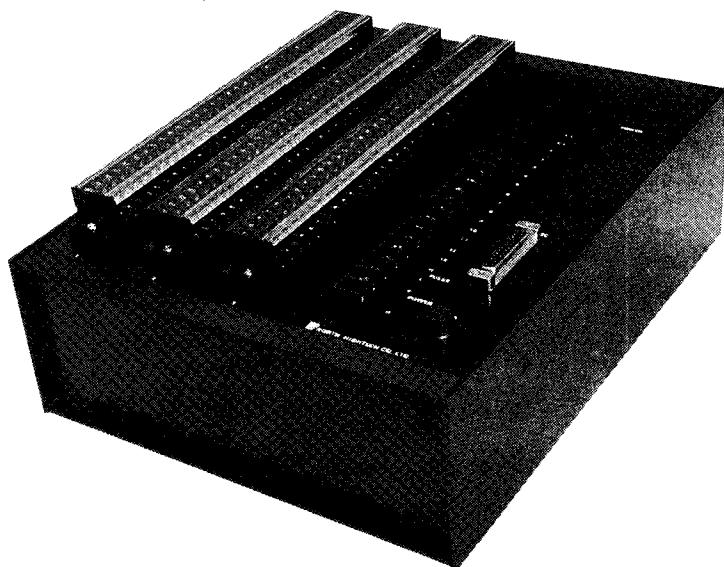
エンドウ理化

〒001 札幌市北区新琴似10条7丁目3-16

☎ (011) 763-1088

FAX (011) 763-1667

最も進んでいるパソコン時代のロガー「IDL-3200」



センサ対応がマルチ

±5mV, ±50mV, ±500mV, ±1V, ±5V, Pt100, 熱電対, 歪みゲージのマルチシグナルコンディショナ内蔵。センサを個別に各点に指定, 混在できる。センサ変換器を必要としないから計測コストが抜群

センサ電源を供給

センサ電源を必要とするセンサにはサンプリング10秒前からDC12V 200mAが供給されます

多チャンネル

アナログセンサ入力は8チャンネル単位で最大256チャンネルまでのデータロガーを供給します。各機には転倒折雨量パルス入力が1ヶ付いています

12Vバッテリー動作

経済的な12V バッテリー動作。8Vまで低下しても動作。-温度の低温時はリチウム電池を推奨。アルカリ電池単1(約8AH)は常温の環境に推奨

ネットワーク

回線にモデムで接続するとパソコンとのテレメータ。多数のRS-232C機器とフィールドのLAN構築及び構内LANイーサネットともネットワークを構築

マイナス温度に強いマシン

-25℃~45℃動作機器は標準 -40℃から動作機器も出荷します

ロガーの機能を高める演算機能

専用演算回路による平均 積算 ピーク 数きい値積算 コンパレータアナログ出力 バルスカウント



計測の未来をひらく

株式会社

ノース・ハイテック

〒060 札幌市中央区北2条西3丁目敷島ビル3F

TEL.011-232-3388 FAX.011-232-3288 ☎0120-053388

Daiki

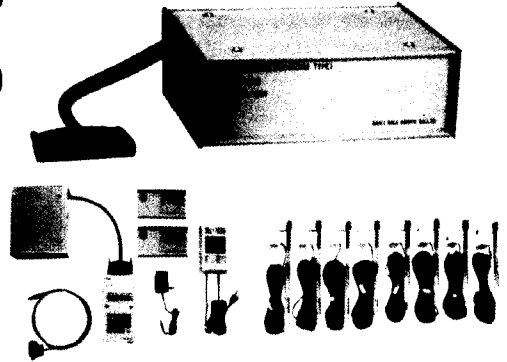
 SOIL & MOISTURE

テンシオメータ 自記タイプ

DIK-3020

土壌水の吸引力の変化を刻々測定し、データロガーにデータを収録します。電源の無い野外ではバッテリーを使用します。

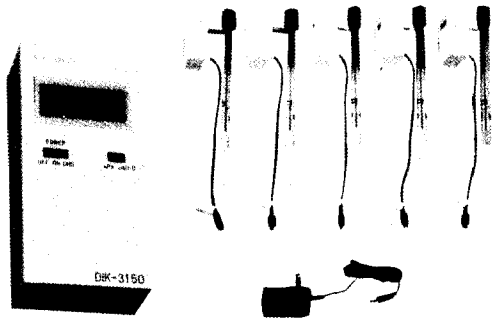
(測定点数8、測定範囲 pF 0~3)



テンシオメータ 表示タイプ

DIK-3150

現場に於ける土壌水分の吸引力を簡便に読み取る測定器です。1台の測定本体を携帯して多数の測定箇所でも順次接続しながら数値を読み取ることができます。



貫入式土壌硬度計

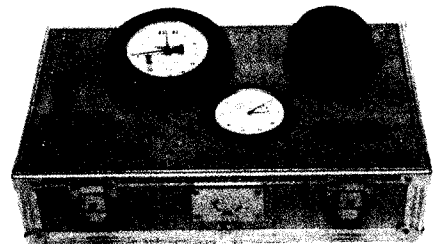
DIK-5520



土中にさし込むだけで各深さに対応した抵抗値が自動的に連続記録されます。

土壌三相計

DIK-1120



実容積(固相+液相)と全重量が現場で迅速に測れます。

SPAD[®]開発製品



ダイキ 大起理化工業株式会社

〒116 東京都荒川区西尾久7-60-3 TEL03-3810-2181

2. 原稿執筆要領

- 1) 原稿の執筆は、日本語原稿の場合は、400字詰横書き原稿用紙を用いる。ワードプロセッサを使用する場合は、A4判で横25字、縦23行とし、上左右30mm、下端に50mmの余白をとる。英語原稿の場合は、A4判ダブルスペースで作成する。
- 2) 原稿枚数は、図表を含めて刷り上がり6ページ以内とする（日本語原稿では、刷り上がり1ページは、2300字で、ワードプロセッサ使用の場合は4枚が1ページに相当する。英語原稿では、刷り上がり1ページは、4600字）。

表題・著者名・キーワード

- 3) 表題は内容を簡潔に表すものとする。
- 4) 日本語で原稿を作成する場合には、表題、著者名の順に記す。次に英語で表題、著者名（フルネーム）、所属機関（住所）を記す。原稿1ページ目の脚注に、日本語で所属機関（住所）を記入し、ついで5個以内のキーワードを記す。
- 5) 英語で原稿を作成する場合には、表題、著者名、所属機関の順に記す。ついで300語程度のABSTRACTを記し、その下に5個以内のキーワードを記す。

本文

- 6) 本文は、1.はじめに、2.実験方法、3.結果、4.考察のように章に分けて見出しをつけ、必要に応じて、1),2),3),...と節に分け小見出しをつける。章・節の番号はアラビア数字を用いる。
- 7) 文体はひらがな漢字混じりの横書き口語体とし、できるだけわかりやすい表現にする。
- 8) 術語以外は常用漢字を用い、かなは現代かなづかいとする。
- 9) 句読点・括弧・ハイフンは普通1画を与える。数字字・小数点・ローマ字は1画に2字をあてる。
- 10) 数字はアラビア数字を用い、漢数字は普通の字句にのみ用いる。
- 11) 外国人名は欧字とし、最初の文字のみ大文字とする。ただし中国人名などは漢字でよい。術語になっている外国人名は、カタカナ書きとする（例：ダルシー則、ストークスの法則）。
- 12) 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。中国等の地名は漢字でもよい。日本語の地名も周知されていないものは、ひらがなを併記する。
- 13) ゴシック、イタリック、ボールドの字体は鉛筆で指定する。ギリシャ文字、上付き、下付き文字、あるいは1（エル）と1（イチ）のようにまぎらわしい文字が混在するときにも、誤植防止のため鉛筆で指定する。
- 14) 述語は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。
- 15) 略語、略号を使うときは、はじめにそれが出る箇所で、正式名称とともに記す（例：液性限界(LL)）。
- 16) 動植物の名称はカタカナ書きにし、必要に応じてラテン語学名をイタリックでつける。

- 17) 数量の単位は原則としてS Iを用いる。
- 18) 文献の引用は著者名、年号をつける。著者が2名の場合は、両者の名字と年号を記す。3名以上の場合は、以下の例に従う（Tanaka et al. (1994) は・・・；竹中ら（1960）は・・・；・・（Tayler et al.,1945）.）。
- 19) 図・表・写真番号は図-1、表-1、写真-1のように書く。
- 20) 謝辞は本文末尾につける。
- 21) 英文原稿も上記に準じる。ただし英文の適正化は、著者の責任において行うこと。

英文要約

- 22) 報文には300語以内の英文要約をつける。
- 23) 英文要約の下に、5個以内のキーワードを記す。

図・表・写真

- 24) 図、表、写真は必要最少限度とし、同一事項を表と図に重複させることはできるだけ避ける。
- 25) 図、表、写真1つごとに、A4判で作成する。事故を避けるために、余白に著者名を鉛筆で記す。図、写真にはその番号も鉛筆で記す。
- 26) 図はそのまま印刷するので、白紙に黒インクできれいに書く。これと同程度の鮮明さを持つ、プロッタ、プリンタによる図は受け付ける。製版に適さない図は書き直しを要求することがある。
- 27) 図は刷り上がりの大きさを指定し、2倍くらいに大きく書く。図中の線の太さ、文字の大きさは、刷り上がりの大きさを考慮して決める。なお図および写真中の文字は希望があれば写植する。その場合には、図中の文字は鉛筆で薄く記入する。
- 28) 地図には定尺をつけ、何万分の1などの縮尺を指定しない。顕微鏡写真などには定尺をつけ、何倍などの拡大率を指定しない。
- 29) 日本語報文原稿の図・表・写真の表題には日本語と英語を併記する。
- 30) 図、写真の表題は別紙にまとめて記す。

引用文献

- 31) 文献は本文のあとに、著者名のABC順に書く。未発表・私信は引用文献として記載しない。
- 32) 書き方の様式は以下のようにする。
Bouma, J. and Dekker, L. W. (1978) : A case study on infiltration into dry clay soil, I. Morphological observations. *Geoderma*, 20 : 27-40.
Cambell, G. S. (1974) : A simple method for determining unsaturated hydraulic conductivity from moisture retention data. *Soil Sci.*, 117 : 311-314.
FAO (1988) : Revised legend of the FAO-UNESCO Soil Map of the World. p.119, FAO, Roma.
岩田進午 (1970) : 土壌物理とペドロロジー, ペドロジスト14 : 28-33.
山崎不二夫監修 (1969) : 土壌物理, p 55, 養賢堂, 東京.
竹中 肇 (1965) : 収縮挙動よりみた土の工学的性質, 農土論集, 14 : 32-35.

Soil Physical Conditions and Plant Growth, Japan

No.70

November 1994

Contents

| | | |
|--|---|----|
| Foreword | T. Kasubuchi | 1 |
| Originals | | |
| Water consumption properties of some upland field crops estimated from the decrease in soil water content in a lysimeter | H. Takeuchi, T. Miyawaki | 3 |
| An evaluation of water resistance on Kanto loam by Pinhole test | M. Kato, R. Yasutomi, T. Yamada | 13 |
| Measurement of electrical conductivity in soil columns by the four-electrode method and its application | M. Inoue, S. Shiozawa | 23 |
| Miscellanea | | |
| Occurrence of clubroot disease of crucifers and soil physical conditions | H. Iwama, S. Osozawa, Y. Kaneko, T. Kubota | 29 |
| Special editing for "Subsoil Improvement" | | |
| Soil survey results of Peaty paddy—upland rotation field | | |
| —Subsoil improvement for Peaty paddy—upland rotation field spread along the basin of the lower stream of the river Ishikari (1) | H. Hashimoto | 37 |
| Cultivation experiment of subsoil improvement by Peat layer mix plowing for the upland crop field which have thick clayish surface layer | | |
| —Subsoil improvement for Peaty paddy—upland rotation field spread along the basin of the lower stream of the river Ishikari (2) | H. Hashimoto | 43 |
| The effect of soil dressing to Peaty paddy field on supplyment of Silictic Acid | T. Yanagihara | 49 |
| Effects of applied Pumice flow deposit as soil dressing on crop yields | | |
| —Soil properties and field workabilities in Abashiri district of Hokkaido | H. Takeuchi, T. Ohyama, T. Miyawaki, K. Kikuchi | 55 |
| Subsoil improvement by ultra—deep tillage in the Central part of Main Land, Japan | A. Yoshino | 67 |
| Land reclamation and soil modification in Hokkaido | | |
| —Mainly about national projects | T. Ishiwata | 73 |
| Announcements | | 79 |

Published by Research Association of Soil Physics, Japan
Laboratory of Soil Science, Faculty of Agriculture, Hokkaido University
Kita 9, Nishi 9, Kita-ku, Sppaoro, 060 ,Japan
President Toshio Sakuma