

土壌の物理性

第42号

昭和55年10月

| | | | |
|------|---|---|----|
| 巻頭言 | 転換畑の水分環境 | 西出 勤 | 1 |
| 報文 | SOIL WATER DISTRIBUTION IN MOUNTAINOUS AREA AND IRRIGATION PLANNING | Toru MITSUNO, Dan ZASLAVSKY and Takeshi MIURA | 2 |
| | ガラスブロック水分計の実用上の水分測定限界 | 矢部 勝彦 | 9 |
| | へドロの客土による土壌の物理性と作物生育への影響 | 軽部重太郎, 森泉昭治, 大崎和二 | 13 |
| | シロカキ土壌硬度と水稻稚苗モデルによる植付深さに関する実験的研究 | 市川真祐, 山村文雄 | 20 |
| 総説 | 土壌の団粒形成に及ぼす作物根の影響 | 小林 裕志 | 26 |
| 資料 | 重粘性土壌に対する各種資材の孔隙組成改良効果 —特に能取軽石の効果— | 古畑 哲, 岩間秀矩 | 33 |
| 解説 | 走査電子顕微鏡 | 櫻井 雄二 | 41 |
| | 超音波パルス法による土の物理性の計測 | 小山 修平 | 48 |
| | 地中温度の測定法 | 松井 重光 | 53 |
| 寄稿 | アレクセイ・アンドレーヴィッチ・ロージェ教授の逝去を悼む | 原田 竹治・遠藤健治郎 共訳 | 56 |
| 会務報告 | | | 58 |
| 編集後記 | | | |

(1980・11・7 改正)

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なう。
- 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 3,000円
 学生会員 " 2,000円
 (大学院生を含む)
 賛助会員 1口年額 15,000円
 購読会員 会誌年額 4,000円

広告料 賛助会員 実費
賛助会員以外実費の5割増

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

(1979・2・7 改正)

「土壤の物理性」投稿規定

- 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) 原稿の採否は編集委員会が決定する。編集委員会には要すれば文章の加除修正を行う。ただし内容については、これを著者に依頼することがある。
- 3) 投稿には400字詰横書きの原稿用紙を用い、本規定および別に定める原稿執筆規定に従って執筆するものとする。
- 4) 原稿の枚数は、刷り上がり6ページ以内(図表を含めて32枚程度)を規準とする。超過ページならびに写真、図表など、特に多額の経費を要するときは実費を申し受ける。
- 5) 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のとする。なお、題名、著者名、所属には英文を併記するものとし、とくに報文については、300語以内の英文要約をつけるものとする。「報文」他誌に未発表のものに限る。書き方は方法結果、考察ならびに総括(摘要)の体裁をとり、引用文献を明らかにすること。

「論説・総説」土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書き改めたもの。

「解説」物理性に関する諸事項の理解を計るための平易な解説ならびに研究技術の普及交換を進めるための紹介を含む。

「その他」土粒子、書評などを含む。

- 6) 原稿には下記形式の送り状をつける。報文のみ初刷りは著書校正とし、印刷ずみの原稿は返さない。

| 発表年月日 | | 受付年月日 | |
|-------|------|-------|------|
| 種別 | 原稿枚数 | 図表数 | 表枚図枚 |
| 表題 | 写真数 | 別刷 | 葉部 |
| 著者名 | | | 30部+ |
| 所属 | | | 部 |

- 7) 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。

付記：投稿及び会誌編集に関する通信は、下記宛のことで
津市上浜町(〒514)

三重大学農学部土地利用学研究室

土壤物理研究会編集委員会

(なお、原稿執筆規定は裏表紙に従うこと)

巻 頭 言

転換畑の水分環境

西 出 勤*

Tsutomu NISHIDE

米の生産過剰を解消するために、昭和46年以降、水田利用の稲作以外への転作を進める努力が行われてきたが、米はなお生産過剰基調にある。そこで、米の生産を抑えつつ、食糧自給率の低い麦、大豆、トウモロコシ、濃厚飼料などの生産量を拡大しなければならない状態になっている。このためには農地を1年間に何回も繰返して利用し、いわゆる農地の高度利用を行ない、米作一辺倒でない輪作体系の確立がきわめて重要になっている。このためには農地としては水田を畑に、また畑を水田に自由に利用できる汎用農地としての条件が満たされなければならない。ここで水田を汎用化する場合、従来水田耕作が続けられてきた圃場が、はたして畑作物の生育に適した土壌環境になりうるかという問題が生じてくる。

水田は稲作のかんがい期間のほとんどはタン水状態で過ごす、畑は年間を通じて1日としてタン水状態下では生育障害があり、適度の土壌水分、空気量が必要とされる。水田地帯に散在する転換畑においては、かんがい期間中地下水位が高く、湿潤になりやすく、隣接水田、水路などからの侵入水があり、また降雨後の地表水排除も一般の普通畑のようなわけにはいかない。また、水田は高低をもちながら、田面全体としてはほぼ水平であり、その上ケイハンで囲まれているので、降雨後に地表水の流出を妨げている。また畑に比べてキ裂の発達が不十分で透水性が低く、概して粘質である水田土壌は耕盤の存在と相まって地表水の地下排除に対しても障害になっている。このように転換畑の湿害に対して地表水を迅速に排除するために圃場内に排水小溝を設けたり、生育に対する好適な土壌条件として地下水位、空気量のある基準値まで確保すべく土層改良を行うことが必要である。

また、転換畑でかんがいを実施するときは、かんがい開始時期、かん水量などに対する検討を行う必要がある。現在、水田地帯で行われている施設栽培では、一般の普通畑よりも、はるかに低い水分張力状態で水管理するのがよいとされている。ところで、転換畑の有効土層を考えると、とくに水田の耕盤をそのまま残すか、耕盤を破碎し深耕して土層改良を行うかによって、有効土層の値は異なることである。水田から樹園地のように永久転換で畑地として考えていく場合は耕盤を破碎し、土層改良を行うことによって有効水分量を多くし、作物の根群の活動を促進して有効土層を広げることが必要であろう。

一般に畑地経験の長い転換畑では乾燥の繰返ししが微細なキ裂を増加させ、有効毛管間ゲキ網の発達を促進させることが考えられる。従って、転換畑の用水量はキ裂化に伴う土壌構造の著しい発達から、経年的に増加することが明らかにされている。このように転換畑の用水量の変化は、用水計画をたてるに当たって重要事項であるので、その地区の土地利用形態別あるいは作物の種類別などについて正確な調査を行う必要がある。

以上のように、汎用化農地は畑作物の栽培可能であることが前提条件である。この水田の汎用化に関する技術的な対応策には、その地区の自然条件や営農条件に応じて考えることが必要となるので、実際にはかんがい排水、土壌肥料、作物栽培、営農などの分野の研究者が共同で調査を行い、転換畑の排水、用水、地力維持などの対策、耕地組織計画などに伴う諸問題について今後検討することが望ましい。

[1980. 10. 8. 受稿]

* 岐阜大学農学部

SOIL WATER DISTRIBUTION IN MOUNTAINOUS AREA AND IRRIGATION PLANNING

Toru MITSUNO,* Dan ZASLAVSKY** and Takeshi MIURA***

INTRODUCTION

The purpose of irrigation and drainage is to control the soil water content to the best condition for plant growth. In the humid region such as Japan, the amount of rainfall generally exceeds the potential evapo-transpiration. For example, the mean annual precipitation in Japan is about 1800mm/year, and the mean annual evapo-transpiration is estimated as 600-800 mm/year. Therefore, the irrigation for upland field is usually considered to be unnecessary. But, the precipitation is nonuniform in time. A precipitation of over 200 mm sometimes occurs in one day. On the other hand, a drought period extending over 30 days sometimes occurs in summer. Therefore, irrigation is necessary to compensate for the irregular rainfall.

In a mountainous area, however, where orchard or tea garden has been reclaimed actively in recent years, the irrigation system has other purposes as well. It is important there to have an uniform soil water content not only in time but also in space. The soil water control becomes the critical condition for system planning or design in either case.

SOIL WATER REDISTRIBUTION IN A MOUNTAINOUS AREA

The soil water supplied from rainfall or irrigation is redistributed by drying force or evaporation and by gravity force. But they vary widely from one place to another in mountainous area.

The drying force can be evaluated by the solar energy received on the slope, which is effected by the angle between the soil surface and the solar beam. The solar radiation intensity is represented at each surface as follows,

$$I = I_0 \cdot \cos\delta \dots \dots \dots (1)$$

where I and I_0 are the radiation intensity on the inclined soil surface and on the perpendicular plane against the solar beam respectively, δ , the angle between both

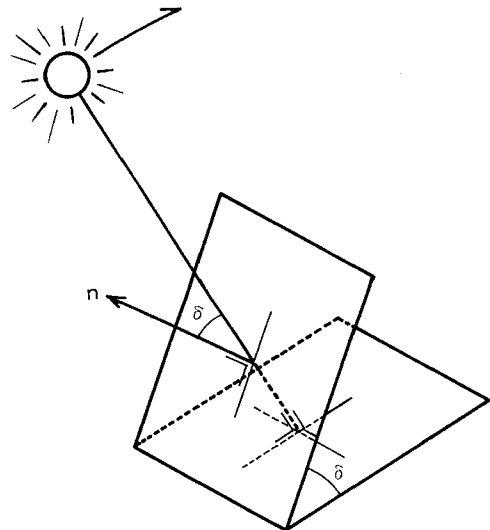


Fig. 1 Illustration of the solar radiation intensity on the slope plane

* Associate Professor, Kyoto University

(Visiting Associate Professor, Technion)

** Professor, Technion-Israel Institute of Technology

*** Research Associate, Okayama University

planes (see Fig. 1). I_0 and δ at each point are changing as the time elapses. Integrating Eq.(1) with respect to time for each point, we can obtain the accumulated energy distribution.¹⁾

The gravity force, which is the driving force of the lateral flow in soil and of the surface runoff, can be evaluated as proportional to the slope or gradient of the land. Zaslavsky²⁾ and Zaslavsky et al.³⁾ made the observation that infiltration of water is not necessarily directed straight down. Rather it has a horizontal component which is at least approximately proportional to the soil slope, ∇z , z being the soil surface elevation. As the conservation equation is applied to the horizontal flow component, the effect on the water redistribution can be estimated by the divergence of the land gradient (assuming other parameters independent of the soil surface coordinates).

$$\text{div}(\text{grad}z) = \nabla^2 Z \dots\dots\dots (2)$$

where z is the ground elevation.

Thus the redistribution of infiltrated rain or irrigation water should correlate well with the two factors mentioned, namely the radiation intensity and the Laplacian of the elevation.

ACTUAL SOIL WATER DISTRIBUTION

The soil water contents have been measured at 24 points at the experimental field in a certain mountainous area, where a national reclamation and irrigation project has been undertaken.

The solar energy distribution is calculated from the horizontal observed radiation at one point in this area, applying the above mentioned method. The solar energy distribution at Nov. 10, 1978 is presented in Fig.2. Its distribution is as complicated as the mountainous topography. At the same day, the pan evaporation was also measured as the index of the potential evaporation at each point where the soil water contents were measured. The correlation between the pan evaporation and the estimated solar energy distribution by the calculation at each point is presented in Fig.3. They correspond very well to each other.⁴⁾

The divergence of the land gradient is approximated by a four points method for 19×16 grids represented as in Fig.4. Interpolating linearly from this result, the zero-divergence line is drawn. The area is divided into two parts. One part is a divergent or convex area, where $\nabla^2 z < 0$, and the other part is a convergent or concave area, where $\nabla^2 z > 0$. $\nabla^2 z$ is approximated at each node as follows,

$$(\nabla^2 z)_0 = (z_1 + z_2 + z_3 + z_4 - 4z_0) / 4 \dots\dots\dots (3)$$

See Fig.5.

The measured soil water contents are plotted for the different solar energies. At the same time, each point is distinguished according to whether it belongs to the divergent area or the convergent area. It is represented in Fig.6. From this figure, we can draw a very interesting conclusion. There is at least a qualitative tendency of soil water change according to the position whether it is in a convergent (concave) or divergent (convex) area. The points near the zero-divergence line form a more

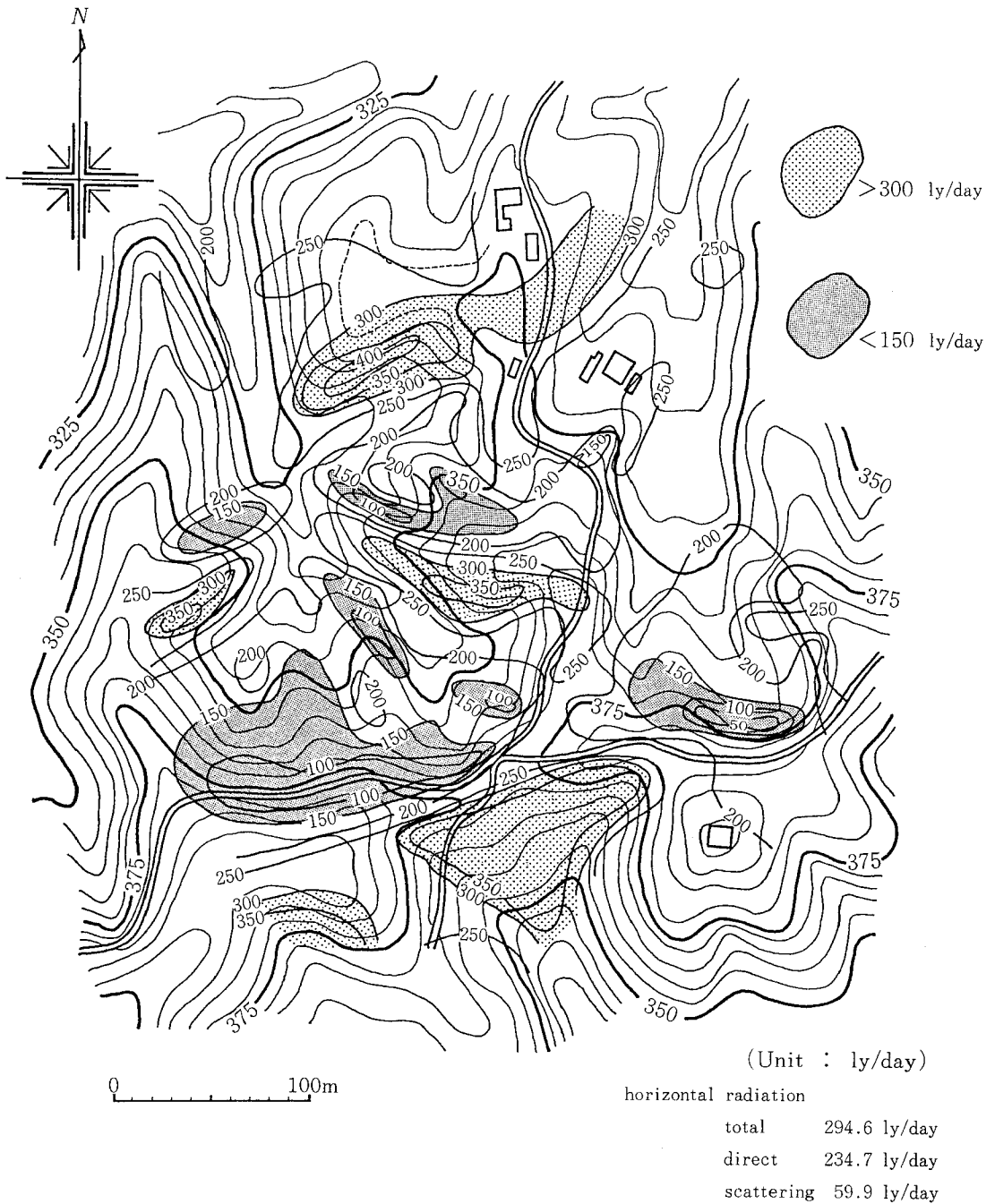


Fig. 2 Solar energy distribution (Nov. 10, 1978)

or less univalent function of the solar energy.

The Laplacian of the land elevation also represents the curvature of the land surface as in Fig.7. In the divergent area where the curvature is negative, the soil generally tends to be carried away, on the contrary the soil from there tends to be accumulated in the convergent area. It has been proved that the water retention of

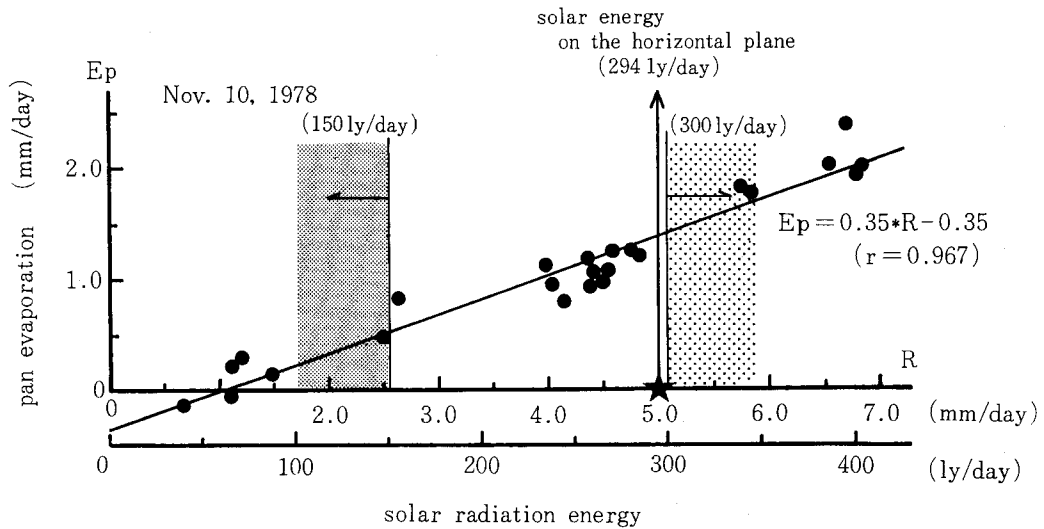


Fig. 3 The relation between pan evaporation and solar energy
(T.Mitsuno et al, 1979)

the soil is poor in the top, but it is strong in the valley.⁵⁾ It is considered that each area having such a different character also corresponds to the divergent and the convergent area respectively. As the Laplacian becomes a good index not only for the water accumulation but also for the soil water retention, the actual soil water distribution strongly depends upon it.

The data of this experiment make not intended originally for this interpretation. Therefore they can not provide a quantitative correlation with the concavity. However the results comply with results found by Zaslavsky through calculation and field experimentation.³⁾ After redistribution the available rain water in the soil can vary as widely as 1 : 5.

THE ROLE OF IRRIGATION, DRAINAGE AND SOIL CONSERVATION IN MOUNTAINOUS AREA

One of the important purposes of the irrigation and drainage is to adjust artificially the soil water content for the best condition to plant growth. This artificial adjustment must counteract the natural tendency for redistribution as it was expressed in the previous section. The irrigation is necessary for the divergent and large evapotranspiration area and the drainage is necessary for the convergent and low evapotranspiration area. Their combination is required for the land development in mountainous district.

Then, as the first step of land classification for land reclamation planning and irrigation planning, it is recommended to map the divergent and the convergent areas according to their concavity, and to plot the solar energy distribution. Both are obtained from the analysis of topographic data. It is possible that a curvature map

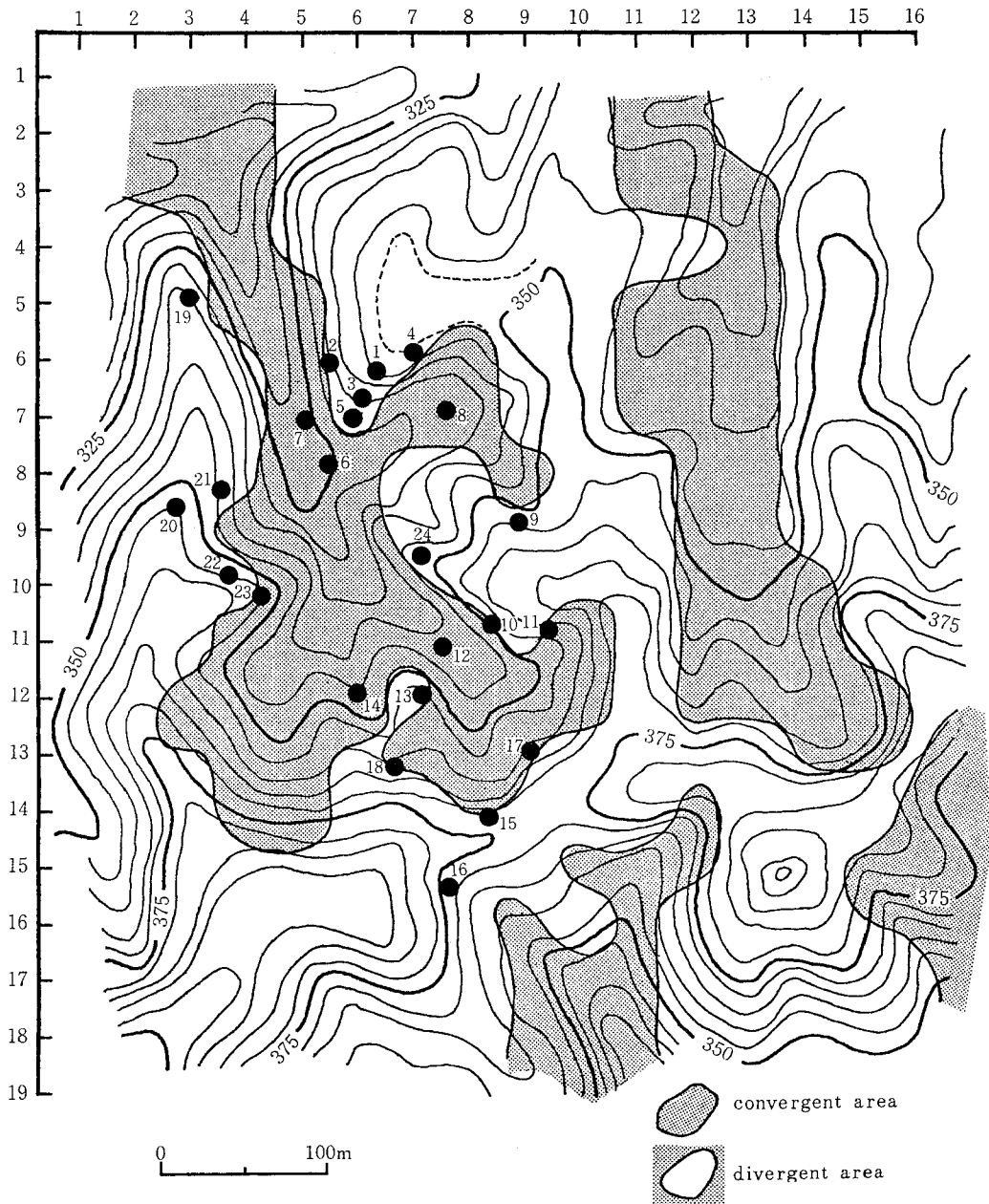


Fig. 4 Distribution of divergent and convergent area

(a divergence of the land gradient map) superimposed on a map of the solar radiation will serve as the basis for planning and design.

In concave areas, water accumulation occurs, and there more intensive erosion may occur. Thus it is quite possible that the same mapping system will also serve as a basis for some conservation measures.

$$(\nabla^2 Z)_0 = (Z_1 + Z_2 + Z_3 + Z_4 - 4Z_0) / 4$$

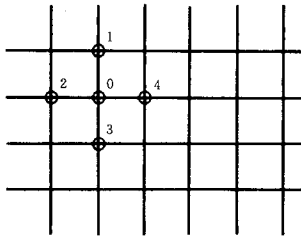


Fig. 5 The approximation of the Laplacian of the ground level

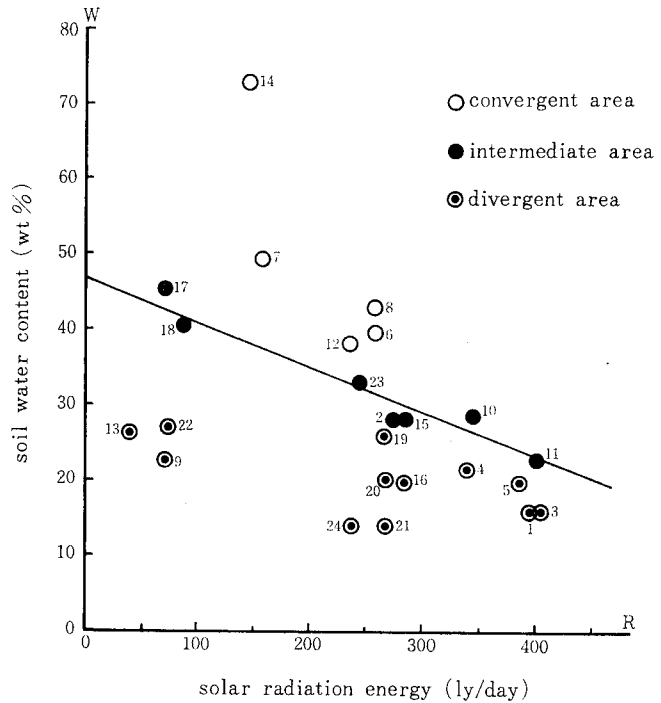


Fig. 6 Relation between the measured soil water content and solar radiation energy

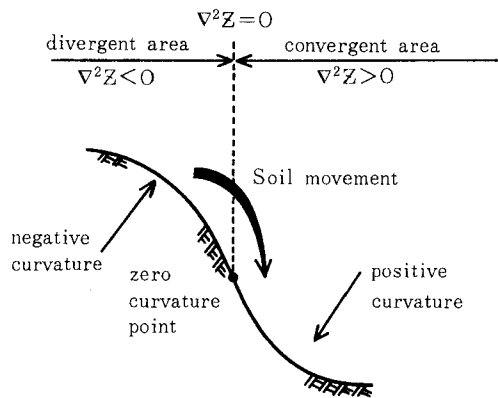


Fig. 7 Illustration of the divergent area and convergent area

IRRIGATION UNIFORMITY

A very interesting study has been carried out on persimmon yield and its dependence on soil moisture. An analysis was made of the total production data for last ten years in this district.⁶⁾ Persimmon is the main fruit for the agricultural production there. The yield has been found to be affected remarkably either in quantity or in quality by the amount of the annual effective rainfall. Namely, the persimmon yield is very sensitive to the soil moisture content. The soil moisture varies remarkably not only in time but also in space due to redistribution. Therefore,

the yield might vary widely in space.

The divergence or convergence of moisture occurs notably following rain. It also follows irrigation in a similar way. The uniformity of irrigation is an important parameter that affect the yield. The effect of soil moisture variation to the yield can be evaluated as follows,⁷⁾

$$\bar{Y} = Y(\bar{Q}) + (d^2Y/dQ^2) \cdot \sigma^2Q$$

where \bar{Y} is the average yield, $Y(\bar{Q})$ is the yield at the average water application \bar{Q} , d^2Y/dQ^2 is the yield response to water and σ^2Q is the variance of the moisture in the field.

Generally d^2Y/dQ^2 is negative, then the larger the moisture variance becomes, the less the yield becomes under the same amount of water. In mountainous area, the variance due to the water redistribution in soil is probably very large. From the viewpoint of water economy, the water redistribution becomes an major problem.

Large efforts have been devoted to improve the water sprinkling pattern with Christiansen's coefficient on the inclined field. The soil water variance can not be improved only by the water sprinkling system. It is necessary to offset the natural tendency of the water redistribution due to the lateral flow in the soil. This tendency is similar for both the rainfall and irrigation. In principle one can do one of several things among them :

- a . choose only convenient areas of the proper limits on concavity.
- b . specify the necessary soil surface grading.
- c . delineate small lots of uniform concavity and give each a different treatment.
- d . invent an irrigation technique that will be less sensitive to lateral redistribution.

ACKNOWLEDGEMENT

In the soil water measurement and the solar radiation observation, we received considerable from members in the Irrigation and Drainage Laboratory of Kyoto University. We acknowledge Professor Toshisuke Maruyama and the members.

This is a part of the outcomes from the research supported by the scientific research aid of the Educational Ministry of Japan (1978—1979, General Research C, 356174, Toru Mitsuno, Toshikiyo Maekawa).

REFERENCES

- 1) T. Miura, T. Mitsuno, T. Maruyama and A. Yomota : Calculation methods of the distribution of the amount of insolation in mountainous area — Studies on the mechanism of the thermal environment formation in mountainous area (I) — , Trans. of JSIDRE, No.88, pp.1- 7, 1980
- 2) D. Zaslavsky : Some aspects of watershed hydrology, Special Report to the U. S. Dept. of Agriculture, Agric. Res. Serv., ARS., 1970
- 3) D. Zaslavsky and G. Sinai : Surface Hydrology, Note 1017, Instituut voor Cultuurtechnicken Waterhuishouding Wageningen, 1977
- 4) T. Miura, T. Mitsuno and T. Maruyama : Calculation methods of the distribution of the amount of insolation in mountainous area and its applications, Preliminary Report of the Convention of Japanese Soc. of Agric. Met., p.43, 1979
- 5) T. Mitsuno : Distribution of heat energy and water, and soil physical conditions in a new reclaimed inclined field, Soil Physical Conditions and Plant Growth, Japan, No.37, pp.22-28, 1978
- 6) N. Fusayama : Practical verification of irrigation necessity for persimmon, Green Field, No.213, pp. 46-51, No.215, pp. 51-70, 1976
- 7) D. Zaslavsky and N. Buras : Crop yield response to non-uniform application of irrigation water, Trans. of ASAE, pp.196-200, 1967

[Received March 7, 1980]

ガラスブロック水分計の実用上の水分測定上限界

矢 部 勝 彦*

Practical Upper Limit of Measuring Soil Moisture
by the Glass Filter Block Soil Moisture Meter

Katsuhiko YABE*

Faculty of Agriculture, University of Osaka Prefecture

Upper limit of measurement by the glass filter block soil moisture meter is not yet cleared at the present, especially practical upper limit. Therefore, the investigations were conducted in order to clear the practical upper limit about drying speed, apparent specific gravity, soil volume, three species of soil, and salinity consistency. The results observed were as follows.

First, judging from the characteristics curves of electrical resistance-moisture content, the practical upper limit of measuring soil moisture tension was the height of about 50cmH₂O to each drying speed, apparent specific gravity, and soil volume.

Second, judging from the characteristics curves of electrical resistance-electrical conductivity on three species of soil, the practical upper limit was from the height of about 40cmH₂O to that of about 50.

Third, judging from the characteristics curves of electrical resistance-electrical conductivity under the different salt concentration in the soil water, the practical upper limit was about 40cmH₂O.

Lastly, the practical upper limit was found to be shown from 40cmH₂O to 50cmH₂O, that is, it's value is fit for about pF1.6-1.7. However, to measure soil moisture in the field, the glass filter block soil moisture meter is more suitable than other electrical resistance soil moisture meters.

ま え が き

野外において一般に広く土壌水分の測定に供用されている水分計としては、電気抵抗式水分計、テンシオメーター及び中性子水分計などが挙げられる。これら土壌水分計のうちで、同一地点を連続的、土壌構造を大きく変化させず、しかも長期間計測でき、土壌との密着性も良く、原理的、構造的及び取扱いが簡単などの点で電気抵抗式水分計とテンシオメーターがすぐれていると言えよう。電気抵抗式水分計とテンシオメーターを比較するとテンシオメーターは pF2.8 前後までの高い土壌水分の計測に適し¹⁾、電気抵抗式水分計は絶乾に近い水分まで計測できるが、高い水分状態の計測には適さないと言われている。しかしながら電気抵抗式水分計のなかでガラスブロック水分計はかなりの高水分状態まで計測可能と

言われている²⁾が上限界についての明らかな報告はないと考える。そこで、筆者はこのガラスブロック水分計についての計測上限界を実用上の面から検討した。その結果、若干の知見が得られたので報告する。

検 討 方 法

予め土壌水分張力-土壌水分量曲線を作成し、次に土壌の各乾燥段階における電気抵抗-土壌水分量曲線を作成する。この両曲線をもとに電気抵抗-土壌水分張力曲線を作成する。ここで、土壌水分の実用上の計測限界については実測の電気抵抗値の読み取り精度のバラツキを考慮に入れなければならない。

一方、キャリブレーション・カーブでは電気抵抗値を縦軸に、土壌水分張力を横軸にとるが、電気抵抗値の小さな変化に対して水分張力値の変化が大きい場合、水分張力

* 大阪府立大学農学部

に読みかえるときに精度が落ち易いので、できるだけ、電気抵抗値の大変化に対して水分張力が大きく変化する点、すなわち、曲線の勾配が急になり始める点（立ち上り点）を実用上の土壤水分の計測上限界と判定することにした。この立ち上り点について各種キャリブレーション条件から検討する。検討項目は、①土壤の乾燥速度の違い、②土壤の仮比重の違い、③土壤容積の違い、④土壤の違い、⑤土壤中の塩類濃度の違いである。

実 験 方 法

実験に用いた供試土壤は大府大ホ場表土、京大ホ場土上賀茂土壤及びシラス台地黒ボク土である、各供試土壤の組成及び土性を表-1に示す。実験は金網製バスケット（内容積 $9.5 \times 10.0 \times 11.5(\text{cm}^3)$ ）に供試土をつめ、各1個のバスケット内にはガラスブロック水分計の吸収体

表-1 供試土壤の組成（農学会法）

| 項目 土速名 | 石 薬 粗 砂 細 砂 微 砂 粘 土 | | | | | 土 性 |
|-------------|---------------------|----------------|-----------------|-----------------|-------|-------|
| | 2.0mm 以上 | 2.0~ 0.25mm | 0.25~ 0.05mm | 0.05~ 0.01mm | 以下 | |
| 大府大ホ場 表土 | 2.9% | 17.4% | 30.1% | 19.8% | 26.8% | 壤 土 |
| 京大ホ場土 | 15.9% | 49.2% | 14.3% | 7.9% | 12.7% | 砂 壤 土 |
| 上賀茂土速 | 0 | 31.0% | 32.8% | 13.4% | 22.8% | 砂 壤 土 |
| 黒ボク土 | 2.5% | 33.3% | 17.4% | 23.6% | 23.2% | 砂 壤 土 |

を2個埋設して行った。土壤は水中に浸漬させ、ほぼ飽和状態近くまで吸収させた後、取出してファン付乾燥炉内で土壤中の地温を $25.0^\circ\text{C} \pm 1.0^\circ\text{C}$ に設定して実験を行った。電気抵抗値の計測は島津製作所製SM-3型 Soil Moisture Meter を使用して行った。また、各検討項目について、乾燥速度の違い、土壤の仮比重の違い及び土壤容積の違いに関しては大府大ホ場表土を供試土壤とし土壤の違いに関しては京大ホ場土及び上賀茂土壤を供試土壤とし、塩類濃度の違いに関しては大府大ホ場表土及び黒ボク土を供試土壤として実験を行った。

実 験 結 果 及 び 若 干 の 考 察

まず、土壤の乾燥速度の違いに関する電気抵抗値と土壤水分張力値の関係を図-1に示す。

図-1から明らかなように、土壤の乾燥速度1.0%/hourと1.5%/hourの場合、両曲線とも乾燥速度とは関係なく土壤水分張力が50cm前後から曲線の勾配が急になり始めており、この曲線の立ち上り点の水分張力が実用上の土壤水分の計測上限界と判断される。

次に、土壤容積 $9.0 \times 9.5 \times 11.5(\text{cm}^3)$ と $6.5 \times 9.5 \times$

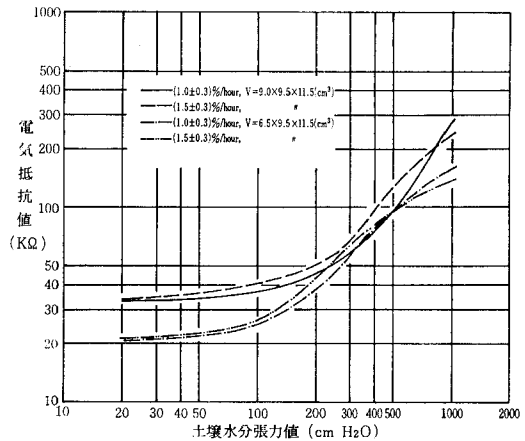


図-1 土壤の乾燥速度が異なる場合の電気抵抗値と水分張力値の関係（大府大圃場表土）

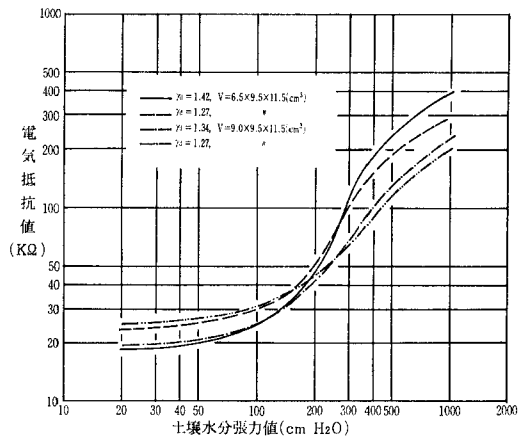


図-2 土壤の仮比重が異なる場合の電気抵抗値と水分張力値の関係（大府大圃場表土）

$11.5(\text{cm}^3)$ で仮比重がそれぞれ、仮比重(= γ_d)= 1.27 ± 0.03 と $\gamma_d=1.34 \pm 0.03$ 、 $\gamma_d=1.27 \pm 0.03$ と $\gamma_d=1.42 \pm 0.03$ の場合の電気抵抗値と土壤水分張力値の関係を図-2に示す。

図-2から明らかなように、仮比重が異なっても電気抵抗値—土壤水分張力曲線における立ち上り点の水分張力値は50cm前後と判断される。したがって仮比重が異なっても実用上の土壤水分の計測上限界は水分張力値で50cm前後と判定される。

また、土壤の乾燥の違いによる水分勾配あるいは塩類濃度の違いに関与し易いと予想される土壤容積の違いにつき検討した。すなわち土壤容積 $6.5 \times 9.5 \times 11.5(\text{cm}^3)$ と $9.0 \times 9.5 \times 49.0(\text{cm}^3)$ の場合の電気抵抗値と土壤水分張力値の関係を図-3に示す。

図-3から明らかなように、土壤容積が異なると同じ

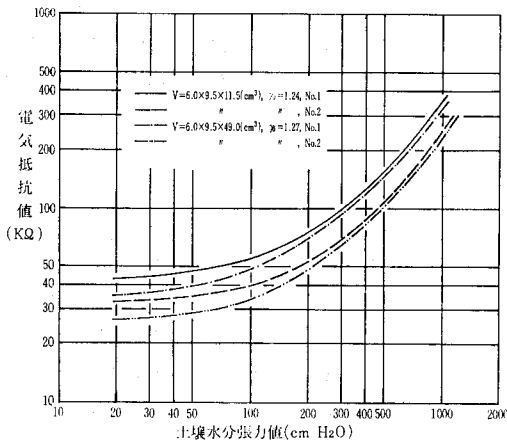


図-3 土壌容積が異なる場合の電気抵抗値と水分張力値の関係 (大府大圃場表土)

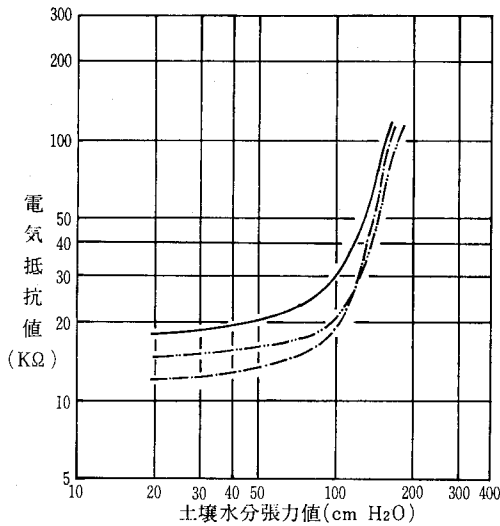


図-4 京大圃場土における電気抵抗値と水分張力値の関係

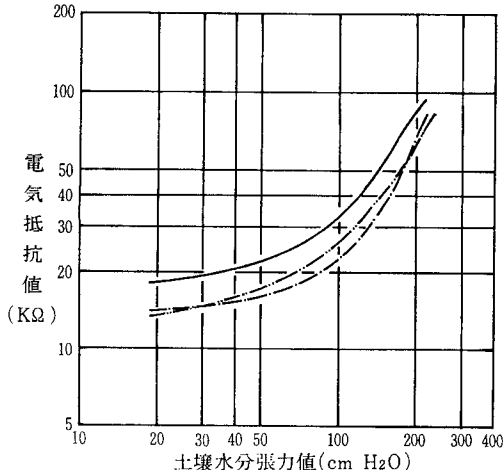


図-5 上賀茂土壌における電気抵抗値と水分張力値の関係

電気抵抗値に対する水分張力値は異なるものの曲線の立ち上がり点の水分張力値はともに50cm前後と判断される。したがって、前述の2例の結果と同様である。また、土壌を異にした京大圃場土と上賀茂土壌に関する電気抵抗値と土壌水分張力値の関係を図-4と図-5に示す。

図-4から明らかのように、京大圃場土の場合は曲線の立ち上がり点の土壌水分張力値は3本とも50cm前後になると判断される。一方、図-5から明らかのように、上賀茂土壌の場合は曲線の立ち上がり点の水分張力値はやや小さく40cm前後になると判断される。

最後に、塩類濃度を異にした水溶液中にガラスブロック水分計の吸収体を埋設した土壌を浸漬して検討した電気抵抗値と土壌水分張力値の関係を図-6と図-7に示

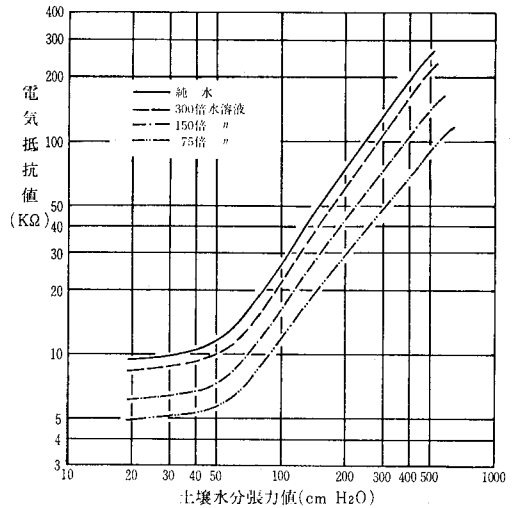


図-6 各種塩類濃度における電気抵抗値と水分張力値の関係 (大府大圃場表土)

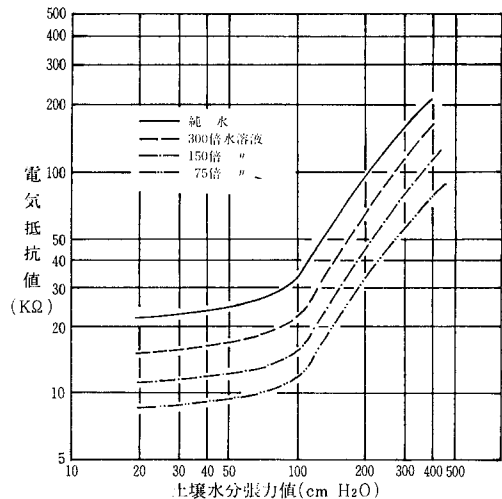


図-7 各種塩類濃度における電気抵抗値と水分張力値の関係 (黒ボク土)

す。なお、土壌を浸漬した水溶液は純水、液肥（組合2号）の75倍、150倍及び300倍に希釈した水溶液の5種である。

図一6及び図一7から明らかのように、大府大ホ場表土及び黒ボク土とも希釈水溶液の倍率の小さい方に浸漬して得られる電気伝導度の大きい方が同じ電気抵抗値に対する水分張力値は大きい。しかし、各曲線の立ち上がり点の水分張力値は各希釈倍率に殆んど関係なく40cm前後になると判断される。したがって、塩類濃度が異なってもガラスブロック水分計の実用上の水分計測上限界は40cm前後になると判断される。

考察及びまとめ

今回の検討結果は既報^{4,5)}のキャリブレーション・カーブ（電気抵抗値—土壤水分量曲線）から電気抵抗値と土壤水分張力値の関係曲線を作成することにより、ガラスブロック水分計の実用上の土壤水分の計測上限界を判定することを試みたものである。したがって、土壤の乾燥速度の違い、仮比重の違い及び土壤容積の違いに関する実験と土壤の違い及び塩類濃度の違いに関する実験時期はあい前後しているものもあるが、これら一連の実用上の土壤水分の計測上限界についてはほぼ同様の結果が得られていると考える。すなわち、今回検討できた結果をまとめると、土壤の乾燥速度の違い、仮比重の違い、土壤容積の違い、土壤の違い及び土壤中の塩類濃度の違いに関して、それぞれ条件の違いによって電気抵抗値—土壤水分張力値曲線は同じ電気抵抗値に対する水分張力値は異なるものの、各曲線の立ち上がり点に関しては水分張力値で40～50cm前後になることが明らかとなった。また、砂土に関する例においても同様の処理をすると立ち上がり点の水分張力値が40～50cm前後になることが文献⁶⁾から見出すことができた。即ち、水分張力値の40～50cmはpF表示するとpF 1.6～1.7に相当し、ちょうどホ

場容水量前後に相当している。この事から、ホ場容水量よりも多い水分状態に対しては電気抵抗値の変化が小さいので、計測誤差を大きくするため土壤水分の計測には十分留意する必要があると考える。

あ と が き

従来から不明確だった土壤水分の計測範囲について、特に、上限界に関して実用上の観点からガラスブロック水分計をとりあげて検討した。その結果、実用上の上限界としてはpF 1.6～1.7前後になるものと判断された。しかしながら、他の石コウブロック水分計⁷⁾をはじめとする電気抵抗式水分計に比較して計測上限界は大きいと言える。野外においてpF 1.6～1.7前後よりも多い水分は重力水として下方に浸透するし、また、有効水分量の範囲外の土壤水分と考えられるので、ガラスブロック水分計の実用上の計測範囲はpF 1.6～以上となり、畑地におけるかんがい後及び降雨後の重力水の排除された状態からの土壤水分の追跡には十分に適した水分計と判断される。

最後に、本研究を遂行するにあたり、いろいろと御教示いただきました大阪府立大学農学部・手島三三教授に心から謝意を表する次第である。

引用文献

- 1) 小林 一：土壤水分の測定法、土地改良の動向、pp.252～281 (1960)
- 2) 西出 勤：畑地用水量決定の合理化に関する研究、岐大農研報第27号、pp.1～81 (1969)
- 3) 長 智男他：ガラスブロックによる砂の水分測定、研丘研究18巻2号、pp.9～19 (1972)
- 4) 矢部勝彦：土壤水分の測定法、農土誌40巻12号、pp.9～12 (1972)
- 5) 矢部勝彦：電気抵抗式土壤水分計に関する基礎的検討、土壤の物理性40号、pp.26～31 (1979)

[1980.8.7. 受稿]

ヘドロの客土による土壌の物理性と作物生育への影響

軽部重太郎*, 森泉 昭治*, 大崎 和二*

Effects of Sludge Dressing in Dry Field Soils
on Soil Physical Conditions and Plant Growth
Jutaro KARUBE, Shoji MORIIZUMI and Kazuzi OSAKI

Faculty of Agriculture, Ibaragi University

Abstract

Feasibility of sludge dressing on dry fields has been investigated for a management of sludge which does not contain harmful objects. Sludge used was obtained from the bottom of Lake Kasumigaura, was mixed into volcanic ash soil named Kanto Loam and sandy soil from the sand dunes of Kashima. Experiments were made in Wagner pots with mixing ratio of sludge and soils varied in several grades, and in the field to be compared with the results of the pot test.

The sludge mixed with Kanto Loam changed into clods, which did not break down easily in a short period. Because of these clods the available moisture of Kanto Loam decreased and the crop sprouting was obstructed. These clods seemed to be gradually destroyed by cultivation and by repetition of drying and wetting, but it was thought that the mixing work should be improved to diminish the obstruction which will last for several years. The experimental result of Chinese cabbage vegetation showed that the sludge dressing in Kanto Loam which has great phosphate-adsorption coefficient had a merit of supplying the phosphate to a certain extent.

In the case of dressing the sludge in sandy soil, the available moisture increased and vegetation went well generally. When the mixing ratio was increased, crusts took place at the soil surface making a barrier against germination. It should be noted that the soil liquefied suddenly while sludge was being mixed into sandy soil when the pores of the soil were just filled up with sludge.

The merit or the demerit of sludge dressing on dry fields is to be evaluated in consideration of the conditions involved.

I はじめに

湖沼などの底に堆積している柔らかい泥（底泥）は一般にヘドロと呼ばれている。ヘドロは粘土や有機物に富み、含水比が極めて高いという特徴をもち、自然条件下においても湖沼などの底に年に2~10数mmの速度で堆積している^{1),2)}。

近年、経済成長に伴って、各種排水等に含まれる汚濁

物質の量が急増し、それがヘドロに蓄積することによって、ヘドロもまた水質汚濁の原因の一つと見なされるようになってきた³⁾。特に水深の浅い湖沼などにおいては波浪によってヘドロが浮遊するので、水質保全の立場からのヘドロ対策が要請されている。建設省の調査によれば、シュンセツする必要のあるヘドロは霞ヶ浦だけでも約4千万 m^3 あるとされており⁴⁾、これらのヘドロのシュンセツ除去および処理対策が課題になっている。

* 茨城大学農学部

シェンセツ除去に関しては、カク乱による二次汚濁発生や、除去し残しのヘドロからの汚濁物溶出などの問題がある。処理対策としては、盛土などの土木材料として利用する方法が考えられている⁵⁾。この場合、もしヘドロ中に有害物質が含まれていれば土木的な封じ込め対策が必要であろう。ヘドロが有害物質を含まない場合には有機物に富むという特徴を生かして、これを農地への客土材として利用することができれば好都合である。

農地といっても水田に対する客土は、ヘドロによる水田のカサ上げ⁶⁾などの物理的利用として、今までも多く行われてきた。これに対し、畑地への客土は例が少なく、また性状の異なった土の混合によって、耕土としての土壌の条件がどのように変化していくかという興味ある問題を含んでいる。

そこで霞ヶ浦のヘドロを使って、火山灰畑地土壌と砂丘から運んだ砂土にこれを混合し、土壌の物理性的変化と作物生育への影響に関する実験を行って耕土の変化を検討した。

Ⅱ ヘドロの客土による土壌の物理性的変化

1. 供試土の性質

供試土の性質を表-1に示す。

1) ヘドロ：霞ヶ浦の土浦入から採取したヘドロで、ハロイサイトおよび混合層鉱物からなる。pHは7~8を示し、特に問題となる有害物質は含まれていない。有機物含有量は全炭素から求めたもので、火山灰畑土よりも少ない。霞ヶ浦ヘドロの場合、強熱減量は全炭素から求めた有機物含有量の2倍程度に大きく出るので注意を要する。ここに用いたヘドロは採取後しばらく放置したために、自然状態のものよりやや含水比が小さい。

2) 畑土：茨城大学農学部付属農場の関東ロームからなる畑地の表土である。

3) 砂土：鹿島砂丘の雑木林跡の荒地から採取した。海岸から5kmほど離れたところなので褐色を呈しているが、粘土や有機物はほとんど含まれていない。

2 実験方法

1) ポットを利用した実験

畑土と砂土に対してヘドロの混合比をいろいろに変えて混合し、ワグネルポット ($\frac{1}{20}\text{m}^2 \times 0.3\text{m}$) につめて屋外に放置した(1977年7月)。ヘドロの畑土に対する混合比は、固相の体積比で0, $\frac{1}{20}$, $\frac{1}{10}$, $\frac{1}{5}$, $\frac{1}{2}$ とし、砂土に対する混合比は、同じく0, $\frac{1}{40}$, $\frac{1}{20}$, $\frac{1}{10}$, $\frac{1}{5}$ のそれぞれ5段階とした。ほぼ4ヶ月ごとに深さ5~10cmのところをサンプリングして、三相分布、pF水分、団粒分布の測定をした。pF水分についてはpF1.5を土柱法、pF3.5を加圧膜法で測定した。また団粒分析は水中篩別法による。

2) ほ場での実験

畑土の場合、実際のは場の状態で試験し、またポット試験の結果と比較するために、農場に試験区を設けた。試験区は1区の面積30 m^2 (5×6m)で、ヘドロ無投与区、25 l/m^2 投与区、50 l/m^2 投与区の3段階とした。これらは、深さ18cm程度まで耕耘した後の混合比が、固相の体積比でそれぞれ0, $\frac{1}{10}$, $\frac{1}{5}$ となる量である。トラクタ用ロータリを用いて3回反復耕耘して混合した後、作物を栽培し、そこからサンプリングしてポット試験と同様の測定を行った。

3 結果

1) 畑土への混合の場合

ヘドロの混合比を変えた場合の三相分布の変化を図-1に示す。pF1.5~pF3.5の差を有効水分とみなせば、有効水分は混合比が大きくなるに従って減少している。また混合比が大きくなるに従って、高pFの拘束された水分および固相率が増加する傾向が認められる。経時的な変化はバラツキもあってははっきりしない。これらのことは、ポット試験の結果もほ場試験の結果もほぼ同様であり、この実験の結果からは、関東ローム畑土へのヘドロの客土は、有効水分を減少させるというマイナスの効果をもたらすといえる。

団粒分析の結果(図-2)をみると、混合比の増大に伴って2.0mmを超える粗大団粒が増加し、0.25~1.0mm程度の団粒が減少する傾向が認められる。有効水分や三相分布に影響を与えているのはこの粗大団粒であると思われる。この粗大団粒は通常用いられている団粒の概念と

表-1 供 試 土 の 性 質

| 区 分 | 土 性 (国際法) | 粒 径 分 布 (国際法) (%) | | | | 真比重 | 有機物含 有量(%) | 乾燥密度 (g/cm^3) | 三 相 分 布 (%) | | |
|-----|--------------|-------------------|------|------|------|------|---------------|------------------------------------|-------------|------|------|
| | | 粘 土 | シルト | 細 砂 | 粗 砂 | | | | 固 相 | 液 相 | 気 相 |
| ヘドロ | Light Clay | 37.5 | 33.7 | 38.4 | 0.4 | 2.64 | 4.39 | 0.51 | 19.4 | 80.6 | 0 |
| 畑 土 | Clay Loam | 21.0 | 30.7 | 38.1 | 10.3 | 2.57 | 7.84 | 0.66 | 25.6 | 45.3 | 29.1 |
| 砂 土 | Sand | 0.3 | 0.5 | 5.2 | 94.1 | 2.70 | — | 1.53 | 56.6 | 8.5 | 34.9 |

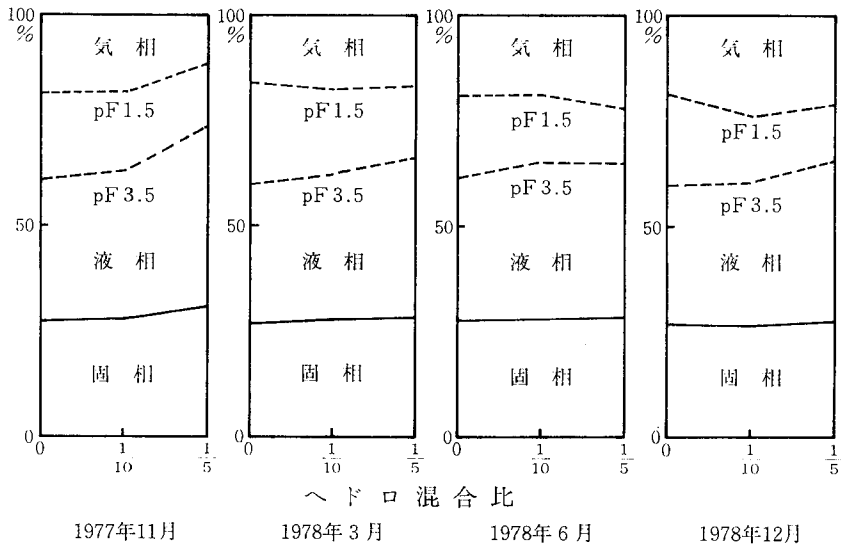


図-1 三相分布 [畑土(ほ場)の場合]

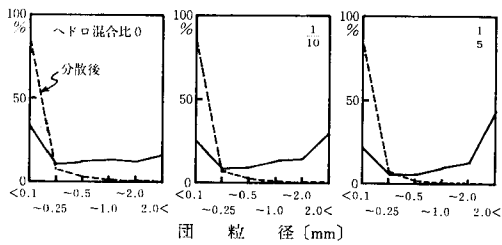


図-2 団粒分布 [畑土(ほ場)生土の場合]

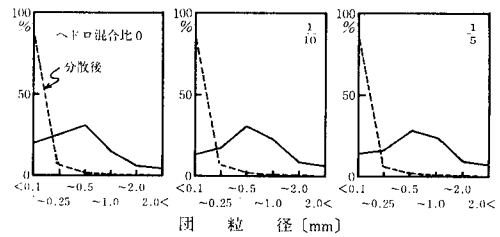


図-4 団粒分布 [畑土(ほ場)風乾土の場合]

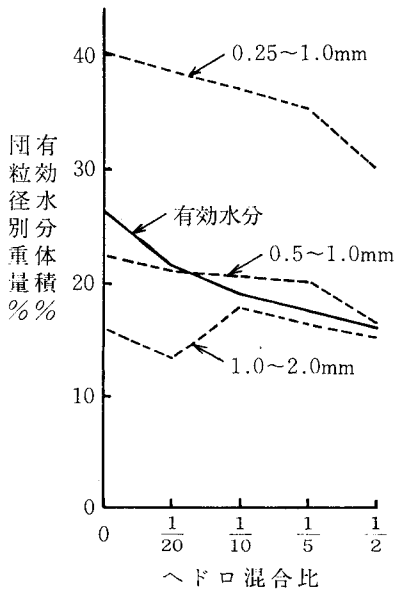


図-3 有効水分と団粒径の関係 [畑土(ポット)の場合]

異なり、ヘドロの、あるいはヘドロが畑土を取り込んで固まったち密な土塊である。

ここで、どの程度の粒径の団粒(土塊を含む)が有効水分を最もよく保持するかを推定するために、混合比に対する有効水分と団粒径の関係を図-3に示す。この図から、0.25mm~1.0mmの粒径のものの増減が有効水分の増減と最もよく関係していると判断される。

試料を、水中篩別する前に風乾させた場合には、土塊が崩れて2.0mm以上のものは減少し、0.25~1.0mmのものが增加する(図-4)。このことから、時間が経てば耕耘や乾湿のくり返しなどによって土塊が崩壊し、耕土としての物理的条件は次第によくなっていくものと推定される。

2) 砂土への混合の場合

ヘドロを砂に混合した場合の三相分布を図-5に示す。混合比が大きくなるにつれて有効水分が増加する傾向が明らかに認められる。高pFの拘束水分も同様に増加し固相率は減少している。経時的には一定の傾向は認められない。

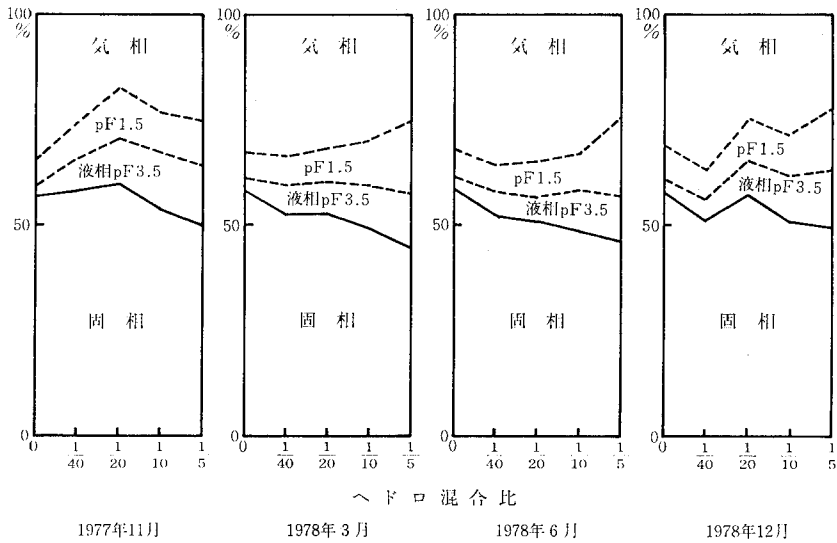


図-5 三相分布 [砂土(ポット)の場合]

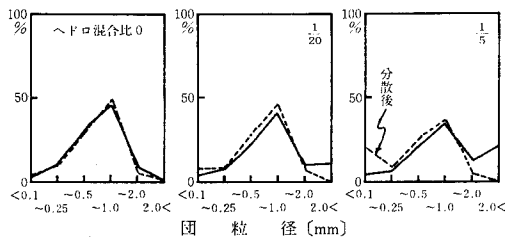


図-6 団粒分布 [砂土(ポット)生土の場合]

砂土の場合は一次粒子の径が大部分 0.25~2.0mm の範囲に分布しているので、団粒をつくとそれより大きいものが増える(図-6)。有効水分との関係では、図-7に示すように1.0mm以上の団粒と相関をもつ。この点畑土の場合と異なり、砂土の場合には細粒分が補給されて、全体として土壤水分が増加すると同時に、より保水的な土壤構造が形成されるものと考えられる。

III 作物生育への影響

1 畑土、砂土に対するポットを使用した陸稲栽培試験

1) 実験方法

1-2-1) で述べたものと同じ条件のポット(3連)に陸稲(ハッサクモチ)3葉苗を3本ずつ移植した。また、翌年には5粒ずつ播種した。施肥は化成肥料(14-14-14)を元肥として1g、追肥として0.5gそれぞれ施用した。その他の管理は慣行法によった。

2) 結果

初年目には、移植後の生育が不斉一であったが、畑土のへドロ混合比 $\frac{1}{2}$ 区の収量が著しく低かったことと、砂土のへドロ混合比の大きい区では、カン水によってクラスト(土膜)が形成されることを認めた。

二年目には、砂土のへドロ混合比 $\frac{1}{5}$ 区で、クラストのために発芽障害が生じ、分けつ数も減少した。草丈は、畑土の場合へドロ混合区が全体にわずかに劣り、砂土の場合には逆にへドロ混合区がややまさる傾向を示した。

収穫時における地上部重と穂重の調査結果を図-8に

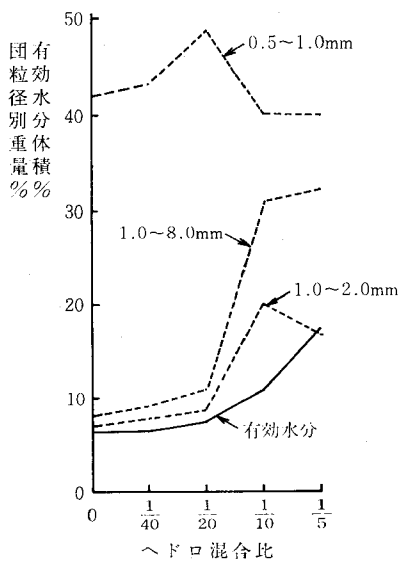


図-7 有効水分と団粒径の関係 [砂土(ポット)の場合]

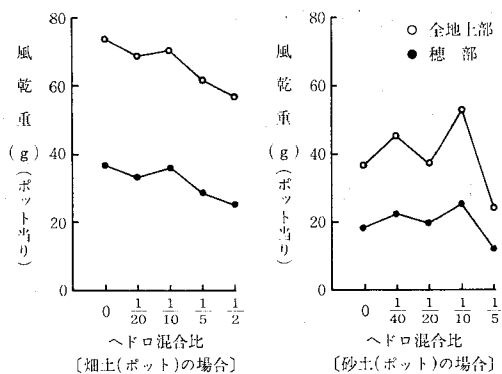


図-8 ヘドロ混合比と陸稲収量

示す。畑土の場合には、地上部重、穂重共にヘドロ混合比が大きくなるに従って減少した。一方砂土の場合には、逆にヘドロ混合比が大きくなるに従っていずれも増加する傾向を示し、混合比が1/5に達すると減少した。これらの関係は前述の土壌の物理性的変化とも符合している。

2 ほ場における結球白菜の三要素試験

1) 実験方法

Ⅱ-2-2) で述べたほ場のヘドロ混合比0区(対照区)と1/10区において、結球白菜(新京都3号)を1区(6㎡)当り10株、2連で栽培した。ヘドロ客土の養分補給効果を見るために、表-2に示されるように施肥条件を決め、硫酸アンモニヤ110g/㎡、過リン酸石灰110g/㎡、塩化カリ37.5g/㎡を、それぞれN、P、K肥料として施用した。また堆肥(M)は2kg/㎡を施用した。その他の管理は慣行法によった。

2) 結果

表-2に示した結果から次のことがわかる。収量は、

表-2 白菜の結球部平均重量(g)

| 区 分 | 3要素・堆肥施用(NPK・M) | 3要素施用(NPK) | カリ無施用(NP) | リン酸無施用(NK) | チッソ無施用(PK) |
|------------|-----------------|------------|-----------|------------|------------|
| 対 照 区 | 4,160 | 3,950 | 3,550 | 380 | 3,100 |
| ヘドロ混合1/10区 | 4,100 | 3,670 | 4,310 | 1,490 | 3,370 |

表-3 各作物の収量(㎡当り)

| 区 分 | 陸 稲 (第1作) | | 小 麦 (第2作) | | 青刈用ソルゴー (第3作) | |
|------------|------------------|----------------|------------------|---------------|---------------|---------|
| | 全地上部重 風乾重 (g) | 正風乾 もみ重 (g) | 全地上部重 風乾重 (g) | 正風乾 粒重 (g) | 草 丈 (cm) | 生草重 (g) |
| 対 照 区 | 1,010 | 390 | 786 | 229 | 155 | 2,580 |
| ヘドロ混合1/10区 | 1,000 | 373 | 764 | 223 | 170 | 2,630 |
| ヘドロ混合1/5区 | 930 | 368 | 990 | 295 | 186 | 3,010 |

肥料が十分にある場合(NPK・M区およびNPK区)は、ほぼ同じか、あるいはヘドロ混合区の方がやや劣る傾向があるが、三要素のうち何か一つでも欠けた場合には、ヘドロ混合区の方がまさる。特にP欠乏の場合(NK区)にはこれが顕著であり、ヘドロ客土にはリン酸を主とした養分補給効果があるといえる。

霞ヶ浦ヘドロのリン酸吸収係数は、火山灰畑土壌のそれ(2,200)よりは小さいものの、1,500~1,800と比較的大きい。にもかかわらずこのような効果があるのは、ヘドロ中に比較的多く含まれるカルシウムイオン(置換性カルシウム含有量では火山灰畑土4.54me/100gに対してヘドロ20.7me/100g)などにより、有効態リン酸が増加するためと思われる。

3 ほ場における作物の生育、収量と経年変化

1) 実験方法

Ⅱ-2-2) で述べたほ場に、1977年夏作として陸稲(ハッサクモチ)、続いて冬作に小麦(普通コムギ、農林61号)、翌年夏作に青刈用ソルゴー(在来種)を慣行法によって栽培し、生育や収量を調査した。

2) 結果

第1作目の陸稲についてみると、ヘドロ混合比1/5区では表層の土塊のために発芽障害が生じ、発芽数が3割程度減少した。ヘドロ混合比1/10区は正常であった。収量は表-3に示すように、1/5区の稔実状況は発芽数の割に良好であったが、1/10区と同様、対照区に比べるとやや減収となった。

第2作目の小麦も、播種前にトラクタ用ロータリで2回耕耘したにもかかわらず、土塊のためにヘドロ混合区の発芽率が劣った。しかし、収量は表-3に示すように対照区とほぼ同じか、またはそれ以上の結果となった。

ただし、 $\frac{1}{5}$ 区では倒伏が多く見られた。

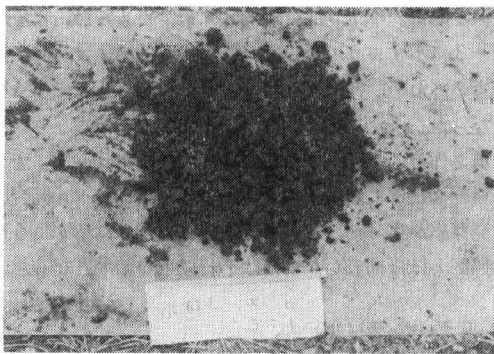
第3作目の青刈り用ソルゴーも、発芽数ではヘドロ混合区が劣ったが、収穫時には草丈でこれを補い、青刈生草量はヘドロ混合比のより高い区が他を上回る結果となった。

以上の結果から、土塊がある程度長期にわたって発芽障害となっていることは明らかである。また、ヘドロ混合区が対照区よりも作物栽培にとって有利であるとは一般的には言い難いが、作物の種類や栽培管理および経過年数によっては、対照区以上の収量を得ることが可能であるといえる。

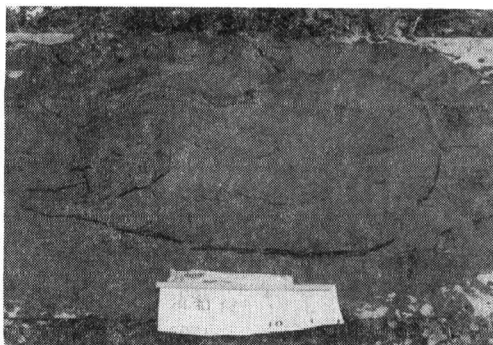
IV 考 察

1 ヘドロを混合する場合の問題と土塊について

ヘドロのような高含水比の粘性土を畑土に混合する場合には、トラクタのスリップや作業機械への泥の付着のために、作業がしにくいばかりでなく、土の混合がうまくいかずに土塊ばかりを作ってしまうという問題が生ずる。今回混合したヘドロの場合にも、土塊をつくってしまっていて混合が十分にできなかったといえる。もし十分に混合されていれば、土塊は小さく、少なくなり、ひいて



写真一 1 ヘドロ混合後、土塊になった状態
(畑土, 混合比 $\frac{1}{5}$)



写真一 2 ヘドロ混合後、液状化した状態
(砂土, 混合比 $\frac{1}{5}$)

は有効水分や発芽率が先の結果よりもよくなっていたかと思われる。

このような土塊は一たんできてしまうとなかなか壊れない。乾湿のくり返しを受けるのは表面に浮いた土塊だけであるし、冬期の凍結融解による風化も期待できるような効果は見られなかった。水田転換畑でもこのような碎土性の悪い土塊ができることが指摘されている⁷⁾が、水田土壌は耕起時に多少なりとも乾燥を受けているし、未分解の有機物を多く含み、いくらかでも構造性があるなどヘドロよりは扱い易いと思われる。

したがって、このような土塊を始めから作らないようにするのが大切であり、混合の際の施工法が検討されるべきであろう。施工法としては、ヘドロ投入後十分に乾燥させてから混合する方法が考えられる。一たん乾燥すればヘドロの物理性がかなり変化して扱い易くなるし、収縮時土塊にひずみが生じ、再び水に会うと土塊が崩れ易くなるので、乾燥させる方法は土塊をなくすために有効な方法であると思われる。ただ、ヘドロのような透水性の悪いものを十分乾燥させるのは、砂丘などでの施工を別とすれば容易であるとはいえない。

砂土にヘドロを混合する場合には、作業中に突然液状化することがあるので注意を要する。今回の実験では、混合比 1/10 で砂土にヘドロを混合している時に液状化した。このような現象は、砂土の空気間隙がヘドロで満たされた時に起るものと考えられるが、液状化したときの砂土の間隙率を求めると自然状態のときよりも小さいことがわかった。このことから、混合の際には充填が密になるところができ、液状化し易くなるものと思われる。したがって砂土にヘドロを客土する場合には、砂とヘドロの混合比から見て、少なくとも液状化する可能性がなくなるまでヘドロを乾燥させてから混合する必要がある。

2 ヘドロの客土の得失

耕土としての火山灰土壌は、一般に物理性がよく化学性が悪いといわれている⁸⁾ので、これに対するヘドロの客土の有効性は、化学性、特にリン酸欠乏を緩和することができるかどうかにあるといつてよい。この点、リン酸欠乏に対する有効性はある程度あるといえる。ヘドロの中の硫化物による酸性化の害については、採取後に弱アルカリ性であったヘドロが、乾燥によってほぼ中性を示す程度であることから、客土に関して特に問題はないと思われる。

火山灰畑土壌に客土した結果から見ると、ヘドロの客土はち密な土塊をつくり易く、それによって有効水分を減少させ、さらに作物栽培に当っては発芽障害を招くなど、マイナスの効果が認められる。

砂土に対するヘドロの客土は、構造を形成して有効水

分を増加させる効果がある。また粘土やシルトおよび有機物などが補給されるので、肥料分の保持など化学的な改善効果も期待される。問題になるのは、適当にヘドロが混合して乾燥した場合に、土壌表面にクラストが形成され、それが発芽障害を招くことである。これが下層にできると不透水層を形成し、排水不良などの原因となる⁹⁾。これらのはかにも、砂土への粘性土の客土は、蒸発量の増加やそれに伴う地温の低下をもたらし、根菜類の場合には土ばなれが悪くなるなど、生産物の品質にも影響を与えることが指摘されている¹⁰⁾。

こうした農地へのヘドロの客土の得失は、施工法などの改善の可能性を含めて、種々の条件の中で考えられていく必要があると思われる。

V ま と め

シュンセツしたヘドロの処理法を考えるに当り、霞ヶ浦ヘドロが有害物質を含まず、肥料分に富んでいることに着目して、これを農地(畑地)に客土材として利用できるかどうかについて検討した。

1. 火山灰畑地にヘドロを客土する場合、混合する際にヘドロのち密な土塊ができて容易に崩れない。
2. この土塊は火山灰土壌の有効水分を減少させ、また拘束水分と固相率を増加させる。
3. 土塊はまた、作物の発芽率を低下させるなど作物栽培上の障害となる。三作目でも発芽障害が見られた。
4. これらの土塊は耕耘や乾湿のくり返しによって次第に減少していくものと考えられるが、それまでの間の障害を減らすために、客土の際の施工法を検討する必要があると思われた。
5. 作物の生育状況から見て、火山灰土壌へのヘドロの客土は、リン酸欠乏をある程度補う効果がある。
6. 砂土にヘドロを客土する際には突然液状化することがある。砂の最密充填時の空気間隙よりも混合しようとするヘドロの量が多くなった場合に液状化する可能性がある。

7. 砂土に対するヘドロの客土は、細粒分を補給して全体に土壌水分を増加させると共に、構造を形成して土壌の有効水分を増加させる効果がある。

8. 砂土に対するヘドロの客土の場合、客土量が多くなると土壌表面にクラストが形成されて、発芽障害を招くことになり易い。しかし、一般に生育は良好となり収量も増える。

(謝辞) 茨城大学須藤清次教授、同安富六郎助教授には種々の助言をいただいた。実験には茨城大学久保田正助助手、日下部三郎技官の協力をいただいた。この研究は農林水産特別試験研究費補助金によって行なわれたものであることを付記し、農業土木試験場農地整備部多田教室長(現筑波大学)、同千葉豪部長ほか関係各位に感謝致します。

引用文献

- 1) 滋賀大学湖沼研究所編：びわ湖、10～13、(1974)、三共出版。
- 2) 軽部重太郎：霞ヶ浦底泥の理工学的性質について、土と基礎 **26**(1)、33～40、(1978)。
- 3) 茨城大学農学部霞ヶ浦研究会編：霞ヶ浦、(1977)、三共出版。
- 4) 建設省霞ヶ浦工事事務所：霞ヶ浦水質保全対策調査報告書(中間報告)、28～104、(1973)。
- 5) 喜田大三：ヘドロのシュンセツ・処理・処分、土と基礎 **26**(1)、55～61、(1978)。
- 6) 国分欣一・増島 博・根本清一・長野間宏：圃場整備に伴う水田の排水及び土壌改良に関する研究、農事試験場研究報告(32)、120～129、(1980)。
- 7) 汎用耕地化のための技術指針編集委員会：汎用耕地化のための技術指針、72、(1979)、農業土木学会。
- 8) 山根一郎・大向信平：農業にとって土とは何か、227～245、(1972)、農文協。
- 9) 吉田昭治：湖沼・水路底泥の農地還元に関する土壌学的研究(農林水産特別試験研究費補助金による研究報告書)、17、(1979)。
- 10) 山崎不二夫：農地工学(下)、417～418、(1972)、東大出版会。

[1980.9.12. 受稿]

シロカキ土壌硬度と水稻稚苗モデルによる 植付深さに関する実験的研究

市川 眞 祐*・山村 文 雄*

Studies on Relationship between Hardness of Puddling Soil
and Planting Depth on Young Seedling Model of Paddy Rice.

Masasuke ICHIKAWA, and Fumio YAMAMURA.

Faculty of Agriculture, Mie University

I 緒 言

最近の数年間、米の生産過剰で作付面積が農政の大きな課題となっているが、わが国における農業の中心は何といっても稲作であることは間違いない。稲作作業には耕うんから収穫に至るまでに多くの農業機械を使用し、農作業と土壌とくにその物理的性質とは非常に強い関連があり、農業機械が高度になればなるほど両者はますます重要となってくる。

稲作の機械化作業体系のうちで最も遅れていたのは田植作業であったが、稚苗またに中苗の移植法の確立によって約10年前より性能の安定した田植機が開発され、以来急激に普及し、現在では約160万台が生産され¹⁾、田植作業のほとんどが機械によって植付けられるようになった。田植機はシロカキされた圃場の田面を車輪で走行し、その走行の安定を向上させるためにフロートを有しているのが一般的である。シロカキされた土壌はその組成によって力学的性質が大きく変わり²⁾、とくに粘土を多く含んだ圃場においては、シロカキ後の経過時間が少ないときフロートの走行によって植付けられた苗が倒されて埋没することもしばしばある。また耕盤の凹凸が田植機の植付部の動きに影響し³⁾、深植になったり、浅植になったりすることもある。さらに植付けられた苗が浅植であり、シロカキ土壌が軟かいとき、強風による外力が作用した場合にそれによって倒され、結果として欠株となることもある。田植機で使用する苗は稚苗または中苗で葉令が2.5~3.5のものが多く、深植になり過ぎた場合は一般に後の生育・収量によくないとされている。逆に浅植の方がよいとされているが、植付直後しばしば倒伏する。倒伏しても約10日も経過すれば苗は自力で起き上がって収量には影響ないが、機械の立場からすれば芳しいことではない。

したがって本研究は上述の最後の問題、すなわち外力

として実際にしばしば確率的に起こる作物等に被害がではじめる10m/secの風が植付けられた苗に作用した場合シロカキ土壌の硬さと植付け深さとの関係を苗のモデルによって求め、シロカキ土壌の苗の支持力、最適植付深さ等について検討した。

II 実験装置および方法

2-1 水稻稚苗モデルと供試土壌

稚苗のモデルは、なるべく実物に近い材料でしかも後述する応力が容易に測定できるものとして、リン青銅板(PBS-SH、ヤング率 $0.98 \times 10^8 \text{ kgf/cm}^2$ 、幅10mm、厚さ0.3mm)を用い、植付け深さは土壌表面より10mm、20mm、40mmの3種類とする。まずモデル板に土壌表面から10mmの位置になるように歪ゲージ(ゲージ率2.1、箔ゲージ)を貼りつける。土壌中に、モデル板を植付け深さ別にさしこみ、送風機(最大風速15m/s)を用いて風をおく。このときモデル板の上端に均等に風があたるように、ビニールパイプでセットしておく。風速は送風機に直結されたモーターの電圧を変圧器によって徐々に増加させ、1分間で線形的に風速10m/secに達するように操作して、そのときの歪ゲージより検出し、動歪計(新興通信工業、DS-6002F型)で増幅して電磁オシログラフ(共和電業、RMV-300A型)で風速とともに記録する。なお、風速は熱線風速計(アネモマスター)を用いて測定した。

供試シロカキ土壌の硬度は硬い、中程度および軟かい状態の3種類を設定し、下げ振り硬度計⁴⁾により測定しそれぞれ貫入深さが65、90、125mmの3状態について、各植付け深さと組み合わせて実験を行う。所定の土壌硬度になるように土壌槽の土壌に水を加え、シロカキをして硬度を調整する。以上より、各々の土壌硬度および植付け深さにおける土壌表面から10mmのところの歪と風速の関係が得られる。供試シロカキ土壌の粒度分析は、J I

* 三重大学農学部

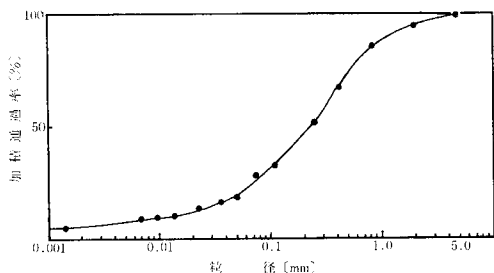


図-1 供試シロカキ土壌の粒径加積曲線

S A1204 (比重浮ヒョウによる粒度測定法) ⁵⁾ の規格で行ない、図-1に示す粒径加積曲線の土壌を用いた。

2-2 風速と風圧

一般の気体は、粘性・圧縮性の両性質を備えているがここでは気体の圧縮性を考慮にいれなければならないほどの高速の現象は扱わないものとして、非圧縮性すなわち気体の密度は一定であると仮定する。空気密度は、1気圧・20℃のとき0.1228[kgf・s²/m⁴]である。次に風速が一定であるならば風の中におかれた物体が受ける圧力P[kgf/m²]は、

$$P = \frac{1}{2} \rho \cdot C \cdot U^2 \quad \dots\dots (1)$$

ここで、 ρ : 空気密度 [kgf・s²/m⁴]

C : 構造物の形状によって定まる空気係数

U : 風速 [m/s]

として表わされる。したがって(1)式を用いて各々の風速における圧力を求めることができる。以後この値を風圧として扱う。

2-3 歪とモーメント

モデル板に2ゲージ法によって貼付された歪ゲージより、曲げ歪を測定することによって、その部分におけるモーメントが求められる。すなわち、モーメントM[kgf・mm]は次式で算出することができる。

$$M = E \cdot b \cdot h^2 \cdot \epsilon / 12 \quad \dots\dots (2)$$

ここで、E : ヤング率 [kgf/mm²]

b : モデル板の厚さ [mm]

h : モデル板の幅 [mm]

ϵ : 出力ひずみ量

2-4 シロカキ土壌の反力

モデル板は、それが倒伏していく速度比にべて風速の方が極めて速いから、各瞬間においていずれの場合も静止しているものと見なすことができる。土壌からの反力が土壌表面とモデル板の最下部に集中的にかかるものとすれば、図-2のような片持ちはりと考えることができゲージの貼付場所のモーメントと風圧および各部の長さが既知であれば、図中の反力RおよびFの値は、次のようにして算出することができる。

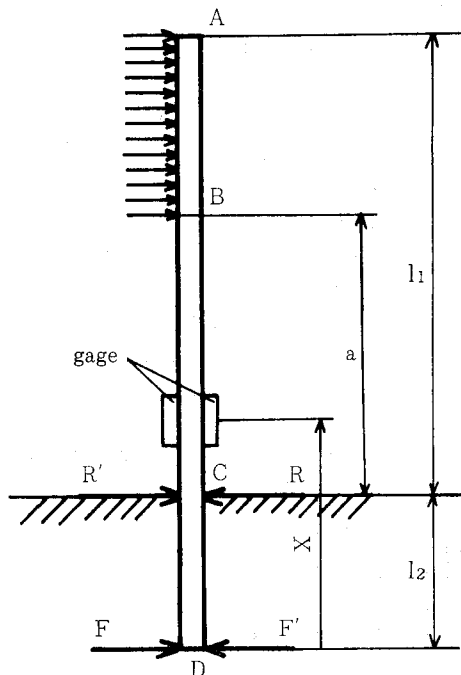


図-2 稚苗モデル

BC間のモーメントM_{BC} [kgf・mm]は、

$$M_{BC} = F \cdot x - R(x - l_2) \quad \dots\dots (3)$$

$$F = q(l_1^2 - a^2) / 2l_2 \quad \dots\dots (4)$$

$$R = F + q(l_1 - a) \quad \dots\dots (5)$$

(3)式に(4)、(5)式を代入すれば

$$M_{BC} = q(l_1^2 - a^2) / 2 + ql_2 l_1 - ql_1 x + qa(x - l_2) \quad \dots\dots (6)$$

となる。

ここで、q : 単位長さ当りの風からの力 [kgf/mm]

l₁ : 土壌表面から最上部までの長さ [mm]

l₂ : 土壌中の長さ [mm]

x : モデル板の最下部からゲージ貼付位置までの長さ [mm]

いま、(2)式よりモーメントの値が求まり、かつq, l₁, l₂, xは測定できる値であるから、(6)式よりaの値を求めることができる。このaの値を(4)、(5)式に代入することにより、反力FおよびRの値が求まる。

III 実験結果および考察

3-1 反力について

図-2のように考えた場合、土壌中(C点～D点)で確実に固定されているとすれば、AB間にかかる力と、FおよびRとの力関係はつり合っているはずである。言い換えれば、AB間にかかる力、つまり風圧はRの反力であるR'とFの反力であるF'の力におき換えることが

できる。したがって、固定した場合のFおよびRはそのときの風がモデル板をとおして、シロカキ土壤に与える力ということになる。もしシロカキ土壤が軟かいときは風からの力よりも土壤からの反力が小さいことになる。この場合は、モデル板が倒れることにより、風からの力が弱まり、土壤からの反力とつり合うところで静止する。こうして算出したRおよびFを固定の場合と比較することによって、モデル板の倒伏を考慮することができる。以下、それぞれの植付け深さに別土壤硬度および風圧と反力を検討する。表-1に、それぞれの場合の反力Rの値を示す。この値は、数度くり返した実験の値を最小二乗法によって回帰したときの値である。

表-1 各々の条件による反力Rの値 [kgf]

| 植付け深さ [mm] | 風圧 [kgf/m ²] (風速 [m/s]) | 固 定 | 土 壤 硬 度 (下げ振り貫入深さ) | | |
|------------|-------------------------------------|-------|--------------------|-------|-------|
| | | | 65mm | 90mm | 125mm |
| 10 | 5(9.0) | 0.031 | 0.026 | 0.015 | 0.017 |
| | 10(12.8) | 0.045 | 0.034 | 0.022 | 0.023 |
| 20 | 5 | 0.016 | 0.017 | 0.014 | 0.009 |
| | 10 | 0.026 | 0.026 | 0.019 | 0.011 |
| 40 | 5 | 0.009 | 0.010 | 0.009 | 0.011 |
| | 10 | 0.014 | 0.014 | 0.014 | 0.15 |

1) 植付け深さ10mmの場合

各シロカキ土壤硬度における風圧と反力Rとの関係は図-3に示すとおりである。同様に、反力Fについても風圧との関係を求めると図-4のようになり、図-3とほぼ同じである。図-3から、土壤硬度90mmと125mmの場合は、ほとんど同じ傾向であることがわかる。またその反力Rの値は、ほとんどすべての風圧の場合において風力のおよそ50%が作用していることになる。すなわち実際に風からモデル板をとおしてシロカキ土壤に、風圧5[kgf/m²]のとき約0.031[kgf]かかっているにもかかわらず、モデル板がつり合いを保ったときの反力が約0.016[kgf]であり、風にあたる部分が固定の場合の半分以下になったことを示している。したがって、モデル板がかなり倒れたことになる。

また、土壤硬度65mmの場合は風力の約80%であり、土壤硬度90mmや125mmのときほど顕著に倒伏しないことを示している。

2) 植付け深さ20mmの場合

植付け深さ10mmの場合と同様に、各土壤硬度における風圧と反力Rの関係を図-5に示す。結果に多少のばらつきはあるが、土壤硬度65mmの場合は固定の場合とほぼ同じ傾向を示しており、風力を十分支えるだけの土壤硬度があることを示している。

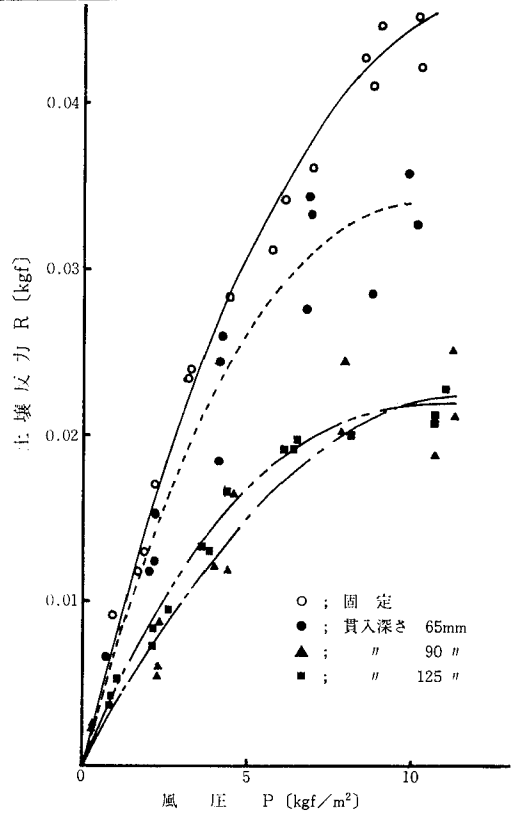


図-3 土壤反力Rと風圧Pとの関係(植付深さ10mm)

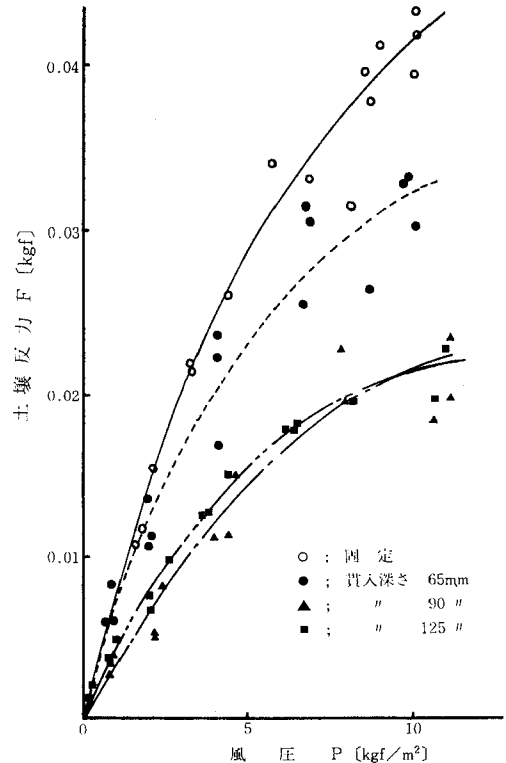
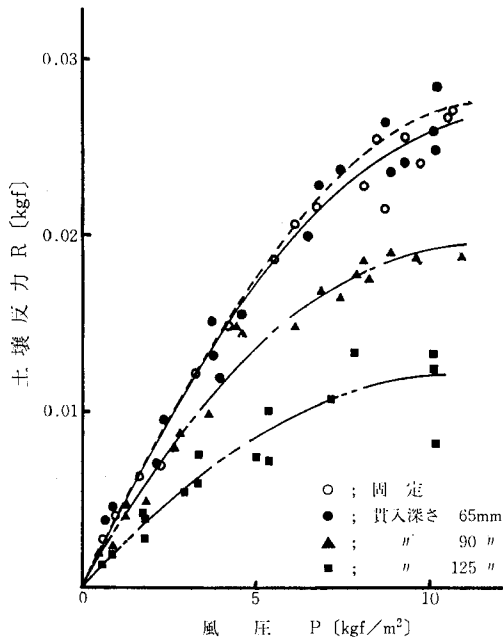


図-4 土壤反力Fと風圧Pとの関係(植付深さ10mm)



図一五 土壌反力Rと風圧Pとの関係(植付深さ20mm)

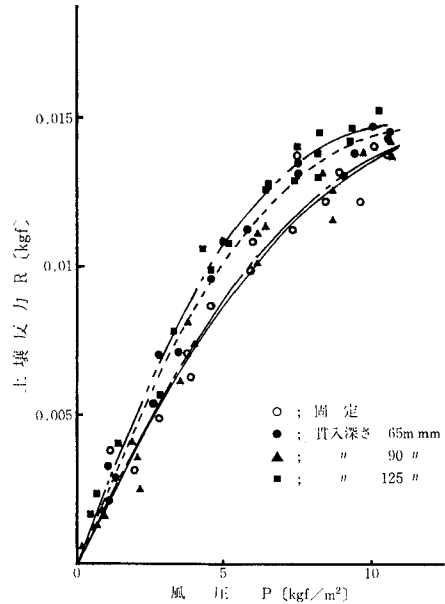
土壌硬度が90mmのとき、風圧5[kgf/m²]の場合には風力のおよそ85%である0.014[kgf]の反力である。さらに風圧があがり10[kgf/m²]の場合には、およそ73%の0.019[kgf]となる。これは、風圧が高くなるにしたがってシロカキ土壌の支える力が、風からの力を支持できなくなり、より倒れやすいことを示している。

土壌硬度が125mmのとき、風圧5[kgf/m²]の場合には、土壌の反力は風力のおよそ55%であり、さらに風圧10[kgf/m²]の場合には45%である。これは、風力の約半分しか支えられないことを示しており、残りの半分は風のあたる部分が少なくなってつり合いのとれるところまで倒れることになる。

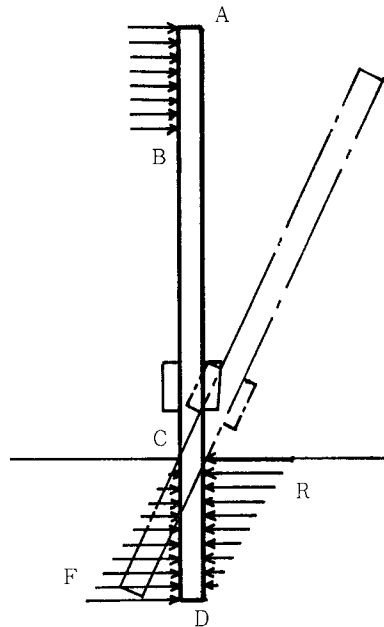
3) 植付け深さ40mmの場合

各土壌硬度における風圧と反力Rの関係を図一六に示す。この植付け深さの場合には、どの状態の土壌硬度においてもほとんど同じ傾向を示しており、風からかけた力は土壌の反力によって十分支えられていることを示している。

全体の結果をまとめてみる。たとえば、植付け深さ10mmで土壌硬度が90mmの場合、風圧10[kgf/m²]で反力Rはおよそ0.022[kgf]である(図一三)。もし、この値まで土壌が支えられるとすれば、風からの力が0.022[kgf]である風圧3[kgf/m²]までは、固定と同じ曲線上にあるはずである。ところが実験では、風圧3[kgf/m²]においても風から受ける力の約半分の反力である。これは、この時点ですでにモデル板が倒れていることを示している。すなわち、土壌反力の限界点になったら急に倒れる



図一六 土壌反力Rと風圧Pとの関係(植付深さ40mm)



図一七 土壌反力

のではなく、軟かくシロカキされた土壌においては低い風圧のときから徐々に倒れはじめ、倒れたことによって土壌反力が増加するものと考えられる。この現象をより詳しく説明するために図一七を考える。風がモデル板に作用するとき、モデル板のR側ではそれを支えようとして反力が働き、この値が十分であればモデル板は倒れない。次に、Rによって支えられているため、風によってモデル板はC点を中心に回転することが考えられる。こ

の回転の抵抗としてFからの反力が作用し、その抵抗が大きければモデル板は回転することはない。しかし、下の値が小さければモデル板は、C点を中心に回転し、ついには土を押し上げて完全に倒伏する。同じ風圧であるにもかかわらず、植付け深さが変ればその反力RおよびFの値は大きく異なる。それは、反力Fの値は、一般にシロカキ土壌の土圧や硬度が深くなるにしたがって急激に増加するから、植付け深さに大きく影響する。また(4)式から明らかなように I_2 の値が、大きくなればなるほどFは小さな値でつり合うことになる。すなわち、シロカキ土壌が軟かく反力の値が小さいと予想される場合には、それだけ深く植付けることによって、風からの力を小さくシロカキ土壌に伝えることが必要である。逆にシロカキ土壌が硬い場合、それほど大きな I_2 の値は必要でなく浅植であってもかなりの風圧に耐えることになる。

3-2 モーメントについて

モーメントは、モデル板の倒伏を考える重要な要素の一つである。モーメントと反力は、(3)式から明らかなようにきわめて深い関係にあり、モーメントと風圧の関係は、反力とその関係とほぼ同じ傾向を示している。したがって、モーメントを考えてもほぼ反力について考えたのと同じ結果になる。モーメントの値は、土壌表面から10mmのところにおける歪を検出して求めたものである。土壌にしっかり固定されておれば、それだけモデル板は風圧によって曲ることになり、そのためモーメントの値も大きくなるが、固定されていないとすれば曲るよりもむしろそのまま風に押されて倒れるから、比較的小さな値である。

3-3 稚苗の倒伏への応用

田植機用の育苗方法にしたがって実際の稚苗(葉令:2.5, 品種:秋晴)について、植付け深さと風による倒伏との関係を実験した。使用したシロカキ土壌は前述の土壌槽において、平均土壌硬度は下り振り貫入深さで60mmであり、モデル板による実験よりも若干硬い状態で行なった。また作用させた風は送風機により平均風速10[m/s]

(風圧6.12[kgf/m²])を60秒当たりの稚苗の倒伏または傾斜した角度の結果を次表に示す。

上表の数値はその傾斜した状態を百分率で表わしたものである。倒伏角度0°は完全に倒伏してシロカキ土壌表面に全体が倒れたときであり、逆に90°の場合は全く倒れずに垂直に植っているときである。植付ける方法は田植機による植付けを想定してピンセットで1本を植付け、シロカキ土壌に湛水しない状態で、田植機の進行方向と同じ方向へ送風したときのものである。この実験結果から植付け深さ15mmではそのほとんどが倒伏することを表わしている。植付け深さをそれよりも深くした場合たとえば30mmのとき、倒伏状態になるのはその10%であり、その他の多くは傾くが、60°以上立っているものが約55%となった。この結果は特定の極く限られた条件上で行なったもので、これから実際の稚苗の倒伏問題に関して一般的な傾向について論ずることはできない。すなわちシロカキ土壌の硬度、土質、湛水状況、稚苗の生育状態や風向の影響を考慮に入れる必要がある。しかし、この結果から推論できることは、植付け深さを20mm以上にすれば極端な倒伏は避けられることになり、この値は田植機メーカーの型録や取扱説明書にある稚苗の植付け深さ20~30mmと指示している数値とほぼ一致する。

IV 摘 要

外力として0~10m/sの風が作用するとき、水稻の稚苗モデルを用いてシロカキ土壌の硬度とその植付け深さとの関係を求めた。主な結果は次のとおりである。

1. シロカキ土壌の硬度は下げ振りの貫入深さで65, 90, 125mmで実験した。
2. 水稻の稚苗モデルはリン青銅板(PBS-SH, 厚さ:0.3mm, 幅:10mm)で作り、その植付け深さは10, 20, 40mmである。
3. 稚苗モデルに貼付したストレインゲージにより、その曲げモーメントを測定し、それによって各植付け深さにおけるシロカキ土壌の反力と風圧(風速)との関係を求めた(Fig.3~6)。

4. 稚苗モデルおよび稚苗に最大風速10m/sが作用した場合、上述の結果と稚苗の倒伏の実験結果(表-2)から倒伏しないための最適な植付け深さとシロカキ土壌の硬度の関係は次表に示すとおりである。

表-2 稚苗の植付け深さと倒伏との関係 [%]

| 植付け深さ (mm) \ 倒伏角(度) | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 |
|------------------------|----|----|----|----|----|
| 0~20 | 65 | 18 | 11 | 10 | 5 |
| 21~40 | 15 | 14 | 6 | 10 | 10 |
| 41~60 | 10 | 18 | 22 | 25 | 25 |
| 61~80 | 10 | 36 | 33 | 25 | 30 |
| 81~90 | 0 | 14 | 28 | 30 | 30 |
| 本数(本) | 20 | 28 | 18 | 20 | 20 |

| 下げ振り貫入深さ (mm) | 植付け深さ (mm) |
|---------------|------------|
| 65 | 10 |
| 90 | 20 |
| 125 | 30~40 |

引用文献

- 1) 農林水産省統計情報部：ポケット農林水産統計—昭和55年度版一，農林水産省情報部，156～163，1980.
- 2) 小中俊雄：しろかき土壌の力学性に関する相似性研究，三重大学農学部学術報告，第40号，177～303，1970.
- 3) 市川真祐他：田植機の植付精度に関する研究，農業機械学会第38回講演要旨，46，1979.
- 4) 農業機械学会編：改訂農業機械ハンドブック，コロナ社，922～923，1969.
- 5) 土質工学会編：土質試験法，土質工学会，68～87，1971.

Studies on Relationship between Hardness of Puddling Soil and Planting Depth depend on Young Seedling Model of Paddy Rice

Masasuke ICHIKAWA, Fumio YAMAMURA

Faculty of Agriculture, Mie University

Summary

When the wind velocity in range from zero to 10 meters per second acted upon the external force to the young seedling model of paddy rice, the relation between the hardness of puddling soil and the planting depths were obtained by the experiments of model. The results were as follows:

1. The hardness of puddling soil was measured with the penetration depth of falling cone, and each measurement was 65, 90 and 125mm.

2. The young seedling model of paddy rice was made by the phosphor bronze plate for spring (PBS—SH, thickness: 0.3mm, width: 10mm), and each planting depth was 10, 20 and 40mm.

3. The bending moment of the young seedling model was measured by the strain gage sticking to its model, the relation between reaction force of the puddling soil and the wind pressure was obtained from the bending moment on each planting depth (Fig. 3～6).

4. In the case of the maximum wind velocity of 10 meters per second acted upon, from the above mentioned results and the tumbling characteristics of the natural young seedling of paddy rice (Table 2), the relation between the most suitable planting depths and the hardness of puddling soil so as not to tumble were showed in the next table.

| Penetration depth of falling cone (mm) | Planting depth (mm) |
|--|---------------------|
| 65 | 10 |
| 90 | 20 |
| 125 | 30～40 |

[1980.10.20. 受稿]

土壌の団粒形成に及ぼす作物根の影響

小林 裕 志*

Role of Plant Roots in Formation of Soil Aggregates

Hiroshi KOBAYASHI

Grassland Research Laboratory, Kitasato University

はじめに

団粒という術語は aggregates の訳語として用いられている。RUSSELL は彼の著書の中で aggregates について以下のように整理している³⁴⁾。土粒子の集合体は5 μm 級の微小なものから1 cm級以上の粗大なものまで実に多様である。微小なものから順に, domains → granules → crumbs → clods と呼ぶ。このうち crumbs ならびに clods の二つを指して aggregates と総称する。clods は通常の耕うん作業で crumbs へと破碎されるものである。crumbs のサイズは0.5~5 mm, clods は1 cm以上と類別できる。

一方, レポートの著書によれば²⁸⁾, ソ連の農業物理学では0.25mmのサイズを境界として, これ以上の集合体は粗団粒, 以下は微細団粒と称し, 農業上の議論をする際はもっぱら前者の団粒を対象としている。

このように団粒は土粒子の集合体であるために, そのサイズが団粒を規定する際の重要な因子となっているようである。むしろ, サイズに留意するあまり団粒の形成過程にとらわれることなく, 現場から採取した土塊でも実験室でこね返してつくった土塊でも, すべて何ミリサイズの団粒という表現で扱われている。そこでは土壌を幾何学的な構造体とみて, 素材である土粒子の配列様式が作り出す様々な物理的特性を攻究することが主目的なのであろう。

ところが前述の RUSSELL やレポートがいうところの団粒はもう少し実質的な意味に限定されている。すなわち, 作物の健全な生育を保証するための土壌条件として団粒構造の重要性を説いているのであって, それは crumbs や粗団粒に限られてくる。

これらの団粒は根系発達に何故有効なのか? これを攻究することが, 畑地や草地を農業の柱とする国における土壌科学の歴史であったように筆者は理解している。

団粒形成に關与する要因

作物生育と土壌の物理性に関する研究は畑地・草地農

業の国々では少なくない。たとえば, TAYLOR の根の発達と土壌強度・土壌構造などに関する綜説^{38,39)}, EAVIS ら⁴⁾, GREACEN ら⁸⁾ による根系発達を阻害する土壌の物理的因子に関する綜説, そして団粒構造に関する RUSSELL³³⁾, HARRIS ら¹³⁾, ALLISON¹⁾, などの綜説がある。いずれも多くの研究成果を引用紹介しており世界のレベルを知る上で有用である。わが国では, 1979年に土壌物理研究会の手によって, 植物生育と土壌の物理性に関する研究成果が集約されている⁴⁴⁾。

これら多くの業績の中から団粒形成に關係ある成果を要約すると以下ようになる。

団粒の形成に關与する主な因子には, 植物根ならびに土壌動物の働りさがある。まず, 根の作用については図-1の概念が主流である⁴²⁾。根は腐敗・分解して糊のよ

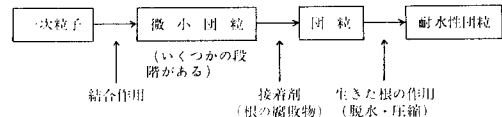


図-1 根による団粒の形成

うな役割で微小団粒を結びつけながら, さらに生きた根が土壌間隙をのびてゆき土粒子を押しつけたり, 水を吸収して団粒を乾かしたりして耐水性の団粒へと発達させるという理解である。レポートは根の『クサビ作用』という表現で, 根は土中のあらゆる方向へアミ目のようにはいめぐるって未分割の土壌を数 mm~0.5mm 級の団粒構造に細分化してゆくことを説いている²⁸⁾。また根の間接的な作用としては, 根からの分泌物が土壌微生物を根の周辺にひきつけ, 微生物活動を促すことによって土壌の団粒化に役立っていることも指摘されている³¹⁾。この土壌微生物も含めて, ミミズなど土壌動物の働りさが団粒形成の主要な因子になることは古くから認識されている⁴⁰⁾。むしろ根の作用に関する研究より多くの知見が発表されている。

ところで, 草地土壌が一般畑地土壌より耐水性の団粒

* 北里大学獣医学部

に富むことはよく知られた事実である。その理由は、牧草という密生作物を永年的に栽培する結果、きわめて豊富な根が存在し、その根が直接・間接的に土壌へいろいろな影響をもたらすからである。具体的には、①ルートマットは雨滴の衝撃から地表面を保護する、②膨大な量の繊維根群は土壌を緊縛化する、③膨大な量の根毛はその周辺土壌間隙の水分を吸収し、局部的乾燥状態をつくる、④古くなった根群は連続的に有機物供給源となる、⑤豊富な有機物は根圏微生物の生活環境を保証する、等の効果がある。

牧草根系の発達と耐水性団粒

1 永年草地の団粒

牧草の根は畑作物の根よりはるかに多い(表-1)⁴¹⁾。その経年的な変化をみると、0~10cmの地表付近における根量の増加が特にいちじるしい(表-2)²⁰⁾。これらの結果は黒ボク土壌で得られたものであるが、それ以外の土壌においても牧草根群は地表付近に集中分布する²⁰⁾。これは、牧草自身の生理生態的な特質に加えて、土壌環境が下層土より良好であるからと説明されている。

さて、団粒に関しては YODER の水中篩別法で評価する耐水性団粒という表現が普通であるが、この耐水性団粒についていくつかの例をみてみよう。図-2 は黒ボク土壌における作付体系による消長であるが、牧草栽培による団粒増加がよくあらわれている¹⁷⁾。また図-3 は永

年草地・畑地・林地・かん木地における比較であるが、草地の団粒量は未墾地である林地のみであった²⁴⁾。また洪積土壌においても0~10cmの地表付近での間隙量増加が認められ(表-3)¹⁰⁾、牧草栽培により団粒構造が発達したことを示している。

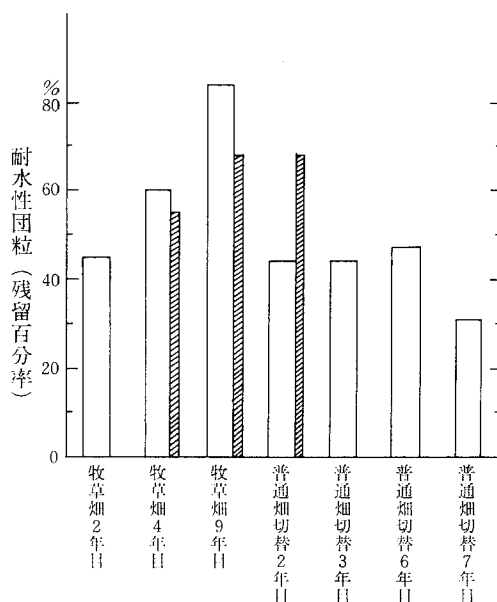


図-2 牧草栽培と1mm以上の耐水性団粒の消長 (0~10cm, 但し斜線は10~20cm)

表-1 牧草類ならびに畑作物の根量 (乾物重kg/10a)

| 深 さ | オーチャードグラス | ラジノクロバ | イタリアンライグラス | 陸 稻 | 大 豆 | 小 麦 |
|--------|-----------|--------|------------|-----|-----|-----|
| 0~10cm | 653 | 311 | 427 | } | } | } |
| ~20 | 40 | 40 | 204 | | | |
| ~30 | 18 | — | — | | | |
| ~45 | — | — | — | | | |
| 合 計 | 712 | 351 | 631 | 155 | 44 | 140 |

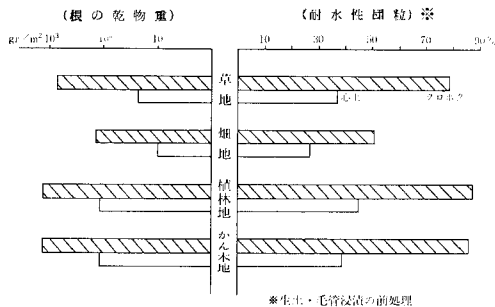
表-2 牧草根群分布の経時変化 (乾物重g/m²)

| 深 さ | 播種後の月令 | | | 永年草地 |
|---------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | 5 | 13 | 17 | |
| 0~10 cm | 156.4 (32.0) % | 450.4 (64.1) % | 545.7 (65.1) % | 920.0 (79.2) % |
| ~20 | 152.4 (31.2) | 134.0 (19.1) | 156.0 (18.6) | 126.8 (10.9) |
| ~30 | 116.4 (23.8) | 57.6 (8.2) | 70.2 (8.4) | 75.2 (6.5) |
| ~40 | 38.0 (7.8) | 32.0 (4.6) | 42.9 (5.1) | 24.8 (2.1) |
| ~50 | 26.0 (5.2) | 28.8 (4.0) | 23.4 (2.8) | 14.8 (1.3) |
| 合 計 | 489.2 (100.0) | 702.8 (100.0) | 838.2 (100.0) | 1,161.6(100.0) |

表一3 土壌の腐植と間隙に及ぼす牧草の影響

| | 深さ(cm) | 全 C(%) | 腐植(%) | 全間隙(%) | 粗間隙 | 毛管間隙 | 透水係数*1 |
|-----------|--------|--------|-------|--------|------|------|----------------------|
| サツマイモ・小麦区 | 0~10 | 2.60 | 4.46 | 64.5 | 31.7 | 32.8 | 8.3×10^{-3} |
| | 20~30 | 1.32 | 2.26 | 62.5 | 24.3 | 38.2 | 5.5×10^{-3} |
| | 40~50 | 0.62 | 1.06 | 58.8 | 17.2 | 41.6 | 1.1×10^{-3} |
| 牧草区*2 | 0~10 | 3.11 | 5.37 | 72.3 | 38.7 | 33.6 | 1.3×10^{-2} |
| | 20~30 | 1.49 | 2.56 | 65.3 | 25.9 | 39.4 | 7.6×10^{-3} |
| | 40~50 | 0.67 | 1.02 | 61.1 | 20.0 | 41.0 | 1.6×10^{-3} |

*1 cm/sec. *2 イタリアンライグラス, オーチャードグラス, ラジノクローバ混播(2年間)



図一3 地被植生別にみた土壌団粒および根量

2 耕起土壌の団粒

1.5×1.5×0.5(深)mの試験枠の中へ10mmメッシュを通過した黒ボクを静かにつめて、イネ科牧草と陸稲を3年間栽培し、各々の根系発達が膨軟な作土層の土壌構造をどのように変化させるのか検討した²¹⁾。サイズが1mm以上の団粒量は経年的に増加し、レポートの団粒係数K値も大きくなっており(表一4)、土壌構造が根群生育に適する方向に変化していることが認められる。但し、供試土壌をあまりに膨軟にセットしたため、団粒量そのものは実際の黒ボク土壌より極端に低く、牧草と陸稲との差異は不詳である。そこで団粒構造のもうひとつの指標となる間隙性について検討をすすめると表一5、表一6になる。表一5は牧草区について播種当年と3年日との間隙量を比較したものである。全間隙量は5・15・35cmいずれの深さでも増加したが、1.5<pF<2.7のいわゆる有効間隙が増加したのは5cm深のみであった。一方表一6によれば、3年間耕起しない牧草区が全間隙量においては陸稲区より少ないけれども有効間隙は多い結果である。

この実験によれば、牧草の根系は、土壌が膨軟で無構造の状態では、根自身が周辺土壌を自らの生育に適する構造へと改造する能力をもつと考えられる。

イネ科牧草根の生育形態と土壌把握作用

団粒形成因子としての根は、第一に古い根の接着剤と

表一4 有効団粒(>1mm)および団粒係数の推移

単位%

| 測定時期 | 1974年4月 | 1975年10月 | 1976年10月 |
|---------|-----------|--------------------------|--------------------------|
| 深さ cm | | | |
| 0 ~ 10 | 7.1(1.60) | 15.8(2.84) 16.4(2.39) | 20.1(3.97) 21.6(3.09) |
| 10 ~ 20 | | 24.2(4.12) 15.3(2.29) | 28.5(4.43) 22.0(3.23) |
| 20 ~ 30 | | 20.5(3.79) 14.9(2.44) | 23.5(3.42) 25.1(3.57) |
| 30 ~ 50 | | 19.1(4.24) 11.6(2.70) | 23.7(3.65) 21.6(3.55) |

(注)・各欄の上段は牧草区, 下段は陸稲区。

()内は団粒係数K

・団粒分析は、生土を毛管飽和後に水中篩別

表一5 播種時に対する3年目の土壌間隙増減

(牧草区, %)

| 間隙区分 | pF<1.5 | 1.5<pF<2.7 | pF>2.7 | 全間隙 |
|------|--------|------------|--------|-------|
| 深さ | | | | |
| 5cm | +2.97 | +2.74 | -0.60 | +5.11 |
| 15 | +5.64 | -0.57 | -3.24 | +1.83 |
| 35 | +5.44 | +0.16 | -0.95 | +4.65 |

表一6 陸稲区に対する牧草区の土壌間隙増減

(1976年, %)

| 間隙区分 | pF<1.5 | 1.5<pF<2.7 | pF>2.7 | 全間隙 |
|------|--------|------------|--------|-------|
| 深さ | | | | |
| 5cm | +2.59 | +2.02 | -4.55 | +0.06 |
| 15 | -0.63 | +1.57 | -5.59 | -4.65 |
| 35 | -1.23 | +0.88 | -7.16 | -7.51 |

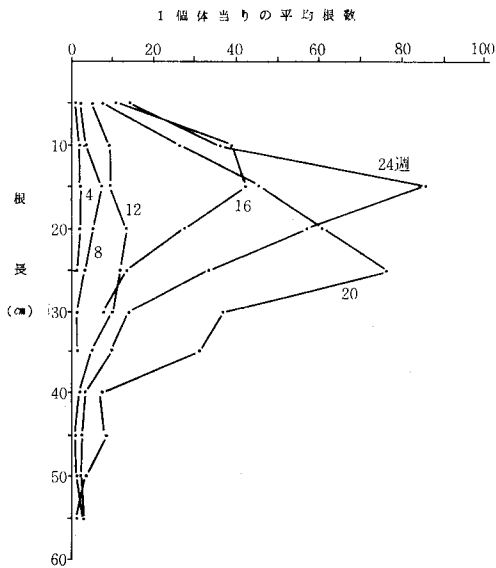


図-4-1 牧草の根長の分布
〔イタリアンライグラスの週令別変化〕

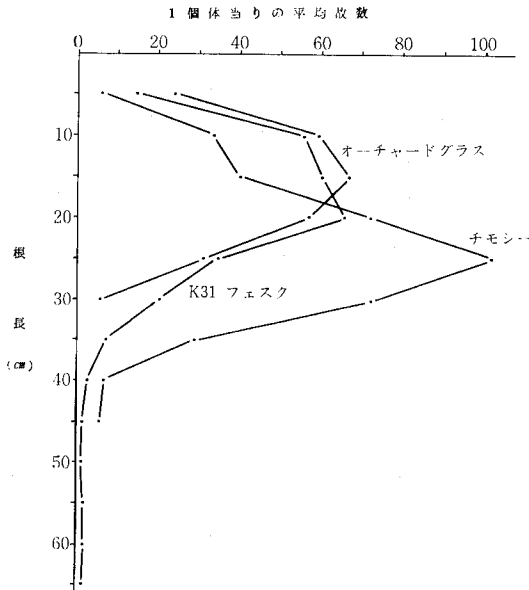


図-4-2 〔草種別にみた28週令での分布〕

しての役割、第二に生きた根の脱水圧縮作用、第三に生きた根のクサビ作用などがある (図-1 参照)。第一の作用は土壌微生物が仲介するものであるから、根の直接的な働きとしては第二・第三の生きた根 (以下、活性根と呼ぶ) の作用が大きい。

1 イネ科牧草活性根の根系

活性根の働きを検討するには、ガラス粒子や砂粒子などのモデル培地に植物を生育させる方法が有効である。古くはガラス管やガラスビーズを使った実験が報告されている^{2), 4)}。筆者は粒径を計測した微小ガラス粒や石英砂などを何種類か組みあわせて任意の間隙をつくり出しそこでの活性根の発達を追跡した。何種類かの供試草の成植物体の根系分布をを図-4 に示す²⁰⁾。イネ科牧草は播種後8週令頃から主流根群グループを形成する。このグループの活性根は長さや太さにおいては生育令や草種での大きなちがいは認められず、根長15~25cm、根径400~600 μ mの範囲である。したがってイネ科牧草はその生理生態的特質として肥大成長や深さ方向への伸長をあまり期待できないことになる。そこで、主流根群を構成している活性根の本数増加をうながす土壌環境を与えることが、植物体の保定あるいは根周辺土壌の団粒形成には肝要となってくる。

2 イネ科牧草根の根群中の活性根

永年草地の根群中には老朽化した古い根もあれば活性根もある。生きた根の活性度を厳密に計測するのはなかなか面倒らしい³⁷⁾。そこで筆者はJACQUESら¹⁵⁾に従って白い根を活性根として全根量との比較をおこなった²¹⁾。播種後3年間活性根と老朽根の割合を図-5 に示す。

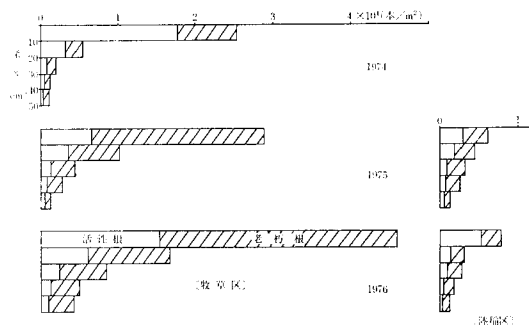


図-5 深さ別の活性根分布

播種当年は春に発生した多量の新根がはまだ老朽化するに至らず、高い活性根率を示している。2年目以降は前年の根がほとんど老朽化して全根量増加の原因となっているため新しく発生する根 (活性根) が老朽根を上まわることはない。そのために活性根の全根数に対する比率は0~10cm深で40%程度の低い値であるけれども、活性根の本数としてはかなり多量 (1.5 \times 10⁴本/m²) である。ちなみに毎年春に耕うん作付した陸稲の場合、活性根の本数は (0.4 \times 10⁴本/m²) であった。したがって永年根群に占める活性根の量は稲など一年性作物よりはるかに多く、永年草地においても土壌構造に与える活性根の影響割合は決して低くないことを示唆している。

3 活性根分泌物の粘着機能

活性根はその根圏へ糖類・アミノ酸・ビタミン類など種々の有機化合物を分泌している³²⁾。根の根冠細胞やその後方の表皮細胞 (根毛) からは糖類のなかまともみられ

る粘液物質が分泌される。植物サイドからは、この粘液物質は物理的な土粒子とのマッサ抵抗をやわらげて根の伸長を助け、さらには植物の正常な生育に欠かすことのできない土壌微生物の栄養源であると考えられている²⁷⁾。土壌のサイドでは、微生物の分野を除けば、この粘液物質はほとんど注目されていなかった。ところが筆者の実験によれば、モデル培地の活性根一本一本には無数の粒子が付着し、根を粒子の接点では粘液物質（組織化学的にペクチン様物質と推定）の存在が確認できたのである。このペクチン様物質は根が粒子間隙をはいめぐり際の潤滑剤の機能をもつのであるが、粒子間隙の水分がなくなって乾いてくると高い粘着強度をもたらすことも知れた¹⁹⁾。これら一連の実験結果は、活性根の分泌物が根周辺の土壌を粘着させて団粒へと発展させる可能性ありとの見解をもたらすことになった。

この概念を図-6で模式的に説明しよう。

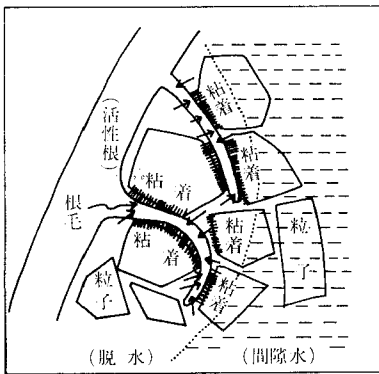


図-6 活性根による土粒子粘着概念図

土壌中に侵入した初生根は根の分泌するペクチン様物質によって周辺土粒子を粘着し、草体固定の第一歩をきざす。ついで活性根の根系拡大がすすむにつれ、ペクチン様物質の分泌量も急増し、粘着作用の影響範囲が拡大する。と同時に根毛を主とする活性根群の吸収作用により、土壌間隙水が局所的に脱水される²⁸⁾。ここにおいて草地の根群域土壌の団粒化がうながされる。以上のことにより、筆者は活性根の分泌物による粘着作用も従来の生きた根の働きの中に加えた。

なお、粘着作用で形成された団粒が水に対して安定性を維持するためには、これまで多くの指摘があるように、土壌微生物の作用、ミミズなど土壌動物の作用、肥培管理など人為的作用などいろいろな影響を受けなければならない。

団粒形成因子としての多糖類の評価

活性根周辺での存在が確認されたペクチン様物質はウ

ロン酸の構成物質のひとつである。したがって、団粒中のウロン酸やその他の多糖類を攻撃することは、団粒形成因子としての活性根の評価をもう一步すすめることになる。多糖類物質の膠質機能については有機物の微生物分解にともなう中間産物として、これまでも検討されてきた^{12,29)}。

さて、図-1の中で微小団粒→団粒の過程においては、土粒子の結合物質（安定化物質）の存在が重要視されている³⁵⁾。この結合物質としては上述の多糖類物質の他、粘土と有機物のコロイド物質が膠質材として働くこと^{4,7)}、有機物と土粒子の結合には鉄やアルミナの水酸化物がその仲介に重要であること³⁶⁾、など多くの論議がある。

本論のテーマである作物根群の作用に限定して考えてみると、生物物理的には根群のクサビ作用・吸水作用などが指摘できるし、化学的には老朽根・枯死根などの易分解性腐植ならびに炭水化物（多糖類）を主たる構成物とする非腐植物質があげられる。非腐植物質の起源は土壌微生物が中心と理解されてきた¹¹⁾。このような背景の中で植物に由来する多糖類の消長について触れておきたい。

1 牧草根の発達と多糖類分泌

一般畑作物の活性根を対象に、その分泌物を扱った例がいくつかある^{14,32)}。これらの研究はあくまでも分泌物を土壌微生物の栄養源とみなしての展開である。牧草類を対象に多糖類分泌を検討した例がほとんどなかったため、筆者は5草種を供試して水耕培地で実験をおこなった。その結果、牧草類が分泌する多糖類（この場合はグルコースおよびウロン酸を定量）は麦類などにくらべかなり低い量であることが明らかになった²⁵⁾。さらに実際土壌に近似したモデル粒子培地での分泌量は水耕培地のそれより明らかに多い結果を得た²⁶⁾。AYERSら³⁾、CLAYTONら⁵⁾の報告では、粒子培地での根は表層が傷つき、そこからの体液流出が真の分泌量に加わるからであると説明されている。筆者は、別途おこなった実験によってこれらの見解とちがった考え方をしている。すなわち、活性根は粒子という固形物に接触し刺激を受け、根の伸長により適した間隙を探し出す動きを示すのであるが²²⁾、この物理的刺激が分泌量を多くしているとの考えである。とあれ、麦類よりは分泌量が少ないものの、実際土壌における牧草根量の豊富さ（表-1）を考慮すれば、牧草活性根の多糖類分泌はかなりの量となる。

2 耐水性団粒中の土壌多糖類

土壌中の多糖類が微生物に由来しても植物分泌物に由来したとしても、それが団粒形成に有効に働いているのであれば、耐水性団粒中には微小な小団粒中より多くの土壌多糖類を含むのではないだろうか。図-7は関東ロ

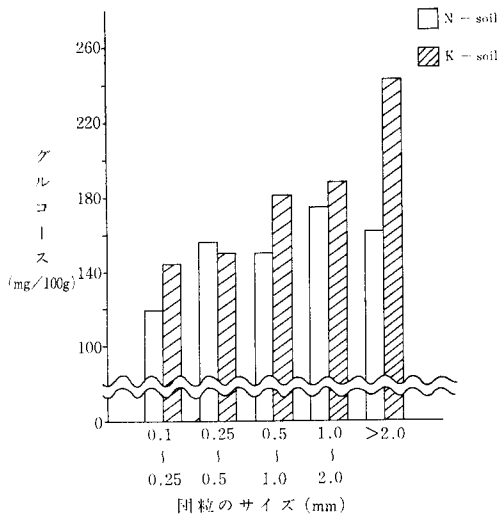


図-7-1 団粒径別にみたグルコースの含量

(N-soil: 東京農工大付属草地)
(K-soil: 北里大付属草地)

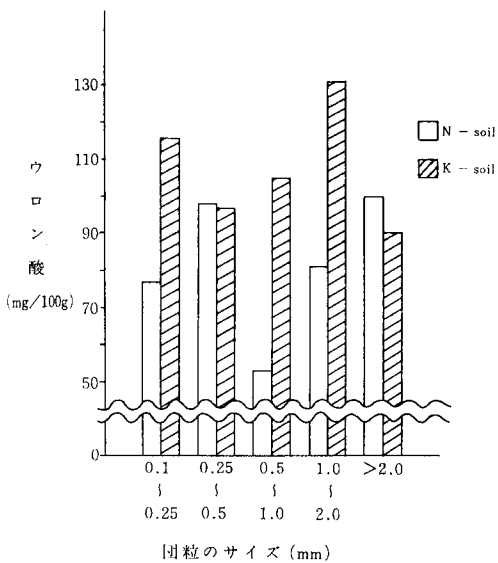


図-7-2 団粒径別にみたウロン酸の含量

ームの黒ボクと十和田火山灰の黒ボクを供試して、団粒のサイズ別にグルコースおよびウロン酸の存在を試験したものである¹³⁾。両土壌とも牧草栽培していたのであるが、グルコースについては粒径の大きな耐水性団粒中に小さな団粒より多くの含量が認められた。植物分泌物の指標として定量したウロン酸については明確な傾向は認められなかった。グルコースは土壤多糖類のなかまでは広く多量に分布しているが、ウロン酸ははるかに微量である。このためウロン酸の消長を把握することは精密な分析技術を要する。それでも、土壤多糖類の起源が微生

物に求められがち傾向の中で、植物との関連で追求するためにはウロン酸など活性根分泌物の挙動を明らかにするといった手法での展開が必要なのではないだろうか^{9),10)}。

(謝辞)

本稿は農業土木学会土壤物理研究部会第16回シンポジウム(1977)での講演内容を骨子に、その後の実験結果なども含めて論述したものである。原稿の御校閲を頂いた、三重大学農学部長田昇教授に深甚の謝意を表します。また、ここに述べた実験のほとんどは、文部省科学研究費(課題番号、256175, 356179, 456205)の助成を受けておこなったことを付記する。

引用文献

- Allison, F.E. (1968): Soil aggregation—Some facts and fallacies as seen by a microbiologist. *Soil Sci.* 106, 136-143.
- Aubertin, G.M. and Kardos, L.T. (1965): Root growth through porous media under controlled conditions (I). *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 29, 290-293.
- Ayers, W.A. and Thornton, R.M. (1968): Exudation of amino acids by intact plants and damaged roots of wheat and pea. *Plant and Soil* 28, 193-207.
- Baver, R.D. (1956): *Soil physics* 3rd Ed. pp. 135-139. John Wiley & Sons, Inc., New York.
- Clayton, M.F. and Lamberton, J.A. (1964): A study of root exudates by the fog-box technique. *Australian J. Biol. Sci.* 17, 855-866.
- Eavis, B.W. and Payne, D. (1969): Soil physical conditions and root growth. (W.J. Whittington, Ed., *Root growth*, pp. 315-318), Butterworths, London.
- 江川友治・関谷宏三・佐藤昭夫・飯村康二 (1957): 多年性牧草導入による土壤理化学性の改良, *農技研報* B7, 53-79.
- Greacen, E.L., Barley, K.P. and Farrell, D.A. (1969): The mechanics of root growth in soils with particular reference to the implications for root distribution. (W.J. Whittington, Ed., *Root growth*, pp. 256-269) Butterworths, London.
- Greenland, D.J., Lindstrom, G.R. and Quirk, J.P. (1961): Role of polysaccharides in stabilization of natural soil aggregate. *Nature* 191, 1283-1284.
- Gupta, U.C. and Sowden, F.J. (1967): Isolation and characterization of cellulose from soil organic matter. *Soil Sci.* 97, 328-333.
- 浜田竜之助 (1972): 土壤の多糖類について, (土肥学会編, 近代農業における土壤肥料の研究, 第3集, pp. 44-49) 養賢堂, 東京.
- Harris, R.F. (1963): Evaluation of microbial activity in soil aggregate stabilization and degradation by the use of artificial aggregates. *Soil Sci. Soc. Ame. Proc.* 27, 542-545.
- Harris, R.F., Chesters, G. and Allen, O.N. (1966): Dynamics of soil aggregation. *Advan. Agron.* 18, 107-169.
- 平田 照 (1976): 植物の養水分吸収, (高井・早瀬・熊沢編, 植物栄養土壤肥料大事典, pp. 140-150) 養賢堂, 東京.

- 15) Jacques, W. A. and Sghwass, R. H. (1956) : Root development in some common New Zealand pasture plants (VII). N. Z. J. Sci. Tech. A38, 569-583.
- 16) 加藤敏雄・近藤鳴雄・鈴木俊彦(1954) : 浜名湖周辺洪積層土壌に対する地力保全対策, 静岡農試研報9, 52-61.
- 17) 北岸確三 (1962) : 火山灰土壌における牧草集約栽培に関する土壌肥料的な研究, 東北農試研報23, 1-67.
- 18) 小林裕志・山根一郎 (1976) : 草地土壌の耐水性団粒の形成と土壌多糖類, 日草誌22, 196-200.
- 19) 小林裕志 (1976) : 牧草根の土壌把握作用, 土壌の物理性34, 2-7.
- 20) 小林裕志 (1977) : イネ科牧草根の物理的な機能に関する研究(I), 日草誌23, 135-139.
- 21) 小林裕志・大竹良明 (1977) : 同上(III), 日草誌23, 235-240.
- 22) 小林裕志・大竹良明 (1977) : 同上(IV), 日草誌23, 241-246.
- 23) 小林裕志 (1977) : 草地の土壌水分移動に及ぼす牧草根群の影響, 農土誌45, 155-158.
- 24) 小林裕志 (1979) : 火山灰質土壌の団粒形成に及ぼす作物根の影響, 農土誌47, 59-60.
- 25) 小林裕志・鈴木昇 (1979) : 牧草根の発達と多糖類分泌に関する研究(I), 日草誌25, 222-226.
- 26) 小林裕志・鈴木昇 (1979) : 同上(II), 日草誌25, 227-230.
- 27) 熊沢喜久雄・西沢直子 (1976) : 植物の養分吸収, pp. 16, 東大出版会, 東京.
- 28) レポート原著・松田宏訳 (1968) : 土壌物理, pp. 21-74, 農林水産技術会議.
- 29) Martin, J. P. (1971) : Decomposition and binding action of polysaccharides in soil. Soil-Biol. Biochem. 3, 33-41.
- 30) 大崎玄佐雄・奥村純一・関口久雄 (1975) : 根圏土壌の理化学性が牧草生育に及ぼす影響第2報, 道農試集報32, 35-44.
- 31) Rovira, A. D. (1962) : Plant-root exudates in relation to the rhizosphere microflora. Soils and Fertilizers, 25, 167-172.
- 32) Rovira, A. D. and McDougall, B. M. (1967) : Factors responsible for the rhizosphere effect. Soil Biochemistry, 1, 433-440.
- 33) Russell, E. W. (1971) : Soil structure. J. Soil Sci. 22, 137-151.
- 34) Russell, E. W. (1973) : Soil conditions and plant growth, 10th Ed., pp. 479-554, Longman, London.
- 35) 斎藤万之助 (1976) : 土壌団粒 (高井・早瀬・熊沢編, 植物栄養土壌肥料大事典, pp. 374-377) 養賢堂, 東京.
- 36) 佐藤 孜・山根一郎 (1972) : 有機無機複合体の粒径分画法による分離土壌中の有機無機複合体の分離とその性状(I), 土肥誌43, 41-46.
- 37) 田中典幸 (1974) : 作物の根に関する研究, 日作紀43, 291-316.
- 38) Taylor, H. M., Huck, M. G. and Klepper, B. (1972) : Root development in relation to soil physical conditions. (D. Hillel, Ed. Optimizing the soil physical environment toward greater crop yields, pp. 57-77) Academic Press, New York.
- 39) Talor, H. M. (1974) : Root behavior as affected by soil structure and strength. (E. W. Carson, Ed. The plant root and its environment, pp. 271-291) The Univ. Press of Virginia, Virginia.
- 40) 都留信也 (1971) : 土と生態 pp. 59-95, 共立出版, 東京.
- 41) 山根一郎 (1963) : 土壌と草生(6), 畜産の研究17, 881-884.
- 42) 山根一郎 (1971) : 土壌学の基礎と応用, pp. 83-84, 農文協, 東京.
- 43) Wiersum, L. K. (1957) : The relationship of the size and structure rigidity of pores to their penetration by roots, Plant and Soil 9, 75-84.
- 44) 土壌物理研究会 (1979) : 土壌の物理性と植物生育, 養賢堂, 東京.

[1980. 7. 5. 受稿]

資 料

重粘性土壌に対する各種資材の孔隙組成改良効果

— 特に能取軽石の効果 —

古畑 哲*・岩間 秀矩**

The Effect of Dressing Materials on the Pore Composition in Heavy Soils

Akira FURUHATA

National Institute of Agricultural Science

Hidenori IWAMA

Hokkaido National Agricultural Experiment Station

I はじめに

北海道北部の海岸段丘には、排水不良で毛管水保持量に乏しい、いわゆる重粘性土壌が広く分布し、特に性状が劣悪な疑似グライ土（灰色台地土）の面積に限っても172km²に及んでいる³⁾。

この種の土壌に対する土地・土壌改良方法として、従来暗渠排水、心土破碎、砂客土が実施され、過剰水排除による湿害回避や易耕性の改善に大きな効果がみられている。

しかし土壌水分へ及ぼす影響に関して、心土破碎施工区の土壌は無処理区よりも、乾燥過程において早く乾燥し、毛管水保持量が少ないことが報告されている⁴⁾。また砂客土施工区の土壌では対照区に比べて、粗孔隙は増加するが、pF 1.6~2.7の孔隙が減少し、結果的に毛管水保持量が低下することが認められている⁵⁾。

重粘性土壌の主要分布地帯であるオホーツク海沿岸部の年間降水量は850mm（紋別）であり、我国で最も少ない。年によっては春や夏に干ばつが生じ、作物の生育収量に被害がみられる。したがって本地帯では排水とともに水分供給に対しても十分に配慮しなければならない。

重粘性土壌では、雨水またはかんがい水は地表水として流去する部分が多く、土壌中に有効水として保持される部分が少ないので、これらの水を有効に貯留しようとするならば、土壌の粗孔隙と毛管孔隙を同時に増大させることがさし当り必要になる。

そこで粗孔隙と毛管孔隙を同時に増大させる効果の顕著な資材を見出そうとして、各種の資材を重粘性土壌へ施用し、それらの土壌の孔隙組成へ及ぼす影響などについて検討を行った。

II 試験方法

北海道農試重粘地研究室圃場（紋別市小向）の灰色台

地土のC1g層（深さ25—50cm）を風乾後、ローラーで粉碎し、1cm角の金網を通過させてから、0.5m²の框へ充填した。框内の土厚を23cmとし、資材客入量により土量を調節した。対照区の土量は乾土140kg/框である。資材として1974年にパーライト、のこ屑、もみがら堆肥、きゅう肥、1975年に能取軽石、粉碎もみがらを施用した。

パーライトは真珠岩を焼成発泡処理した白色の軽しような資材である。もみがら堆肥はもみがらをクラッシャーで粉碎し、鶏糞と混合して堆肥化したものである。能取軽石は網走市能取の海成段丘の基盤に堆積した淡褐色（7.5YR 6/2）、層厚10m以上の末固結軽石流から採取した。試験区の構成は下記のとおりである。

1974設置框

| 資 材 | 厚さ | (乾物重量) |
|------------|-------|-----------|
| (1) パーライト | 2.5cm | (2.35kg) |
| (2) " | 5.0 | (4.70) |
| (3) " | 7.5 | (7.05) |
| (4) のこ屑 | 2.5 | (1.85) |
| (5) " | 5.0 | (3.71) |
| (6) " | 7.5 | (5.56) |
| (7) もみがら堆肥 | 2.5 | (3.39) |
| (8) " | 7.5 | (10.17) |
| (9) きゅう肥 | 1.0 | (0.96) |
| (10) " | 2.5 | (2.39) |
| (11) " | 7.5 | (7.16) |
| (12) 対 照 | | |

各区2連、ただし(9)・(11)区は反復なし。

1975年設置框

| 資 材 | 厚さ | (乾物重量) |
|------------|-------|-----------|
| (1) 能取軽石 | 2.5cm | (10.38kg) |
| (2) " | 7.5 | (31.14) |
| (3) 粉碎もみがら | 2.5 | (3.88) |
| (4) " | 7.5 | (7.06) |
| (5) 対 照 | | |

各区2連。

供試作物は1974年にはエン麦(品種ホクヨウ、青刈)、1975年には馬鈴薯(品種農林1号)を用いた。調査項目は作物生育収量、うね間の土壌の孔隙組成、テンションメータによる土壌水分の推移、クラストの硬度、室内法による不飽和透水係数などである。また資材について、粒径組成、全炭素、全窒素、0.1 N HCl 可溶成分、土砂混合率を測定した。

次に客入資材の粒子の粒径、形状、あるいは粒子表面の形態が重粘性土壌の孔隙組成へ及ぼす影響を知るために、形状や粒子表面の形態がそれぞれ異なる能取軽石、仙美里軽石、砂を用いて、粒径別に篩分し、各粒径別画分及びこれらの画分と重粘性土壌との混合したものの孔隙組成を測定した。試験方法としては次のように行った。能取軽石と仙美里軽石については粒径0.1~0.5mm、0.02~0.1mm、0.02mm以下の画分に分け、砂については0.5~2mmと0.1~0.5mmの画分に毎砂、0.02~0.1mmの画分に石英砂を用い、各画分を50mlの円筒2個をテープで固定して重ねた100mlの円筒へタッピングしながら入れた。そして水飽和後、砂柱上で過剰水を除去し、円筒のまま遠心分離機に入れて、pF2.7相当の遠心力で1時間

脱水採作を行い、上下の円筒を分離し、下部の円筒の試料について固相率と孔隙分布を測定した。

またこれらの画分と重粘性土壌とを混合した試料について、上記と同様の方法による測定を行った。重粘性土壌は粒径2mm以下の風乾土を用いた。

Ⅲ 試 験 結 果

1) 各種資材の施用が作物生育収量と土壌物理性へ及ぼす影響

框に詰めた灰色台地土Clg層の粒径組成、腐植含量、真比重を表-1に、資材の化学的性質を表-2に、粒径組成を図-1にそれぞれ示す。

表-1 供試土の粒径組成、腐植含量、真比重

| 供 試 土 | 粒 径 組 成 | | | | | 腐植 含量 | 真比重 |
|-------------------|---------|------|------|------|-----|----------|-----------|
| | 粗砂 | 細砂 | シルト | 粘土 | 土性 | | |
| 紋別市小向 灰色台地土Clg | 4.4 | 14.4 | 36.7 | 44.5 | LiC | 0.60% | 2.64 g/cc |

表-2 資材の化学的性質

(乾物当り)

| 資 材 | T-C | T-N | C/N | 0.1N HCl 可 溶 成 分 | | | | 土 砂 混入率 |
|-------------|------|------|-----|-------------------------------|------------------|------|------|------------|
| | | | | P ₂ O ₅ | K ₂ O | CaO | MgO | |
| | | | | % | % | % | % | |
| パ ー ラ イ ト | tr. | tr. | — | tr. | 0.02 | 0.06 | 0.03 | — |
| の こ 屑 | 51.5 | 0.07 | 736 | 0.01 | 0.02 | 0.15 | 0.03 | 0 |
| も み が ら 堆 肥 | 33.6 | 1.07 | 31 | 2.64 | 2.10 | 3.56 | 0.25 | 24.3 |
| き ゅ う 肥 | 40.5 | 2.57 | 16 | 2.50 | 2.91 | 2.51 | 0.76 | 12.6 |
| 能 取 軽 石 | tr. | tr. | — | 0.10 | 0.01 | 0.10 | 0.09 | — |
| 粉 碎 も み が ら | 44.5 | 0.49 | 91 | 0.79 | 2.02 | 0.92 | 0.28 | 0 |

表-3 エン麦(青刈)収穫調査結果(1974)

| 処 理 区 | 草 丈 | 茎 数 | 乾物重 | 左 比 | |
|-------------|-----|------------------|------------------|-----|-----|
| | cm | 本/m ² | g/m ² | | |
| パ ー ラ イ ト | 2.5 | 67 | 434 | 365 | 98 |
| 〃 | 5.0 | 68 | 439 | 381 | 102 |
| 〃 | 7.5 | 68 | 472 | 389 | 104 |
| の こ 屑 | 2.5 | 64 | 416 | 354 | 95 |
| 〃 | 5.0 | 62 | 371 | 344 | 92 |
| 〃 | 7.5 | 59 | 399 | 327 | 88 |
| も み が ら 堆 肥 | 2.5 | 69 | 493 | 482 | 129 |
| 〃 | 7.5 | 69 | 576 | 539 | 145 |
| き ゅ う 肥 | 1.0 | 71 | 548 | 448 | 120 |
| 〃 | 2.5 | 65 | 533 | 442 | 118 |
| 〃 | 7.5 | 70 | 574 | 551 | 148 |
| 対 照 | 64 | 451 | 373 | 100 | |

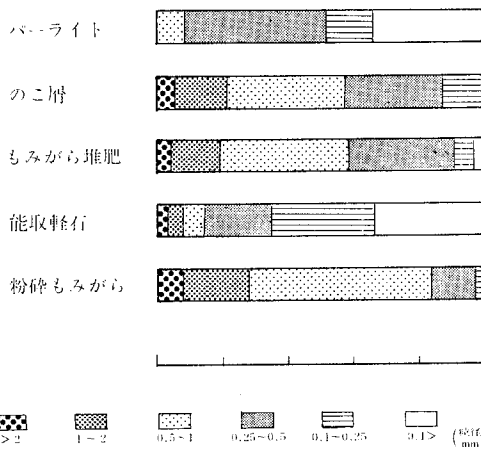


図-1 資材の粒径組成

註) 施肥量: N6-P₂O₅12-K₂O₅ (g/m²), 硫酸, 過石, 硫酸カリを使用した。

表-4 馬鈴薯生育収量調査結果

(1975)

| 処 理 区 (cm) | 草 丈 | | 収 量 | | | 澱 粉 価 % |
|---------------|------------|------------|-------------------------|-------------------------|-----|------------|
| | 15/Ⅷ cm | 14/Ⅷ cm | 個 数 個/m ² | 上 薯 g/m ² | 左 比 | |
| パーライト 2.5 | 31 | 44 | 68 | 3,775 | 103 | 19.4 |
| 〃 5.0 | 30 | 38 | 58 | 3,798 | 104 | 18.8 |
| 〃 7.5 | 28 | 38 | 79 | 3,794 | 104 | 18.7 |
| のこ屑 2.5 | 26 | 38 | 60 | 2,955 | 81 | 18.3 |
| 〃 5.0 | 29 | 41 | 64 | 3,092 | 85 | 16.8 |
| 〃 7.5 | 31 | 41 | 60 | 3,040 | 83 | 18.2 |
| もみがら堆肥 2.5 | 41 | 53 | 84 | 4,628 | 127 | 15.5 |
| 〃 7.5 | 35 | 43 | 92 | 4,483 | 123 | 15.7 |
| きゅう肥 1.0 | 30 | 47 | 78 | 4,410 | 121 | 18.1 |
| 〃 2.5 | 36 | 51 | 86 | 5,315 | 146 | 15.3 |
| 〃 7.5 | 47 | 63 | 108 | 7,916 | 217 | 16.1 |
| 対 照 | 27 | 40 | 62 | 3,650 | 100 | 18.9 |
| 能取軽石 2.5 | 37 | 46 | 122 | 4,390 | 105 | 17.8 |
| 〃 7.5 | 37 | 46 | 104 | 4,750 | 114 | 17.0 |
| 粉碎もみがら 2.5 | 35 | 49 | 84 | 4,505 | 108 | 15.6 |
| 〃 7.5 | 30 | 50 | 76 | 4,270 | 102 | 15.9 |
| 対 照 | 35 | 43 | 90 | 4,170 | 100 | 16.9 |

註) 施肥量: N12-P₂O₅15-K₂O12 (g/m²), S363化成肥料を使用した。
またCaCO₃約1.5kg/m²添加した。

化学的性質については、パーライトと能取軽石はともに全炭素、全窒素、0.1NHCl可溶成分が極めて低い。のこ屑は全炭素とC/N比が極めて高い。粉碎もみがらものこ屑についてC/N比が高い。もみがら堆肥はC/N比が31でやや高く、MgOを除く0.1NHCl可溶成分が高い。きゅう肥はC/N比が16であり、0.1NHCl可溶成分が高い。

粒径組成については、パーライトと能取軽石はともに粒径0.5mm以下の画分が多い。のこ屑ともみがら堆肥は前者よりも粒径がやや粗で、0.25~2mmの画分が多い。粉碎もみからはさらに粒径のあらい画分が多い。

作物の生育収量調査結果を表-3, 4にかかげる。エン麦は生育順調で障害を受けずに経過し、青刈で収穫した。資材施用区の乾物重は対照区に比較して、パーライト区ではやや多く、もみがら堆肥区ときゅう肥区では著しく多かった。しかし、のこ屑区では少なかった。いずれの施用区とも資材の量が増すと、乾物重の増加あるいは減少の傾向が強くなった。乾物重は資材からの窒素供給性に大きく影響されたとみられるが、パーライトのような不活性資材の施用によっても増加が認められた。

馬鈴薯は適潤な気象条件に恵まれ、順調に生育した。収量はきゅう肥区ともみがら堆肥区が高く、パーライト区では対照区より僅かに増加し、他方のこ屑区では低く

前年のエン麦の収量結果とほぼ同様の傾向であった。

また能取軽石区の収量は対照区よりも高く、粉碎もみがら区の収量は対照区よりも若干高かったものの、施用量の多い区では少ない区よりむしろ低かった。

次に跡地土壌の物理性を表-5に示す。資材施用の各区は対照区に比べて仮比重、固相率が少なく、pF1.6以下の孔隙量、飽和透水係数が大きく、クラストの硬度が低い。いずれの資材を施用しても、通気性、透水性、土壌硬度の改善効果があり、施用量が多いほどそれらの効果が増大するとみられた。

pF1.6~3.9の孔隙量は粉碎もみがら区では対照区よりやや少ないが、その他の区では対照区よりも多く、特にパーライト区で多かった。pF3.1~3.9の孔隙量は各資材施用区とも対照区とほとんど変わらず、結果的にpF1.6~3.1の孔隙量はpF1.6~3.9孔隙量の相違をもたらした。

天然の地層から採取した能取軽石の施用がpF1.6~3.1の孔隙量を増大させることが注目されたが、図-2, 3に能取軽石区における不飽和透水係数の測定結果と作付期間中の土壌水分吸引圧の推移を示す。

不飽和透水係数は水柱約100cmまでの水分吸引圧の範囲で測定されたが、能取軽石区では対照区よりも高く、能取軽石7.5cm施用により対照区よりも5~10倍高くな

表-5 跡地土壌の物理性

1974年設置区

| 処 理 区 (cm) | 仮比重 | 固相率 | 孔 隙 組 成 (pF) | | | | 真比重 | 飽和透水係数 | クラスト の 硬 度 |
|---------------|-------|------|--------------|---------|---------|---------|------|----------------------|---------------|
| | | | 0-1.6 | 1.6-3.1 | 3.1-3.9 | 1.6-3.9 | | | |
| パーライト 2.5 | 1.208 | 48.3 | 9.5 | 8.5 | 6.9 | 15.4 | 2.50 | 1.3×10^{-5} | 20.0 |
| 〃 5.0 | 1.024 | 42.3 | 15.0 | 13.2 | 6.9 | 20.1 | 2.42 | 2.0×10^{-4} | 15.5 |
| 〃 7.5 | 0.822 | 35.1 | 15.5 | 22.5 | 7.6 | 30.1 | 2.34 | 2.1×10^{-4} | 13.0 |
| のこ屑 2.5 | 1.187 | 45.5 | 12.7 | 7.9 | 6.3 | 14.2 | 2.51 | 1.5×10^{-4} | 17.5 |
| 〃 5.0 | 1.120 | 43.1 | 15.9 | 8.2 | 6.2 | 14.4 | 2.60 | 3.3×10^{-4} | 16.6 |
| 〃 7.5 | 0.948 | 37.0 | 20.3 | 11.5 | 8.6 | 20.1 | 2.56 | 7.7×10^{-4} | 14.3 |
| もみがら堆肥 2.5 | 1.164 | 44.1 | 12.4 | 9.2 | 6.1 | 15.3 | 2.64 | 2.7×10^{-5} | 18.5 |
| 〃 7.5 | 0.973 | 37.3 | 15.9 | 14.2 | 5.8 | 20.0 | 2.61 | 6.3×10^{-4} | 17.3 |
| きゅう肥 2.5 | 1.212 | 45.0 | 11.6 | 8.4 | 6.0 | 14.4 | 2.69 | 1.6×10^{-5} | 20.0 |
| 〃 7.5 | 0.941 | 35.8 | 20.5 | 10.4 | 6.8 | 17.2 | 2.63 | 3.6×10^{-4} | 19.0 |
| 対 照 | 1.316 | 51.2 | 8.4 | 5.5 | 5.8 | 11.3 | 2.57 | 1.1×10^{-5} | 20.7 |

1975年設置区

| | | | | | | | | | |
|------------|-------|------|------|------|-----|------|------|----------------------|------|
| 能取軽石 2.5 | 1.276 | 47.6 | 8.1 | 15.6 | 7.2 | 22.8 | 2.68 | 1.1×10^{-5} | 18.9 |
| 〃 7.5 | 1.159 | 43.5 | 12.9 | 19.5 | 6.0 | 26.3 | 2.66 | 1.1×10^{-4} | 12.2 |
| 粉碎もみがら 2.5 | 1.239 | 47.5 | 9.8 | 12.2 | 7.0 | 19.2 | 2.62 | 3.6×10^{-4} | 14.2 |
| 〃 7.5 | 0.979 | 38.4 | 20.8 | 12.1 | 6.9 | 19.0 | 2.55 | 6.1×10^{-3} | 15.5 |
| 対 照 | 1.307 | 48.6 | 6.8 | 13.5 | 6.9 | 20.4 | 2.69 | 2.3×10^{-5} | 24.9 |

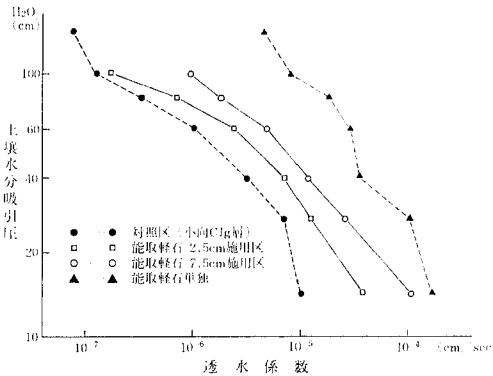


図-2 能取軽石の施用が重粘性土壌の不飽和透水係数へ及ぼす効果

った。

また水分吸引圧の推移に関しては、6月下旬から7月下旬までの降水量の多い時期には、降雨後、能取軽石7.5cm施用区の吸引圧は対照区よりも早く高くなった。他方、8月上旬には乾燥した天候が続いたが、この期間の能取軽石区の吸引圧は対照区に比べて、深さ5cmでは低く、深さ15cmでは高かった。したがって能取軽石の施用により、排水が良くなり、また毛管伝導性も改良されることが認められた。

2) 能取軽石施用が土壌孔隙組成へ及ぼす効果

能取軽石が重粘性土壌の透水性と保水性を同時に改良する効果が高かった原因は能取軽石の粒子の粒径組成、形状及び表面形態などが関係するとみられる。

そこで能取軽石とは対照的に異なる形状と表面形態を持つ仙美里軽石と砂を用いて、重粘性土壌の孔隙組成へ及ぼす効果を対比した。

粒子の形状と表面形態について、顕微鏡で観察した結果、能取軽石の粒子はほとんど火山ガラスからなり、伸長状の形状で、表面に幅数十ミクロンの細長い溝を数本含むか、径数〜数十ミクロンの円孔を持つものが多くみられ、そのほか稜のある彎曲した面を持つものがみられた。

仙美里軽石の粒子は不均等径で肉厚のやや扁平な形状の火山ガラスからなり、それらの表面には溝や孔隙がほとんど含まれていない。

砂の粒子はほぼ均等径で表面の孔隙の少ないものが主体である。

能取及び仙美里軽石粒子の走査電顕写真を写真-1, 2にかかげる。

能取軽石と仙美里軽石については粒径0.1~0.5mm, 0.02~0.1mm, 0.02mm以下の画分を、砂については0.5~2mm, 0.1~0.5mm, 0.02~0.1mmの画分をそれぞれ用いた。

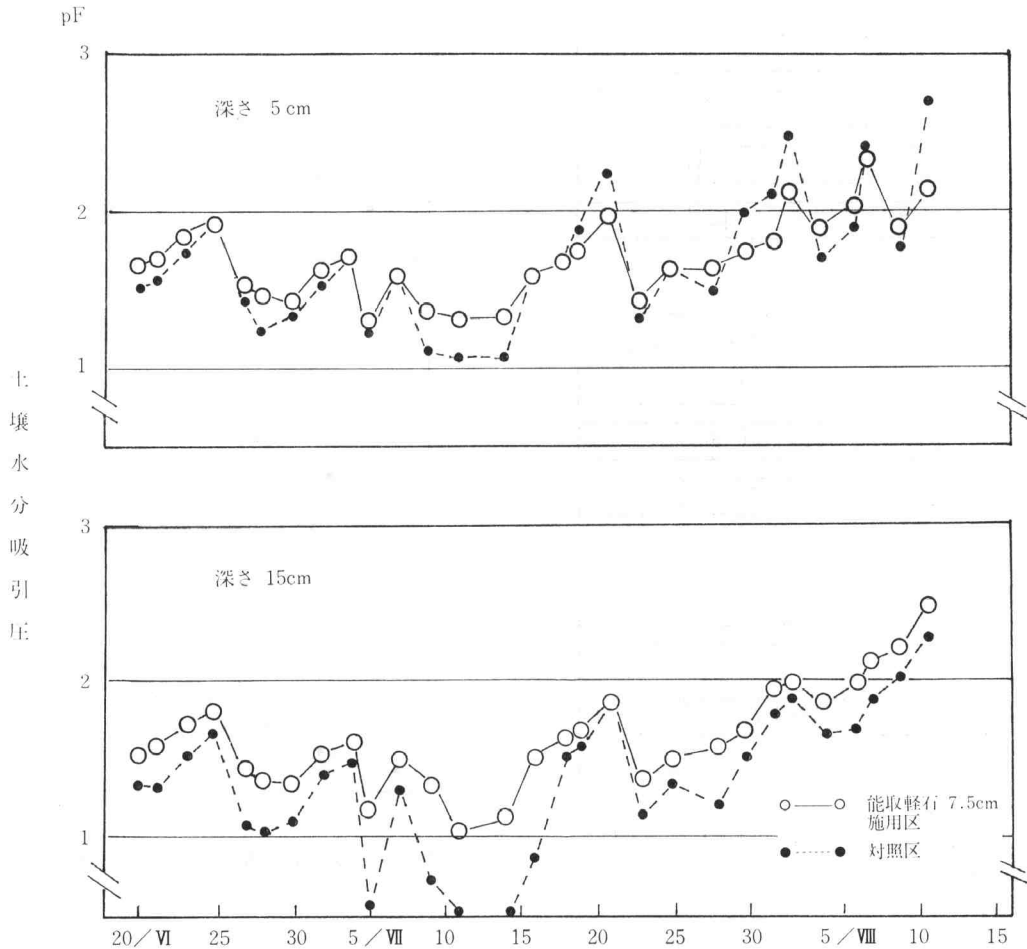


図-3 土壤水分吸引圧の推移

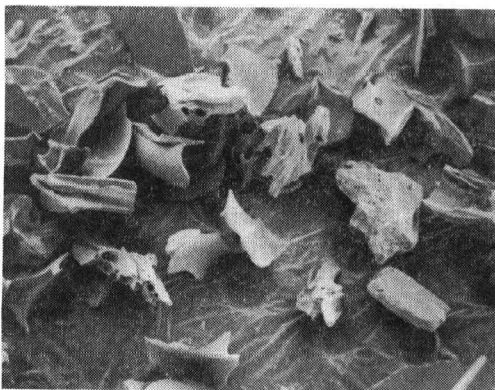


写真-1 能取軽石の走査電顕写真

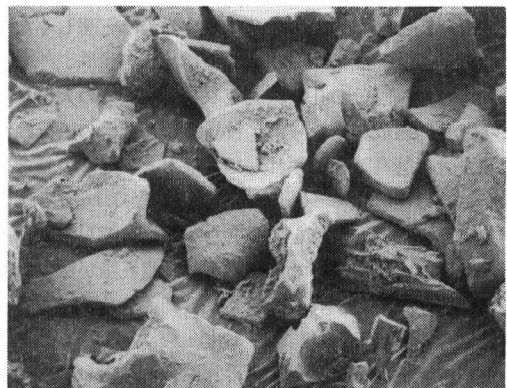


写真-2 仙美里軽石の走査電顕写真

各画分の充填後の孔隙組成を測定した結果を図-4に示す。なおpF1.5以下の孔隙を粗孔隙、pF1.5~2.7の孔隙を大毛管孔隙、pF2.7~3.9の孔隙を細毛管孔隙、pF1.5~3.9の孔隙を毛管孔隙、pF3.9以上の孔隙を微小孔隙と以下呼称する。

3資材間の孔隙組成を同一粒径画分で比較すると、粗孔隙について粒径0.1~0.5mmの画分では仙美里軽石が最も多く、能取軽石と砂は同程度であった。粒径0.02~0.1mm画分ではいずれの資材とも数%であった。

大毛管孔隙については能取軽石は仙美里軽石や砂より

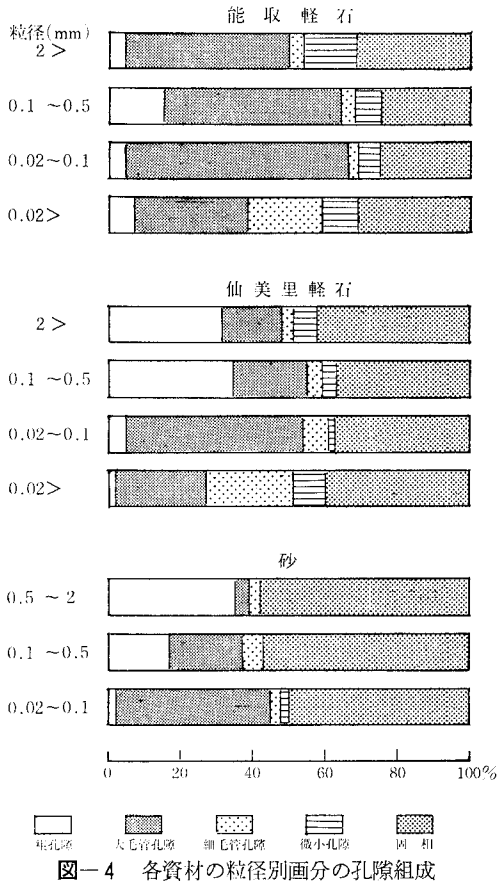


図-4 各資材の粒径別画分の孔隙組成

もかなり多かった。細毛管孔隙については仙美里軽石が能取軽石や砂よりもやや多く、微小孔隙については能取軽石は仙美里軽石や砂よりもやや多かったが、これら両孔隙の資材間の差は大毛管孔隙における差ほど著しくなかった。

次に粒径別画分の孔隙組成をみると、粒径の大きさによって孔隙組成が異なった。粒径0.1~0.5mmの画分は粗孔隙と大毛管孔隙をいずれも15%以上とかなりの量含んでいた。粒径0.02~0.1mmの画分は粒径0.1~0.5mmの画分よりも大毛管孔隙を多く含むが、粗孔隙が数%程度と低かった。粒径0.02mm以下の画分は粗孔隙が数%程度で低く、0.02~0.1mmの画分よりも細毛管孔隙が多く、大毛管孔隙が低かった。

重粘性土壌へ3資材をそれぞれ混合した場合の孔隙組成について、粒径0.1~0.5mmの画分を施用した結果を図-5に示した。

いずれの資材とも施用量の増大に伴い、粗孔隙と大毛管孔隙が増加し、細毛管孔隙が減少した。能取軽石の場合には粗孔隙がゆるやかに、大毛管孔隙と毛管孔隙が急激に増加した。仙美里軽石の場合には粗孔隙と大毛管孔隙は直線的に増加したが、大毛管孔隙の施用量に対する増

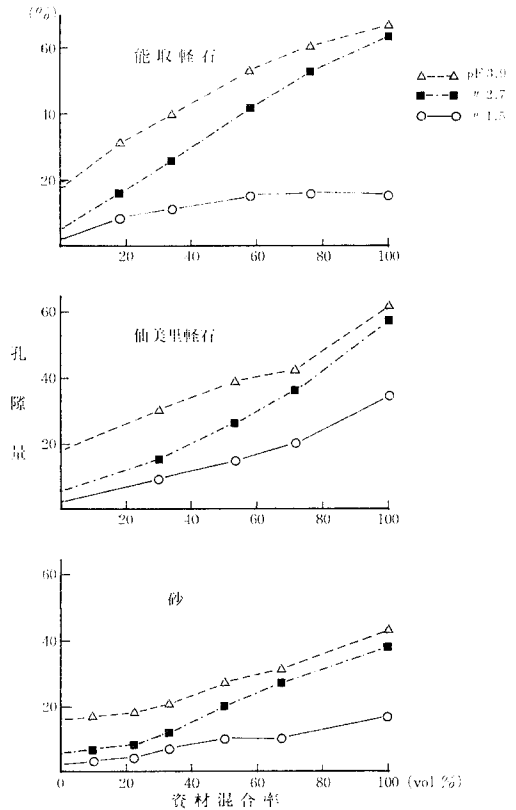


図-5 粒径0.1~0.5mm画分の施用が重粘性土壌の孔隙組成へ及ぼす効果

加割合は能取軽石の場合より少なかった。また毛管孔隙は施用量による差が少なかった。

砂の場合には粗孔隙を増大させる効果は3資材の中で最も低かった。大毛管孔隙への効果は能取軽石よりもかなり低く、仙美里軽石と同程度であった。毛管孔隙は施用量の増大により僅かに上昇した。

このほか粒径2mm以下、0.5~2mm、0.1~0.25mmの画分をそれぞれ重粘性土壌へ混合した場合の孔隙組成についても測定したが、これらの画分の粗孔隙と毛管孔隙を同時に増大させる効果は粒径0.1~0.5mm画分の場合よりも劣った。

IV 論 議

きゅう肥、もみがら堆肥を施用することにより、作物の増収効果や孔隙組成の改良効果が認められた。これら資材の作物増収効果は供試土が灰色の下層土であり、その可給態窒素に乏しいとみられることから、顕著に表われたと思われる。しかし10a当たり現物重としての資材施用量はきゅう肥2.5cm施用区では25tonに、またもみがら堆肥2.5cm施用区では17tonに相当し、きわめて多量で

ある。

有機物資材の多施は作物体に石灰、苦土よりもカリの集積を助長させて、ミネラルの不均衡をひき起こし、また土壌中の硝酸化成量を増大させるので、作物体内の硝酸濃度が高くなり、作物の品質の低下をもたらすことが知られている²⁾。オホーツク海沿岸部のように草地が多い地帯では、きゅう肥、もみがら堆肥の多施は家畜の飼養上危険を伴うので、注意を要する。橋元³⁾は堆きゅう肥の畑地における安全な連用量を年間10a当たり1~2tonと考えている。

本地方の重粘性土壌に対し、1~2ton程度の施用量による孔隙組成の改良効果は検討されていないが、三木ら⁵⁾が重粘性の赤黄色土において堆肥を年間2tonで3年間連用した跡地の三相分布を測定した結果では、無処理区の場合とほとんど相違がない。本地方の重粘性土に対してもこの程度の施用量では孔隙組成の改良が容易でないと思われる。

その他の処理区に関しては、この層区では窒素飢餓を起こしやすかったために、作物収量は対照区よりも低かったとみられる。また粉碎もみがらの2.5cm施用区では粗孔隙量の増加が作物収量へプラスの効果となったが、7.5施用区では窒素飢餓によるマイナスの効果も現われたために、2.5cm施用区の収量より劣ったと推定される。

パーライトや能取軽石は作物体へ悪い影響を及ぼす成分をほとんど含んでいないので、一度に多施しても問題がないとみられる。とくに能取軽石は重粘性土壌の分布地域に近い所の地層から採取したものであり、加工費不要なので、低廉な価格で供給しうる、孔隙組成改良のための有望な資材と考えられる。

ところで各種資材の施用による土壌孔隙組成への影響を検討した結果から、資材粒子の性状と土壌の透水性と保水性の改良効果の関係をまとめれば、次のように表わされる。

粒子の粒径については粒径0.1mm以下の画分に富む資材は保水性を増大させるが、透水性を改善することは難かしい。粒径0.5~2mmの画分に富む資材は透水性を改善する効果が高いが、保水性に対しては一部の資材を除いて効果的でないと思われる。粒径0.1~0.5mmの画分に富む資材は透水性を増大し、また仙美里軽石を除いて保水性も増大する効果があることが認められた。

保水性は粒子自体の保水性にも深く関係するとみられ能取軽石流の場合には粒子表面にある溝や孔隙の大きさが毛管水の保持に適し、またパーライトの場合には粒子は薄い膜で仕切られたいくつかの内部孔隙を含み、内部孔隙が表面の孔隙と通じているか、あるいは粒子表面が

破碎されやすいので、内部孔隙により水が保持されたと考えられる。

なお能取軽石は仙美里軽石に比較して、粗孔隙よりも大毛管孔隙の増大効果が高い。これは能取軽石の場合には粒子表面における大毛管孔隙の形成が相対的に粗孔隙量を少なくするようになったと考えられる。

粒子の形状については、粒子表面の孔隙がともに少ないが、形状の異なる仙美里軽石と砂について、粒径0.1~0.5mm画分を施用した場合を比較すると、仙美里軽石は砂よりも粗孔隙の増大効果が高いことから、形状による効果も確かに存在するとみられる。しかし保水性に関しては、粒子自体の保水性が低い場合には粒子の形状によって、保水性を大幅に増大させることは期待できないと思われる。

さて従来、重粘性土壌において透水性や保水性の改良も意図して、各種資材の施用試験が行われてきた。

本地方の重粘性土壌に対しては、20年以上前から海砂の客入試験が実施され、深井ら⁷⁾により易耕性、通気性の改善効果は著しいが、毛管孔隙量についてはむしろ減少することが認められている。供試した砂の粒径組成は主として粗砂からなっている。

一方、沖縄の石灰質重粘性土壌の改良に土性として細砂85%、シルト8%、粘土5%からなる第3紀砂岩を資材として施用したところ、粗孔隙の変化は少ないが、pF1.5~2.7の孔隙(大毛管孔隙)の増加効果の著しいことが大城⁷⁾により報告されている。

すなわち粒径0.2~2mmの画分に富む砂粒子を客入した場合には、粗孔隙を増加するが、毛管孔隙を増加しえず、粒径0.02~0.2mmの画分に富む粒子を客入すると、毛管孔隙を増加するが、粗孔隙の増大効果が少ない結果になっている。これら粒子の粒径範囲は筆者らの用いた資材の粒径範囲とは一致していないが、粒子粒径の孔隙組成へ及ぼす効果については矛盾していない。

このほか、三木ら⁵⁾は新鮮有機物を重粘性赤黄色土へ施用し、その結果固相率が減少し、pF1.7以下の孔隙が増大するものの、有効水分量は必ずしも増加せず、むしろ減少する場合もあり、また2mm以上の団粒が増加することを認めている。

各種の土壌改良剤を重粘性土壌に施用した試験では、pF1.5以下の孔隙量が増加しても、pF1.5~3.0の孔隙量が減少し、pF3.0~4.2の孔隙量の変化が少ない⁹⁾、あるいはpF1.6~2.0の孔隙量が増加したが、有効水分の保水にはほとんど影響がみられないなど報告され、粗孔隙量ほどには毛管水孔隙量の改善効果は現われていない。改良剤の施用により団粒組成として粒径0.5ないし1mm以上の画分が増大することも認められている^{9,10)}。

新鮮有機物ならびに土壌改良剤の施用は重粘性土壌に対して、確かに団粒の形成に有効に働くことが多いであろうが、形成された団粒はそれ自体毛管水孔隙に富んでおらず、また粒子間に毛管水を保持するにはその粒径が大きすぎるのではないかと考えられる。

以上のことから、透水性と保水性を同時に改良する目的で、改良資材、改良剤を選定する条件を推定するならば、不活性資材については資材粒子自体が毛管水を多く保持できて、また透水性を高めるために粒径0.1mm以下の画分の少ないことが望ましい。毛管水の保持量をさらに高めようとするならば、粒子間に毛管水を保持するように、粒径0.1~0.5mmの画分に限定して用いると良いであろう。

活性改良剤の効果を判定する場合には、直接、施用後の土壌孔隙組成を測定する以外に、形成された団粒の形態観察、特に数~数十ミクロンの径をもつ孔隙や溝に富み、粒径0.1~0.5mm程度の画分が多くて0.1mm以下の画分が少なく、かつ水をはじかないことに着目することも判定の基準として使うことができるであろう。もち論これらの団粒は乾燥温潤や凍結融解に安定でなければならない。

要 約

重粘性土壌の透水性と保水性を同時に改良する目的で各種の資材を施用し、土壌の孔隙組成を検討した結果、粉碎もみがらを除く資材は粗孔隙と毛管孔隙を同時に増加させる効果が認められた。また全資材とも、クラストの硬度を低下させた。

能取軽石は天然の地層で、これまで土壌改良資材として用いられていない。能取軽石に効果がみられた理由は

粒子表面に大毛管孔隙 (pF 1.5~2.7) の保持に適した大きさの溝や孔隙を含み、不均等径の形状が粗孔隙を増加するのに役立つためと考えられた。粒径0.1mm以下の画分を除いて施用すれば、施用量の低い段階から粗孔隙を増大させる効果があった。

これらの試験結果から、透水性と保水性改良のための改良資材、改良剤を選定する際に、留意すべき事項をあげた。

引用文献

- 1) 深井 強ら (1962): 重粘性土壌における砂及び泥炭客土の併用効果, 北農試案報 77, 56~67
- 2) 橋元秀教 (1977): 有機物施用の理論と応用, pp.94~128, 農文協.
- 3) 北海道開発局 (1972): 重粘土—その分布と特性—, 1~37.
- 4) 石井和夫・塩崎尚郎 (1972): 重粘性土壌に対する合成高分子土壌改良剤の施用効果, 第1報 陽荷電高分子電解質による土壌物理性の変化, 北農試案報 100, 29~34.
- 5) 三木和夫・森 哲郎 (1966): 鉍質畑の地力に対する有機物の役割とその補給様式に関する研究, 第2報 有機物施用跡地土壌の理化学性の変化について, 東近農試研報 15, 112~124.
- 6) 森 哲郎・深井 強 (1959): 北海道における重粘性土壌の研究—重粘性土壌に対する砂客土の効果について—, 北農試案報 74, 30~41.
- 7) 大城喜信 (1973): ジャーガル (石灰質重粘土) の改良に関する研究, 沖縄農試報 1, 1~43.
- 8) 塩崎尚郎・石井和夫・池 盛重 (1971): 重粘土に対する心土破碎の効果, 北農試農事調査資料第129号.
- 9) 寺沢四郎 (1967): 数種の土壌改良剤が土壌物理性に及ぼす影響, 農技研報 B19, 197~228.
- 10) 横井 肇 (1968): 陽荷電合成高分子の作用について, 土壌の物理性 19, 20~22.

[1980. 4. 24. 受稿]

走査電子顕微鏡

櫻井 雄 二*

Scanning Electron Microscope ; SEM

Yuji SAKURAI

Faculty of Agriculture, Ehime University

まえがき

土壌構造は土壌の物理的力学的挙動の解明において、重要な位置を占めている。その構造の研究は、大別して実際に目で観察する方法、及び土壌の示す特性、挙動、例えば流体移動の異方性や体積変化挙動を通じて行われてきた。粘性土の構造は特に後者の立場から多くの成果があげられ、有益な基本モデルが提出されている。一方前者による研究もその都度追究され、一定程度の成果が上げられてきたが、目視するために必要な拡大器としての顕微鏡の性能と、試料作成上の問題等から十分な進展をみるにいたっていないと考えられる。

電子顕微鏡は、その性能において粘土の微細構造を明らかにする上で非常に有効と考えられるが、まず開発普及した透過電顕がその供試土作りに多大の時間と熟練度を要した。さらにその技術があったとしても、薄切片像を観察し投影像を見ていることになり、その平面像から立体像を形成するという操作（推定）が介在する。一方試料表面を容易に観察できる点では反射型の光学顕微鏡を用いるが、これでは高倍率の観察は望めない。ところが直接高倍率の、より立体感のある像をみることができるとして走査電子顕微鏡（以下SEMと呼ぶ）の開発によって、観察の容易さと試料作成上の問題点が解消される可能性がでてきた。そのため1960年代に開発されて以来各方面で使用されているが、土壌構造の形態的特徴を観察する上でも有力な手段として用いられる様になり、いくつかの成果をあげるまでになってきた。すなわち従来からの構造性に関する議論、例えば練り返しによって構造が破壊する¹⁾、圧密によって配向度が増す²⁾ などについてのSEMによる観察像が報告されている。さらにSEMによる観察によって、従来からの土壌構造モデルの充実化^{3), 4)}がなされている。

そこで以下走査電子顕微鏡について、原理など基本的な事項を概説し、使用上の注意点などを紹介しSEM使用上の参考に供したい。

1 歴史^{5)~9)}

走査電子顕微鏡の二次電子を取り出して走査像を作るという原理は、1935年に M. Knoll によって提案され、

1938年には装置が作られてもいる。しかしそれは分解能が悪く、雑音も多く像質の悪いものであった。その後各種取り組みがなされたが、透過電顕とは異なり進歩は遅れた。それは分解能をあげるための電子線束の径を小さくする技術と、二次電子を補足、増幅する技術の未熟によるものとされ、電子技術の発展を待たねばならなかった。それ故に電子増倍管さらにシンチレーター-光パイプ-光電子増倍管という検出系の登場を経て、商品化されたのは1960年代中頃であった。以後各方面に普及し、さらに二次電子像による幾何学的形状だけでなく、各種情報を得ることができる分析電顕として応用面が広がっている。

2 原理^{5)~9)}

SEMの原理は、電子レンズによって細く絞られた電子線束を、二次元的に試料面上を走査しながら照射し、試料から飛び出してくる二次電子を補足する。補足された二次電子はシンチレータで光に変わり、その光は光パイプを通して光電子増倍管で電気信号（電圧パルス）に変換される。変換された電気信号は増幅され、電子線束と同期して走査する陰極線チューブ（CRT）において、テレビと同じ様式で輝度に変換されブラウン管上の像となる。この時、電子線束が試料面に入射する角度によって飛び出してくる二次電子の量が異なる。このことをもって、二次電子が試料面の幾何学的形状という情報をもっていることになる。その発生量が最も少ないのは、電子線束の入射角が0°の時である。そして、二次電子の発生量が多い点が少ない点より像はより明るくなる。このようにSEMでは試料表面の特性を一端電気信号の時系列とし、ブラウン管上で再び点の連続体として像を再生することになる。その点透過電顕は同じ電子顕微鏡といっても、電子と光の違いはあれ、光顕と同様試料の透過電子を一定の焦点に結像させて像を作るもので、空間的に試料と像を対応させている。従ってSEMは光顕や透過電顕の様ないわゆる空間的結像レンズは持っていない。

SEMにおける倍率は、試料面上を二次元的に電子線束を走査する振幅（走査用コイルの電流量で操作）と、ブラウン管上のビームの走査振幅との比で定まる。普通、

* 愛媛大学農学部

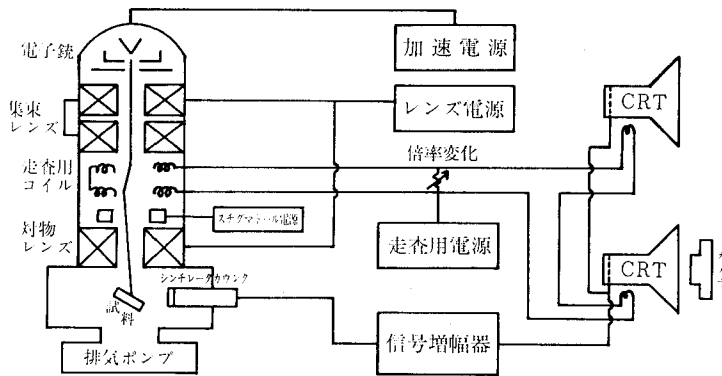


図-1 SEMの原理図(文献5)などから

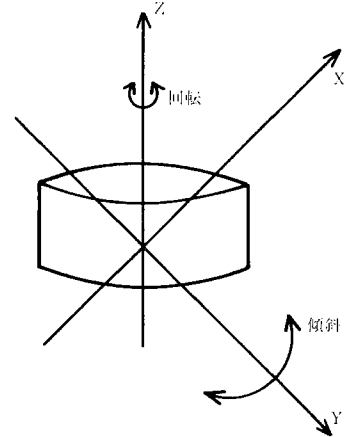


図-2 試料台(文献5)から

ブラウン管上のビームの振幅は一定(画面の幅)として、試料面を走査する電子線束の幅が倍率を決めることになり、それを変化させて倍率を換えるものである。

3 装置⁵⁾⁻⁹⁾

SEMは原理的に次の5つの部分から構成されている。a) 電子線を発射する電子銃と、その電子線束を細く絞る電子レンズ及びそれを走査させる部分などの鏡筒部分、b) 試料がおかれ発生する二次電子等を補足し、電気信号に変換する検出器部分、c) 変換された電気信号を送り、増幅する部分、d) その電気信号をブラウン管上に像として再生させる表示部分と撮影など記録部分、そしてe)a)及びb)は高真空状態に保たねばならず、そのための排気系である。図-1にその模式図を示す。図からも分かる様に上記5つの部分は、真空コラムの電子光学系 a) b) 及びそれを維持する排気系と、電気信号を増幅するなど制御系ともいえる電気回路系に2大別できる。

電子源の電子銃は、一般にタングステンのヘアピン・カソードを用いた熱電子放射型だが、電界放射型(フィールド・エミッション)が開発され、前者より輝度が大きく、より細かい電子線束を作り出すとされている。この電子銃から発射された電子線束は、2ないし3段の電子レンズで絞られ、試料面で数10Åから100Å位にまで集束される。このレンズのうち最後のものを対物レンズ、他を集束レンズという。鏡筒内にはこの他にレンズの非点収差を解消するための非点補正コイルと、電子線束を走査する走査用コイルがある。電子レンズにも光頭(レンズと同様色収差等の各種収差があるが、非点収差以外のものは機械的に解消できる。この非点収差はレンズを形成する磁場が軸対称になっていない場合や、鏡筒内の汚染による部分的帯電のために生じるもので、電子線束が真円とならずだ円になり分解能を悪くする。しかしこ

れは電気的に補正することが出来、そのための部分が非点補正コイル(スタグマトル)で、ディスプレイ上にあるツマミにより操作できるようになっている。

検出器部分にある試料台は図-2の様にX-Y-Z方向に移動させることが出来る。またZ軸を中心とした回転並びにY軸の回りに傾斜させることができる。

4 特徴⁵⁾⁻⁹⁾

1) 分解能は50~70Åと透過電顕(1~2Å)より劣るが、光顕(2,000Å)よりはるかに優れている。

SEMの分解能は入射電子線束の径に影響され、径を小さくする程分解能はあがる。さらにSEMは検出する信号のS/N比並びに試料中での電子の拡散を検出する粒子のエスケープ長によって分解能に影響される。今これらの関係は、電子レンズに色収差がないとすると次の様に表わされ、分解能に対して互いに相反する効果をもつ。

$$d^2 = 0.4i/\beta a^2 \quad (1)$$

d: 電子線束の径 i: 電子流(照射電流)

β : 電子銃の輝度 a: 対物レンズの半開口角

2) 焦点深度が深く、立体感のある像を得ることができる。例えば1,000倍の倍率ではSEMが35 μ 、透過電顕約0.3 μ 、そして光顕0.1 μ 位である。さらに二次電子像の場合、無影照明効果のため立体感がより深まる。

3) ブロック状の試料を普通そのまま観察できるので、表面観察の場合透過電顕の様にレプリカを作成しなくてもよく、試料作成が非常に容易である。

4) 情報が電気信号で与えられるため操作がより容易である。

5) 図-3に示すごとく、試料から発生する信号は各種存在し、それらを検出することによって二次電子像の様に幾何学形状を示す他に、構成成分や、試料中のケイ光物質の検出等ができる。

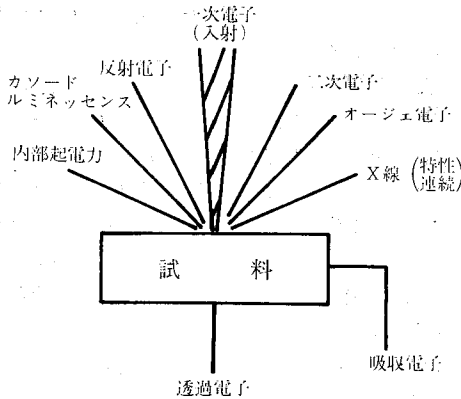


図-3 試料から発生する信号(文献5)などから

5 基本的留意点⁵⁾-15)

SEMによって試料の構造をより忠実に再現し正確な像を得るためには、1) 試料作成状態 2) 機械の調整 3) 写真の作成、判読の3段階がいずれも適正でなければならない。

1) 試料作成状態

試料作成段階で構造を乱す機会は、観察面の整形時と脱水・乾燥時である。前者は観察面の選択とその断面の整形法が問題となる。例えば力学性を論議している場合、主応力方向に垂直、水平両断面がとらえられることが多いが、目的に沿う断面を選ぶ必要がある。供試土の大きさ、すなわち試料台はかなり大きく、最大100mm径の試料台も市販されている。

次にその断面を何で整形するかだが、ナイフ等の切断器具を用いるのか、あるいは試料を割り、切断器具が接触していない部分を探るのかである。この切断面の乱れは接着テープを押しつけて、またゼラチンを塗布して取り除くことが行なわれている¹⁷⁾。これらは水分を含んだ土を相手の時、特に高含水の場合、次に述べる脱水乾燥後に行なわなければならない困難である。含水状態の土は凍結切断法という凍結をさせ、構造を固定しておいてから破断する手法を適用できるかもしれない。

SEMによる観察は高真空中でなされるが、前述した様に観察したい試料は水を含んでいる場合が一般である。そのため供試体は脱水・乾燥する必要がある。それには空気中乾燥法、凍結乾燥法、そして臨界点乾燥法の3種が、生物、植物試料作成法として用いられている。空気中乾燥法は骨格の剛な、もしくは固定処理を行なって剛にした試料は別として、土壌の場合収縮し構造が変化するので用いることができない。最も収縮限界以下の含水状態の試料は、それ以上体積変形しないのであるから構造も変化しないと考えると、以後空気中ないしは炉乾による乾燥を行なっても良いことになる。後者の2つの乾

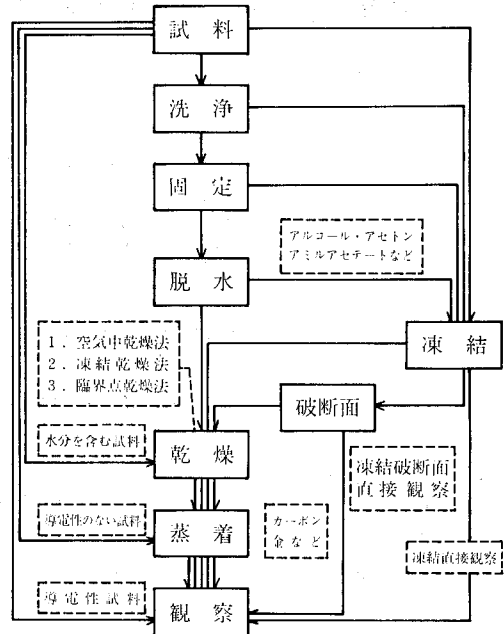


図-4 SEM観察のための生物試料処理過程(文献5)から

燥法は以下において詳しく述べる。今参考のため生物試料について用いられている一般的な試料処理過程を図-4に示す。土壌の場合普通図-4の洗浄、固定の2過程を省くことになる。

以上の様な自然乾燥時の収縮は、主に乾燥時の気-液界面形成による表面張力による。従ってこれを防ぐには、気-液界面を生じさせないで乾燥させればよいことになり、その方法として現在臨界点乾燥法と凍結乾燥法がある。

a) 臨界点乾燥法：気体と液体の相平衡の圧力-温度曲線にある特異点Kは、圧力をそれ以上にあげても液化しない(温度、圧力)点で、これを臨界点と呼ぶ。この臨界点では気体と液体が共存し、1つの相となる。そこでこの臨界点における温度と圧力以上では気体の液化は生じないこと(臨界現象)を利用して、気-液界面に働く表面張力をなくして乾燥させる方法が臨界点乾燥法である。

この方法の手順は濃度を低い方から高い方へと順に換えたアルコールによって脱水し、そのアルコールを酢酸アミル、アミルアセテイト並びにアセトン等の溶媒で置換した後、臨界点乾燥器中で液体炭酸と溶媒を置換させる。その後その液体炭酸を臨界温度、圧力以上(普通臨界温度より約10℃上昇させて得る)にして気体化(CO₂)させ、このCO₂を排気(圧力低下)して乾燥させる。一般に臨界点乾燥の処理液として液体炭酸が用いられるが、他にフロンや酸化窒素なども用いられ

る。この処理過程における温度、時間は植物試料で次の様に報告されているが¹³⁾、所用時間は用いる器具にもより、また試料の大きさ、種類によって定めるべきである。

| 液体炭酸 注入 | 置換 | 気化 | 排气 |
|------------|------------|-------------------------------------|-------------------------------|
| 10℃以下 | 20℃ 30分 | 43℃ 小型試料 30分 大型試料 50分以上 | 0.3~1.0 l /minで約 1時間30分 |

この臨界点乾燥法は現在最も良好な乾燥法とされているが、大気圧に減圧する時の影響や、アルコール、アセトン等の溶媒で脱水、置換することによる試料中物質の溶解の影響が問題とされる。また粘土の場合、置換脱水が完全にできるかの問題も残る。

b) 凍結乾燥法：この方法は試料を一たん凍結して固化し、さらに昇華（固体→気体の相変化）によって液体分を取り除く乾燥法である。その原理は氷の結晶が生成、成長しない様な低温（-90℃以下）で急速凍結させる。すると氷は非晶質のガラス状となりほとんど体積の増加がない。図-4において試料凍結-乾燥のルートを一般に凍結乾燥法という。これは内容物が有機溶媒に溶けたりして影響を受ける試料では、臨界点乾燥法より有利である。

試料は凍結後低温下では昇華速度が遅いため高真空中におき、速度を早められる。また表面から乾燥していくが、その時潜熱を必要として試料内部がより低温となり、さらに乾燥が遅れる現象が生じる。それで温度を上げ試料に熱を与えてやれば乾燥を促進させうるが、そうすると氷の結晶が成長し、試料構造が変化する。従ってこの真空乾燥が困難な場合、試料を小さくするか潜熱の大きい水（600kcal/gr）を凍結前に潜熱の小さい溶媒で置換しておく方法がとられる。土壌の場合試料整形の点からも5mm径以上とかなり大きくなり、置換させる方がよいと考えられる。

また凍結試料をそのまま観察する手順も、凍結法として採用されている。この場合試料表面には、一般に導電性にするため金などの蒸着を行なうが、氷がその役目は果たし、蒸着の過程がはぶける。しかし、SEMによる観察は手早く行なわなければ、気化水分子のため鏡筒に部分電界が生じ、分解能を低下させると共に質の悪い像を得ることになる。また鏡筒内を汚染させるという欠点をもつ。

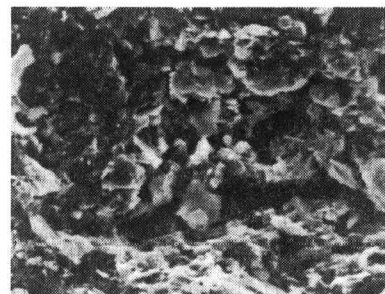
凍結剤としては一般に液体窒素が用いられるが、これは発泡が激しく、そのため冷却速度を低下させると共に発泡による構造への影響が考えられる。これを防ぐためには、例えば液化フロンのような他の冷媒を用いることも考えられる。

今写真-1に温州ミカンの柱頭を凍結乾燥法で観察した例を示す¹⁶⁾。約30μ幅のキレットが生じている。凍結乾燥法（脱水置換）で良い成果を得たという報告もあるが¹⁷⁾、写真-1に見られる様に、この方法も完全なものではなく、氷晶による微細な変形はさけられないものと考えられる。また、土壌は結合部の結合強さが大きいとはいえず、微細な変形の場合、写真-1の様にキレットとして視覚化しないことが十分に考えられるので観察像の判定には注意を要する。これは臨界点乾燥法の場合も同様と考えられる。

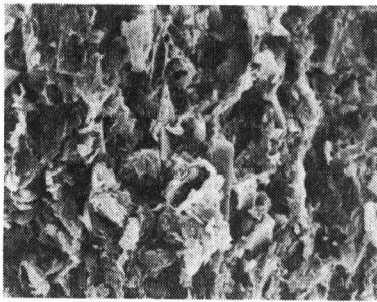
以上の様にSEMの供試体作成技術は透過電顕に比較して容易であるといわれているが、厳密に言えばブロックのまま観察できる点以外は確立していないと考えていた方がよいといえる。従って観察する目的や試料ないしそれらで定まる拡大スケールの選択によって断面のとり方、その整形法をも含め、試料作成法は1種ないしは1



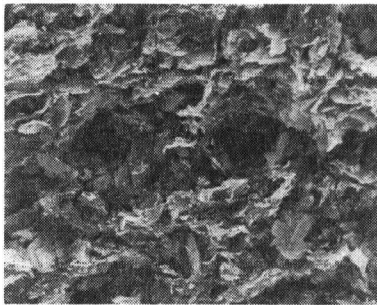
写真-1 温州ミカンの柱頭
(文献 白石ら¹⁶⁾原図)



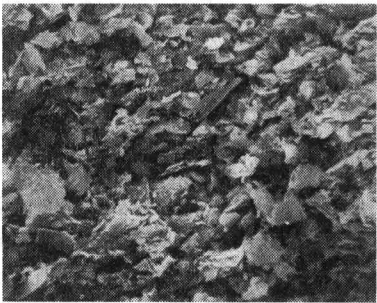
P = 0 kg/cm² 垂直断面
写真-2 20μ



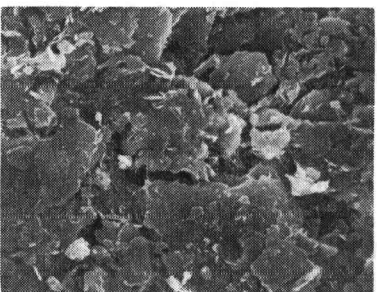
P = 0.29 kg/cm² 垂直断面
写真-3 20μ



P = 4.61 kg/cm² 垂直断面
写真-4 20μ



P = 18.4 kg/cm² 垂直断面
写真-5 20μ



P = 4.61 kg/cm²
水平断面
写真-6 10μ

つの手順のみでなく、幾種類かの方法で行なう必要があると考えられる。そして各々が、実施した方法論の評価をふまえて観察像の解釈を行なわなければならない。

2) 機械の調整

SEMの鏡筒内における電子光学系の軸は常に正常でなければゆがんだ像を得ることになる。それは大型電顕程小さいが、極端には1度電源を切ると必ず若干のくるいを生じるともいわれる。また鏡筒内の汚染により部分的電界が生じ、そのため電子線束が影響をうける。これらのため、鏡筒内の掃除をも含め電子源から一連の電子レンズ等の管理チェックが必要である。

二次電子の像を観察する場合、分解能がよく、像質(S/N, コントラスト等)の良いものを得るために、機械の条件を最も観察に適したものにしなければならない。次にその条件について概説する。

a) 加速電圧：一般に加速電圧をあげれば試料面上での電子線束の直径を小さくでき、分解能をあげることができる。しかしいかに加速電圧をあげても、照射電子の透過度が大きくなり二次電子の出てくる面積がその分大きくなるため、分解能を低下させる結果となる。この様に分解能に対する加速電圧は、正の相関性があるながらも限度がある。一般に5~30kVの加速電圧を用いるが、高い加速電圧では微細構造が不鮮明となる。また後述するエッジ効果が顕著となり、異常コントラストの原因となる。そこで、電子線束の径が大きくなる程度(要求する分解能を保ちうる)に加速電圧を低くすることが必要と考えられる。

b) 照射電流：試料表面に照射する電子線束の電流量が多いほど鮮明度などの像質が良くなる。しかし、この電流を増すと電子線束の径が大きくなる。

c) 対物レンズの半開口角(α)：焦点深度 l は次式で表わせる。

$$l = \pm [(r/M) - d] / 2\alpha \quad (2)$$

r：CRT上、肉眼で識別できる最小距離 M：倍率

d：電子線束の径 α ：対物レンズの半開口角 = $\frac{A}{D}$

A：対物レンズの絞り半径

D：対物レンズ絞りから試料までの距離

(2)式からもわかる様に α を小さくすると、焦点深度は大きくなり立体感あふれる像となるが、照射電流が小さくなり、そのためS/N比の減少と共に回折収差が大きくなり像質が低下する。逆に大きくするとS/N比は増大するが、焦点深度は浅くなり、球面収差が大きくなって分解能が低下する。

d) 試料の傾斜：照射電子束の試料表面に対する入射角 θ によって、発生する二次電子量が異なり像のコントラストになるが、この θ を任意変化させてやることによ

って、コントラストを増減できる。すなわちコントラストをつける傾斜角効果である。この時二次電子量は $\frac{1}{\cos \theta}$ に比例する。しかし、傾斜しすぎると画面の焦点が合わなくなるが、これはフルフォーカス機構（対物レンズの焦点を走査に同期させて変化させ、試料全面に焦点を合わせる）によって補正でき、機械のカタログには傾斜の許容範囲が記載されている。

e) 電気信号の操作：前述した様にSEMは電気信号として情報をとり出すため、信号の操作が容易であることが利点とされている。それで例えば二次電子量が少なく、情報の差異を示す取り出した電気信号の変化分が小さくても、電気的に処理（増幅）することによってその変化分を大きくし、像のコントラストを増すことができる。しかし逆に増幅、伝送過程で雑音が入れば、像質を悪くするので注意が必要である。

その他電気的な信号処理法はガンマコントロールなどが存在し、これらを適当に操作することによって、微細構造がより鮮明になるなど、より目的にあった情報を得ることができる。

f) 非点収差補正：前述した様に非点収差が存在すれば分解能を低下させる。これは電気的補正操作により容易に取り除くことができる。この非点収差の補正は常に完全におこななければならない。

以上の他に走査速度やCRTの走査線数もS/N比等とかかわり像質に影響するが、非点収差が完全に除去されていれば、主に加速電圧、照射電流が分解能やS/N比に大きく関与し、これらの適当な選定がより良い像を得る条件である。実際にはこれらの選定は用いる試料等を勘案して、各条件を妥協させる必要がある。

3) 写真の作成、判読

SEMによる像は大きく拡大されたものであるため、何が写っているのかはよりマクロな形から正しくとらえておこななければならない。また、写っている像（コントラスト差）は何を意味するのかも認識しておかないと誤った判断を下す危険が大いにある。前者の点は、光顕による観察の経験が大いに役立つものと考えられる。特に光顕程度の倍率でも構造が見うる試料では、その拡大したSEM像に対する判定において有効な基準となるであろう。

後者の点はSEMが場所毎の二次電子放出量の違いをコントラスト差として像化しているもので、物体にあたった光の反射量の違いをそのままみている日常の視覚とは本質的に異なることから生じる。このコントラストの成因は、照射電子線束の試料表面に対する角度であり、加速電圧の大小、物質の二次電子放出比、蒸着膜の厚さ及びそのむら、そしてエッジ効果やチャージアップ現象である。このうち前二者はすでに述べてきた。

二次電子放出比とは構成元素、並びにそれらが化合物をつくることによって二次電子の放出比が変化し、表面形状に差異はなくてもコントラスト差としてあらわれてくるものである。蒸着膜の厚さ及びむらは、それらが要求（観察）している分解能よりも厚ければ、試料の表面形状をおおいかくすことになる。従って蒸着厚さは前もって知っておかなければならない。また電気的に信号をコントロールしてコントラストの増減をつけることはすでに述べたとおりであるが、あまりにもコントラスト差を強調しすぎると間違った判断をくだす場合が生じる。エッジ効果とは角の部分並びに飛び出している部分は形状差以上に特に明るく見え、凹部は逆に暗くなる効果をいう。またチャージアップ現象は、試料の導電性が不十分な場合、試料表面に電荷がたまり像に影響を与えるものである。

以上の様な影響をうけ、分解能は電子線束の径によって主にきまるが、一般にはこれより分解能は悪くなる。そしてSEMの分解能は試料の状態によっても変化することを念頭におき、より良い像を得る様に注意しなければならない。

さらに定量的取り扱いにおいて、SEM像では焦点深度が深いので、同一大きさのものでも異なる大きさにみえる。また斜めに存在する部分の像はそのままの大きさでは真値でない。そして正確に凹凸の形状を区別するには、ステレオ技術、シグナルコンディショナーの操作が必要とされる。

以上はブラウン管上に写る像までについての記述であったが、それを記録（写真撮影）する際、撮影、現像、焼付けの技術は出来上りの像の良し悪しを左右する。まず現像であるが、撮影が良好であったかを確認するため（確認しないと我々が普通用いる金蒸着試料は保存が長くないため、試料作りの初めからやり直さねばならない）、その場で行なう方がよい。この現像を適正にするには現像剤の選択と現像時の温度、時間、濃度を適正に選ぶ必要がある。温度が高かったり、時間が適正でないと、コントラストが増し、せつかくの適正な像もこの段階で不十分となる。筆者が行なった場合を1例として以下に示す。現像剤としてはマイクロファイン（600cc）を用い、この1袋で4本現像できる。フィルムはコダックTri-Xpanフィルム（TX120）を用いた。現像温度は22℃、時間は新しい現像剤では18分（その解説書には11分となっているが）、1本現像を済ます毎に1分ずつ時間を増す。次いで水で2回洗った後、定着（5分）させる。定着剤としてはスーパーフィックスを用いた。

6 観察例

末風乾試料を液性限界付近の含水量で練返して圧密した海成粘土について、観察像を写真2～6に示す。試料

は炉乾後の状態である。試料断面はまずソイルナイフで割り、ナイフの当たっていない面を軟かいはけではき、さらにブローワーでチリを飛ばして整形した。試料面は圧密方向とそれに直角方向とした。それらを垂直断面及び水平断面と呼ぶ。写真には圧密荷重、0, 0.29, 4.61, 18.4kg/cm² をかけた試料の垂直断面と4.61kg/cm² をかけた水平断面とを示す。なおこの場合加速電圧は20kV, 照射電流は60Aである。その結果、無荷重状態では若干の配向性を示すが、全体としてはランダムな構造であった。それが0.29kg/cm² の小さな荷重で一端圧密方向に平行ともみれる配列が認められるものの、荷重の増加と共に圧密方向と直角に、より強い配向状態を呈していることが認められる。

7 おわりに

単に見るというだけで終ることなく、土壌の挙動と構造性との議論が相当煮詰まっている現在、SEMによる観察研究は今後の成果が期待できるものと考えられる。その場合、現段階では試料作成法等に統一なものがなく、各々が目的や対象とする試料の種類並びに拡大スケール等を勘案して工夫をしなければならぬ。そして、観察像の適正さを期す上からも、試料に対する代表性を確保するためにも、試料作成方法などは各種方法で行ない、かつSEMの機能を最大限に生かした観察像からいろいろな情報を得る必要がある。また任意条件下におかれた土壌について、どの大きさのレベルないしはスケールで観察しているのかを考え、それらの観察像の積み重ねによって、全体の構造を構築していかなければならないと考えられる。さらに以上のようにして得られた観察像の客観的な評価並びに定量化の面において、SEMをコンビ

ュータと連続させて処理する方法が現実化しており、土壌構造の研究においても有用であると考えられる。

謝辞 最後に筆者が走査電顕を取り扱う様になって以来、SEMの操作法から試料作成法などについて基本的なことから、また本小稿をまとめるに際しても御丁寧な御指導を願った愛媛大学農学部白石雅也博士に心からの謝意を表します。

参考、引用文献

- 1) 川上 浩・阿部広史：第30回土木学会講要(III), pp.410~411 (1975)
- 2) 風間秀彦：第13回土質工学研究発表会講演集, pp.201~204 (1978)
- 3) Collins, K. and A. McGown : Geotechnique, 24(2), pp.223~254 (1974)
- 4) 土壌物理研究会(編)：土の物理学, 森北出版.
- 5) 日本電子顕微鏡学会関東支部(編)：走査電子顕微鏡, 共立出版.
- 6) 東 昇・遠山 益：電子顕微鏡学実習, 共立出版.
- 7) 水平敏知：電子顕微鏡, 医歯薬出版.
- 8) 長谷川与一：細胞, 3(13), pp.9~16 (1971)
- 9) 日立製作所：走査電子顕微鏡.
- 10) 徳永 純・幡場良明：細胞, 3(13), pp.17~31 (1971)
- 11) 大隅正子：細胞, 7(1), pp.99~117 (1975)
- 12) 赤堀 宏：細胞, 11(4), pp.137~141 (1979)
- 13) 白石雅也：細胞, 11(4), pp.147~156 (1979)
- 14) 小菅孝男：細胞, 11(4), pp.164~171 (1979)
- 15) 日立製作所：Technical Data 一 走査電子顕微鏡の生物試料作成技術について.
- 16) Shiraishi, M. et al., : J. Japan. Soc. Hort. Sci., 44(2), pp.107~121 (1975)
- 17) 松尾新一郎・嘉門雅史：土木学会論文報告集, No.209, pp.103~113 (1973)

[1980.3.3.受稿]

超音波パルス法による土の物理性の計測

小山 修 平*

Ultrasonic Pulsating Method for Measuring Physical Properties of Soils.

Shuhei KOYAMA

Faculty of Agriculture, University of Osaka Prefecture

I はじめに

土(土壤)の物理的性質を計測するには様々な方法がある。近年、建設材料及び構造物の非破壊検査(NDTと略称されている)に代表される超音波パルス法が、広い意味における土の物理性(工学的も含める)を把握するために利用され始めている。超音波現象に関する最初の認識は、イタリアの生物学者スプラランツァーニ(1729~1799)が、こうもりの特殊能力、(暗やみでも障害物に当らずに飛ぶことができること)を発見したことに始まるとされている¹⁾。しかしながら、最初の実用的な超音波装置は1921年頃に出現し、音響測探機であったと言われている²⁾。とくに第二次大戦中及び1945年以降超音波技術とその利用は急激に進歩した。一般に超音波とは、個人差はあるが、可聴音(約20Hz~20KHz)外の高周波数の音といえよう。

さて、土の物理性を計測するための最も身近な超音波装置という「超音波水分計」及び「超音波を利用した土粒子の分散」などが考えられる。しかし、ここでは、土中の水分も含め、土の間げき、密度及び構造などの広い意味における土の物理性を把握するために超音波パルス法の適用を考えてみる。

II 超音波計測について

一口に超音波計測といっても用途、目的によってかなり異なっている。一般に、超音波を通信的に応用することにより、種々の物質の物性(音波物性)を知ることができる。

表一¹⁾は超音波の応用分類を示したものであるが、通信的な応用とは超音波を信号として利用することである²⁾。

さて、超音波は、波自体、連続波とパルス波とに分類される。そして代表的な物性計測システムには、1)透過法、2)反射法、3)共振法、4)可視式探傷、5)超音波ホログラフィーなどがある¹⁾³⁾が、ここでは、最も簡単かつ有用なシステムとして主に1)について説明す

表一-1 超音波の応用例¹⁾

| 分 類 | 応 用 例 |
|---------------------------|---|
| 通 信 的 応 用 (信号として利用) | 水中ソーナー、探測機、探傷器、流速・流量計、粘度計、応力分布の計測、通信機、フィルター、パルス診断(医学的応用)、物性研究など |
| 動 力 的 応 用 (エネルギーとして利用) | 洗浄、乳化、アルミニウムのハンダづけ、孔あけ・切削、鋳造、集じん細菌・ビールの破壊、手術、治療など |

る。すでに述べたように1)透過法は、コンクリート用NDTとして広く利用されており、すでにかなり普及しているといえよう。筆者は、超音波パルス透過法により主に粘性土に関する広い意味における物理性を計測してきた⁴⁾。その計測システムは図一⁴⁾に示すとおりであるが、超音波による計測は一種の動的試験法であるのであまり大きな出力(エネルギー)を持った超音波を用いることは、土の状態を変化させてしまう場合(動力的応用の対象となる)もあり、注意する必要がある。しかしながら、室内で土供試体を対象として一般にコンクリート用のNDT装置を利用する限りは、ほとんど問題にならない。また、透過力の面からもほぼ妥当であると考えられる。なお、超音波発振子の重量、形状及び寸法などについては、十分考慮し、土供試体に静的変形を与えないようなものにするか、何らかの工夫が必要である。

さて、一般に超音波は音波である限り、縦波(P波)を用いることになるが、最近、横波(S波)の超音波も用いられるようになってきた。しかし、取扱い易さ及び経費の点から考えると縦波の超音波発振子の方が有利である。つぎに超音波を取扱う上で大切なことは、超音波の振動数(周波数)である。筆者の経験からいえば、土に対しては20~500KHz程度の振動数が適当ではないかと考えられる。一般に金属及び高分子材料の物性計測に

* 大阪府立大学農学部

はMHz（メガヘルツ）の範囲の振動数を利用することが多いが、土供試体では減衰が大きく少々無理なようである。ほとんどの場合、送受振子は、各々互換性を有し、その材質は、以前は水晶振動子が主流であったが、こわれやすいこと、高価なこと及び出力が小さいことなどから、現在は、安価なチタン酸バリウム及びその改良型のジルコン・チタン酸鉛（PZT）などの利用が増加している。安定度の点からは、水晶が最もすぐれており、つぎにPZTということになる。図-1に示す通り、計測システムは決して複雑なものではないので自作も可能であろう。

供試体を対象にした超音波計測で最も重要な点は、いかにして一定の送受信状態にするかということである。そのため、供試体と送受振子の接合法が重要となるがそれにはつぎのような方法がよく用いられている。1) 横あるいは鉛直方向から定圧力で押しつける。2) 常温硬化型の接着剤を利用。3) 供試体中に発振子を埋める。4) 非硬化型の接着剤（例えば真空グリス）を利用、するなどが考えられる。1) の場合は、供試体の端面の状況がたいへん重要であり、定圧力を得ることは困難である。2) の場合は、供試体の状況によっては不可能な場合もある。4) の場合が最も簡単かつ有効な方法

と考えられるが、この場合、非硬化型の接着剤により接着が可能な大きさ及び重量の振動子を用いるか、あるいは1)との併用が望ましいと考えられる。軟弱な供試体には3)の方法が有効と考えられるが、筆者は試みたことがない。いずれの方法を用いるにしても、振動子と供試体の接合状態が計測結果を左右するといっても過言ではない。写真-1は、1)の場合の供試体と振動子のセット状況の一例を示している。

III 超音波の計測指標について

超音波を土の物理性計測に適用させるといっても、直接、土の物理的性質を計測できる訳ではなく、あくまで間接的に超音波指標と土の状態との関係を知ることをいうのである。

さて、超音波パルス透過法で求められる主な測定指標は、1) 伝バ速度（位相速度及び群速度）2) 振幅 3) パワースペクトル密度などである。この中で最も簡単に計測することができるものは1)と2)である。一般に超音波パルスの伝バ速度は群速度になると考えられているが、応答振動数がほぼ単一と判断される場合は、位相速度と考えてよかろう。本来、物質が弾性体と仮定できるような場合には、分散性の波動伝バとはならず、単に境界の状況により分散性波動となり、位相速度及び群速度と波長（振動数）の関係が重要となってくる⁵⁾。土供試体の場合には、第1次近似として多孔質弾性体と仮定できるが、分散性波動となる主な原因は、境界状態（供試体の寸法及び形状など）だけでなく供試体の内部状態によっても生じる可能性がある。したがって、室内で供試体中の超音波パルス伝バ速度を計測するには、まず伝バ速度と供試体の寸法・形状などとの関係を十分把握しておかなければならない。振幅計測の場合は常に発振子と供試体の接合状態を一定にしておく必要があり極めて難しいことであるが、図-2に示すように、少なくとも初

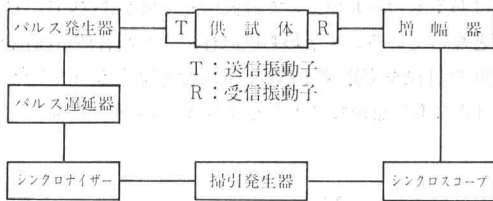


図-1 超音波パルス透過法による計測システム⁴⁾

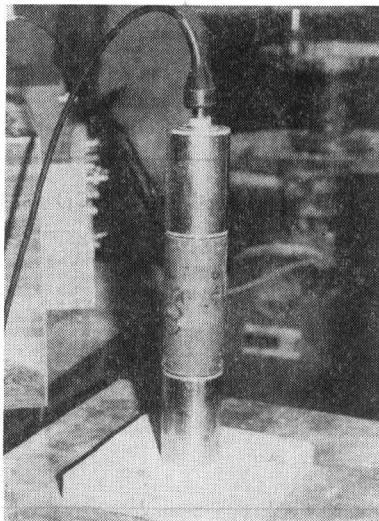
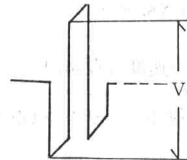


写真-1 セット状況の例

1. 発振子+受振子



2. 発振子+土供試体+受振子

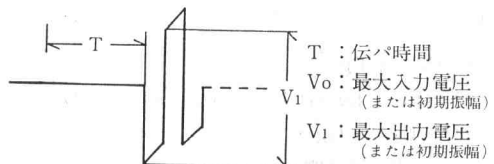


図-2 超音波伝バ波形モデル⁴⁾

期振幅及び最大振幅などを計測しておかなければならない。

次節には、超音波パルス伝バ速度を計測指標とした場合に計測上注意すべき点及び土供試体の内部状態計測例を示すことにする。

IV 土 壌 の 物 理 性 計 測 へ の 適 用 例

IV-1 超音波パルス伝バ速度に及ぼす供試体の寸法効果及び振動数の影響

超音波パルス縦波伝バ速度 C_1^* 及び横波伝バ速度 C_2^* に及ぼす供試体の寸法 (直径及び長さ) の変化の影響を検討するために基準供試体として様々な寸法のアルミニウム及び硬ポリエチレン樹脂の円柱を利用した。これらの実験結果の一例を図-3(a)及び図-3(b)に示す。図中の C_1 , C_0 及び C_2 の値については表-2 に示す通りであ

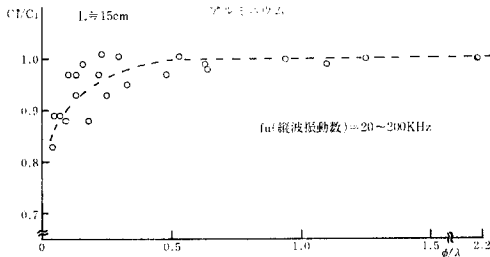


図-3(a) 縦波伝バ速度 (C_1^*/C_1) vs. ϕ/λ

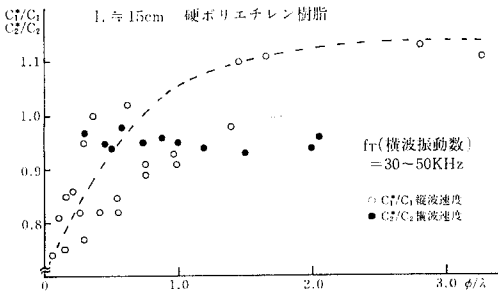


図-3(b) 縦波及び横波伝バ速度 (C_1^*/C_1 , C_2^*/C_2) vs. ϕ/λ

表-2 基準供試体中の伝バ速度 (理論値)

| 伝バ速度 | アルミニウム ¹⁰⁾ | 硬ポリエチレン樹脂 ¹⁾ |
|--------------|-----------------------|-------------------------|
| C_0 (m/s)* | 5000 | 1755 |
| C_1 ** | 6420 | 2209 |
| C_2 *** | 3040 | 1069 |

* : $C_0 = \sqrt{Eg/\rho}$

** : $C_1 = \sqrt{Eg/\rho} [(1-\mu)/(1+\mu)(1-2\mu)]$

*** : $C_2 = \sqrt{Gg/\rho}$
 $g = 980(\text{cm/s}^2)$

*1) : 実測値(1978)

表-3 基準供試体の物理的性質

| 項 目 | アルミニウム | 硬ポリエチレン樹脂 |
|-------------|---------------------------------------|--------------------------------------|
| 比 重 ρ | 2.69* | 0.96** |
| ヤング率 E | $7.2 \times 10^{10}(\text{kg/cm}^2)$ | $3.0 \times 10^{10}(\text{kg/cm}^2)$ |
| 剛性率 G | $2.76 \times 10^{10}(\text{kg/cm}^2)$ | $1.1 \times 10^{10}(\text{kg/cm}^2)$ |
| ポアソン比 μ | 0.304* | 0.347** |

*理科年表 (1975)¹⁰⁾ **実測値 (1978)

るが、 C_1 : 半無限媒体中の縦波伝バ速度、 C_0 : 棒中の縦波伝バ速度及び C_2 : 半無限及び棒中の横波伝バ速度を表わしている。また、使用した基準供試体の基本的性質は表-3に示す。図-3(a), 図-3(b)から分るように伝バ速度 C_1^* は ϕ/λ (ϕ : 供試体直径, λ : 伝バ波長) の増加に伴い比較的急激に増加し、 $\phi/\lambda \geq 1 \sim 2$ で C_1^* が一定値に近づいて行く。この一定値とは、縦波のときは半無限媒体中の縦波伝バ速度 C_1 に一致するようである。横波の場合は、 ϕ/λ の変化にほとんど影響されていない。以上の図では、横軸に ϕ/λ ととり、伝バ速度と供試体直径及び波長 (振動数) の関係となっているが、さらに具体的に伝バ速度に及ぼす供試体の寸法効果を知るには、横軸に L/ϕ (L : 供試体長さ) をとるべきであろう。この図の一例を図-4(a)及び図-4(b)に示す。ややバラツキはあるものの $L/\phi \leq 2$ で縦波伝バ速度 C_1^* は C_1 に近い値となっている。すなわち供試体により超音波縦波伝バ速度の計測を実施するには、 ϕ/λ を考慮するか、 $L/\phi \leq 2$ または L/ϕ をかなり大きくすれば、 C_1 または C_0 とし

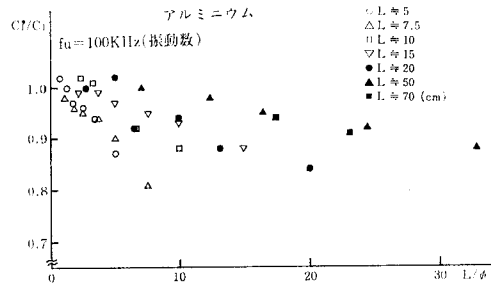


図-4(a) 縦波伝バ速度 (C_1^*/C_1) vs. L/ϕ

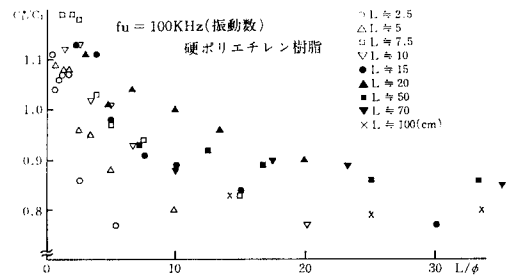


図-4(b) 縦波伝バ速度 (C_1^*/C_1) vs. L/ϕ

て計測できると考えられる。ただ、土供試体では $L=5\sim 10\text{cm}$ 及び $\phi=2.5\sim 10\text{cm}$ 程度が適当であるので、 $L/\phi=1\sim 2$ の場合がよいだろう。 $L/\phi=2$ というのは土供試体では標準供試体に一致しており、他の工学的試験を実施する上にも極めて都合がよい。上記の計測結果例は、有名なPochhammer (1876) 及びChree (1889) の理論的解析結果⁶⁾とは異なっている。(彼らの理論では縦波伝バ速度が ϕ/λ の増加に伴い減少する。)しかし、Khazin⁷⁾ (1975) の ϕ/λ による縦波伝バ速度の分類、Tu⁸⁾ら (1955) の鋼、アルミニウム棒などの実験結果及び緒方⁹⁾ (1977) のアルミニウム棒中の縦波速度の実験結果などとはよく類似している。また、最近、多谷¹⁰⁾ (1976) によって理論的かつ実験的に Pochhammer らの理論の欠点・誤りが指摘されている。なお、図-5は、土供試体を用いた伝バ速度への寸法効果を調べた例であるが、寸法(供試体直径及び長さ)を大きく変えることができないので、その影響の程度は明らかではない。いずれにせよ、伝バ速度が複雑に変化するような場合は避けるべきであり、超音波パルス透過法(20KHz以上の振動数)で使用する供試体は、前述の標準寸法のものならば、常に半無限媒体中の伝バ速度に一致していると考えてよいだろう。ただし、伝バ波長が土粒子に何らかの影響を及ぼす可能性が残されており、極端に短い波長を使用することは避けるべきである。

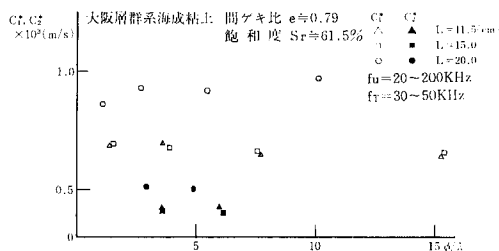


図-5 縦波及び横波伝バ速度 (C_1^*, C_2^*) vs. ϕ/λ

IV-2 超音波パルス縦波及び横波伝バ速度と土の状態の計測例⁴⁾

実験に用いた供試土は、主に大阪層群系の粘性土で統一分類ではMLまたはCLに属している。土の状態を表わす代表的な指標としては含水比及び間ゲキ比の変化である。さて、縦波及び横波伝バ速度と含水比、水膜厚さ(間ゲキ比一定)及び間ゲキ比(含水比または飽和度一定)などの関係を調べた例を図-6、図-7、図-8、図-9に示す。これらの図に関する詳細な考察は、すでに他で述べたものもあり、ここでは総括的に述べることにする。本例の供試土中の伝バ速度と含水比及び間ゲキ比の関係は必ずしも一定ではなく、全く特異な変化を示す場合があることが分った。これらは、ほんの一例にす

ぎないが、何らかの計測器として超音波を利用するにはこの点を十分考慮してキャリブレーションを実施する必要がある。振幅を指標とする場合にも同様の配慮が必要であろう。しかし、物性計測の面から考えれば、波動

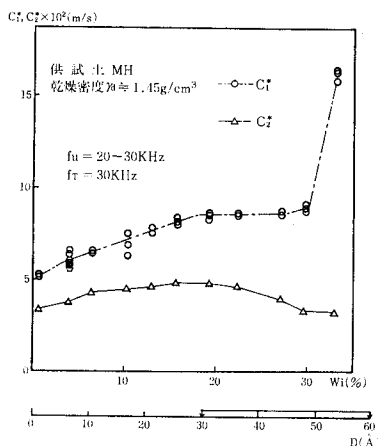


図-6 縦波及び横波伝バ速度 (C_1^*, C_2^*) vs. 初期含水比(W_i)及び等価水膜厚さ(D)⁴⁾

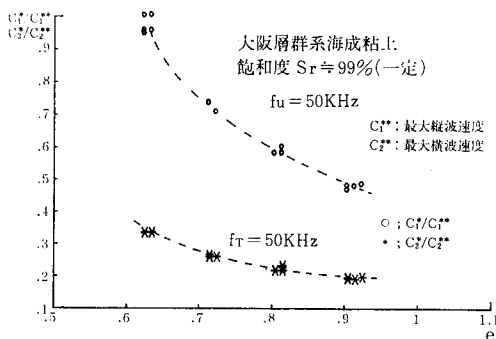


図-7 縦波及び波横波伝バ速度 ($C_1^*/C_1^{**}, C_2^*/C_2^{**}$) vs. 初期間ゲキ比(e)

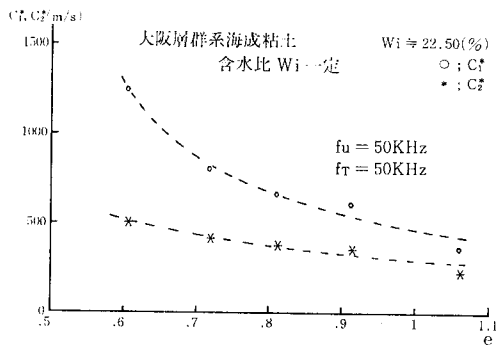
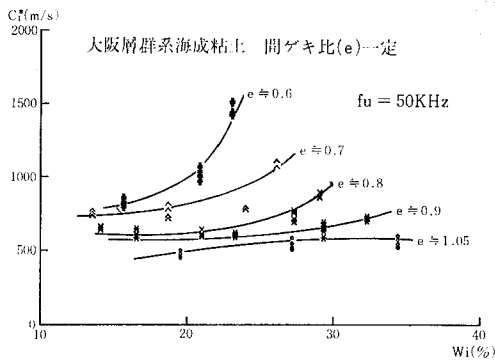


図-8 縦波及び横波伝バ速度 (C_1^*, C_2^*) vs. 初期間ゲキ比(e)



図一9 縦波伝バ速度 (C_1^*) vs. 初期含水比 (W_i)

の特異な変化にこそ物質の内部構造を知る手がかりがあると考えられる。さて、間接的ではあるが、土構造に関連した土の性質を検討するには、縦波だけでなく横波伝バ速度を利用すべきである。その理由は、横波が土中水分を伝バしにくく、土の骨格構造中を伝わり、縦波は水中でも伝わるという波の基本的な特性によるものである。図一6には、一例として締めめ粘性土中の縦波及び横波伝バ速度と土粒子のまわりの水分状態（水膜厚さで考える）の変化の関係を示す。土の構造変化は簡単に捉えられるようなものではないが、弾性体（固体）及び粘弾性体中の縦波及び横波伝バ特性を利用して土中水分の質的变化を類推することができるかもしれない。さらに、他の計測指標（例えば振幅とかスペクトル密度の変化など）を加えて、土の物理性を波動減衰（伝バ）特性の変化として捉えることにより、超音波パルス法による物性計測の範囲が拡大すると考えられる。

V お わ り に

ここでは、超音波パルスを利用した土の物理性計測のほんの一端を示したにすぎない。どちらかといえば筆者は、土壌物理計測に関しては経験が乏しいので、必ずしも適切な計測例であるとはいえないが、広い意味での土の物性計測における超音波パルスの利用を示すことができたと思う。

超音波パルス透過法は、X線、RIなどを用いる物性

計測法に比較して、はるかに簡単かつ気軽に利用できるし、装置自体、伝バ速度とか振幅を測る程度ならば極めて簡単である。また、近年、以前の水晶振動子に比べ安価でかつ安定度も高いPZT振動子が入手できるようになってきており、土壌物理の分野においても、大いに超音波計測が実施されるべきであろう。とくにマイクロコンピュータを利用したデジタル処理及び波形解析により、さらに高度な超音波パルス計測を実施することができるものと思われる。ただ、超音波は単なる通信的な応用であっても交番荷重を供試体に与える計測法であるので、時間効果（長時間計測時の問題）については考慮する必要がある。なお、超音波及びその計測の応用に関する詳細な解説は文献1～3を参照されたい。

最後になりましたが、ここに示しましたいくつかの研究例に関し、当研究室の中谷三男教授ならびに桑原孝雄助教授から貴重なご教示を頂きました。記して識意を表します。

引用文献

- 1) 例えば Donald R. Griffin: コウモリと超音波, 能本乙彦訳, 現代の科学37, 河出書房新社, pp.32~(1970).
- 2) 藤森聡雄: やさしい超音波の応用 増補改訂版, 産報, pp.1~36, pp.134~150 (1976).
- 3) L. Filipcynski et al.: Ultrasonic Methods of Testing Materials, Butterworths, pp.1~92 (1966).
- 4) 小山修平他3名: 主として土の動弾性定数に及ぼす土中水分の影響について, 農土論集70, pp.27~38 (1977).
- 5) Y.C. ファン: 固体の力学/理論 初版第2刷, 大橋義夫他訳, 培風館, pp.332~338 (1971).
- 6) H. Kolsky: Stress Waves in Solids, Dover, pp.54~86 (1963)
- 7) B. G. Khazin et al.: The Use of Ultrasound to estimate of Frozen Soils During Working, Soil Mechanics and Foundation Engineering Translated from Russian, pp.122~125 (1975)
- 8) 緒方義弘他1名: 棒状岩石試験片の音速測定法に関する一考察, 第4回岩の力学国内シンポジウム講演集, pp.7~12 (1973).
- 9) T. Taya: Tensor Wave Theory in Solid Elastic Body of Three Dimension, part 9. The Technology Reports of the Tohoku University, Vol.41, No.2, pp.387~445 (1976).
- 10) 東京天文台編纂: 理科年表, 物理化学, 物78~79 (1975).

[1980.5.8.受稿]

地中温度の測定法

松 井 重 光*

The Technique for Soil Temperature Measurement

Sigemitsu MATSUI

Faculty of Agriculture, Mie University

I ま え が き

気象学的な見地やその他の興味から、地中温度の測定がしばしば必要となるが、ここではその簡単な計測法の一例と注意点について述べる。

地中温度（以下地温と略す）は深さ毎に異なり且つ時間的に変化していくので、測定装置としては局所を遅れなく測れるものが必要である。また、測定温度範囲が常温の比較的狭い領域なので割合に精度が必要なことや、湿った地中という測定器にとっては苛酷な環境下で用いることもその特徴である。古くは曲管地温計なども使われたが、これは必ずしも上記の条件を満たしていると言ひ難く、また記録するのに不便である。現今では何等かの温度センサーと記録装置との組み合わせで用いるがこれには数多くものが考えられる。代表的なものとして熱電式、抵抗線式、サーミスタ式のものなどをあげることができるが、実験条件に合わせて適当な検出部を自作しやすい点では熱電式がすぐれている。抵抗線式やサーミスタ式も素線や素子を手入れすれば検出部を自作できるが、それに合わせて出力装置も作るとなると少々面倒である。この点では、例えば市販のデジタル抵抗計とプリンタを組み合わせれば自作した検出部にも対応できるが、実際にはあまり使い易いものと思えない。逆に、これら抵抗式の場合、専用の出力装置をもつ市販の計器では地温測定に適した検出部のものが得にくい。

一方、熱電式は起電力で検出するため一般の増幅器や記録計器を用い得て好都合である。この場合の主な問題は、冷接点の基準温度を必要とすることであるが、この処理の仕方については後述する。

II 熱電対による地温測定

1 検出端の製作と検定

局所的で応答が早いためには検出部の熱容量をなるべく小さくすべきである。この点から言うと、保護管などを用いる場合はあまり大型のものとしなことが望まし

い。むしろ、PVC被覆の素線（太さ0.2~0.5mm程度）の先端0.5~1cmを露出し半田付などで接点を作ってから、その部分を耐水性のよい接着剤で被覆するのが簡単でよい。露出部は機械的にも弱いので適当な絶縁性のチューブをかぶせるなどしてもよいが、余り長くしなければそのままでも使用できる。ビニール被覆部は勿論、接着剤でコートした部分も耐水性があるので何回かのくり返し使用に耐えるがC-C（銅-コンスタンタン）の素線なら安価なので作りなおすことも簡単である。また、ソース型の素線も利用可能であろう。

製作した検出端は、室内で数回ずつ温度を変えて起電力を測り、熱起電力 α ($\mu\text{V}/\text{C}$) を検定しておかねばならない。地温測定のように狭い範囲の温度を扱う場合、 α は温度によらず一定と考えて差し支えない。即ち、この場合、測温接点と冷接点の温度をそれぞれ θ および θ_s とすると、熱電対起電力はよい近似で $E_0 = \alpha(\theta - \theta_s)$ と表わされる。但し、 $\theta - \theta_s$ が、20Cを超えるときは誤差が大きくなる。なお、多数の熱電対を用いるときは、 α のそろったものを選ぶようにする。

2 設置する際の注意

地中に設置するときは、現場を一旦掘り起こして所定の位置に検出端を水平に置き埋め戻す。この際、先端から20~30cmの部分も水平に置くようにする。この注意は複数の熱電対を用いて深さ方向の地温分布を調べたりする場合には特に必要である。

なお、被測定箇所を掘り返すことが不適当な場合は、側溝を掘り横から検出端を差しこむようにする。この場合の検出端は金属管で保護し機械的にも強度を持たせる必要がある。

3 出力装置との組み合わせ

検出端を出力のための装置につなぐ場合、冷接点の温度の決め方が関係するので、これをも含めて実際的な方法を略述する。

(1) 氷点温度を基準とする方法

図-1(a)のように一組の素線の両端に接点を作り、中央部の銅線側に別の銅リード線を半田付して、この部分

* 三重大学農学部

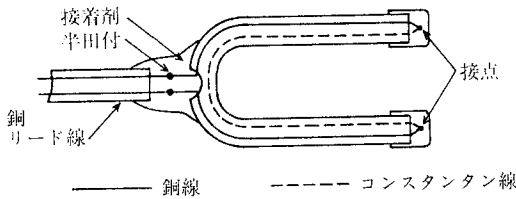


図-1(a) 熱電対の構造

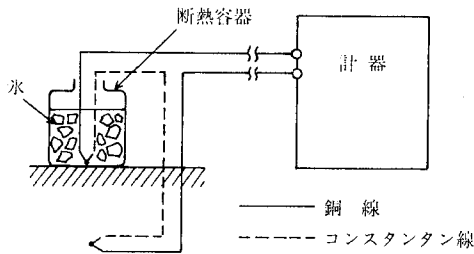


図-1(b) 計器との接続

を延ばすとよい。図-1(b)のように片方の接点を測定箇所置き、他方の接点を断熱容器中で水と共存させる。長時間放置すると水が残存していても容器内に温度分布を生ずるので、水の補給や攪拌に気を配らねばならない。この意味で、本法の夏季などにおける使用は好ましくない。

C-C素線の熱起電力は約 $40\mu\text{V}/\text{C}$ なので、計器は入力 1mV フルスケール程度のもが必要である。もし手持計器の入力感度が不足の場合は、間に然るべき増幅器を挿入せねばならない。

(2) 変動の少ない常温を基準とする方法

図-1(b)で、断熱容器中に氷の代わりに常温の水を入れて用いる。この場合は水の温度を別の温度計で時どきチェックせねばならない。また、この水温の代わりに地下 1m 程度の地温を用いると変動が小さいので上記のチェック回数は少なく済むと思われる。但し、この際の温度計はやはり地中に埋め得る形式のもでなければならないので、結局熱電対を含め二種類の手段で地温を測定することになる。

これらのように常温を基準にとると、接点間の温度差が比較的小さい上に、正負が逆転することがあるので、計器は一般に(1)の場合より高感度で、且つゼロ点移動のできるものが必要である。

(3) 基準温度の自動的補償を行う方法

通常の工業用の温度計測装置では、冷接点温度を気温にとり何等かの温度補償を行っている。市販の多点データ集録装置などには、図-2のように端子に熱電対素線をつなぐだけで端子温度の自動的補償を行う型のもがあるが、一般に測温範囲が広いため温度補償の精度はあまりよくない。

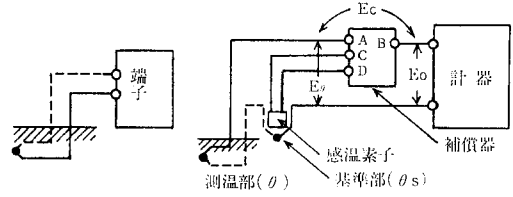


図-2 図-3 補償の原理

補償の精度を上げるためには、図-3のように専用の補償器を設けることが望ましい。このために、熱電対とは別種の然るべき感温素子を冷接点とともに小容器内に封入して基準部とする。いま、地温(測温部の温度)を θ 、冷接点温度(基準部の温度)を θ_s とし、図-3のように各部の電圧の名称を定めると、 $E_e = \alpha(\theta - \theta_s)$ (但し、 α は熱電対の熱起電力 $\mu\text{V}/\text{C}$)。また、補償器では $E_c = \beta\theta_s + \gamma$ (β, γ 定数)なる電圧を発生するとすれば計器への入力電圧 E_0 は

$$E_0 = E_e + E_c = \alpha\theta + (\beta - \alpha)\theta_s + \gamma$$

補償器を調節して $\beta - \alpha = 0$ ならしめると、 $E_0 = \alpha\theta + \gamma$ となり、冷接点温度 θ_s は関係しなくなる。感温素子として一般に入手しやすいサーミスタを用いた補償回路の例を図-4に示す。ブリッジ回路式よりも原理が単純で計算が容易である。

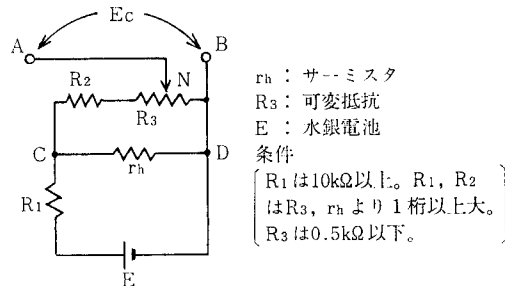


図-4 補償回路

計算例をあげる。サーミスタは $r_n = 1\text{k}\Omega$ (20C)、抵抗温度係数 $\delta = -4\% \text{deg}^{-1}$ とする。一方、熱電対に於いて $\alpha = 40\mu\text{V}/\text{C}$ とする。いま、 $R_1 = R_2 = 10\text{k}\Omega$ として R_3 を求める。C D間の電圧 $V_{CD} = E \times (r_1 / (R_1 + r_n)) \approx 0.12\text{V}$ (R_2, R_3 は無視、 r_n は 20C の値、 $E = 1.3\text{V}$)。 r_n は 1C につき 4% 変化するからその両端の電圧 V_{CD} の温度変化率は概算で $0.12\text{V} \times 0.04 = 0.0048\text{V}/\text{C}$ 。これを R_2, R_3 で分圧してA B間に E_c を生ぜしむる。ここで $\beta = \alpha = 40\mu\text{V}/\text{C}$ の変化率が必要だから $0.0048(\text{V}/\text{C}) \times (\text{分圧率}) = 0.00004(\text{V}/\text{C})$ 。これより(分圧率) $= 0.0083$ 。 R_3 のうちNB間の抵抗を R とすると $R / (R_2 + R_3) \approx R / (R_2 + R) = 0.0083$ から $R \approx 85\Omega$ 。従って、 R_3 としては最大値 200Ω 程度の変可抵抗器を用いる。Nの位置は実験的

に決めるとよい*。

r_h は温度に対して直線的に変化しないので、もし θ_s の変動幅が広いとこの影響の出るおそれがある。このためには、 r_h に並列に r_h と同じ程度の抵抗値をつなぐと θ_s の20℃位の変動幅に対しては非直線性の影響が殆んどなくなる。但し、その際 δ は半分程度に落ちるので、上例では $\delta = -2\% \text{deg}^{-1}$ として計算し直すと $R \div 330\Omega$ 。従って R_3 を最大500 Ω の可変抵抗にする程度の変更で済む。なお、このとき大略 $E_0(\mu\text{V}) = 40\theta_s - 2000$ の関係が成り立ち、従って $E_0(\mu\text{V}) = 40\theta - 2000$ となる。 $-2000(\mu\text{V})$ の定電圧は計器のゼロサプレッス機能を用いて打ち消すとよい。もしそれができないときは、図-5のように電源を附加して可変抵抗 R_4 の調整でこれを消す。基準部はできれば地下30cm位に埋めておくか、断熱容器に常温水を入れ、これに浸しておく。

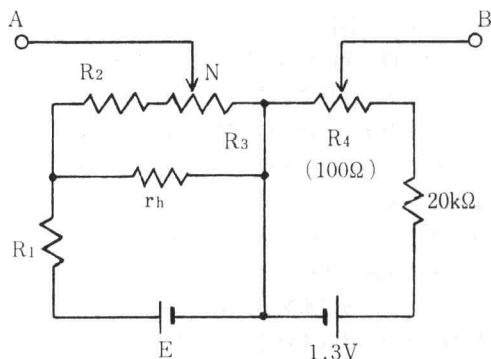
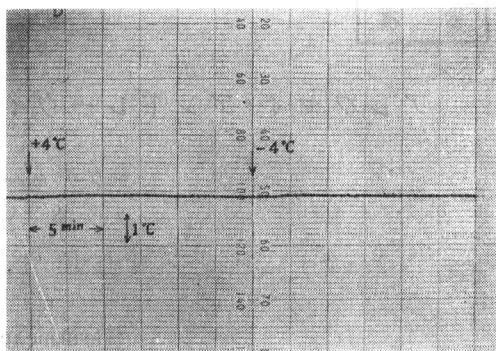


図-5 ゼロ点移動可能な補償回路

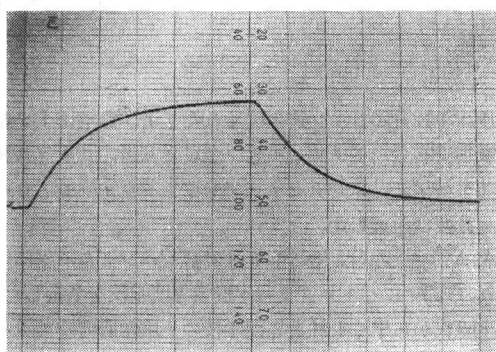
なお、多点測定の場合は全部の冷接点をまとめて補償用感温素子とともに金属管などにパラフィンを用いて封入し1個の基準部を作る。この場合は、補償器は多点信号を切り換える機構の後に置かねばならない。また、すべての熱電対の α が大体一致していることが必要である。

図-6に感温素子としてGeダイオードを用いた補償効果の例を示す。基準温度の突然の変化(変化幅4℃)によって熱電対出力 E_0 のレスポンスは(b)のようになるべきところ、(c)に示した補償電圧 E_c の効果がこれを相殺して実際の E_0 は(a)のように殆んど変動しない。

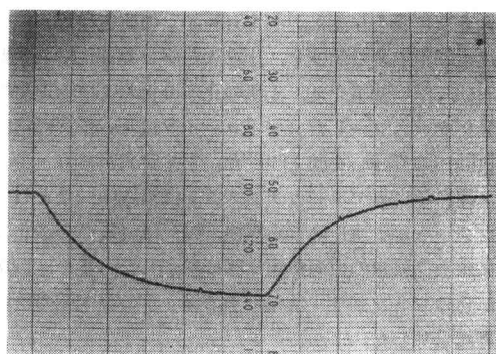
* 註 図-3の結線にする(補償器の回路は図-4または図-5)。断熱容器に常温水を入れ測温部、基準部の両者を浸す。次に基準部のみを数度温度の異なった別



(a)



(b)



(c)

図-6 補償効果の例

の断熱容器に移したとき、計器の指示が殆んど移動しなくなるようにNの位置を調整する。この際急激に温度が変わるので過渡的な変化は起こり得るが、最終的に変化しなければよい。この過渡応答を改善するには、基準部に於いて、冷接点とサーミスタの熱容量のちがいを少なくする必要がある。 [1980. 7. 31. 受稿]

アレクセイ・アンドレーヴィッチ・ロージェ教授の逝去を悼む

ドクチャーエフ土壤研究所
ソ連土壤学会
「土壤学」誌編集局

《Почвоведение №4 1980
Некрологи стр. 169~170
Алексей Андреевич Роде》

原田竹治・遠藤健治郎共訳

1979年12月20日、ソ連のすぐれた学者、農学博士ソ連国家賞受賞者、ドクチャーエフ金賞受賞者、ロシア共和国功労科学者、アレクセイ・アンドレーヴィッチ・ロージェ教授は逝去した。

A.A.ロージェは1896年4月21日レニングラードに生まれ、1923年にペトログラード農業専門学校を卒業した。学生時代から早くも林業専門学校の土壤学研究室でカー・カー・ゲドローイツ教授の指導下で研究生生活に入った。ゲドローイツはこの若い研究者ロージェの科学観の形成に大きな影響を与えた。ゲドローイツの研究室でロージェは1928年末まで勉強し、土壤の化学と物理化学の分野において深い知識をえ、土壤の化学分析および物理化学的分析をマスターした。ゲドローイツはロージェに精密な実験への愛着心を植えつけた。学生時代からロージェはソ連科学アカデミーカザフスタン探検隊の一員としてムゴジャールイ連丘の学術探検、国民経済最高会議北方学術産業探検隊の白海魚類学隊に参加した。また、1926年からはレニングラード州、その後ノヴゴロド州の土壤調査に参加した。

1927年にソ連科学アカデミーの一翼としてドクチャーエフ土壤研究所が創設され、ここでロージェ若かったがすでに学術的積み重ねをもった学者として一は研究を始めている。土壤学とドクチャーエフ土壤研究所の歴史に輝かしい数ページを加えたロージェの、その後の全生涯と一定の目的を持った学術的全行路は、ドクチャーエフ土壤研究所と結びついている。ロージェは1935年からポドゾール性土壤研究室を、1938年から1948年まで土壤化学研究室を、そしてまた1951年から1974年まで、自分で創設したソ連唯一の土壤水文学研究室を指導している。ポドゾール性土と沼沢性ポドゾール性土に関する、野外および室内の詳細な調査研究は、周到なモノグラフ「ポドゾール性土の生成過程」の発刊をもって完了された。

この力作に対してロージェは1937年に農学博士の学位を受け、1939年に教授の称号を得た。豊富な実際の資料およびその資料の深い解析と整然とした論理的説明で、このモノグラフは今日すでに不朽の古典となっている。

ロージェの学術活動全体の特徴は、ソ連国民経済との緊密な結合である。1933年、ボルガ河の水力発電所網建設計画に関連し、ロージェはソ連科学アカデミー大ボルガ・カムスク探検隊の土壤班を指導した。ロージェの組織能力と方法論的に正しいアプローチにより、土壤班は短期間に、ボルガ貯水池が将来満水したときにその周辺地域の土壤被に及ぼす影響を予測することができた。この探検隊の仕事で始めて、土壤水文学的研究に相互に補足し合う野外調査方法と常設的研究方法との組み合わせが利用された。

ロージェは現代における（進行中の）土壤生成過程に多大の注意を払った。中央森林特別保護区（カリーニンスク州）クルルスイ市近郊にある中央チェルノジョーム特別保護区のロージェが設立した土壤常設研究地では、第二次世界大戦前に早くも土壤の成因および現代の土壤生成過程、まず第一に、水分レジームと水分バランスの総合的な常設的研究が実施された。原則として、土壤の研究は植物地理学の研究、林学の研究、動物学の研究と緊密な関係をもって総合的に遂行された。

第二次大戦中の苦難な時期には、ロージェはドクチャーエフ土壤研究所の所長代理として、タンケント市に疎開した所員たちの仕事を組織している。ロージェはウズベキスタンのボガール農業（乾地農業）を拡張するために、ボガールの灰色土の水文学的レジームを研究する仕事を指導している。

ロージェの持つ輝かしい組織能力、旺盛な精力と多面的な学問的関心が顕著に発揮されたのは、第二次大戦後の時代である。ロージェの活動は基本的につぎの四方面

に展開された。1) 土壌の成因と地力に関する諸問題を解明する基礎としての、現代土壌生成過程の、総合的な常設的土壌研究、2) 土壌水の諸性質とカテゴリー、水と土壌の諸性質についての実験的研究、3) 土壌水文学に関する諸問題、なかんずく、水分レジーム型学の理論的展開、4) 土壌水文学に関する既存資料の理論的総括とこの問題に関する世界の文献の批判的概括。

ロージェはジョーレン・ボドゾール帯における土壌過程の常設的研究、中央ロシア高地の厚層チェルノゾームの成因と水分レジームの研究を指導している。農地保護林の育成に関連して、ヨーロッパロシア南東部のチェルノゾームに、白ロシア常置施設を設立し、指導している。ロージェはまたチチンスク探検において、土壌の水分レジームの常設研究を組織している。

ロージェが手塩に掛けていとしんだ機関は、1950年にカスピ海沿岸の半砂漠に設立されたソ連科学アカデミアヌィベクスキー常置施設であった。その施設では、自然物の生産性を高め、文化的な景観を造る基礎としての土壌被と植物被を、生態学的に深く総合的に研究する、というロージェの思想が最高度に具現された。ロージェの指導下で多年にわたり深く総合的に実施された土壌過程と生物学的過程の研究に基づいて、半砂漠地域を文化的な農林的景観に改造するシステムが開発されている。

野外の常設的研究と研究室の実験的研究による膨大な資料の総括、および土壌水文学の諸問題に関する深い理論的解明の結果は、輝かしい一連のモノグラフ「土壌水分」、「水分レジームとそのタイプ」、「土壌水分学原論」(全二巻)、「土壌水分レジーム研究法」その他であった。

ロージェはソ連土壌水文学派を創設してこれを指導した。深遠な学識、広範な創造的関心、非凡な手腕および深い分析力を持ったロージェは、土壌学の他の諸分野にもまた大きく貢献した。土壌成因論、土壌化学、土壌研究法、土壌学史の分野におけるロージェの理論的研究は広く一般に承認されている。ロージェの発表した研究業績は250点以上にのぼり、そのうち11点はモノグラフである。

ロージェの労作はわがソ連および海外に広範に知られ

ている。そのモノグラフは一連の国々で英語、ドイツ、ルーマニア語、ポーランド語、中国語および日本語に翻訳、出版され、世界の土壌学会に広く知れわたっている。土壌学部門における大きな功績により、ロージェ教授はドクチャーエフ金賞を受賞した最初の一人となった。ロージェはロシア共和国功労科学者の称号を授与された。全二巻のモノグラフ「土壌水分学原論」により、1972年にソ連国家賞を受賞した。ロージェは国際土壌学会の名誉会員に選出され、ベルリン(ドイツ民主共和国)にあるフンボルト大学の名誉博士に挙げられた。ソ連政府はロージェにレーニン勲章その他数々のメダルを授与した。

ロージェは教育者としての才能に富んでいた。土壌学の国際的な大会、集会、シンポジウムにおける土壌学の諸問題に関するロージェの講演と報告には大勢の聴衆が参集した。約10年間、ロージェはブリヤンスク林業技術大学の講座を主宰し、数ヶ国語に翻訳された教科書を刊行した。ロージェの指導を受けて博士、修士の資格審査にたくさんの人々がパスした。

ロージェは学術組織上の仕事と社会的活動に多くの精神的、肉体的エネルギーと時間をささげた。長年の間、ロージェはソ連土壌学会の評議会と常任委員会の一員であり、ソ連土壌学会土壌物理部門長であり、一連の学術評議会の一員であり、土壌学詳解辞典(訳注:菅野一郎訳「ソ連土壌学解説辞典」たたら書房1979)刊行委員長であり、土壌構造研究法に関する国際的指針書の編集者の一人であり、土壌物理部門の術語委員会の一員であった。

学問と人生における高い原則性、堅忍不拔さ、深遠な学識、自然と人生に対する多様な愛情、自己と自己を取り巻く周囲の人々に対する厳しい態度、人生行路でめぐり会う各人の運命に対する深い配慮により、ロージェは自分と一緒に働いたり、自分とたまたま出会ったすべての人々から、深い尊敬の念と大きな愛情を受けた。

ソ連土壌学の損失は重大である。魅力に富んだ人、大学者アレクセイ・アンドレーヴィッチ・ロージェに対する気持のよい思い出は永遠に残るであろう。ロージェの内容の深遠な名著、輝やかな創造的思想は常にわれわれの科学(土壌学)のために奉仕することであろう。

[1980. 8. 11. 受稿]

会 務 報 告

(昭和55年4月16日～昭和55年12月17日)

昭和53, 54年度役員等の交替と新任

1. 選挙管理委員長古谷正(野菜→農機研)氏の転出に伴って、小浜節雄(野菜試)氏に交替(昭和55年9月)
2. 第22回シンポジウム運営委員長を伊佐務(三重大)氏に委嘱,同委員として長田昇,新垣雅裕,新庄彬(以上三重大),西宗昭,浅川征男(以上野菜試),吉川重彦(三重農技セ)各氏を選任(昭和55年10月1日)

昭和55, 56年度役員等の新任(任期:昭和55年11月～57年10月)

1. 評議員選挙を行い、下記の15氏が当選(昭和55年10月28日)
2. 会長,副会長,編集委員長,会計監査として,評議員会において,下記の各氏を選出,同日の総会で承認(昭和55年11月7日)
3. その後,下記の各氏に評議員,委員,幹事を委嘱
4. 新役員及び事務局構成一覧

事務局

| | | |
|--------|-----|-------------|
| 会 長 | 横 井 | 肇(農 技 研) |
| 副 会 長 | 多 田 | 敦(筑 波 大) |
| 幹事(庶務) | 前 田 | 乾 一(農 技 研) |
| 〃(〃) | 高 橋 | 義 明(〃) |
| 〃(会計) | 岩 田 | 進 午(〃) |
| 〃(〃) | 仲 谷 | 紀 男(〃) |
| 〃(編集) | 仲 谷 | 紀 男(〃) 兼務 |
| 〃(〃) | 高 橋 | 義 明(〃) 〃 |

編集委員会

| | | |
|---------|-----|------------|
| 委 員 長 | 古 畑 | 哲(農 技 研) |
| 委 員 | 安 部 | 征 雄(筑 波 大) |
| 〃 | 粕 淵 | 辰 昭(農 技 研) |
| 〃 | 河 野 | 広(農 土 試) |
| 〃 | 駒 村 | 研 三(果 樹 試) |
| 〃 | 平 山 | 力(茨城農試) |
| 会 計 監 査 | 有 光 | 一 登(林 試) |
| 〃 | 関 谷 | 宏 三(果 樹 試) |

選挙管理委員

未 定

評議員(選出) 小川 和夫(北海道:北海道農試)
 粕淵 辰昭(関東:農 技 研)
 久保田 徹(中・四国:中国農試)
 古賀 汎(九州:九州農試)
 佐久間敏雄(北海道:北 大 農)

多田 敦(関東:筑 波 大)
 長田 昇(中部:三重大農)
 中野 政詩(関東:東 大 農)
 中村 忠春(中・四国:愛媛大農)
 東山 勇(東北:山形大農)
 古畑 哲(関東:農 技 研)
 前田 乾一(〃 : 〃)
 三野 徹(近畿:京 大 農)
 諸遊 英行(関東:農 事 試)
 渡辺 春朗(〃 :千葉県農試)

評議員(委嘱) 石川 実(茨城農試)
 〃(〃) 佐野 文彦(筑 城 大)
 〃(〃) 根岸 久雄(農 土 試)

第22回シンポジウム「土壌物理に関連する測定法について」

1. とき:昭和55年11月7日(金)10～12時, 14～17時
2. ところ:三重大学 翠陵会館
3. 演題および演者
 - 1) 茎キャピタンスの測定法と土壌環境との関係……松田兼三(三重農技セ)・岩尾憲三(中部電力)
 - 2) 土壌団粒の安定性(崩落度・分散)の測定法と土壌型との関連……小川和夫(北農試)
 - 3) 圧力変換型テンシオメーターの問題点と現場測定法について……西出勤・伊藤和己(岐阜大)
 - 4) 土壌の調査法と形態的分類……天野洋司(農技研)
 - 5) 総合討論
4. 座長:寺沢四郎(農技研)・中野政詩(東大)
5. 出席者数:61名

演者をはじめ,座長および出席者各位に深く感謝する講演と討論の内容は会誌43号に掲載する予定である。

昭和55年度総会

1. とき:昭和55年11月7日(金)13～14時
2. ところ:三重大学 翠陵会館
3. 議長:伊沢敏彦(農業機械化研究所)
4. 議事
 - 1) 報告事項
 - (1) 昭和54年度事務報告
 - (2) 〃 編集委員会報告
 - (3) 〃 会計決算報告(次記議案参照)
 - (4) 〃 会計監査報告
 - (5) 選挙管理委員会報告(59ページ参照)
 - (6) 次期役員の紹介(前記参照)
 - 2) 協議事項
 - (1) 昭和55年度事業計画案(次記議案参照)
 - (2) 〃 予算案(次記議案参照)
 - (3) 会則の一部改正案(次記議案参照)
 - (4) 日本学術会議へ学協会登録を申請する件(61ページ)

昭和54年度会計決算

| | 予算額 | 決算額 | 増 減 | 摘 要 |
|--------|-----------|-----------|-----------|---|
| 収入の部 | 円 | 円 | 円 | |
| 繰越金 | 1,097,821 | 1,097,821 | 0 | |
| 賛助会費 | 60,000 | 0 | △ 60,000 | |
| 購読会費 | 127,500 | 117,500 | △ 10,000 | 47口分 |
| 一般会費 | 1,487,500 | 1,176,500 | △ 311,000 | 正会員582¼名, 学生会員8名分 |
| 出版物売上 | 50,000 | 14,250 | △ 35,750 | 会誌バックナンバー9冊, 40号別刷代等 |
| 雑収入 | 10,000 | 108,902 | 98,902 | 利息, 記念出版物印税(3件92,420円*) |
| 計 | 2,832,821 | 2,514,973 | △ 317,848 | |
| 支出の部 | 円 | 円 | 円 | |
| 会誌製作費 | 1,700,000 | 1,548,000 | 152,000 | 40号(58p.578,000円), 41号(105p.970,000円) 54年度総会及びシンポジウム運営費, ポスター印刷費 |
| 総会費 | 135,000 | 155,980 | △ 20,980 | |
| 通信費 | 160,000 | 66,830 | 93,170 | 事務連絡, 会誌40号送料 |
| 文具費 | 20,000 | 10,890 | 9,110 | 消耗文具, 中質紙等 |
| 賃金 | 36,000 | 2,000 | 34,000 | 功労者表彰状筆耕料 |
| 交通費 | 129,000 | 40,200 | 88,800 | 評議員会, 選管委, 事務局会議出席旅費 |
| 会議費 | 20,000 | 19,300 | 700 | 評議員会食事代 |
| 幹事手当 | 24,400 | 20,400 | 4,000 | 幹事3名分12,000円, 前年度分8,400円 |
| 編集委員会費 | 115,000 | 121,610 | △ 6,610 | 編集委出席旅費, 査読料, 初校送料等 |
| 選挙費 | 280,000 | 184,800 | 95,200 | 名簿, 投票用紙等印刷費及び郵送料, 会員カード整備等 |
| 予備費 | 213,421 | 19,700 | 193,721 | 功労者記念品代** |
| 繰越金 | 0 | 325,263 | △ 325,263 | |
| 計 | 2,832,821 | 2,514,973 | 317,848 | |

注) * 「土壌物理用語事典」31,500円, 「土壌の物理性と植物生育」21,600円(以上養賢堂), 「土の物理学」39,320円(森北出版)

** 八幡敏雄, 国分欣一両氏へ伊賀焼旅枕花差(恒岡光興作)各1

参照)

とする。

5. 議案

すべて事務局提案通り可決された。

1) 昭和54年度会計決算

上表の通り

2) 昭和55年度事業計画

(1) 会誌「土壌の物理性」第42号(本号), 第43号(第22回シンポジウム特集号), 第44号の発行

(2) 総会及び第23回シンポジウムの開催(昭和56年11月予定)

(3) 評議員会の開催(昭和56年4月および11月予定)

(4) 滞納会費の督促および新入会員の勧誘

(5) その他

3) 会則の一部改正

昭和55年11月7日付で, 会則第5条を次のように改正し, 昭和55年度から(昭和55年11月以降, 会誌43号以降)会費をそれぞれ値上げする。

第5条 会員は次の会費を所定の期日までに納めるもの

旧 → 新

正会員年額 2,000円 → 3,000円

学生会員 " 1,500 → 2,000
(大学院生を含む)

賛助会員 1口年額 10,000 → 15,000

購読会員 会誌年額 2,500 → 4,000

4) 昭和55年度予算

別表の通り(60ページ参照)

5) 評議員選挙の結果

会則第6条および役員選出規定に基づき, 昭和55年10月15日投票用紙, 名簿等を発送し, 10月26日投票締切り, 10月28日に開票し, 次期(55, 56年度)評議員として, 前記(58ページ)の15氏が当選した(有効投票161票, 無効投票0, 白票0)。任期は昭和55年11月~57年10月の2年間。

なお, 昭和55年4月現在の正会員数は706名だったが, うち14名は, 会則第6条の3期連続重任不可の規定に抵触するので, 評議員候補から除外して投票が行われた。

昭 和 55 年 度 予 算

| | 予 算 額 | 摘 要 |
|-------------|-----------|---------------------------|
| 収 入 の 部 | | |
| 繰 越 金 | 325,263 | |
| 賛 助 会 費 | 90,000 | 6口分 |
| 購 読 会 費 | 224,000 | 56口分 |
| 一 般 会 費 | 2,141,000 | 正会員707名, 学生会員10名分 |
| 出 版 物 売 上 | 10,000 | 会誌バックナンバー |
| 雑 収 入 | 20,000 | 利息, 印税等 |
| 計 | 2,810,263 | |
| 支 出 の 部 | | |
| 会 誌 製 作 費 | 2,000,000 | 42号(60万円), 43, 44号(各70万円) |
| 総 会 費 | 100,000 | 55年度総会及びシンポジウム, 同ポスター印刷 |
| 通 信 費 | 150,000 | 会誌送料(3回), 事務連絡 |
| 文 具 費 | 20,000 | 紙, 文具等 |
| 賃 金 | 40,000 | 会誌発送補助, 事務補助 |
| 交 通 費 | 106,000 | 事務局会議, 評議員会等出席旅費 |
| 会 議 費 | 20,000 | 評議員会食事代(2回) |
| 幹 事 手 当 | 16,000 | 4名×4,000円 |
| 編 集 委 員 会 費 | 120,000 | 初校送料, 査読料, 編集委出席旅費等 |
| 予 備 費 | 238,263 | |
| 計 | 2,810,263 | |

昭和54年度第4回事務局会議(昭和55.10.1於三重大)

[出席] 湯村, 足立(西出の代理), 長田, 西宗, 新垣, 新庄

[議事]

1. 会計中間報告を行い, 次年度からの会費値上げ(会則第5条の改正)について検討
2. 第22回シンポジウム(土壌の物理性に関連する測定法について)の演題及び演者4件(前記参照)について確認
3. シンポジウム運営委員長を伊佐務(三重大)氏に委嘱
4. 次期評議員選挙の準備状況を報告
5. 選挙管理委員長を小浜節雄(野菜試)氏に委嘱(7月16日付転勤の前任者古谷正氏と交替)。

第1回選挙管理委員会(昭55.10.1於三重大)

[出席] 吉川, 足立(古田の代理), 湯村(小浜の代理)

[議事]

1. 次期評議員選挙の日程を, 昭和55年10月15日に投票用紙, 投票用封筒, 会員名簿を発送(有権者: 正会員706名), 10月26日投票締切り, 10月28日に開票および当選者の確定と通知を決めた。
2. 会則第6条に抵触するため, あらかじめ評議員候補から除外しておかなければならない正会員14名の

確認

昭和54年度第1回シンポジウム運営委員会(昭55.10.1於三重大)

[出席] 伊佐, 長田, 新垣, 新庄, 吉川, 西宗

[議事]

1. シンポジウムの座長を寺沢四郎, 中野政詩両氏に依頼することにした。
2. 演題ごとの時間配分を決めた。
3. 研究会55年度予算案に総会費100,000円を計上することを前提にして, 参加料(2,000円), 懇親会費(2,000円)を決めた。

昭和54年度第2回編集委員会(昭55.10.18於三重大)

[出席] 長田, 足立, 高橋, 新垣, 新庄, (事務局: 湯村)

[議事]

1. 会誌第41号の進捗状況の報告
2. 会誌第42号の査読結果の報告および編集

第2回選挙管理委員会(昭55.10.28於野菜試)

[出席] 小浜, 古田, 吉川, (開票立合人: 河村, 事務局: 西宗)

[議事]

1. 河村精(静岡県農試)氏を立合人として開票(有効投票数161, 無効0, 白票0)
2. 評議員選出規定にてらして当選者15名を決定(58

ページ)

3. 当選者に通知

第2回シンポジウム運営委員会(昭55.11.4於三重大)

[出席] 伊佐, 長田, 新垣, 新庄, 吉川, 西宗, 浅川,
(湯村)

[議事]

1. 当日の作業分担(責任者)を決めた。
2. 演者の交通費一部負担等を含め, 実行予算の概要を決めた。

第3回シンポジウム運営委員会(昭55.11.6於三重大)

[出席] 伊佐, 長田, 新垣, 新庄, 吉川, 西宗, 浅川,
(湯村)

[議事]

1. 準備の進捗状況の報告
2. シンポジウム, 懇親会, 総会, 評議員会の運営の細部検討

第4回シンポジウム運営委員会(昭55.12.17於三重大)

[出席] 伊佐, 長田, 新垣, 新庄, 吉川, 西宗, 浅川,
(湯村)

[議事]

1. 第22回シンポジウムおよび懇親会運営関係の決算
昭和54年度会計監査(昭55.11.7於三重大)

荒木会計監査委員によって, 54年度会計の帳簿, 証書類等の監査を受けた。

昭和55年度第1回評議員会(新旧合同)

1. とき: 昭和55年11月7日(金) 12~13時
2. ところ: 三重大学農学部
3. 出席者: 湯村, 西出, 長田, 伊佐, 須藤, 寺沢, 荒木(会計監査), 小浜(選管), 新垣, 新庄, 西宗(以上幹事), 小川, 柏渕, 多田, 中野, 中村, 三野(以上次期評議員)

4. 議事

下記の案件を審議し, 事務局原案が承認または可決された。

1) 報告事項

- (1) 昭和54年度事務報告
- (2) 昭和54年度編集委員会報告
- (3) 昭和54年度会計決算報告(59ページ)
- (4) 昭和54年度会計監査報告
- (5) 選挙管理委員会報告(58ページ)

2) 協議事項

- (1) 次期役員の選出(58ページ)
- (2) 昭和55年度事業計画案(59ページ)
- (3) 昭和55年度予算案(60ページ)
- (4) 会則の一部改正案(59ページ)
- (5) 新入会員15件を承認(後記参照)

3) その他

- (1) 第12期日本学術会議会員選挙に当たり, 元当研究会長須藤清次茨城大学教授を, 研究会として推薦した。日本学術会議への学協会登録について

前記のように, 56年度総会において, 学術会議へ学協会登録を申請することが承認された。

この件に関する日本学術会議の内規の一部を以下に抄記するので参照されたい[くわしくは日本学術会議月報第16巻5号(昭50), 第20巻5号(昭54), 第21巻7号(昭55)を参照]。

学協会との連絡のための登録について(内規)

(昭和50年4月24日・日本学術会議第68回総会)

日本学術会議の目的, 任務の遂行上, 各分野の学協会との緊密な連携, 協力関係の維持, 強化が不可欠であることにかんがみ, 日本学術会議の実務的な活動を容易ならしめるため, 協力関係をもつ学協会の登録に関して本内規を定め, 可及的に多数の学協会の登録を要請するものとする。

1. 本内規により登録を求めることのできる学協会は以下の基準を具備することを原則とする。

- (1) 学術研究を主たる目的とする団体であって, かつその目的とする分野における学術団体として活動しているものであること。
- (2) 団体がその目的とする分野における科学者によって構成, 運営されていること。
- (3) 団体の構成員が全国にまたがっていること。
- (4) 役員が全国から選出されていること。
- (5) 会員数が原則として, 200名以上あること。
- (6) 事務局を有するものであること。
- (7) 年1回以上, 会員の研究発表を主目的とする学術上の各種会合を開催していること。
- (8) 年1回以上, 機関誌, 報告書等学術的な定期刊行物を発行していること。

ただし, 上記(1)の地位の判定, (5)の会員数, (8)の定期刊行物の発行回数については, 各部は, その部の関係学協会の実情を勘案して別に定めることが出来る。

2. 本内規により登録された学協会を登録学協会という。

日本学術会議は登録学協会に対して

- (1) 定例及び臨時の学協会との懇談会への出席案内
- (2) 「日本学術会議月報」「総会報告」その他の刊行物の配布
- (3) 各種アンケートの実施による意見の集約のための協力要請
- (4) 本会議の運営上必要な場合, 研究連絡委員会委員, 国際会議派遣代表, 科学研究費審査委員等の各候補者の推薦依頼

(5) その他必要な事項
を行うものとする。

ただし、(4)の各種候補者の推薦については、各部はその部の関係学協会の実情を勘案して別に定めることが出来ることとし、この場合必要があれば、このことを関係学協会に連絡するものとする。

3. 本内規の適用に関する手続を以下のよう定める。
——以下略——

会員の動向

1. 新入会員（昭和55年11月7日承認）下表参照
2. 退会者（昭和55年4月～10月）
宮崎平三（富山）、高橋保夫（茨城）、高橋和夫（香川）、山本公昭（高知）、高柳彰（大阪）、松尾眞一（兵庫）
3. 住所変更（下表参照）
4. 会員数（右表参照）

新 入 会 員 名 簿

| 氏 名 | 会員種別 | 専門分野 | 連 絡 先 |
|---------|------|------|---------------------------------|
| 島田 清 | 正 | 農業土木 | 921 石川県石川郡野々市町末松 石川県農業短大 |
| 田中 明 | 〃 | 〃 | 812 福岡市東区箱崎6-10-1 九州大学農学部 |
| 井口 卓平 | 〃 | 土 肥 | 747-13 山口市大内御堀1,418 山口県農試 |
| 井尻 敏文 | 〃 | 〃 | 〃 〃 |
| 伊藤 義登 | 〃 | 〃 | 〃 〃 |
| 荻原 漢 | 〃 | 〃 | 〃 〃 |
| 林 忠昭 | 〃 | 〃 | 〃 〃 |
| 藤原 幸彦 | 〃 | 農業土木 | 982-02 仙台市山田旗立1-16 宮城県農業短大 |
| 株本 暉久 | 〃 | 園 芸 | 673 兵庫県明石市北王子町365 兵庫県農総センター |
| 中沢 征三郎 | 〃 | 土 肥 | 739-01 広島県東広島市八本松町原 広島県農試 |
| 河村 精 | 〃 | 〃 | 437-16 静岡県小笠郡浜岡町合戸 静岡県農試海岸砂地分場 |
| 中野 啓三 | 〃 | 〃 | 943-01 新潟県上越市稲田1-2-1 北陸農試 |
| 塚本 明美 | 学生 | 農業土木 | 300-03 茨城県稲敷郡阿見町阿見 茨城大学農学部農業工学科 |
| 北尾 書籍 | 購読 | | 104 東京都中央区銀座6-6-7 朝日ビル |
| 弘前大学農学部 | 〃 | | 036 青森県弘前市文京町3 |
| 日本出版貿易 | 〃 | | (1口を増口) |

住 所 変 更 者 名 簿

| 氏 名 (旧) | 新しい連絡先 |
|-------------|--------------------------------|
| 井上 喬二郎 (埼玉) | 061-01 札幌市豊平区羊ヶ丘1 北海道農試 |
| 後藤 計二 (一) | 098-57 北海道枝幸郡浜頓別町緑ヶ丘 道立天北農試 |
| 昆 忠男 (茨城) | 061-01 札幌市豊平区羊ヶ丘1 北海道農試 |
| 渡辺 公吉 (一) | 069-13 北海道夕張郡長沼町東6 道立中央農試 |
| 五十嵐 孝典 (茨城) | 020-01 盛岡市下厨川赤平4 東北農試 |
| 大竹 俊博 (一) | 990 山形市城西町5-25-18 (自宅) |
| 河森 武 (静岡) | 177 東京都練馬区立野町2108 (自宅) |
| 森正 克英 (一) | 926 石川県七尾市小島町二部33 (自宅) |
| 古川 久雄 (一) | 606 京都市左京区吉田下阿達町 京大東南アジア研究センター |
| 岡 晃 (佐賀) | 721 広島県福山市西深津町450 中国農試 |
| 井田 勝美 (一) | 850 長崎市江戸町2-13 長崎県農林部農政課 |
| 田川 一郎 (一) | 880 宮崎市谷川2-7-29 (自宅) |
| 大崎 亥佐雄 (一) | 082 北海道河西郡芽室町新生 道立十勝農試 |
| 菊地 晃二 (一) | 086-11 北海道標津郡中標津町東1条南6 道立根釧農試 |

注 1) (一)は同じ都道府県内の移動

2) 次期評議員選挙の投票用紙に同封して送付した会員名簿（昭和55年4月現在）以後の変更だけを掲載した。

会 員 数

| 種 別 (単位) | 総数 | 内 訳 (地区別*) | | | | | | | |
|------------|-----|------------|----|-----|----|----|-----|----|----|
| | | 北海道 | 東北 | 関東 | 中部 | 近畿 | 中四国 | 九州 | 海外 |
| 正 会 員(名) | 707 | 81 | 80 | 226 | 91 | 60 | 85 | 80 | 4 |
| 学 生 会 員(名) | 10 | 1 | | 7 | 1 | 1 | | | |
| 購 読 会 員(口) | 54 | 7 | 4 | 17 | 6 | 2 | 7 | 11 | |
| 賛 助 会 員(口) | 6 | | | 4 | | 2 | | | |
| 合 計 | 777 | 89 | 84 | 254 | 98 | 65 | 92 | 91 | 4 |

* 日本学術会議会員選挙における地方区区分表による。

北 海 道：北海道

東 北：青森県，岩手県，宮城県，秋田県，山形県，福島県

関 東：茨城県，栃木県，群馬県，埼玉県，千葉県，東京都，神奈川県，新潟県，山梨県

中 部：富山県，石川県，福井県，長野県，岐阜県，静岡県，愛知県，三重県

近 畿：滋賀県，京都府，大阪府，兵庫県，奈良県，和歌山県

中国・四国：鳥取県，島根県，岡山県，広島県，山口県，徳島県，香川県，愛媛県，高知県

九 州：福岡県，佐賀県，長崎県，熊本県，大分県，宮崎県，鹿児島県，沖縄県

— 編 集 後 記 —

この2年間、主に投稿原稿の再校正以後の出来上り状況に目をくぼってきました。短い期間でしたが、幅広い分野からの研究報告を、その‘まえがき’だけはよく読もうと意気込んでみましたが、時間に追われ(?)内容が理解できずに終了したようです。とくに著者が初校に対して1回きりの訂正機会が与えられている現状からくる不安感(?)を思いやる時、これで最終校としてよいのだろうかと思いつつ印刷にまわしました。そうして出来上がったものをみてやはりあったかところがとくに図表や式中の記号と英文に多く見つかるようです。ミスか所が発見された研究報告の投稿者に対しては遺憾の意を表します。

本研究誌の特色の一端は研究報告の内容に幅があることと掲載に対する待ち時間が長くはないことではないでしょうか。これを長所として、今後、本誌を積極的に活用されるよう切望して止みません。

(新庄 彬記)

2年間、4冊の会誌の編集を担当させていただきました。その間の反省やら、お詫びやら、ちょっぴり自慢やら後記を借りて述べさせていただきたいと思います。

まず何よりも、発行のおくれについては、もはや何とお詫び申し上げてよいやら、会員の皆様、ことに貴重な原稿を投稿して下さった方々には本当に申しわけありませんでした。その上、つい欲ばって会誌の厚みを増してしまったことも反省しています。

さりながら、一方では編集委員や編集幹事ら一同の努力によって、当初の目的はかなりの程度まで達成することができたのではないかと心ひそかに自負しているのですが。如何でしょうか。

振り返ってみますと、本号を含めて会誌の中軸たるべきオリジナル、「報文」は9編を掲載することができました。また、本会誌の特色とする測定法に関する「解説」は6編を、さらに編集委員会のはじめの編集方針にもとづいて「総説」は4編を数えることができました。その他、「資料」4編、「土粒子」3編など投稿下さった会員の方はじめいろいろ多くの方々にあつくお礼申し上げたいと存じます。

最近では情報化社会とかで情報の量も顕著に多くなり、関係する学会なども様々で論文発表の機会も少なくありません。そのような情勢の中で、土壌物理学に関する学会誌の特色を生かし、会員はじめ周囲の学界にプラスすることのできる会誌をつくることはなかなか容易なことではないと、つくづく感じさせられた次第です。

末筆ながら会員諸兄の今後のますますの御発展を祈って編集の任を降りさせていただきます。2年間、本当にありがとうございました。

(長田 昇記)

原稿執筆規定

(1979・2・7改正)

- 1) 文体 平かな漢字混じりの横書き口語文として、できるだけわかりやすい表現にする。
- 2) 術語以外はなるべく当用漢字を用い、かなは現代かなづかいとする。
- 3) 句読点、括弧、ハイフンには一画を与える。数字、ローマ字は一画に一字を充てる。
- 4) 数字アラビア数字を用い、漢数字は普通の字句についてのみ用いる。
- 5) 外国人名は欧字とする。最初の文字のみ大文字とする。
- 6) 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。
- 7) 字体の指定は、ゴシック、イタリック——のように鉛筆で下線を書く。紛らわしい文字は誤植防止のための指示を鉛筆で記入する。(例: lーエル, 1ーイチ, Iーアイなど)
- 8) 術語 原則として文部省編:学術用語集による。普通に用いられる外国語の術語、物質名などはカタカナで書く。
- 9) 略字、略号を使うときは、はじめにそれが出る個所で正式の名称とともに記す。例: 液性限界 (L L)
- 10) 数量の単位は原則として C G S 制を用いる。
- 11) 表・図・写真などは必要最小限とし、同一事項を表と図に重複して示すことは避ける。
- 12) 表・図・写真は本文のあとに1枚ごとに原稿用紙あるいはこれとほぼ同大の別紙に書き、またははり付ける。
1枚ごとに著者および表題を鉛筆で略記して事故の発生を避ける。本文中欄外に挿入位置を指定し空白はあけない。
ただし指定の位置にはならないことがある。
- 13) 空欄の多い表は避け、注を使うなどして紙面の節約をはかる。
- 14) 図は上質白紙または淡青色方眼紙に黒インキで明確に書く。トレーヌに適しない図は書き直しを要求することがある。図中の文字は鉛筆でうすく記入することにとどめる。図の番号は「図-1」のようにし、説明とともに図の下に鉛筆で記入する。
- 15) 図は刷り上がりの大きさを指定し、1.5~2倍長ぐらい大きく書く。ただし必ずしも指定の大きさにならないことがある。図中の字の大きさおよび線の太さは刷り上がりを考慮して定める。
- 16) 表の番号は「表-1」のようにし、説明とともに表の上に記入する。
- 17) 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。
- 18) 文献は本文のあとにまとめて通し番号順に書く。通し番号は引用の順序または著者名のABC順とする。本文の引用個所の右肩に番号を片括弧で小さく入れる。論文名は記載しなくてもよい。

土壤物理研究会

| | |
|-------|--|
| 事務局構成 | 会長 湯村義男 |
| | 副会長 西出 勤 |
| | 庶務幹事 湯村義男 ・会計幹事 西宗 昭 ・編集幹事 新垣雅裕, 新庄 彬 |
| 編集委員 | 長田 昇 (委員長), 足立忠司, 金田雄二, 高橋和司, 穂波信雄, 三野 徹 |

土壤の物理性 第41号 (会員配布) 1980年10月30日発行

発行 土壤物理研究会 (〒514-01) 津市一身田大古管670 農林水産省野菜試験場土壤肥料研究室内

電話 0592-32-3531 (内線26) 振替口座 東京 5-17794 銀行口座 第一勧業銀行津支店

口座番号 (総合口座) 464-1119224

印刷 オリエンタル印刷 (〒510-03) 安芸郡河芸町上野2100

Soil Physical Conditions and Plant Growth, Japan

No. 42

October 1980

Contents

| | | |
|--|---------------------------------------|----|
| Foreword | T. NISHIDE | 1 |
| Originals | | |
| SOIL WATER DISTRIBUTION IN MOUNTAINOUS AREA AND IRRIGATION PLANNING..... | T. MITSUNO, D. ZASLAVSKY and T. MIURA | 2 |
| Practical Upper Limit of Measuring Soil Moisture by the Glass Filter Block Soil Moisture Meter..... | K. YABE | 9 |
| Effects of Sludge Dressing in Dry Field Soils on Soil Physical Conditions and Plant Growth..... | J. KARUBE, S. MORIIZUMI and K. OSAKI | 13 |
| Studies on Relationship between Hardness of Puddling Soil and Planting Depth on Young Seedling Model of Paddy Rice..... | M. ICHIKAWA and F. YAMAMURA | 20 |
| Review | | |
| Role of Plant Roots in Formation of Soil Aggregates..... | H. KOBAYASHI | 26 |
| Note | | |
| The Effect of Dressing Materials on the Pore Composition in Heary Soil..... | A. FURUHATA and H. IWAMA | 33 |
| Explanation | | |
| Scanning Electron Microscope : SEM | Y. SAKURAI | 41 |
| Ultrasonic Pulsating Method for Measuring Physical Properties of Solis | S. KOYAMA | 48 |
| The Technique for Soil Temperature Measurement | S. MATSUI | 53 |
| Contribution | T. HARADA and K. ENDO | 56 |
| Announcement | | 58 |

Research Association of Soil Physics, Japan
c/o Vegetable and Ornamental Crops Research Station
Ishinden-Ogoso, Tsu, 514-01 Japan
President Yoshio Yumura