

土壌の物理性

第 64 号

1992年3月

卷 頭 言.....	東 順三	1
報 文		
キマメ根の締め固め土層中への貫入伸長.....	松元 順・久保田 徹・加藤 英孝 遅沢 省子・有原 丈二・阿江 教治	3
粘土質転換畑における地下灌漑の適用性.....	福本 昌人・深山 一弥・小川 茂男	11
土壌薄片による土壌の三相分布の測定の試み.....	平山 良治	21
マサ土開畑地の圃場形態と土壌侵食特性.....	松本 康夫	27
代掻き濁水の塩添加による凝集条件 ——代掻き濁水のカルシウム塩添加による凝集沈降浄化法(1)——	赤江 剛夫	37
代掻き濁水の凝集沈降剤の検索と施用法の検討 ——代掻き濁水のカルシウム塩添加による凝集沈降浄化法(2)——	赤江 剛夫	45
解 説		
負圧センサーを用いた自記テンシオメーターシステムの試作.....	谷川 寅彦・矢部 勝彦 千家 正照・西出 勤	53
書 評		
応用地理学ノート.....	河野 英一	59
畜産土本入門.....	内田 仙二	60
会 務 報 告.....		61
編 集 後 記		

土 壌 物 理 研 究 会

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



土壤物理研究会の名称変更について

土壤物理研究会
会長 長堀金造

昨年(1991)の第1回の評議員会において評議委員の中から土壤物理研究会を学会に名称変更して欲しいとの議事提案があり、種々の側面からその是非について検討を行いました。名称変更の問題は重要な案件であり、当日欠席された評議員もあり、さらに会長経験者等にも広くお図りして御意見を聞く必要があると考えましたので、今回の評議員会の検討課題として審議することに致しました。そのためその間名称変更についての検討依頼ということで評議員の皆さんに第1回の検討の主旨を再度整理して御意見をお伺い致しました。

検討依頼の文書は以下のようなものでした。

「最近、大学等において活性化のための自己点検の検討が進められており、その際に研究論文の発表や学会活動が重要な点検項目に加えられるケースが多くなっており、伝統ある本研究会は、農学分野ではその活動が評価され、学協会に準ずるものとして取り扱われておりますが、研究会という名称のゆえに、他分野の研究者からは単なる任意の研究会活動と混同されることも多く、論文についても従来から「土壤の物理性」へ掲載される論文は他学会の研究論文と同等に優れた論文であると関係者には評価されているにも関わらず、一段と低いレベルのものに見られ易く、その活動評価で不利益を被ることが予想されます。そこで、この際、研究会活動そのものについては従来通りとした上で、名称のみを本研究会の活動実態に沿うように改めてはというのが検討の主旨でありました。

その後、学内の幹事会でも検討を進めるとともに、会長並びに評議員経験者の方々とも相談しました結果、その際本研究会の名称を『日本土壤物理学会』と改めてはどうかとの結論に達しました。なお、本研究会の雑誌の名称『土壤の物理性』につきましては、英文名を含めてそのまま継承することにし、会則も土壤物理研究会の名称を学会と変更するのみで、他の部分には変更を加えないでおく予定です。

今回の評議会で本研究会の名称変更を再度議題の一つとして取り上げ、評議員会で御賛同が得られるようでありましたならば、総会で報告し御承認を得た上で、次年度から名称変更を実施したいと思います。

当日御出席いただけない評議員の皆様御意見につきましては、予めお聞かせいただければ、当日の論議の過程で御紹介し、なるべく評議員会の意見に反映させたいと思っておりますので御意見がございましたらば、事務局までお寄せいただきたく思います。」

その結果、欠席される評議員からは名称変更については賛成であるとの御返事をいただきましたので、昨年11月6日の第2回評議員会に再度この名称変更についてお図りした次第ですが、検討結果は2名の方を除いては賛成を得られましたのでその結果を総会に御報告した次第です。

第2回評議員会及び総会における検討結果は、評議員である岩間秀矩氏が土壤物理回覧板No.2 (1991.11.11)

の中で御報告されておりますので、同氏の報告をここに掲載させていただくことにします。

「11月6日、シンポジウム当日に1990年度第2回評議員会(定数18)が開催され、長堀会長(岡山大)より提起されていた土壤物理研究会の学会への名称変更問題が討議されました。その結果、海外出張中の1名を除く17名中15名が賛意を示し、長谷川氏(農環研)と私の2名のみが殆どの会員が知らされぬまま会の名称が変更されるのはまずいとして、より時間をかけて検討することを要求しましたが、その場では一応決議されました。しかし、引に続く総会ではやはり急激な変更に対する危惧の声が多く出され、再度会員の意見を求めた後、評議員会で決定し直すことになりました。会員の意見を求める具体的な方法については今後事務局が検討することになっております。

ところで、今回、学会への名称変更は1ヵ月ほど前に会長から提起されていたもので、その対応に迷いましたが、評議員会では圧倒的多数(殆んどが大学の先生方です)が学会に名称変更する方向に賛成しております。したがって、名称変更は相当に切実な問題として受け止める必要があると思われまふ。学会への名称変更が望ましいとする主な理由と考え方は以下の通りです。

1. 学会への名称変更は研究会のこれまでの現場の問題を重視するといった性格や活動の変更を意味しない。
2. 現在、大学では業績評価が大変厳しくなっており、研究会誌に掲載された報告が学会に準ずるものとして低く評価されてします。
3. そのため、砂丘研究会(300名以下)などいくつかの研究会が学会への名称変更をしている。
4. 当研究会のように長年の優れた実績を持つ活動が低く評価されるのは惜しい。
5. 正当に評価される学会として方が今後も良い論文の投稿を受けることになるなどです。

一方、従来通り研究会であった方が良いとする考え方は以下のようです。

イ. メインの学会ではないので研究会としておく方が研究成果を交流することが容易である。(報告のオリジナリティを余り厳しく問わないという意)。また、気楽である。

ロ. 土肥学会や農土学会土壤物理部会とのシンポの共催等を行う際には、研究会の方が行い易いように思う。

ハ. ・・物理学会とすると恐ろしい感じを与える。

ニ. 県によっては、学会とすると個人的興味によるとして参加旅費の支給を拒まれることがある。など。」

その後事務局としては種々検討致しましたが、これまでの検討経過を本誌をお借りして会員の皆様に御報告し御意見を図り、臨時評議員会を開催してできれば新年度から学会へ名称変更させていただきたいと考えています。

つきましては、忌憚のないご意見を本年4月25日迄に事務局にお寄せ下さいませようお願い致します。

巻 頭 言

土壌構造と生物環境

東 順 三

40年程以前にさかのぼる私事で恐縮ですが、土壌学が私の専攻分野ときまった当初、先生や先輩のご意見を参考にしながら自分の研究テーマを選ぶさいに、これからの土壌学の発展にとって土壌の物理性についての研究が避けては通れない重要課題であることを知りました。

わが国では、土壌学の研究室は明治の創設以来、学校では農芸化学科に所属し、主に化学的な研究と教育が行われてきておりました。そのため、物理学的な手法を会得している研究者が土壌肥科学の分野ではきわめて少ない実情にあったと思われます。当時はこのように、土壌の物理性についての研究は他分野にくらべて歴史も浅く、当面する課題に適切に対応できるだけの実積のない有様でした。したがって、将来に向けて重視される未解決の問題に対応できるように研究の進展をはかる必要性を痛感した次第です。

ところで、私は具体的に実験計画を立てようとして、実験に適用できる手法を模索いたしました。客観的な批判に耐えうるような公定法に匹敵するものがほとんどないことがわかり、差当りは土壌の物理性に関する実験は断念せざるを得なかったことを思い出します。しかしその後も、土壌の物理性については強い関心を抱きつづけてきました。

本研究会の20周年の記念事業として1979年に「土の物理学」と「土壌の物理性と植物生育」の2冊の出版物が刊行されております。これを見ればわかるとおり、わが国の土壌物理学のレベルはすでにかなり高い水準に達しており、さらに引続き次々と手法が創案されて、大きな成果をあげて今日に至っておりますことは喜ばしい限りです。

さて、私は土壌の物理性のうち、とくに関心をもちましたのは土壌構造で、作物の生産性の根源であるとみなしうる団粒構造の生成・維持についての要因に着目いたしました。土壌の多くは、土粒子相互が複雑に連結して生成される団粒構造によって、土壌中に多様な形状の孔隙空間が形成され、土壌空気と土壌水の保持・移動や、また植物根の伸長などが規制されていることは周知の事実です。このようにして土壌には動・植物や微生物を含めた生物の生存要因を保障する環境が維持されております。とりもなおさず、土壌構造は生物環境を基本的に保障しているといえます。

1977年の当時、まだ目新しかった走査電子顕微鏡と X 線マイクロアナライザを用いて土壌の微細構造の実体を観察し、その組成成分を分析する実験を数年にわたり実施いたしました。そのとき、はじめて観察した土壌の微細構造の数千倍の拡大像が、日ごろ景色として肉眼で見ている山の景観と余りにも似ていることを知り、ある種の感動を覚えたことを思い出します。すなわち、自然界の事物は、ミクロの規則的な集合によってマクロが形成されている事例の多いことをあらためて知りました。

土壌の物理性については、とくに土壌構造の形状をはじめとして、実体が不均一系の集合体で、統一的に握えることが困難な場合が多いのですが、これについて客観性のある表現法を創案することが、将来の研究の飛躍的な進展のために切望されていることを強調いたしたいと思います。

また、グローバルな観点では目下、環境保全と地力維持の問題が将来にわたる重要課題で、自然生態系における物質循環と農業の有り方について、適切な対応が問われている時代で、この課題に対しても土壌物理学の役割がますます注目されるようになって考えられ、本研究会に期待される使命はきわめて大きいといえましょう。



キマメ根の締め固め土層中への貫入伸長

松元 順*¹・久保田 徹*²・加藤 英孝*²
遅沢 省子*²・有原 丈二*³・阿江 教治*²

Penetration of Pigeon Pea Roots into Compacted Soil

Jun MATSUMOTO*¹, Toru KUBOTA*², Hidetaka KATOU*²

Seiko OSOZAWA*², Jouji ARIHARA*³ and Noriharu AE*²

*¹Kagoshima Tea Experiment Station

*²National Institute of Agro-Environmental Sciences

*³Hokkaido National Agricultural Experiment Station

Summary

The ability of roots to penetrate into consolidated subsoil was examined by the field and pot experiments using various kind of tropical leguminous plants. The results revealed that Pigeon pea (*Cajanus cajan* L.) was the most penetrative and effective in improving the compacted subsoil. Its characteristics are summarized as follows:

- 1) The growth rate of Pigeon pea was so high, and the roots could penetrate deeply into compacted soil within such a short period of 3 months.
- 2) For a physically inadequate soil with the high mechanical impedance and low gas diffusion rate, the root of Pigeon pea could penetrate well as far as the soil was not highly acidic.
- 3) It was expected that the biopores in soil produced by the decomposition of roots would improve the drainage of soil.
- 4) Dry weight of the plant top of Pigeon pea was estimated as much as 10 t/ha, which carbon-nitrogen ratio was 24 or so, making it possible to utilize as a green manure.

Key words : plant roots, Pigeon pea, tubular pores, consolidated soil, improving in drainage

(Soil Phys. Cond. Plant Growth, Jpn., 64, 3-9, 1992)

I. ま え が き

土壌が圧密化すると、硬度が高まり、ガス拡散が悪くなるなどして作物根の生育が阻害される¹⁾²⁾。これを改良するには深耕や土壌改良資材の施用などが行われるが、茶、果樹等の永年生物では断根による貯蔵養分の損失が大きいので³⁾、これを避ける方法が望まれる。また、一

般に農耕地の圧密土層の物理性改良は専ら農業機械に依存してきたが、省エネルギー等の観点からも機械に代わり得る技術の開発が望まれている。

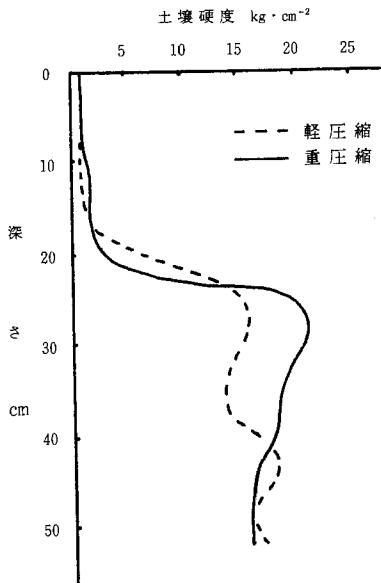
Elkins ら⁴⁾は、バヒアグラス (*Paspalum notatum* Flugge) の根はよく圧密土層を貫通し、下層土の物理性を改良するために後作の綿の生育収量に対し著しい効果をもつことを認め、“Plant Roots as Tillage Tools” という表現で、植物根機能活用の重要性を提示している。また、ブラジルではムクナが下層土からの養水分の循環利用に適するとの観察事例⁵⁾がある。最近、著者らのうち有原と阿江は国際半乾燥熱帯作物研究所 (ICRISAT) で畑作研究に従事するなかで、インドの畑作地帯で栽培さ

*¹鹿児島県茶業試験場 〒879-03 鹿児島県川辺郡知覧町永里3964番地

*²農業環境技術研究所

*³北海道農業試験場

キーワード：植物根、キマメ、管状孔隙、圧密土層、透水性改良



図一 1 土壌圧縮処理と土壌硬度 (1987. 5. 27貫入式硬度計)

れているキマメ (*Cajanus cajan* L.) の根が緻密な土層までよく貫入することを知った。

このように、特定の植物の栽培によって圧密土層を改良する可能性があると考え、数種の熱帯マメ科作物について、圃場試験・ポット試験等により比較調査したところ、キマメが有望であることを認めたので報告する。

II. 方 法

1. 熱帯マメ科作物根の締め固め土層中への貫入 (圃場試験)

淡色クロボク土の圃場(つくば市農業環境技術研究所)に大型トラクタ (60 HP, 重量 2 t) により締め固め土層を深さ 20~40cm に造成した。すなわち、はじめに厚さ約 15cm の表土を排土したところに熔りん 200kg/10 a をロータリ耕により約 20cm の深さまで混和した。次に、大型トラクタを走行させ、タイヤの踏圧で圧密土層を造った後、処理土層の上に除去した表土を均一に盛った。

タイヤ踏圧処理は 4 回の重圧縮と 1 回の軽圧縮を設けた。このとき、下層土も含めて土壌の物理性を測定した。表土扱いは水準測量により丁寧に行った。各処理区は 4 m×12m を 2 連で設け、畝間 1 m として分割して供試作物の栽培に供した。造成圃場の深さ別の硬度分布は図 1 の通りであった。

1987年 5月27日に、表 1 に掲げる 7 種の熱帯マメ科作

表一 1 供試熱帯マメ科作物

和名	学名	原産地
黒ムクナ	<i>Stilozobium aterrimum</i> L.	ブラジル
1年生ムクナ	" <i>deeringium</i> L.	"
灰色ムクナ	" <i>cinereus</i> L.	"
縞ムクナ	"	"
白ルーピン	<i>Lupinus hartwegii</i> L.	"
キマメ	<i>Cajanus cajan</i> L.	インド (ICRISAT ICPL 87)
ツルアズキ	<i>Phaseolus pubescens</i> L.	タイ

物を株間 50cm の間隔で播種した。比較のためダイズ (エンレイ) とトウモロコシ (ハニーバングム) を各 15cm, 30cm 間隔で播種した。出芽 2~3 週間後に 1~2 本立てに間引きした。

9 月中旬に以下の方法で根系観察を行った。すなわち、圃場で調査個体の株の中心から約 5 cm の位置に垂直の土層断面を作った後、株直下面までの幅 5 cm の土層中の土壌をへらや針金を用いて根から丁寧に分離除去し、浮かび出た根の分布状況を観察した。(以後、この方法を野外根系観察法と言う。)キマメについてはさらに、株を中心に 50cm×50cm の面積につき、層位別に根を掘り出して、新鮮物重、容積 (水置換法) および根長を測定した。根長は、直径 2 mm 以上の根はものさしで、2 mm 以下の根はルート・レンジス・スキャナー (コモエア社) を用いて RICHARDS らの方法⁶⁾ に準じて測定した。根量調査と同時に地上部についても乾物重を測定し、NC アナライザー (スミグラフ NC 80) により炭素含量、窒素含量を求めた。

2. キマメ貫入根の機能評価 (穿孔実験)

キマメ根が圧密土層を伸長し root channel をつくった場合の効果の大きさを知るために根量調査の結果に基づき穿孔実験を行った。穿孔は直径 1 mm の根が 0.04% の占有容積をもって 5 cm 厚の圧密土層を垂直に伸長した場合を想定した。すなわち、100ml 容円筒 (20cm²×5 cm) に圧縮土壌を採取し、直径 1 mm の針金を圧入させて円筒あたり 1 本の穿孔を行い、ガス拡散係数と飽和透水係数を測定した。

3. 未攪乱円筒試料に対する根の貫入 (幼植物試験)

南九州に分布する火山性下層土壌 (表 2) を 100ml 容未攪乱円筒試料として採取した。その上部に肥料を混和した厚さ 2.5cm の播種床土壌をのせてキマメを播種した。室内にて発芽後、pF 1.5 砂柱上に移し、温度 27℃, 相対湿度 70% のグロースチャンパー内にて生育させ、第 4 葉展開期にあたる発芽 2 週間後にコア底面への根の到達程度を観察後、下層土の円筒試料へ貫入した根の長さと同新鮮物重を測定した。試験は 1 円筒あたり 3 本植えを 3 反復で行った。

表一 2 南九州の火山性下層土壌の採取地

土 壤	採 取 地	地 目	採取深さ (cm)
クロボク	鹿児島県川辺郡知覧町	樹園地(茶)	30~40
クロニガ	" 肝属郡串良町	普通畑	40~50
アカホヤ	" 日置郡伊集院町	樹園地(茶)	45~55
シラス	" 垂水市	普通畑	40~50

4. 茶園におけるキマメのうね間栽培

図2に示すように1m土層内に下方よりクロニガ、コラ、クロボク土が累積的に堆積している火山灰土壌(鹿児島県茶業試験場圃場)の茶園のうね間に、上述の7種の熱帯マメ科作物を栽培した。供試圃場は下層土の緻密化によって茶根の下層への伸長が阻害されている圃場である。播種1ヶ月前に1.8mうね幅の中央60cm幅に、石灰200kg/10a、熔りん230kg/10aを施用してロータリ耕で深さ15cmまで耕起した。

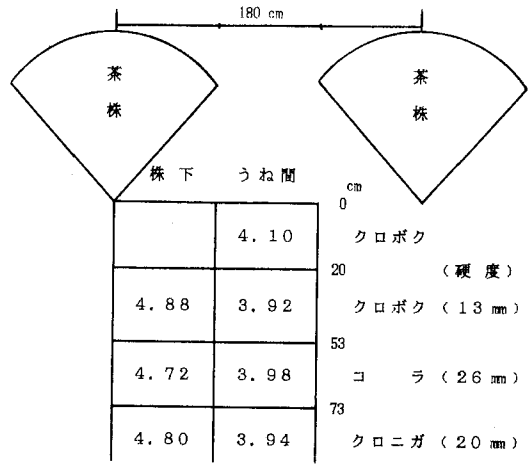
1987年5月19日に播種し、無肥料栽培とし、12月14日に野外根系観察法により根を観察した。

1988年9月12日には、コラ層内に貫入した根の腐朽程度を観察した。

II. 結果と考察

1. 各種作物の根の造成圧縮土層への貫入伸長の観察

作物栽培試験に供試したクロボク土圃場の締め固め処理を施した作土直下土層について土壌の物理性を調べると、表3に示すように、トラクタ処理によってほぼ20~40cmの深さに明瞭に締め固め層ができていた。締め固め土壌は軽圧縮、重圧縮ともガス拡散相対係数比はpF 3.0の低水分において作物根伸長の限界とみなされる0.02に⁷⁾達せず、深さ約40~60cmの下層土より明らかにガス交換能が劣った。また、その土壌硬度はpFの上昇に伴い著し



図一 2 成木茶園土壌の pH 分布

く高まり、軽圧縮で pF 2.5、重圧縮では pF 1.8以上の水分域において根の伸長を阻害すると見なされる12kg/cm²を⁷⁾越える硬度を示した。

このように、供試圃場の作土直下には一般の畑作物に対して根の伸長を抑制すると思われる堅密土層が造成されていた。

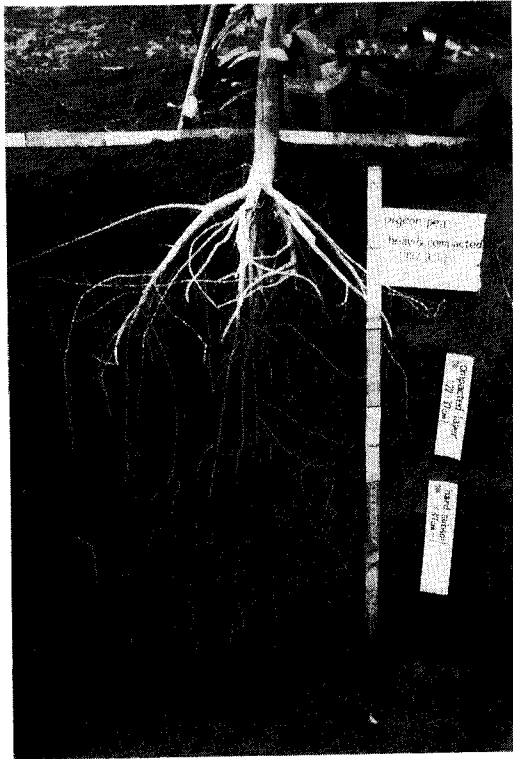
この圃場に熱帯性の各種マメ科作物、トウモロコシおよびダイズを播種したところ、タイから入手したツルアズキは全く発芽せず、またブラジルからの白ルーピンは発芽後まもなく生育が停止したが、他の作物は順調に生育した。

出芽約100日後に、野外根系観察法により締め固め土層中に存在する根の分布状態を観察した。ダイズとトウモロコシの根は締め固め土層中にほとんど貫入していなかった。また、4種のムクナも主根のみは貫入していたものの、分岐根は概して締め固め土層上部に水平に伸長し

表一 3 締め固め土層および下層土壌の物理性

土 壤	深 さ (cm)	仮比重 (g cm ⁻³)	真比重 (g cm ⁻³)	飽和透水係数 (cm s ⁻¹)	pF-体積水分率 (%)								
					0	1.0	1.5	1.8	2.0	2.5	3.0	3.6	4.2
軽圧縮土	22~38	0.834	2.65	1.12×10 ⁻⁵	68.5	62.1	62.3	61.6	59.9	55.8	52.7	47.7	42.6
重圧縮土	23~38	0.867	2.64	4.09×10 ⁻⁶	67.2	62.1	62.2	62.5	62.4	56.4	52.6	49.2	43.3
下層土	39~58	0.524	2.74	8.14×10 ⁻⁴	80.9	72.7	69.9	66.8	65.4	62.0	59.9	57.4	54.0

土 壤	深 さ (cm)	pF-土壌硬度 (kg cm ⁻²)							pF-ガス拡散相対係数比 (D/Do)					
		1.5	1.8	2.0	2.5	3.0	3.6	4.2	1.0	1.5	1.8	2.0	2.5	3.0
軽圧縮土	22~38	8.16	8.90	9.93	13.98	16.68	21.50	27.91	0.001	0.001	0.001	0.002	0.009	0.017
重圧縮土	23~38	10.50	13.94	13.64	17.30	21.56	24.76	38.24	0.001	0.001	0.001	0.001	0.005	0.013
下層土	38~58	14.97	15.60	15.66	16.60	16.65	19.04	19.54	0.001	0.006	0.014	0.019	0.031	0.042



写真—1 キマメ根の締め固め土層中への貫入伸長 (重圧縮区)

ていた。これらに対して、キマメでは主根はほぼ垂直に、分岐根は放射状に締め固め土層を貫き、下層へよく伸長し、一部は 1 m 以下にまで達していた(写真 1)。締め固め土層に貫入している分岐根は直径 1~2 mm 程度のものが多かった。このように、キマメが最も圧密層を貫くことができた。

表—5 締め固め土層中のキマメ根

土壌処理	項目	$\phi > 1 \text{ mm}$	$\phi < 1 \text{ mm}$	全根
軽圧縮	新鮮物重 (g)	5.57	7.40	12.97
	根長 (m)	1.7	37.2	38.9
	平均 ϕ (mm)	2.04	0.50	0.65
	占有容積 (%)	0.013	0.017	0.031
重圧縮	新鮮物重 (g)	4.37	10.42	14.79
	根長 (m)	1.6	42.2	43.8
	平均 ϕ (mm)	1.87	0.56	0.66
	占有容積 (%)	0.011	0.026	0.037

キマメについては根系調査を行い、根量、根長を表 4 に示した。締め固め土層中の根量は圧縮により少なくなっているものの、層厚約 20 cm の締め固め土層直下層に存在する根は層厚同じく約 20 cm の締め固め土層中に存在する根と同程度の根占有容積と根長を有することが認められ、キマメ根が圧密土層を貫通して下層へよく伸長していることが明らかであった。

次に、締め固め土層中の根を直径 1 mm 以上と以下の画分に分けて、各画分の平均直径を根長と根容積の実測値から算出した (表 5)。1 mm 以上の根の占有容積率は 0.013~0.011%，1 mm 以下の根のそれは 0.017~0.026% であり、軽圧縮と重圧縮とでは後者がやや細根化する傾向が認められたものの差は小さかった。締め固め土層中の全根の平均の直径は 0.65 mm，占有容積率は 0.03~0.04% であった。

キマメの生育量および炭素率を抜き取り調査で調べた結果 (表 6)，約 4 カ月の栽培で地上部は樹高 1.5 m ほどに紡錘状の草形で生育しており、10 a あたり 580 kg~1,120 kg の地上部乾物生産量が得られ、その炭素率は 24.2 であった。生育速度が速いこと、炭素率が低いことから緑肥としての利用が可能と推察した。

表—4 キマメ根の分布

土壌処理	層位	cm	新鮮物重 g	容積 cm ³	占有容積 %	根長 m
非圧縮	作土層	0~20	158.8	146	0.292	81
	作土層下部	~47	57.3	55	0.081	182
	下層	~62	7.8	8	0.021	43
軽圧縮	作土層	0~21	110.9	102	0.195	42
	締め固め土層	~38	13.0	13	0.031	39
	下層	~58	14.7	15	0.030	65
重圧縮	作土層	0~22	138.0	127	0.231	139
	締め固め土層	~38	14.8	14	0.036	44
	下層	~58	14.9	15	0.030	56

表—6 キマメ生育量

部 位	土壌処理	乾 物 重		炭 素		窒 素		炭素率 %
		g/2本	kg/10a	%	kg/10a	%	kg/10a	
地上部	非圧縮	512	1,024	47.7	488	1.97	20	24.2
	軽圧縮	562	1,124		536		22	
	重圧縮	294	588		280		12	
地下部	非圧縮	84	168	47.5	80	1.11	2	42.8
	軽圧縮	72	144		68		2	
	重圧縮	52	104		49		1	

キマメの根の炭素率は42.8であった。炭素率32~70のイタリアンライグラスの根が通常土壌中でよく分解することから、キマメの根は炭素率に関する限り枯死後比較的速やかな分解（おそらく1年以内）が期待できる。上記の根系分布によりつくられた圧密土層中の連続した孔隙は排水など物質移動に大きな影響を持つことができるであろう。ただし、ガス交換不良の圧密土層中での分解速度がどの程度かは今後検討を要する。

2. キマメ貫入根の穿孔の機能

穿孔実験の結果を表7に示した。穿孔処理により、pF 1.8におけるガス拡散相対係数比には変化が見られなかったが、飽和透水係数は無穿孔土の $10^{-5} \sim 10^{-6} \text{cm s}^{-1}$ から 10^{-3}cm s^{-1} へと著しく高まった。このガスと水に対する効果の差異は、ガス拡散係数が気相率に、一方飽和透水係数は孔隙径分布に支配されることを反映していると理解された。穿孔実験の結果はキマメ栽培により圧密土層の排水不良を改良できることを示唆している。

3. 未攪乱円筒土壌に対するキマメ根の貫入

南九州に分布する火山噴出物起源の土壌について圧密等により作物生産を阻害している下層土を未攪乱のまま円筒に採取し、それにキマメ幼植物を生育させて根の貫入を観察した。供試土壌の物理性（表8）は、クロニガとシラスでは低pF域におけるガス交換能が低く、また、クロニガは低pF域において土壌硬度の高いことが特徴であった。アカホヤは粗孔隙、有効水保持孔隙に富み、

表—7 穿孔と透水性およびガス拡散速度

試 料	飽和透水係数 cm s^{-1}	pF 1.8ガス拡散 相対係数比(D/Do)	
軽圧縮土	無穿孔	1.12×10^{-5}	0.001
	穿孔	7.49×10^{-3}	0.001
重圧縮土	無穿孔	4.09×10^{-6}	0.001
	穿孔	4.52×10^{-3}	0.001

ガス交換、土壌硬度の物理性も良好であったが、酸性が強く、養分が乏しいなど化学性が不良な土壌であった。

キマメ根の各土層への貫入程度は表9に示す通りであり、クロニガとシラスに対しては根はよく貫入伸長していた。一方、アカホヤに対しては根の貫入はほとんど認められず、根は播種床土壌にのみ集中していた。また、クロボクに対してはキマメ根はかなりの程度に一旦貫入はしたものの、貫入伸長した根は褐変死していた。クロボクでは金属円筒の下部接地面の砂柱砂が特徴的に青緑色に着色されているのが観察され、土壌の強酸性によって円筒の金属材料が徐々に溶けて根に害作用を及ぼしたのではないかと思われた。

4. 茶園におけるキマメのうね間栽培

供試した熱帯マメ科作物のうち、順調に生育したのは、黒ムクナ、灰色ムクナとキマメであった。

ムクナ2種の根は下層へ伸長する根はほとんどなく、表層の深さ10cm程度を横方向に伸長していた。

キマメの根はうね間中央では深さ30cm程度で伸長は停止し、うね間両側にある茶樹の株下方向へ伸長していた。うね間中央部の土壌反応がpH 3.9であるのに比べてpH

表—9 キマメ幼植物根の下層土壌への貫入

土 壌	貫 通 程 度	根 長 cm	新 鮮 物 重 g	
			播種床土壌	未攪乱下層土壌
クロボク	0	5.5±1.88	0.23±0.054	0.05±0.015 (0.24±0.068)
クロニガ	2.3	11.7±2.18	0.16±0.034	0.18±0.033
アカホヤ	0	5.0±0.74	0.36±0.038	0.01±0.002
シラス	1.7	8.5±2.64	0.22±0.074	0.19±0.086

(備 考)

1 3本/コア…3反復平均

2 貫通程度…コア底面への到達程度評点
(0:なし, 1:有り, 2:多い, 3:密)

3 かつこ内…褐変根重

表-8 南九州に分布する火山性土壌下層土 (供試土壌) の物理性

土 壤	仮比重 gcm ⁻³	真比重 gcm ⁻³	飽和透水係数 cm s ⁻¹	pF-体積水分率 (%)									風乾
				0	1.0	1.5	1.8	2.0	2.5	3.0	3.6		
クロボク	0.696	2.40	3.54×10 ⁻³	71.0	64.5	54.1	48.1	45.4	38.0	34.7	24.3	5.6	
クロニガ	0.494	2.37	1.34×10 ⁻⁴	79.2	73.4	72.6	70.4	69.5	65.9	62.4	56.0	8.8	
アカホヤ	0.630	2.57	3.40×10 ⁻³	75.5	62.7	57.6	54.4	49.2	46.2	40.3	36.5	6.3	
シラス	0.946	2.47	2.80×10 ⁻⁴	61.7	52.4	47.5	45.8	37.8	25.2	17.4	12.4	2.1	

土 壤	pF-土壌硬度 (kgcm ⁻²)						pF-ガス拡散相対係数比 (D/Do)						pH (H ₂ O)
	1.5	1.8	2.0	2.5	3.0	3.6	1.0	1.5	1.8	2.0	2.5	3.0	
クロボク	3.53	3.64	5.12	7.62	9.62	8.43	0.001	0.011	0.030	0.031	0.093	0.099	4.25
クロニガ	13.99	11.08	12.00	11.22	12.52	13.59	0.003	0.007	0.011	0.011	0.019	0.028	5.27
アカホヤ	7.49	7.44	8.55	8.95	11.44	11.79	0.005	0.020	0.033	0.055	0.083	0.086	4.45
シラス	6.11	7.60	9.42	13.62	19.29	17.63	0.003	0.005	0.017	0.025	0.075	0.092	5.68

4.8と幾分高い土壌 pH を呈する株下部位では、キマメ根は下層までよく伸長し、山中式硬度計で26mmの硬度を示す深さ53~73cmのコラ層を貫通して深さ1mまで達していた(図2, 写真2)。

コラ層内に貫入したキマメ根について枯死ほぼ9か月経過後に観察した結果、下層部の圧密土層中においても大部分の根が表皮を残して腐朽し、直径1~2mm程度の孔隙ができていたのが確認された。

IV. 総合考察

上記3つの栽培試験によって、キマメは根を圧密土層中によく貫入伸長させる特性を持つ事が明らかにされた。

一般に畑作物の根が圧密土層によって阻害される原因として、土壌硬度と酸素不足(土壌の還元化で発生する毒性物質による害作用も含む)がある。高い土壌硬度に抗して根が貫入できる能力が何に起因するかは興味ある問題である。キマメの根がある種の有機化合物を分泌し、特異的に土壌中の鉄型りん酸を溶解してりんを吸収することが明らかにされている⁹⁾が、このような物質の作用で酸化鉄等土壌構成成分を溶解して穿孔をするのか、あるいは高い根圧を生じうる特性を有するののかについては明らかではない。酸素不足にかかわる事項として、本圃場試験の根系調査において、圧密土層中にあるキマメの根には根瘤がよく着生していることが観察された。サイズでは根瘤は作土上部にある分枝根の付け根等酸素供給の良好と見られる部位によく着生しているのに対して、キマメのそれは特異な現象と思われた。

根の生育は土壌の化学性によっても影響されるが、キマメの根はこの性質においても特異的であった。すなわ

ち、茶園土壌のような強酸性の土壌においても生育伸長をした。しかし、pH 3.9の部位よりも pH 4.8の部位に根が偏在していたように、著しい酸性下では伸長が妨げられるといえるであろう。幼植物試験において、とくにアカホヤ土壌には全く貫入できないことが観察されたが、この理由としてはアカホヤ土壌が強酸性・貧栄養であることに加えて扁平ガラスに富む¹⁰⁾ために機械的に根の貫入を妨げる構造をもっていることも一因に考えられた。

バヒアグラスの根が耕盤に貫入して土壌の通気性と透水性が改良されたのは、直径1~2mmの root channel が下層まで連結したためとしている⁹⁾。キマメの根もほぼ枯死1年経過後には分解して管状孔隙を残し、これが土層内物質移動に影響を及ぼすと考えられる。締め固め土壌に対する穿孔実験で、土層中にキマメの root channel を模してつくった管状孔隙は顕著に飽和透水性を増大させた。このことから、キマメの栽培は表面停滞水の排水に十分機能すると思われ、今後圃場での実証試験が望まれ

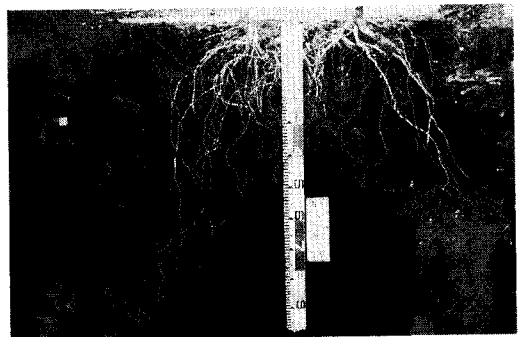


写真-2 キマメ根の茶園下層土壌への伸長

る。

キマメは緑肥としての利用も期待でき、また、樹形が紡錘型であるので、茶、桑、果樹等樹園地やうね間や樹間に栽培することも可能と思われ、土壌改良の適用場面は広いと思われた。

V. 摘 要

植物根機能を利用して圧密下層土の物理性の改良を図るため、数種の熱帯マメ科作物を用いて、圃場試験および幼植物ポット試験を行い、その適性を調べた。その結果、インド産のキマメ (*Cajanus cajan* L.) の根が圧密土層中をよく貫入することが認められ、下層土物理性改良植物としての利用が期待できた。

キマメの特性は以下の通りである。

- 1) 生育速度が速く、夏期の3カ月程度の栽培で根は締め固め下層土を貫通した。
- 2) 土壌硬度が高く、ガス拡散能の低い、物理的不良土壌に対して根はよく貫入伸長したが、強酸性土壌に対する貫入能は小さかった。
- 3) 貫入根が速やかに(1~2年程度で)分解するならば、分解後に出来た管状孔隙は停滞水の排水等に十分機能すると予測される。
- 4) 炭素率が地上部24、地下部42と低いので緑肥作物としての利用ができる。

謝 辞

農業研究センター土壌肥料部 堀 兼明主任研究官には、ルートスキャナー測定法のご指導を頂いた。謝意を表す。

引用文献

- 1) LETEY, J. (1985): Relationship between Soil

physical Properties and Crop Production, *Advance in Soil Science 1*, Springer-Verlag, 227-294.

- 2) TAYLOR, H. M. (1974): Root Behavior as Affected by Soil Structure and Strength, E. W. CARSON, Ed. *The Plant Root and Its Environment*, Univ. Press of Virginia, 271-291.
- 3) 山下正隆(1985): 断根後の根の再生と白色根の機能, *日作紀*, **54**, 337-345.
- 4) ELKINS, C. B., R. L. HAALAND, and C. S. HOVELAND (1977): Grass Root as a Tool for Penetrating Soil Hardpans and Increasing Crop Yields, *The 34 th Southern Pasture and Forage Crop Improvement Conference*, Auburn University, Alabama, 12-14
- 5) 宮坂四郎 (1986): ブラジルの緑肥について, *熱帯農業*, **30** (1), 41-49.
- 6) RICHARDS, D., F. H. OUVVAN, G. N. GARWOLY, and M. N. DALY (1979): A machine for Determining Root Length, *Plant Soil*, **52**, 69-76.
- 7) 遅沢省子・小財 伸・久保田徹 (1990): 「根生育非制限有効水分域」による熊本主要畑土壌の物理的評価, *土壌の物理性*, **60**, 6-14.
- 8) 久保田徹・鈴木新一 (1966): イタリアンライグラスの三要素施用量とあつ作水稲生育との関連性, *四国農試報告*, **14**, 117-134.
- 9) AE, N., J. ARIHARA, K. OKADA, T. YOSHIMURA, and C. JOHANSEN, (1990): Phosphorus Uptake by Pigeon Pea and Its Role in Cropping Systems of the Indian Subcontinent, *Science*, **248**, 477-480.
- 10) 長友由隆・庄子貞雄・小林進介・増井淳一 (1976): 南九州の各種火山灰層の強磁性鉱物の化学組成について, *土肥誌*, **47**, 25-32.

(受理年月日1991年1月1日)



粘土質転換畑における地下灌漑の適用性

福本 昌人*1・深山 一弥*2・小川 茂男*1

Applicability of subirrigation in clayey paddy fields converted to upland fields.

Masato FUKUMOTO*1, Kazuya MIYAMA*2 and Shigeo OGAWA*1

*1Hokkaido National Agricultural Experiment Station

*2National Research Institute of Agricultural Engineering

Summary

To determine the applicability of subirrigation in clayey paddy fields converted to upland fields, water movement during subirrigation and the effect of subirrigation on wheat yields were investigated in field tests. Subirrigation supplies water to drain pipes by gravity from the irrigation canals. The results were :

① Where the subsoil had well-formed cracks, irrigation water flowed laterally in the subsoil through the cracks, and penetrated the plowed layer by gravity from the subsoil near the drain pipes after the cracks in the subsoil were filled.

② When supplying irrigation water up to the plowed in this manner, it was necessary to pay attention to the ability of crop to endure wet conditions as the plowed was extremely wet for some time even when drainage took place after irrigation. Supplying water only to subsoil with roots growing in cracks, not up to the plowed layer, was found to be suitable for wheat.

③ Little leakage of irrigation water and high permeability in the subsoil by well-formed cracks were necessary to use subirrigation. However, it is difficult to establish objective criteria that will determine fields which satisfy these requirements.

Key words : subirrigation, drain pipe, water movement, clayey soil, crack

(Soil Phys. Cond. Plant Growth, Jpn., 64, 11-20, 1992)

I. はじめに

粘土質転換畑は過湿、過乾になりやすいため、排水と灌漑の両面から土壌水分管理を行う必要がある。暗渠を利用した地下灌漑はこの一つの技術¹⁾であり、近年、大区画水田や水稻直播栽培の水管理方法としても注目され、技術の指針化が強く要望されている。

地下灌漑は海外では古くから原理、特徴、適用条件等が体系的に整理²⁾され、その後、実証的、解析的に研究^{3),4)}が進められている。しかし、海外での研究の多くは、暗渠に給水して地下水位を制御し、毛管上昇で根群域に灌水する方法であるため、わが国の水田に見られるような、

不飽和時の透水性が不良な粘質土壌に対しては適用が難しい。このため粘質土壌では、亀裂等の大孔隙を通じた正圧下の水移動で灌水する方式が有効^{5),6),7)}と言われているが、水移動の実態や適用上の問題点について十分に検討されているとは言えない。そこで、粘土質転換畑における地下灌漑の適用性を明らかにするため、地下灌漑の実証試験を行い、地下灌漑時の水移動の実態や麦に対する灌水効果を調査した。

II. 試験圃場の概要

試験圃場は北海道深川市の北西部、石狩川右岸の低平地水田地帯（標高45~46m）に位置する。試験圃場の区画は短辺25.5m、長辺144m、面積36.7aで、両長辺側には水稻圃場と育苗用ハウス地（下流側長辺の半分）が隣

*1北海道農業試験場 〒062 札幌市豊平区羊が丘1番地

*2農業工学研究所 〒305 つくば市観鈴2丁目1-2

キーワード：地下灌漑，暗渠，水移動，粘質土壌，亀裂

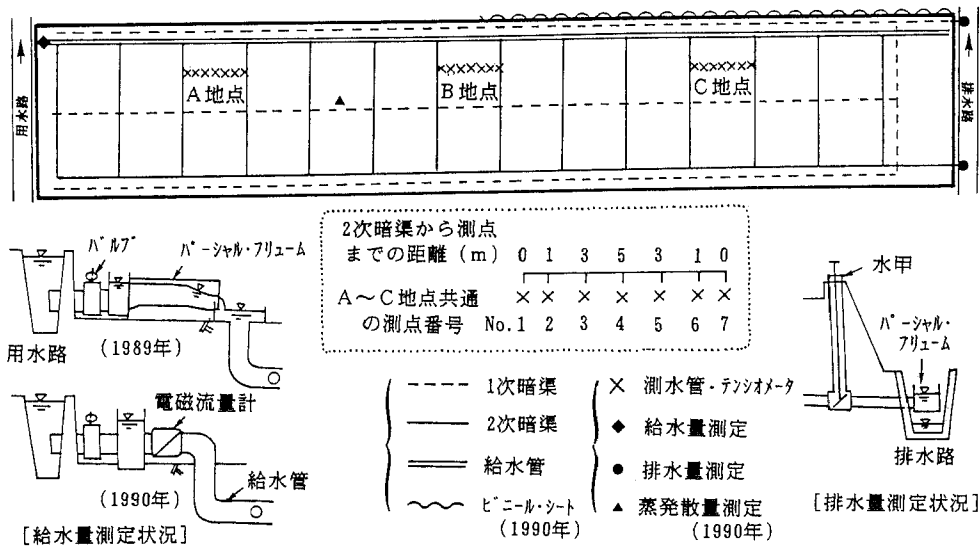


図-1 試験圃場と観測位置の概要
Outline of test field and observing points

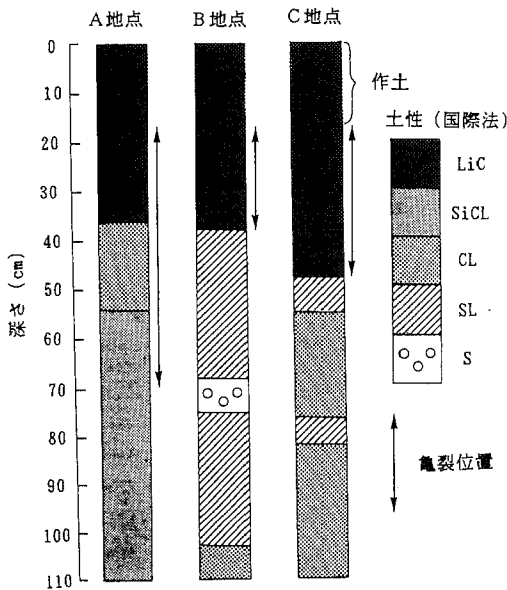


図-2 試験圃場の土壌断面
Soil profiles in the test fields

接している。畑転換は1987年に行われ、2年間小豆、続く2年間秋播小麦が作付けられた。試験圃場の位置する深川市では、秋播小麦（以下、麦と略す）の作期は9月～翌年7月末である。

試験圃場には、図-1に示すように1次暗渠（1968年施工）と2次暗渠（1987年秋施工）が埋設されている。

1次、2次の呼称は暗渠施工年次に応じて便宜上用いた。1次暗渠の吸水渠は、φ6cmの素焼土管を深さ80cmに敷設後、掘削土を埋め戻した構造で、11m間隔で長辺方向に埋設されている。2次暗渠の吸水渠は、φ5cmの合成樹脂管を深さ60cmに敷設後、モミガラを土まで充填した構造で、10m間隔で短辺方向（集水渠は長辺方向で、全体としてくし型配置）に埋設されている。

Ⅲ. 試験圃場の土壌特性

1. 土壌断面と土壌の物理性

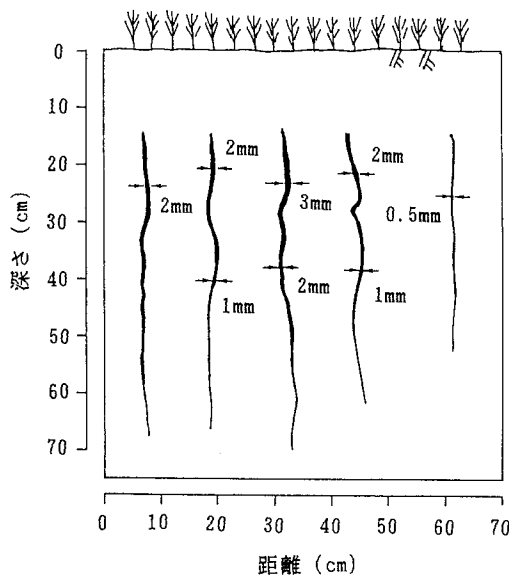
土壌は暗色表層灰色低地土（細粒質）に分類される。図-1のA、B、C地点における土壌断面を図-2に示す。成層状態は過去の河川氾濫や基盤整備時の切盛りの影響で地点間でかなり異なり、A地点では全体が軽植土（LiC）～植壤土（CL）の粘土層であったが、B、C地点では粘土層の間に砂壤土（SL）～砂土（S）の層が見られた。作土の厚さは17cmであった。

代表的な層の土壌の物理的性質を表-1に示す。作土とA地点の心土の粘土層は、固相率は比較的高く、粗孔隙量と有効水分量（pF1.5～3）はともに小さかった。また、飽和透水係数は作土で 10^{-4} cm/s オーダ、心土の粘土層で 10^{-7} cm/s オーダ（土壌のマトリックス部分）、不飽和透水係数（pF1.8時）は両者とも 10^{-7} cm/s オーダであった。B、C地点の砂壤土の層は、固相率は高く、粗孔隙量、有効水分量（pF1.5～3）はともに小さく、飽和透水係数は 10^{-4} ～ 10^{-5} cm/s オーダであった。

表一 1 試験圃場の土壌の物理的性質
Physical properties of soil in the test fields

土層	土性	粒径組成			土色	測定位置	固相率 Vol. %	粗孔隙量 pF0-1.5 Vol. %	有効水分量		透水係数		
		砂 %	シルト %	粘土 %					pF1.5-3 Vol. %	1.5-4.2 Vol. %	飽和 cm/s	pF1.8 cm/s	
作土	0~17cm	LiC	18.6	44.6	36.7	黒 褐	10cm	47.0	3.6	9.8	24.8	2.2×10^{-4}	2.2×10^{-7}
A地点	17~36cm	LiC	34.8	32.7	32.5	黒 褐	25cm	43.9	0.5	5.1	16.6	3.4×10^{-7}	3.0×10^{-7}
B地点	38~68cm	SL	73.4	13.9	12.7	暗灰色	50cm	58.6	2.9	6.6		2.3×10^{-4}	
	68~75cm	S	92.1	4.9	3.1	灰オリーブ	70cm	59.0	10.7	9.3		1.2×10^{-2}	
C地点	48~55cm	SL	73.9	15.3	10.9	灰オリーブ	50cm	60.4	4.3	6.0		4.8×10^{-5}	

* 粒径組成はピベット法, 土性分類は国際法
有効水分量の pF1.5は砂柱法, pF3と pF4.2は加圧板法, pF1.8透水係数は吸引定常法



* A地点の土壌の垂直断面

図一 3 心土の亀裂の発達状況
Cracks in the subsoil of the test field

A地点の心土の粘土層には図一 3に示すように幅 1~3mmの亀裂が10~20cm間隔で縦方向に、深さ70cmまで発達していた。B, C地点の心土の粘土層でもA地点とほぼ同様の亀裂が観察されたが、その到達深は砂壤土の層に制限され、それぞれの深さ38cmと48cmであった。

2. 毛管上昇浸潤の特性

(1) 実験方法

A地点から深さ 0~33cmの土壌を φ30cmの鉄製円筒に不攪乱状態で採取し、次のような室内実験を行った。土壌の下端にマリOTT給水装置で地下水位(深さ32cm)を設定し、その後60時間の給水量(電子天秤で測定)、水分張力(テンシオメータ、深さ、5, 10, 15, 20, 25, 30cm)、水分率(熱伝導率法⁸⁾、深さ 2, 5, 10, 15cm)

の変化を測定した。実験は土壌面からの蒸発がない条件で、恒温室内で行った。実験直前の水分張力は深さ 5~25cmで pF2.8~2.9, 深さ30cmで pF2.3であった。なお、土壌の物理性は前述(表一 1の作土とA地点のデータ)したとおりである。

(2) 結果

毛管上昇浸潤による60時間後の水分到達は深さ25cm(この位置の水分張力は pF2.5まで低下)までで、作土の水分張力(深さ 5~15cm位置)と水分率(深さ 2~15cm位置)には変化が見られなかった。マリOTT給水量は、2.3~3.4mm/dであった。この結果から、地下灌漑で地下水位を心土上部(深さ32cm)まで上昇させ一定に保持しても、毛管上昇浸潤の速度が遅いため作土まで灌水できないことが確認された。

IV. 地下灌漑時の水移動

1. 地下灌漑試験の概要

(1) 方法

1989年と1990年の麦作付け時に次のような地下灌漑試験を行った。1次, 2次の両暗渠の水甲を閉じ, 2次暗渠に日中のみ1~2日間給水して地下灌漑を行い, その後直ちに水甲を開放(1989年は両暗渠, 1990年は2次暗渠のみ)して暗渠排水を行った。2次暗渠への給水は、図一 1のように用水路から給水管を通じて自然流下で行った。給水管は φ10cmの塩ビパイプで、既設の2次暗渠の各吸水管先端と接続して埋設(両端は地上に立ち上げ)したものである。給水時は用水路にせき板をはめ、用水路水位を田面上43cmまで上げた。

観測項目は、給水量(1989年はパーシャル・フリューム, 1990年は電磁流量計で測定)、排水量(パーシャル・フリューム)、地下水位(測水管)、水分張力(テンシオメータ)、および蒸発散量(1990年のみ、熱収支法)であり、観測位置を図一 1に示す。

測水管は、φ15cm, 深さ 1mのオーガ孔に φ 3cmの塩

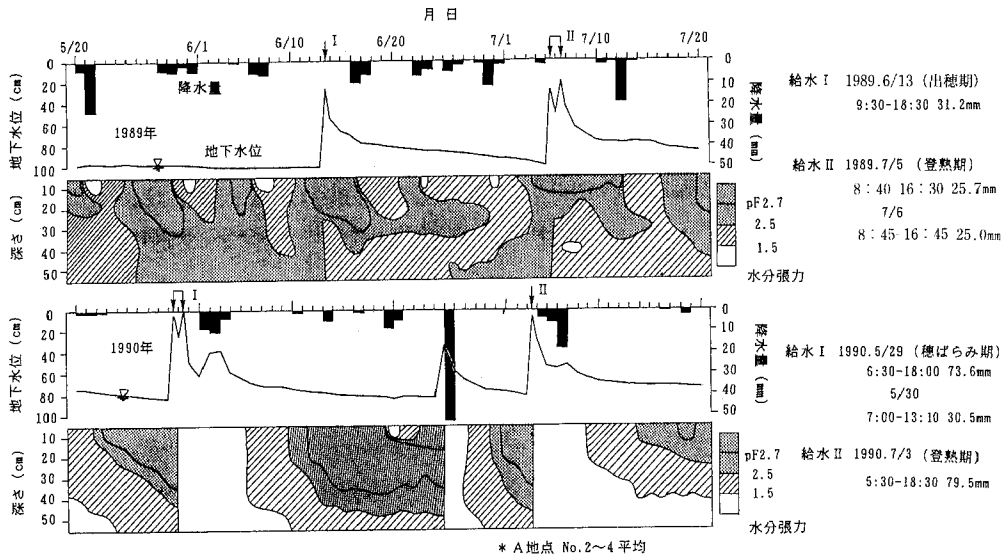


図-4 麦生育後半の地下水位と水分張力の推移 (1989年, 1990年)
Changes of the groundwater level and the soil moisture suction during the latter growing of wheat (1989, 1990)

ビパイプ (下部60cmが有孔) を立て、底から深さ40cmまで砂利を充填後、掘削土を埋め戻した構造で、A, B, C地点の各測点 (No.1~7) に設置した。測点は2次暗渠近傍 (暗渠モミガラ部と測水管砂利部の間は約5cm) および2次暗渠間 (2次暗渠から1m, 3m, 5mの位置) である。なお、各測点は1次暗渠からは5m、給水管からは4m離れている。測水管に現れた水位を便宜上、地下水位と表現し、田面 (標高は各測点ともほぼ同じ) からの深さで示す。

テンシオメータは測水管と同じ測点 (1990年はNo.1と7を除く) に設置した。設置深は、1989年がNo.1~4で10, 20cm (A地点はさらに30, 40, 50cm), No.5~7で10cm, 1990年が各測点 (A~C地点のNo.2~6) とも10, 20, 30, 40, 50, 70cmである。

1990年の試験では、弾丸暗渠施工 (1989年8月) および隣接のハウス地への漏水対策 (1990年5月) を行った。弾丸暗渠施工 (φ5cm, 無材, 深さ35cm) は2次暗渠埋設以来初めてであり、2.5m間隔で長辺方向 (測点近くでは各測点から1mの位置) に行った。また、漏水対策として、隣接のハウス地への横方向の漏水防止を目的に、試験圃場とハウス地の境界の畦畔の内側 (図-1参照、深さ40cmから1m以深まで砂層あり) にビニールシートを深さ70cmまで埋設した。

(2) 結果の概要

1989年と1990年の麦生育後半 (幼穂形成期~成熟期)

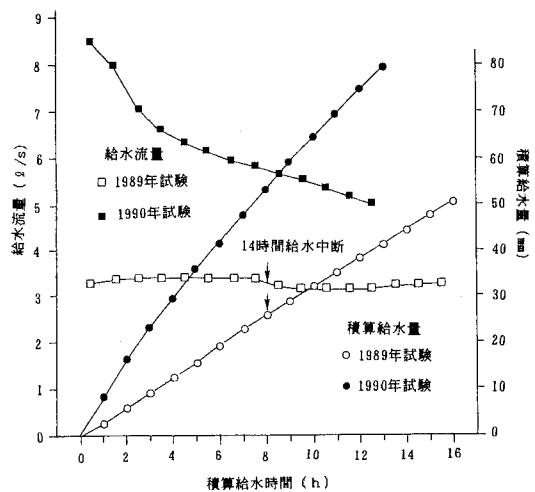
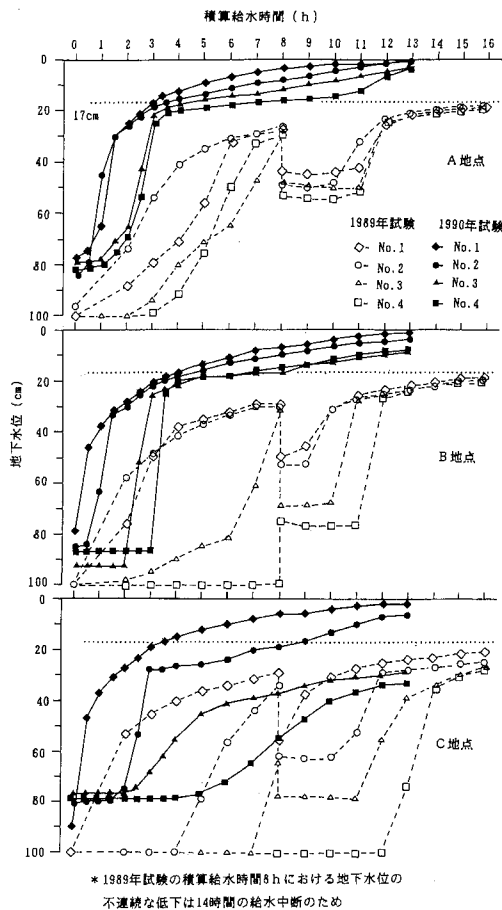


図-5 給水流量と積算給水量の変化 (1989年試験, 1990年試験)
Changes of the flowrate and cumulative volume of subirrigation water (1989test, 1990test)

の地下水位と水分張力の推移 (A地点のNo.2~4平均) を降水量とともに図-4に示す。地下灌漑試験はこの期間に各年2回行った。

1989年は地下灌漑で作土まで灌水できなかった。この



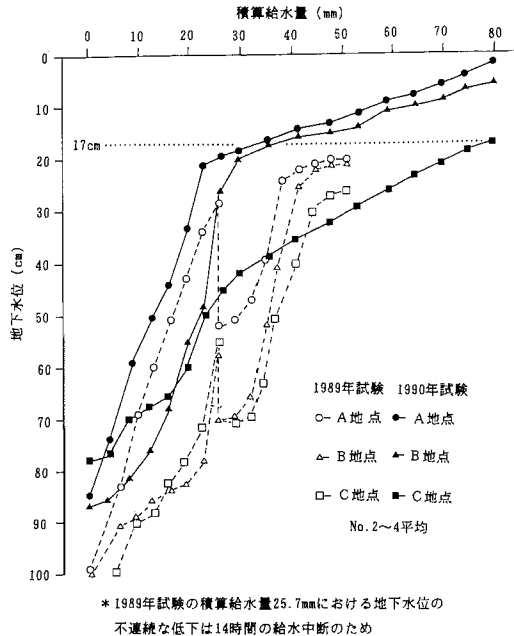
図一六 給水時の地下水位の変化 (1989年試験, 1990年試験)
Changes of the groundwater level during subirrigation (1989test, 1990test)

ため、心土は灌漑後 pF1.5~2.5の適湿状態に保たれたが、作土は灌漑による変化はなく、降雨に対応して pF1.5~2.5の適湿状態と pF2.5以上の乾燥状態を繰り返した。

1990年は地下灌漑で作土まで灌水できた。しかし、灌漑後にすぐ降雨があったことも影響し、作土、心土とも灌漑後しばらく pF1.5以下の過湿状態が続いた。また、2回の灌漑の間は、干天が続いたため作土、心土とも pF2.5以上の乾燥状態となった。

以下、両年の2回目の地下灌漑試験をそれぞれ1989年試験, 1990年試験と呼ぶことにする。

1989年試験では、7月5日8時40分~16時30分と7月6日8時45分~16時45分に計16時間、50.7mmの給水を行い、翌日の7月7日10時10分に暗渠排水を開始した。



図一七 積算給水量と地下水位の関係(1989年試験, 1990年試験)
Relationship between cumulative water volume and the groundwater level (1989test, 1990test)

1990年試験では、7月3日5時30分~18時30分に13時間、79.5mmの給水を行い、翌日の7月4日9時30分に暗渠排水を開始した。

給水流量と積算給水量の変化を図一五に示す。1989年試験では、給水口にパーシャル・フリュームを設置(図一1参照)した影響で給水流量は小さかった。1990年試験では、これを電磁流量計に変更し、用水路から水槽を介して直接給水(図一1参照)した結果、十分な給水流量が得られ、また、給水水圧も高く保てた(水槽内の水位は田面上15~22cm)。

以下、1989年試験と1990年試験における地下水位の水分張力の測定結果の詳細を述べ、地下灌漑時の地下水位と土壌水分の動態を考察する。

2. 地下水位の動態

(1) 地下水位の測定結果

給水時の地下水位 (No.1~4) の変化を図一六に示す。2次暗渠近傍 (No.1) の地下水位の上昇は地点間に差がほとんど見られなかったが、2次暗渠間 (No.2~4) の地下水位の上昇は地点間で異なった。すなわち、2次暗渠間の地下水位は、A地点と(1990年試験の)B地点では、給水後数時間のうちに2次暗渠に近い測点から順次

急速に上昇し、2次暗渠近傍の地下水位に近づいたが、C地点では、2次暗渠から離れた測点で水位上昇がかなり遅れた。全体的に見ると地下水位は、1989年試験では上昇が遅く、深さ約20cmで頭打ちになったが、1990年試験では速く、田面近くまで上昇した。

排水直前の地下水位は、1989年試験では各地点の各測点とも深さ50cm前後、1990年試験では各地点の各測点とも深さ30cm前後であった。すなわち両年の試験とも給水停止後15~17時間で25~30cm程度の地下水位の低下が見られた。

(2) 給水・漏水条件と地下水位の上昇

積算給水量と2次暗渠間(No.2~6平均)の地下水位の関係を図一7に示す。A、B地点の地下水位が深さ20cmに達するには、1989年試験では16時間、50.7mmの給水を要したが、1990年試験では4時間、29.4mmの給水で十分であった。給水直前の土壌水分状態は、両年の試験ともほぼ同じ(深さ40cmまででほぼpF2.7以上)であったことから、この違いは給水条件と漏水条件の違いに起因したと考えられる。すなわち、1989年試験(給水流量が小さく、14時間の給水中断あり)では、給水量に対して給水時間が長かったことと漏水対策が行われていなかったことに起因して、給水量に対する漏水量の割合が大きくなり、この結果、1990年試験に比べて多くの給水量を要したと考えられる。

(3) 土壌構造と地下水位の上昇

井上⁹⁾は、亀裂の発達した粘土質転換畑では心土中の水移動のほとんど全てが亀裂等の大孔隙を通じて行われ、この時の水の流れやすさは大きな不攪乱土壌ブロックを用いた実験によると飽和透水係数にして 10^{-2} cm/sオーダーで砂と同程度であったと報告している。試験圃場の地下灌漑時も、試坑を掘ったところ亀裂の下端部から湧水を観察し、水移動が心土の亀裂を通じて行われていたことを確認した。このような水移動の状況下では、地下水位と表現した測水管内の水位は亀裂内の灌漑水の自由水面の水位を示していると考えられる(ただし、水位が亀裂の位置する深さにある時)。そこで、給水時の2次暗渠間の地下水位の変化が図一6のように地点間で異なった原因を心土の亀裂の発達の面から推察する。

A、B地点では、給水時に2時暗渠間の地下水位が急速に上昇したが、これはおそらく心土の透水性が井上の報告のように高く、灌漑水が心土中を迅速に移動したためと考えられる。なお、B地点では、1989年試験に2次暗渠から離れた測点で地下水位の上昇が遅れた。この原因は、2次暗渠近傍の水位上昇が遅かったことと亀裂が浅かったこと(図一2参照)に起因して、灌漑水の心土中での移動が遅かったためと考えられる。

C地点では、両年の試験とも2次暗渠から離れた測点で地下水位上昇の遅れが大きかった。この原因は、A、B地点に比べて、心土の亀裂の発達が不良で、(1990年試験では弾丸暗渠を施工したにもかかわらず)心土の透水性が低かったこと(推察)に起因して、灌漑水の心土中での移動が遅かったためと考えられる。なお、収穫後に水平断面上の亀裂の状況から地点間の心土の亀裂の発達の差を定量的に把握しようとしたが、各地点とも心土に注入した白色ペイントが、亀裂内にうまく浸透せず(作土を剥ぐ時に亀裂の入口を潰してしまったことが原因と考えられる。)、亀裂の位置確認ができなかったため調査できなかった。しかし、C地点は基盤整備時の切土部にあたり心土が緻密であったこと(深さ30cmの乾燥密度は、A、B、C地点それぞれ1.41、1.26、1.51g/cm³)から、A、B、C地点に比べて亀裂の発達(幅、間隔、連続性)が不良であったと推察した。

3. 土壌水分の動態

(1) 水分張力の測定結果

地下灌漑による作土の水分張力(深さ10cm位置)の変化は、地下水位の上昇に対応して両年の試験で異なった。

1989年試験では、地下水位の到達が心土上部(深さ18~28cm)までであったことに対応し、作土の水分張力(深さ10cm位置、pF2.6~2.9)は各地点の観測点とも地下灌漑による変化は見られなかった。なお、心土上部の水分張力(深さ20cm位置、pF2.6~2.9)も一部の測点を除くと同様であった。

1990年試験の給水前後の2次暗渠間の地下水位と水分張力分布を図一8に示す。1990年試験では、地下水位が田面近くまで上昇し、作土の水分張力(深さ10cm位置、pF2.8~2.9)は、C地点の2次暗渠から5mの測点(No.4)を除くと、各地点の各測点とも地下灌漑によりpF1.5以下まで低下した。A、B地点では、この水分張力の低下は、図一9に示すように、給水中に2次暗渠に近い測点から順次、地下水位が深さ10cm前後に達した時点で急速に低下するという形で見られた。C地点では、2次暗渠から3mと5mの測点(No.3と4)で、地下水位の上昇が遅れ、これに対して水分張力の低下は給水中に見られなかった。なお、A、B地点では、心土の水分張力(深さ20~40cm位置、pF2.6~2.9)は作土の水分張力に対して一部で低下が遅れた(図一8のc)。これは心土では亀裂による部分的な水移動が主体であったことが原因と考えられ、心土の土壌のマトリックス部分では水分張力の低下が遅れることを示している。

(2) 作土への灌漑水の浸透過程

地下灌漑で作土まで灌水するには1990年試験のように地下水位を作土まで上昇させる必要があることが明らか

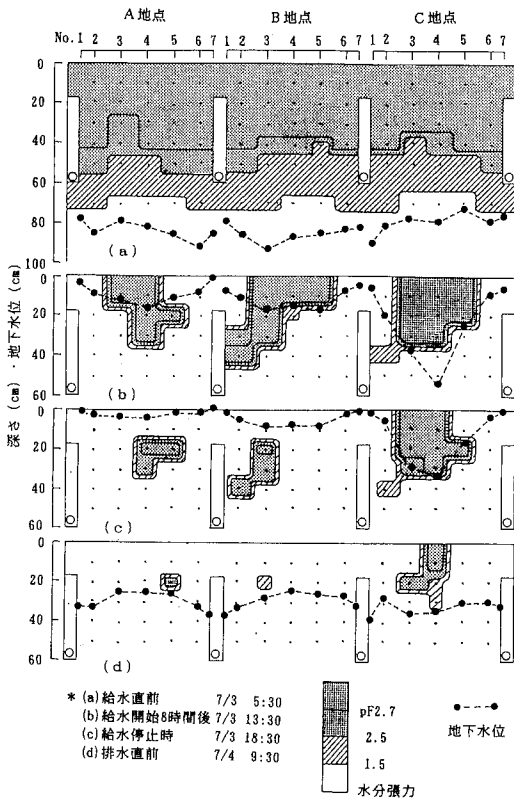


図-8 給水前後の2次暗渠間の地下水位と水分張力分布 (1990年試験)
Distributions of the groundwater level and soil moisture suction between drains before and after subirrigation (1990test)

表-2 給水量の内訳
Expenditure of subirrigation water volume

給水量 I	79.5mm		
暗渠部	7.5mm (9%)	給水管	0.3mm
貯留量 D		1次暗渠	1.1mm
		2次暗渠	5.4mm
		弾丸暗渠	0.7mm
土壌間隙	45.8mm (58%)	作土	18.3mm
内貯留量 S		心土	20.4mm
		心土亀裂	7.1mm
蒸発散量 ET	4.5mm (6%)		
漏水量 L	21.7mm (27%)	L=I-(D+S+ET)	

*1990年7月3日5:30~18:30の給水中の収支

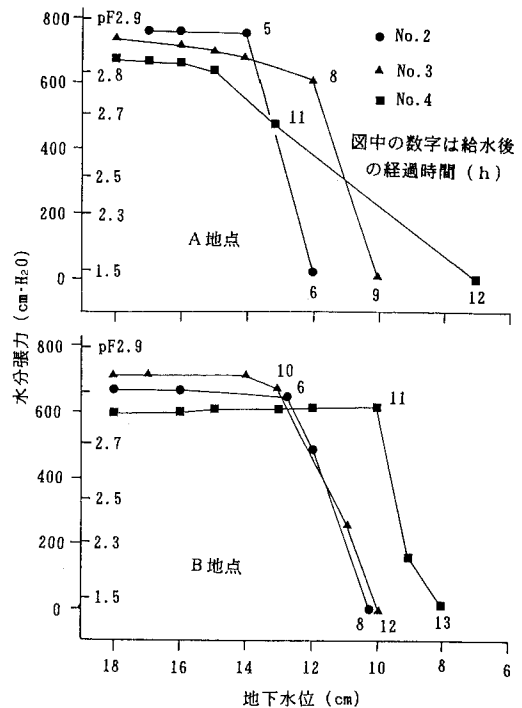


図-9 給水時の地下水位の上昇に伴う作土の水分張力 (深さ10cm) の変化 (1990年試験)
Changes of soil moisture (10cm deep) of the plowed soil following the groundwater level rise during subirrigation (1990test)

となった。これは前述の室内土壌実験で確認したように、心土内の毛管上昇浸潤の速度が遅いためである。

1990年試験における作土への灌漑は、A, B地点では、灌漑水が2次暗渠間全域の心土の亀裂を満たした(自由水面を2次暗渠間の作土直下にほぼ水平に形成)後、2次暗渠に近い側から順に心土から作土へと正圧状態で浸透(自由水面が勾配を持ちながら上昇)して達成されたと考えられる。また、C地点では、心土中での水移動が遅いため灌漑水が先行的に2次暗渠上部の作土に浸透し、この部分から作土中を主として正圧状態で横浸透して達成されたと考えられる。

2次暗渠間全域の作土へ灌水できたのはA, B地点の場合であり、心土に亀裂が良好に発達し、心土の透水性が高い土壌条件が必要であることがわかる。

(3) 給水量の収支と内訳

排水後24時間の暗渠排水量は1989年試験, 1990年試験それぞれ9.1mm(給水量の18%)と11.6mm(給水量の15%)であった。

1990年試験の給水量の内訳を表一2に示す。暗渠部貯留量は給水管、暗渠管および暗渠埋戻し部の間隙量の和で、1次暗渠の埋戻し部(土壌)の間隙率を10%、2次暗渠の埋戻し部(モミガラ)の間隙率を70%と仮定して計算した。土壌間隙内貯留量は作土、心土(深さ75cmまでを対象)の土壌マトリックス部および心土の亀裂部の水分増加量の和で、図一8の(a)~(c)の水分張力(水分率に換算)と地下水位(亀裂内水深に換算、亀裂の容積率を2%と仮定)の変化から計算した。漏水量は給水量から暗渠貯留量、土層貯留量、および蒸発散量を差し引いた値である。給水量の内訳の中で最も大きい割合を占めたのは土層貯留量で給水量の58%、次に漏水量で給水量の27%であった。

V. 地下灌漑後の排水問題

1990年試験のように作土まで灌水した場合、土層全体が過湿状態になるため、灌漑後の暗渠排水で過剰水を迅速に排除する必要がある。1990年試験では、排水後に3日間連続して降雨があったためこの排水過程を把握することができなかった。このため1990年の麦収穫後に次のような排水試験を行った。

1. 排水試験の概要

(1) 方法

地下灌漑で圃場を灌水(3cm)させた後、翌日に2次暗渠の水甲を開放して暗渠排水を行った。観測方法は地下灌漑試験と同様である。暗渠排水は1990年7月26日に開始した。降雨は排水後3日目に1.5mmあった。

(2) 結果

排水後の2次暗渠間(No.2~4平均)の地下水位と作土の水分張力(深さ10cm)の変化を図一10に示す。また、図一10には、1990年6月25日(麦登熟期)にあった52.5mmの降雨後の変化も同時に示す。地下水位は特にA地点で低下が速く、排水後、降雨後とも1日で深さ57cmまで低下した。しかし、作土の水分張力は各地点とも上昇が遅く、pF1.5以上まで上昇するのに排水後、降雨後ともに2~3日要した。

なお、排水試験の排水後24時間の暗渠排水量は23.5mm、排水後2日間の蒸発量は2.4~3.1mm/dであった。52.5mmの降雨後3日間の蒸発散量は3.5~6.1mm/dであった。

2. 地下灌漑後の排水問題

排水試験および多降雨後の観測における地下水位と水分張力の測定結果から、A地点のように地下水位の低下が速く、亀裂主体の地下排水が良好¹⁰⁾であっても、作土中の過剰水は迅速な排除されないことが明らかとなった。これは不飽和水移動が主体の内部排水が不良¹⁰⁾なためと

考えられる。

したがって、地下灌漑で作土まで灌水した場合(根群域が浅い時は必然的に作土までの灌水が必要)、灌漑後すぐ暗渠排水を行ってもしばらく過湿状態が続くため、作物の耐湿性に注意する必要がある。

VI. 麦に対する灌水効果

1. 収量調査の概要

(1) 方法

地下灌漑試験を行った1989年と1990年の試験圃場の麦の収量を一筆からの収穫量より求めた。また、比較のため対照圃場(試験圃場と同じ暗渠条件、作付け歴の圃場)と地区平均(試験圃場の属する農協管内)の収量も求めた。1990年は対照圃場を選定できなかった。

(2) 結果

収量調査の結果を表一3に示す。1989年の麦の収量は626kg/10aで、対照圃場の1.21倍、地区平均の1.77倍であった。1990年の収量は、連作の影響もあって(麦2作目、地下灌漑前から生育不良)450kg/10aと低く、地区平均と同等であった。なお、1990年の試験圃場の近くの表1作目圃場の収量は687kg/10aであった。

2. 灌水方法と灌水効果

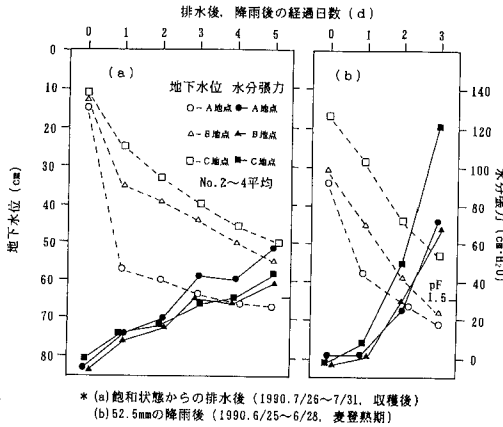
作土まで灌水した1990年は収量に灌水効果は見られなかった。この理由は一概には判断できないが、一つには、灌漑後連続的に降雨があって過湿状態が長引いたため、麦の耐湿性の面で影響が出たのではないかと考えられる。

灌水位置が心土までで、作土まで及ばなかった1989年は収量に高い灌水効果が見られた。麦の根は、量的には少ないが、心土の亀裂を通じて深層まで伸長していた。麦は、作土が乾燥状態であっても過湿状態の心土内の根を通じて適度に吸水し、水分ストレスが小さかったため適正に生育したと考えられる。収量結果のみから判断すると、麦に対しては1989年のように心土のみに灌水する方法が適していると考えられる。

VII. 地下灌漑の適用条件の検討と今後の課題

地下灌漑を適用するためには、灌漑水の深層および隣接圃場への漏水が小さく、かつ、心土に亀裂が良好に発達し、心土の透水性が高い土壌条件⁹⁾が必要であると言われている。このことは本試験でも確認された。しかし、地区内および一筆圃場内で土壌の成層状態や亀裂発達にばらつきが大きい場合、対象とする圃場がこれらの土壌条件を満たしているかどうかを判定するには難しい面がある。

試験圃場から130m離れた位置にある圃場でも小豆を対



図一〇 排水後および降雨後の地下水位と作土の水分張力(深さcm)の変化
Changes of the groundwater level and the soil moisture suction (10cm deep) of the plowed soil after drainage and after rainfall

表一三 秋播小麦の収量結果
Result of the investigation of the wheat yield

	試験圃場	対照圃場	地区平均
1989年	626kg/10 (121) [177]	518kg/10 (100)	354kg/10 (100)
1990年	450kg/10 (106)		426kg/10 (100)

* 試験圃場と対照圃場は品種はチホク, 1等級
(), []内の数値はそれぞれ対照圃場, 地区平均を基準とした収量比

象に同様の地下灌漑試験を行った。この圃場(中粒質灰色低地土)は作土直下に砂壤土~砂土の砂質土層があり、亀裂はほとんど発達していなかった。この作土直下の層が砂土であった地点では、この層を通じて灌漑水が迅速に移動し、2次暗渠間ほぼ全域の作土に灌水できたが、砂壤土であった地点では、灌漑水の移動が遅く、2次暗渠間中間部まで灌水できなかった。

試験圃場が位置するような河川近くの沖積地では、過去の河川氾濫で堆積した砂質土層が浅い位置に薄く分布している場合がある。この層の存在は、心土の亀裂深を制限し、また、灌漑水の深層および隣接圃場への漏水の原因ともなりうる。隣接圃場への漏水が予想される場合にはビニールシート等で漏水対策を行う必要があろう。また、このような砂質土層は河川との位置関係や基盤整備時の切盛りの影響で複雑に分布しているため、土壤調

査を綿密に行う必要がある。

心土の亀裂の発達は、成層状態、弾丸暗渠施工、畑利用年数、作目、排水条件、気象条件等の違いで圃場ごとに異なり¹¹⁾、また、同じ一筆圃場内でも、試験圃場のように成層状態や切盛りの影響でばらつく場合がある。このため亀裂の発達(深さ、間隔、幅、連続性)に関わる心土の透水性を綿密に調査する必要がある。試験圃場の心土の透水係数は、前述のように井上の報告データを参考にして $10^{-2} \sim 10^{-3}$ cm/s オーダであると推察した。しかし、オーガホール法($\phi 10$ cm孔に深さ20~50 cmに注水)とシリンダーインテーク法($\phi 30$ cm円筒を深さ30 cmまで打込み)により現場透水試験を行ったが、現場透水係数が10点平均 1.4×10^{-4} cm/s、ベイシックインテークレートが2点平均 2.1×10^{-4} cm/s でこのようや大きな値は得られず、心土の実際の透水性を評価することができなかった。亀裂を含めた心土の透水性の簡易な評価方法の開発が望まれる。

前述の小豆を対象に試験を行った圃場では、初期生育が対照圃場より明らかに不良であったが、作土が過乾燥になった開花期に1回作土~作土近くまで灌水しただけで対照圃場の1.3倍の収量(345 kg/10 a)が得られた。地下灌漑による最適な灌水方法は根の分布特性、吸水特性および耐湿性等の違いで対象作物によって異なる。灌水方法について作物の水分生理の面から検討する必要がある。

Ⅶ. ま と め

粘土質転換畑における地下灌漑の適用性を明らかにするため、地下灌漑の実証試験を行い、地下灌漑時の水移動の実態や麦に対する灌漑効果を調査した。地下灌漑は用水路から自然流下で暗渠に給水して行った。結果は以下のとおりであった。

①心土に亀裂が良好に発達している地点では、灌漑水はこの亀裂を通じて迅速に心土中を横方向に移動し、暗渠間全域の心土の亀裂を満たした後、暗渠に近い側から順に心土から作土へと正圧状態で浸透した。

②しかし、このように作土まで灌水した場合、灌漑後すぐ排水を行っても作土はしばらく過湿状態が続くため作物の耐湿性に注意する必要がある。麦に対する灌水方法としては、作土まで灌水せず、亀裂を通じて根が伸長している心土のみに灌水する方法が適した。

③地下灌漑を適用するためには、灌漑水の漏水が小さく、かつ、亀裂が良好に発達していて心土の透水性が高い土壌条件が必要である。しかし、対象とする圃場がこれらの条件を満たしているかどうかを判定することは難しく、この調査手法について今後検討していく必要がある。

謝 辞

本研究は北海道開発局からの依頼調査(石狩川水系広域農業開発調査)の中で行ったものである。北海道開発局の富田和正氏, 中橋 修氏, 北海道農業近代化コンサルタントの菅原敏明氏, 南部雄二氏, 深川土地改良区の相場弘之氏にお世話になりました。ここに厚く感謝の意を表します。

引用文献

- 1) 農林水産省構造改善局資源課 1990: 地下かんがいの手引, 1-126.
- 2) Wayne, D. C. and Cornelis, K. 1967: Subirrigation systems. Irrigation of Agricultural Land, Amer. Soc. Agro., USA, 905-921.
- 3) Skaggs, R. W. 1981: Water movement factors important to the design and operation of subirrigation system. TRANSACTIONS of the ASAE, 1553-1561.
- 4) Skaggs, R. W. 1982: Field evaluation of a water management simulation model. TRANSACTIONS of the ASAE, 666-674.
- 5) Hanson, B. R. and Carlton, A. B. 1985: Water and salt movement during subirrigation of organic soils of the sacramento-san joaquin delta. TRANSACTIONS of the ASAE, 815-818.
- 6) 松原利文ほか 1985: 地下灌漑時の土層中の水移動. 土壌の物理性, 52, 18-24.
- 7) 置塩康之ほか 1985: 転換畑における地下かんがい技術の開発(第1報). 兵庫県農総セ研報, 33, 9-16.
- 8) 粕淵辰昭 1987: 圃場における熱および水の移動とその測定法. 移動現象, 博友社, 83-107.
- 9) 井上久義 1989: 亀裂が発達した粘土質圃場における水移動現象のモデル化. 土壌の物理性, 59, 35-51.
- 10) 長谷川周一 1986: 転換畑土壌中の水分移動. 土壌の物理性, 53, 13-19.
- 11) 長田 昇 1979: 汎用耕地化と土壌構造. 汎用耕地化のための技術指針, 農業土木学会, 55-81.
- 12) 福本昌人 1991: 平成2年度地下かんがい調査総括報告書, 北海道開発局, 北海道農業試験場, 1-33.

(受理年月日1991年3月9日)

報 文

土壌薄片による土壌の三相分布の測定を試み

平 山 良 治

Attempt to measurement of three phases distribution of soil
by soil micromorphological method

Ryoji HIRAYAMA

National Science Museum, Tsukuba Botanical Garden

Summary

The soil sample was impregnated with the unsaturated polyester resin with 100cm³ made of metal a cylinder core for the actual-volumetric method. The sample of each metal, which did was impregnated, was cut out by using CBN cutting blade with slicing machine. A consecutive soil thin section was easily obtained. There was a very high correlation with gaseous phase ratio of the actual-volumetric method and void ratio of thin section. The gaseous phase ratio was able to be presumed from the void ratio of the soil thin section with a lot of large gravel.

Key words : soil thin section, void, three phases distribution

(Soil Phys. Cond. Plant Growth, Jpn., 64, 21-26, 1992)

I. はじめに

著者は土壌薄片を使って土壌微細形態の研究を進めてきた。最近土壌薄片の作成の依頼が学会等からくることが多い。しかし未攪乱の土壌採取を依頼しても適切な採取は望めないことが多く、運送途中の破損などの問題も起きている。粘土含量が多い土壌はまだしも砂質の土壌では適当な型枠を用意してそれで採取しなければならない。さらに金属などのように型枠の種類によっては切断できないなど作成上の問題があり、また型枠から試料を取り出すのに破損する可能性が高い。実験によっては、固化させるために液状プラスチックを入れて置く容器を試料の大きさに対応させなければならないなど問題がある。一方、土壌調査に従事する人の多くは、実容積測定用のための100cm³金属円筒による土壌採取をよく行っている。100cm³金属円筒での土壌採取を依頼すれば、依頼される方も認識が楽で運送上の問題も少ない。しかし、現在の技術では土壌薄片を作成する時にダイヤモンド切断刃を使用しているために金属円筒をそのまま切断できないでいる。

土壌三相割合の実容積測定は、一般的な土壌調査の際には非常によく使われる。土壌薄片作成依頼の時によく聞かれることは、大礫の多い土壌では100cm³金属円筒での土壌採取がうまく行かないということである。土壌調査報告書のその欄は空白になるために近似値でも求められないかという要求がある。土壌物理性測定法¹⁾には、実容積2,000cm³の金属円筒での測定法が紹介されている。しかし、大礫のたくさんあるような土壌では大きな金属円筒でも礫を避けて取ることは困難である。また、一般的にはこの様な大型の測定器を持っていることも希である。

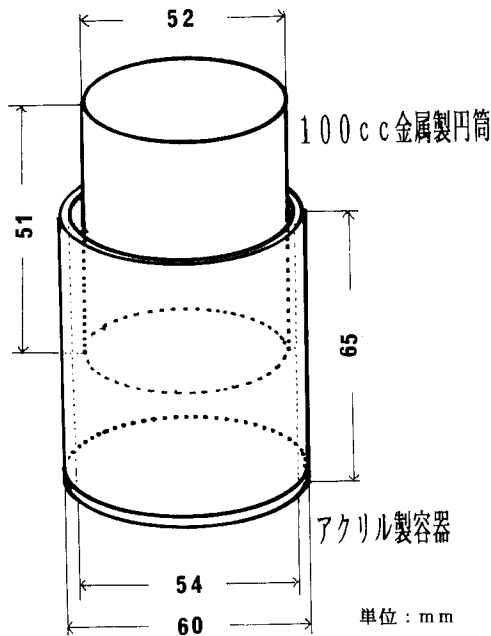
これらの問題の解決のために、金属の円筒試料ごと切断できかつ容易に土壌薄片を作る方法を考案した。さらに金属円筒試料ごと切断した土壌薄片を使って測定した孔隙率と実容積測定から得られた気相率との関係を調べた。この孔隙率と気相率との関係を利用して、100cm³金属円筒で採取困難な土壌三相分布割合の推定を大型の土壌薄片を使って行った。

II. 金属円筒を含んだままの薄片の製作法の検討

1. 実験方法

a) 土壌試料とプラスチックによる固化

実験に使用した試料は筑波実験植物園の土壌で淡色黒



図一 樹脂包埋用容器の形状
Shape of resin impregnation vessel.

ボク土である。乱さないように試料を100cm³の金属円筒に採取し、実験室に持ち帰り、図一に示す透明アクリル製容器に番号、上下位置などわかるように入れ、そのまま急冷凍乾燥にかけ乾燥した(平山³⁾)。その後、真空浸潤法で不飽和ポリエステル樹脂を注入した。使用した不飽和ポリエステル樹脂は実験の過程がよくわかるように透明性の高いポリライト TC-241(大日本インキ製)を使用した。注入後、数気圧加圧し完全固化するまで放置した(平山³⁾)。

b) 切断刃の選択

切断刃の必要条件は、ダイヤモンドが下記に述べる理由により金属を切断できないために、それ以外の切断刃で金属が切れてなおかつ土壤中に含まれる一番堅い鉱物石英が容易に切断できる能力を持つ物でなければならない。一般の金属加工用切断刃の中で、以下に述べる理由により CBN 砥石とグリーンカーボラダム (GC) 砥石とを選んだ。

CBN 砥石は、一般にはボラゾン (Borazon) と呼ばれている米国 General Electric 社製の立方晶窒化ホウ素 (Cubic boron nitride, 略称 CBN) を砥粒材として使った砥石である(旭ダイヤモンド工業⁴⁾)。これは鋼材、酸化アルミニウムならびに炭化ケイ素の研削作業に利用されている。ダイヤモンドは、耐熱性が低く空気中では

600℃以上で酸化をおこしたり、炭素と鉄の親和性が強い。そのため鋼に犯されやすい短所がある。よってアルミニウムや炭素を含む鉄類の切断には使用できない。CBN の熱に対する安定性は1,400℃である。物の堅さを示すヌーブ硬度はダイヤモンドが7,000に対し CBN は4,700で、やや低い値である。ちなみに酸化アルミナ系(A 砥粒)2,200、炭化珪素(GC 砥粒)3,000、石英788でこれらと比べると非常に堅い(竹中ら⁵⁾)。ダイヤモンドと CBN の結晶構造はともに良く似ており物理化学的特性に類似点が多い。CBN は、このようにダイヤモンドにつぐ堅さを持ち、温度に対して非常に安定しているために新しい砥粒材として近年脚光を浴び、たとえばファインセラミックスなどの加工にダイヤモンド砥石と共に利用される。金属が切断できなおかつ石英も切断できる砥粒である。しかし反面非常に高価である。

グリーンカーボラダム (GC) 砥石のヌーブ値は前述のように3,000であり、石英より非常に堅い。GC 砥石は、もともと石材、鋳鉄や銅などの研削作業に利用されており、金属が切断できなおかつ石英も切断できる。

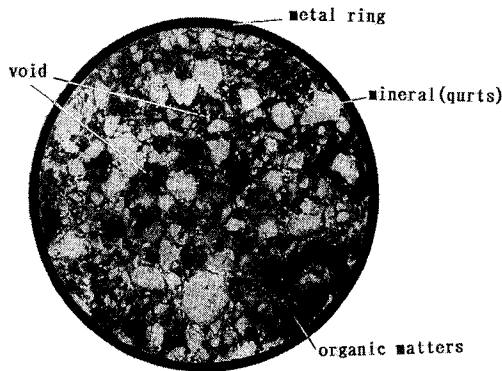
c) 切断機械

試料切断機はスライディングマシン NR-30型半自動型(日興機械製)を使用した。この機械は金属の試料薄片を切り出す金属加工機械で、試料を固定するチャック自体が回転するために切断距離は半径分で済み、水平移動距離が少ないために機械の精度がよい。実容積100cm³円筒では試料の水平送り距離が30mmである。使用できる切断刃は205×0.8×50.8mmが最大である。実験では205×0.8×50.8mmの切断刃を使用した。

2. 結果と考察

数多く作成した土壌薄片の一部について透過光で写真に拡大した一例を写真一に示した。これは花崗岩風化物に有機物を混入した人工土壌で、切りだした断面である。周囲には金属円筒が輪郭として写っている。円筒の内部は透明な石英や長石などの鉱物と黒色味の強い有機物が観察できた。この試料の有機物は完熟した腐葉土である。腐葉土は何も処理しないで乾燥させると収縮し、すき間があき、孔隙ができる。この薄片ではこの有機物の周りに孔隙がほとんどないので収縮しなかったと推定できる。

試料を固める不飽和ポリエステル樹脂はこの製品でも良いが、この実験では大日本インキ製のポリライト TC-241という透明性の高いものを使用した。以前は樹脂の浸潤が非常に難しいといわれてきたが、最近ではアセトン等の希釈液を不飽和ポリエステル樹脂と等量近くまで混合し、固化時間を長くすることで比較的簡単に浸潤できるようになった。ただし TC-241はあらかじめ希釈され



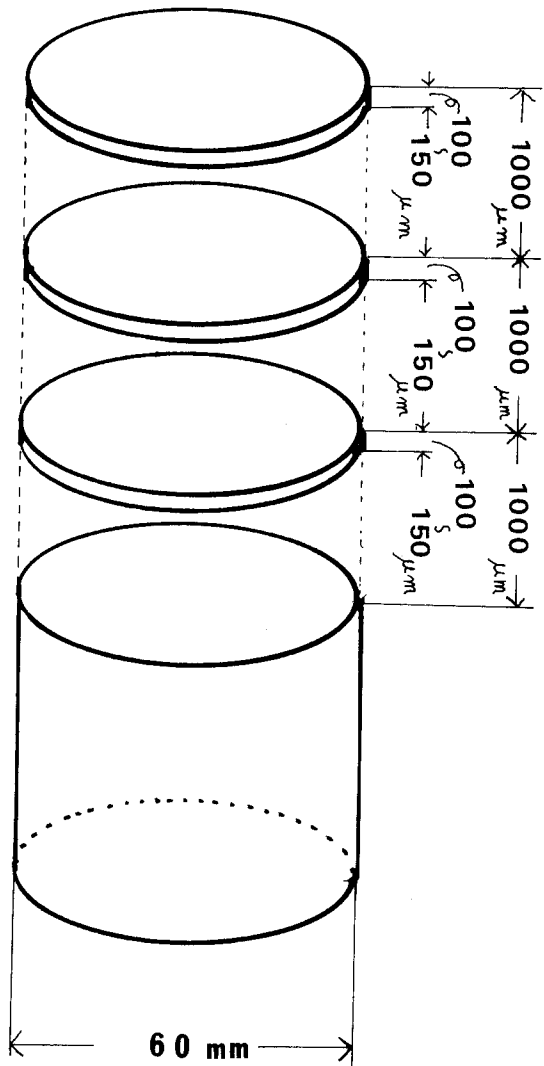
写真—1 金属試料円筒を含んだまま切断した土壌薄片
白色光，黒い金属の直径は54mm
Soil thin section which contains metal
cylinder ring. Plane light, the metal cyl-
inder ring which looks black, its diameter
are 54 millimeters.

ているため，この場合のアセトンの量は樹脂本剤の25%程度となる。この実験では，プラスチックの浸潤面が上面だけに限られているために，アセトンの量を5%上げ30%にし浸潤を助けた。さらに触媒（メチルエチルケトンパーオキシド）と促進剤（6%ナフテン酸コバルト）をプラスチックの浸潤時間を長く維持するためにそれぞれ0.1%と0.05%の低濃度にした。この調合で浸潤が成功した。できた固化物は従来の物より柔らかい。

切断は，CBN 切断刃と GC 切断刃ではどちらも遜色なく切断できた。ただし GC 砥石は，強度が非常に弱く加工中に壊れることが多かった。切断途中で刃を取り替える事は切断精度上好ましくない。よって試料切断中は壊れにくい切断刃 CBN 砥石を用いるべきである。

切断方法は，スライシングマシンのチャックに試料をとりつけ CBN 砥石で一回切断したのち，切断刃の取りしろ800 μm に対して，残す試料の厚さ100 μm ，それに切断誤差100 μm を加えた計1,000 μm を送り出し切断した。これを図—2に示した。この方法では，約100 μm の厚さの試料ができるが，これ以上薄いと安定して試料の切り出しができなかった。土壌微細形態学で使用する土壌薄片の理想的厚さは，含まれる石英の最大干渉色が灰色から淡黄色になる約30 μm である。よって，ここで得られた試料の厚さは理想より厚い事になる。

固化物は余り堅くないが，機械の精度の向上と砥石の切り込み量の設定により加工時の歪みもほとんど生じなかった。



図—2 樹脂固化物の切断方法
Method of cutting resin solidification thing.

この結果，試料チャックを連続的に繰り出すことにより，100 cm^2 円筒からは数十枚程度の連続した土壌薄片が得られる。

Ⅲ. 土壌薄片の孔隙と実容積の気相の関係

前出の実験の結果が示すように多少厚めであるが連続的に土壌薄片が金属型枠を含んだままの試料から切り出せた。

土壌薄片による物理性測定の数少ない例としては，田淵⁹⁾が土壌間ゲキを調べる方法として土壌薄片法を採用している。また田淵⁹⁾は土壌薄片のデータと限界間ゲキの

性質、通気性、透水性等を総合比較している。土壌薄片法による土壌の物理性の測定について、田淵⁸⁾も述べているように、薄片試料によるばらつきや、薄片試料作成時における乾燥収縮の土壌物質の変化等があり、観察に供するためには薄片の試料数について検討する必要がある。統計的に処理するとしても数十 μm の薄片一枚では誤差論上問題が多く、薄片の枚数を増やす必要がある。土壌薄片を使ったデータに対する他の物理化学データの比較は、同じ断面または同じ層位など近傍点で採取した別個の試料で求めたデータとの比較である。田淵⁸⁾の研究も土壌薄片のデータに対するその他の物理性の測定は別個の試料で行っている。土壌という不均質な物質の実験では、実験に供試した材料そのもので複数のデータが得られる方がデータ相互間の信頼性が高い。そのために非破壊状態で複数のデータが得られた方が望ましいが、それができない場合はなるべく復元可能な方法が望ましい。

その第一歩として、薄片の孔隙と実容積測定器による気相率の比較を行った。

1. 土壌孔隙と気相率との関係

a) 供試土壌とプラスチックでの固化

使用した土壌は、北海道の粗粒火山灰表層と下層、静岡の黄色土表層と下層、北海道重粘質土壌の表層と下層、それに関東ローム層の表層から下層まで日本各地の土壌と人工的に岩石や砂などを混合して作った土壌（以下人工土壌と称する）つまり花崗岩由来のマサ土や安山岩碎屑物と腐葉土や火山灰を混合した人工土壌の合計31点である。

100 cm^3 の金属円筒試料の実容積を直ちに測定器で測定した。測定した試料は、土壌水分を自然含水比としたまま図一に示す透明アクリル製容器に入れ、そのまま急凍凍結乾燥にかけ乾燥し（平山⁹⁾）、水分減量を測定した。前述と同様の方法で不飽和ポリエステル樹脂を浸潤させ、固化させた。

b) 薄片中の孔隙の測定

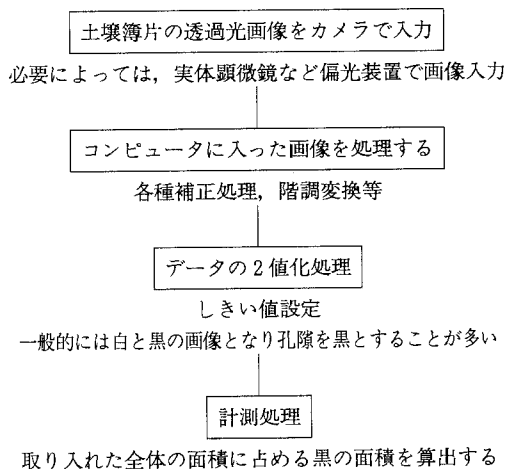
土壌薄片中の孔隙の測定は、ピラス製 LA 555型画像解析装置を使用し、作成した土壌薄片を切り出したそのままの厚さで孔隙率を測定した。

土壌微細形態学では、薄片中の未充填部分を「土壌孔隙」としている。この用語と土壌物理分野で使われる「土壌間隙」と言う用語の使用がどのような関係かはっきりしないが、ここでは土壌微細形態学上での「土壌孔隙」として取り扱う。画像解析によると薄片中の土壌孔隙の形状や分布状態など求まるが、ここでは孔隙の平面上の面積を求めた（神保、⁴⁾）。

薄片から孔隙率を求める方法は、表一に示した。薄片を実体顕微鏡の透過光でカメラ撮像し、その画像をパ

表一 画像解析処理の流れ

Flow schema of image analysis

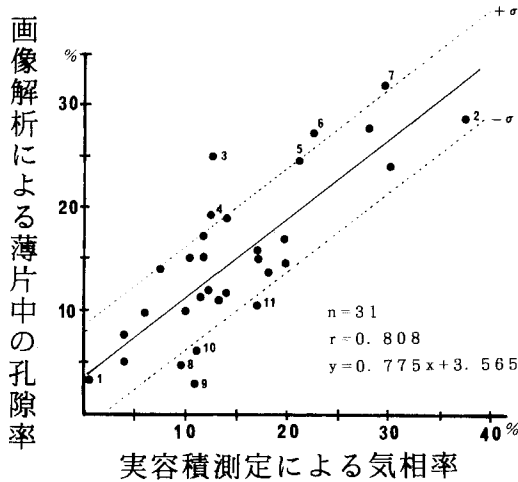


ソコンに取り込む。取り込んだ画像に各種の画像補正処理をした後、薄片中の孔隙に値する輝度値で2値化処理する。2値化処理した数値を計測すると孔隙率が得られる。

輝度値とは、真っ黒で光を通過させない場合を0とし、100%光を通過した場合を255とし、この間を255段階に区分した値である。孔隙を示す輝度値は薄片の状態によりいろいろな値を示す。これをテレビ画面と実体鏡をながめながら実際の孔隙の縁を確認して決める。たとえば孔隙は224以上の輝度値を示し、他の土壌物質はより低い値を示したとする。孔隙割合を求めるためには、孔隙の輝度値224から1を引いた値をしきい値とし、224から255までをすべて255（白色表示で孔隙部分）、223から0までを0（黒色部分で土壌物質部分）にした。このとき白と黒の画像ができるが、これを2値化処理という。取り込んで2値化した画像の内255の輝度値の割合を求めるとそれが即孔隙割合となる。一般には、得られた2値化画像は他の計測処理をするために白と黒を反転させる。

c) 結果と考察

試料が多少厚め（約100 μm ）であるから透過光でみると孔隙以外は暗い、実体顕微鏡での同時観察により孔隙の境をより正確に決定し、孔隙の輝度値を決定できた。精度的には、全視野を直径52mmで計測した場合、直径50 μm 程度の孔隙は識別可能であるが、光の透過条件により光の屈曲のノイズを拾っているのが考えられる。よって画像処理により約300 μm 以下の大きさを自動的に計測しないようにし、さらに厚さが100 μm あるので安全率を見越して500 μm の大きさ以下も計測しなかった。これは、面積では1%以下の誤差におさまっていた。1試料当たりの薄



図一三 実容積による気相率と薄片中の孔隙率との関係
Relation between gaseous phase ratio by actual volumemeter method and void ratio on thin section.

片は3～5枚で、孔隙率はその平均である。1枚の薄片中の誤差は1%以下で、薄片3～5枚間の誤差は最大5%以下であった。

これら土壌薄片から得られた孔隙率と、実容積測定による気相率の関係を図一三に示した。孔隙率と気相率は非常に高い正の相関を示した ($r=0.808$)。一例を示すと図中の1は、北海道の重粘質疑似グライ土の薄片ではほとんど水で満たされているために気相率は非常に低いが、微小な孔隙があった。図中の2は静岡の赤色土表層である、大孔隙が多く中小の孔隙はほとんどない。特定の分布パターンは、土壌型に依存することがなく、土壌の孔隙の種類や大きさによっているようである。このことを検討するには分析点数が少ない。図中の点線は、孔隙のばらつきを標準偏差 σ の幅で示したものである。この回帰直線 $+\sigma$ の線より孔隙が多く測定されたのは、花崗岩由来のマサ土、腐葉土や火山灰を混合した人工土壌(3, 5, 6)と北海道の粗粒火山灰表層(4, 7)であった。回帰直線 $-\sigma$ の線より孔隙が少なく測定されたのは、静岡の黄色土表層(9, 10)、安山岩碎屑物で作った人工土壌(8)、それに北海道重粘質土壌の微小孔隙のまったく見られない土壌(11)であった。回帰直線の $+\sigma$ の線より外では大孔隙が多くみられた。孔隙率の測定値は小さい孔隙を切り捨てているために小さな値になるはずである。孔隙の測定値が大きくなった理由は、次の二つが考えられる。一つは、実容積測定器で測定できない独立した孔隙が存在した。もう一つは、孔隙の分布が偏った試料で、孔隙の多い部位を薄片化したことが考えられる。

回帰直線 $-\sigma$ の線より外にでたものは、粒団間に孔隙はあるけれども土壌基質の中には孔隙が余りみられない土壌であった。孔隙の測定値が小さくなった理由は、次の二つが考えられる。一つは、前述の孔隙の測定値が大きくなった理由と同じく、孔隙の分布が偏った試料で、分布が少ない部位を薄片化した。もう一つは、二次元の薄片では微小な点であるが立体的に見ると非常に細長く、大きな容量を持つ孔隙である可能性が考えられる。土壌孔隙の立体的な配置なども含めもっと詳細な研究が必要である。

2. 大礫が多く存在する土壌での三相割合の推定

100cm³の円筒では、実容積が測定できない大礫混じりの土壌で大型の薄片を作成し、その孔隙率から三相割合を推定した。

a) 実験法

試料採取には、精確に切り出した直径12cm、長さ10cmの塩ビ管を使用した。土壌を採取する前に、塩ビ管の質量を測定しておき、少しずつ土壌中にこの塩ビ管を押し込み、礫が邪魔にならないように注意して土壌を採取した。続いて一回り大きいあらかじめ質量を測定したステンレスのピーカーにこの試料を入れ質量測定する。液体窒素で急冷した後前述した方法で凍結乾燥を行い、乾燥後の重量を求める。ここで容積内の全水分量が得られる。前述した方法で樹脂を注入し、固化後薄片にした。

b) 結果と考察

薄片の一部を写真一に示した。30 μ mと薄いために岩石(この写真の場合は蛇紋岩)も透明になる。よって孔隙量を画像処理で求める場合は次のように工夫した。最初は通常の白色透過光で画像をコンピュータに取り込み、次に偏光をかけた画像をコンピュータに取り込む。孔隙は白色光で白、偏光で黒になるが、岩石は、白色で白、偏光でも白くなる。よってその差を求めると孔隙を求める事ができる。この結果、孔隙率が30.5%であった。気相率は、図一三の回帰直線から求めた。それから求めた気相率は27.2%となる。固相、液相は概算式で計算すると、液相率は最初に求めた全水分量で3.9%、固相率は気相率と液相率から求め、 $100 - (27.2 + 3.9)$ で68.9%となり、おおよその推定値が求められた。

IV. おわりに

実容積測定用の100cm³金属円筒を含んだまま十数枚の薄片が簡単に得られた。実容積測定による気相率との薄片の孔隙の関係から、従来の測定とは異なった三相分布割合の推定ができるようになった。

ここで得られた薄片は100 μ mと多少厚めであるが、これ



写真—2 大きな石を含む大型の土壌薄片白色光, 横幅 80mm
Soil large thin section which contains large stone. Plane light, wide length 80 millimeters.

らをさらに研磨して約 $30\mu\text{m}$ 程度に仕上げれば, 本格的な微細形態学の連続薄片も簡単に得られる事になる。土壌薄片を作ることはとりもなおさず, 土壌微細形態学の手法である。土壌微細形態学は日本においてはあまり発展していない。しかしながら微細形態学的記載データは, 国際的なシンポジウムやワークショップなどの土壌断面データに併せて, 物理性, 化学性のデータと共に必須のデータとなっている。土壌微細形態学は, 土壌内部の組成や内部組織の変化などの観察には有効な手段である。しかし, 土壌微細形態学が余り土壌の分析法として取り入れられることが少ない理由にはいくつか考えられる。第一に土壌の物理化学分析と異なり経験が必要とする野外の断面調査の記載と類似点が多く, 見た目は一目瞭然であるが偏光顕微鏡による微細形態の観察記載が経験不足によりできない。第二に薄片の作成が困難である。第

三に微細形態学で使用する用語等が煩雑で理解が困難であるなどが考えられる。

しかしながら土壌微細形態学的観察がなくてもこの報告書のような実験には試料として使用できる。また連続した切片では, ある特定の孔隙やフィーチャー(土壌物質内の認知可能な集合体)に焦点を合わせて, これらを立体的に把握できる。さらに孔隙と粒団との関係, 粘土の移動状態や量の概算ができる。現在非常に発達してきた画像解析用コンピュータで処理すればさらに孔隙の詳細な立体画像ができる。この方法で土壌内部の孔隙の配置や内部組織の変化などの観察が目視できるようになる。

まだこの実験方法は緒についたばかりであるから今後の研究によっては新しい段階に発展できると確信する。

謝 辞

この報告をまとめるに当たり, 筑波実験植物園の矢野義治育成主幹と筑波大多田敦教授には貴重な御助言をいただいた, また(株)東電設計の村岡政行氏と(株)クレアテラ的美濃又哲男氏には人工土壌の試料を提供していただいた, 記して感謝する次第である。

引用文献

- 1) 旭ダイヤモンド工業: ASAHI BORAZON (テクニカルマニュアル), pp 1—20, 1986
- 2) 平山良治: 巨大サイズの土壌薄片の作成法について, 筑波実験植物園研究報告, 2, 47—54, 1983
- 3) 平山良治: 土壌薄片作成のための脱水法. 森林立地, 33 (1), 19—24, 1991
- 4) 神保徹: パソコンによる画像処理入門, pp 1—70, 地人書館, 東京, 1990
- 5) 田淵公子: 土壌薄片の観察による土壌間ゲキの研究—関東ロームと磐田原赤黄色土—農業土木研究, 別冊7, 21—31, 1963
- 6) 田淵俊雄, 田淵公子, 長田昇: 関東ロームの大間ゲキと透水性との関係, 農業土木研究, 別冊7, 53—60, 1963
- 7) 竹中規雄, 佐藤久弥: 研削砥石の使用法と選択(機械加工技術シリーズ1), pp 1—180, 誠文堂新光社, 東京, 1971
- 8) 土壌物理性測定委員会編: 土壌物理性測定法, 1—24, 養賢堂, 東京, 1978

(受理年月日1991年6月3日)

報 文

マサ土開畑地の圃場形態と土壌侵食特性

松本 康夫*

Soil Erosion on Differently Shaped Farm Fields of Decomposed Granite Soil

Yasuo MATSUMOTO

Faculty of Agriculture, Gifu University

Summary

Actual soil erosion and conservation practices were observed over two years on two differently shaped farm fields which had been reclaimed into two types, one had a slightly graded side, the other had two graded sides, but the same slope gradient and the same soil of decomposed granite.

The field observations showed that soil erosion occurred along the flow ends of furrows in a field and that soil loss was decreased after proper conservation practices leading the flow to a stable waterway directly. On the fields of the two graded sides type, however, furrow erosion was accelerated by ridging and so conservation practices became harder because the flow was obstructed by sedimentation and thick sod along a waterway.

Sustainable agriculture in reclaimed land of decomposed granite soil needs feasible conservation practices and stable fields easy to control soil erosion year by year. From these viewpoints, farm fields with a slightly graded side are suggested to be superior to the others.

Key words : Decomposed granite, Soil erosion, Erosion control, Farmland form, Soil loss

(Soil Phys. Cond. Plant Growth, Jpn., 64, 27-35, 1992)

I. はじめに

深層まで構造風化の進んだ花崗岩風化土（マサ土）地帯は、土壌侵食が活発で、農地保全上の特殊土壌地帯として扱われる¹⁾。特に開畑された当初に裸地状態で放置された場合、ガリ侵食によって多量な土砂が流亡して、圃場面や道路・排水路が寸断され、下流域に堆砂被害をもたらすことが多い。一方、マサ土開畑地の土壌侵食は、雨水の流下経路の形態によってその様相が一変するという特性がある²⁾。開畑地営農の永続的な維持・発展を図る上で、雨水の流下経路をほぼ決定づける圃場の形態や排水施設は、土壌保全の観点からきわめて慎重に選択しなければならない。ところが従来、このような視点から、開畑地営農の進展に伴って圃場の形態上の相違がどのような侵食現象の違いをもたらし、さらにその後の保全管理にどのような影響を与えているのか、という実態調査はほとんどみられない。本報では、圃場の形態が大きく

異なる隣接2圃地において土壌侵食の形態や保全管理の状況を2カ年にわたって追跡調査する機会を得たので、その結果を報告する。

表-1 対象圃場における表層土壌の粒度組成

圃地名	礫分 ~ 2 mm	粗砂分 ~ 0.42mm	細砂分 ~ 0.074mm	シルト・粘土分 0.074 mm 以下
A圃地	12.8	33.5	23.7	30.0
	11.9	33.9	24.5	29.7
	10.1	29.5	23.2	37.2
	9.0	30.1	22.4	38.5
	10.5	28.7	26.5	34.3
平均	10.9	31.1	24.1	33.9
B圃地	11.7	30.5	24.0	33.8
	11.7	27.6	23.8	36.9
	10.7	27.3	21.3	40.7
	7.7	34.8	20.6	36.9
	10.1	27.3	23.0	39.6
平均	10.4	29.5	22.5	37.6

*岐阜大学農学部 〒501-11 岐阜市柳戸1番1

キーワード：花崗岩風化土、土壌侵食、保全管理、圃場形態、流亡土砂量

II. 対象圃場の概況と調査方法

1. 対象圃場の概況

圃場形態と土壤侵食特性の関係を調べるために、A団地とこれに隣接して開畑されたB団地を選定した。これらの団地は、ほぼ南北を軸にした原地形の尾根部を最大17~18m堀削し、谷地田を深い所で15~16m埋めて造成されたマサ土からなる改良山成畑である。表層土壤の粒度組成は、表-1のとおり両団地間で大きな違いはみられない。

A団地の造成工事は、1984年にほぼ完了し、1985年初頭から営農が開始されている。水兼道路等の舗装工事はやや遅れて同年の6月に完成している。B団地では、1985年秋にはほぼ全工事を終了し、一部の圃場では直ちに飼料作物（ヒエ、ソルゴ）が作付された。各団地における実質的な営農は、1年遅れてそれぞれ1985年、1986年の春夏作からである。

圃区は、ともに面積0.4~0.8ha、主勾配5°のほぼ一様な傾斜面から構成されている。A団地では、図-1に示

したように①~⑥圃場の中央に尾根が残され東西に集水域が分断されているのに対し、B団地では、図-2のように各圃場下部に法面があって、各圃区内には約30mおきに承水路工が設けられている。また、各団地内の道路・排水路網は、水路兼用道路（水兼道路）を主体として構成され、圃場下流端辺に沿った方向の勾配がA団地で4~5°と1~2°、B団地では、ともにほぼ3~4°である。A団地がいわゆる一辺傾斜型であるのに対し、B団地は両辺傾斜型の造成形態をとっている。

B団地に設けられた承水路工は、圃場面を約30cm掘り下げ、堀削土を下方に盛り上げて承水路内面をムシロ芝によって被覆したものである。承水路工の流末部にはコンクリートシュートが打設され、圃場からの排水が直接、水兼道路や道路側溝に導かれる。各圃場から流出した雨水は、水兼道路あるいは道路側溝（U字溝）に流入し、その後、圃場内沈砂池（図-1、図-2のT）を経て、改めて水兼道路や道路側溝に合流して流末の沈砂池（同R）に至る。

水兼道路は、やや掘り下げた、幅3mのアスファルト道路であるが、路側部を約12cm高くして排水路としての機能をもたせた浅い水路でもある。この路側に沿って洗掘されるのを防ぐために、路側を流れてきた排水が円滑に水兼道路内に入るよう、約15~20mおきに路側部を切

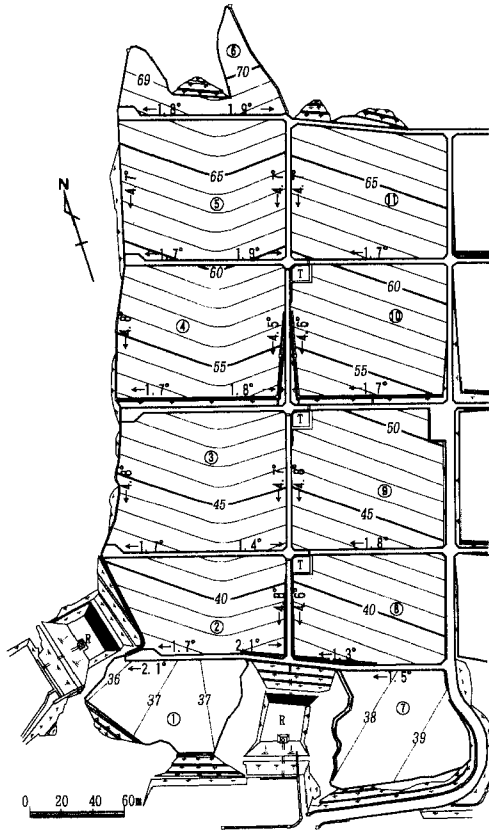


図-1 A団地の圃場形態（一辺傾斜型）

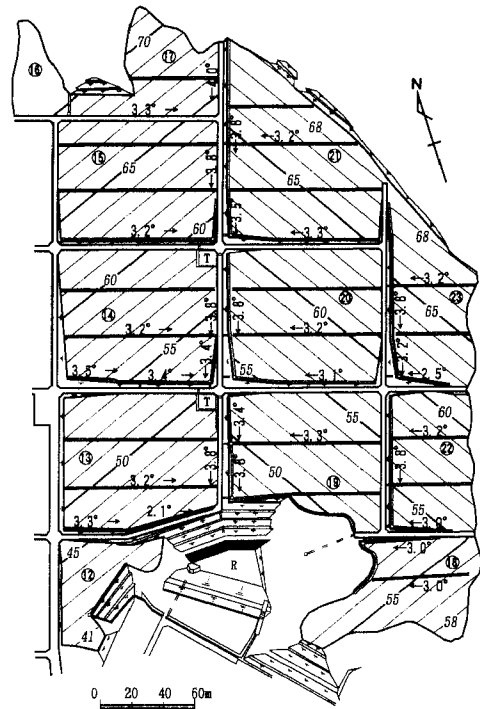


図-2 B団地の圃場形態（両辺傾斜型）

込んで空洞ブロックを積んだカットオフが設けられている。B団地の水兼道路は法面によって圃場面と隔てられているため、圃場面からの排水は法面の承水路を経て水兼道路に流入することになる。

2. 調査方法

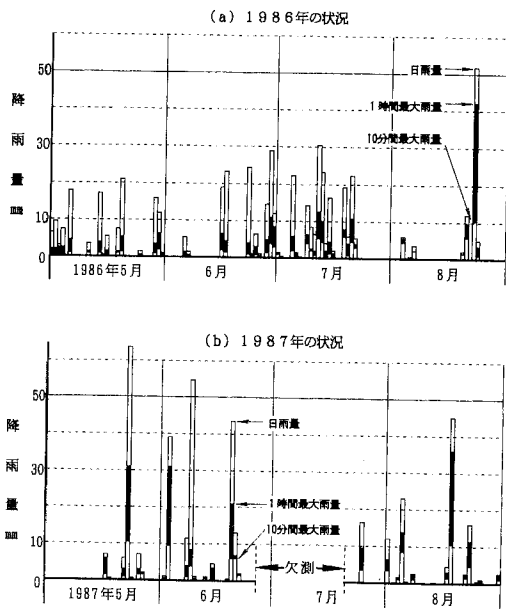
造成形態の異なる圃場で営農ならびに土地利用が進むにつれてどのような土壤侵食現象が起こるのか、その実態を把握するために、圃場面における土壤侵食や保水管理の状況と流亡土砂の経年変化を追跡することとした。調査は、1986年から1987年にかけて行い、春夏作物の収穫を間近にひかえた8月の上・中旬に集中的に行った。調査の時点で、作物が繁茂して調査できない状態にある一部圃場については、改めて9月の中旬に追跡調査を実施した。

圃場面の侵食状況を明らかにするため、各圃場の作付状況、畝立て方向、さらに畝間、畝間流末部の管理状況を観察・記録し、圃場内で発生したガリについて分布状況をスケッチした。発生したガリについては、その上下流にわたって調査し、延長を測定するとともに断面規模の変化に注意しながら、短い場合には上流部と下流部、長い場合には上、中、下流部において断面形状を実測した。

III. 調査の結果

1. 降雨状況

1986～1987年の春夏作物栽培期間中の降雨状況を図一

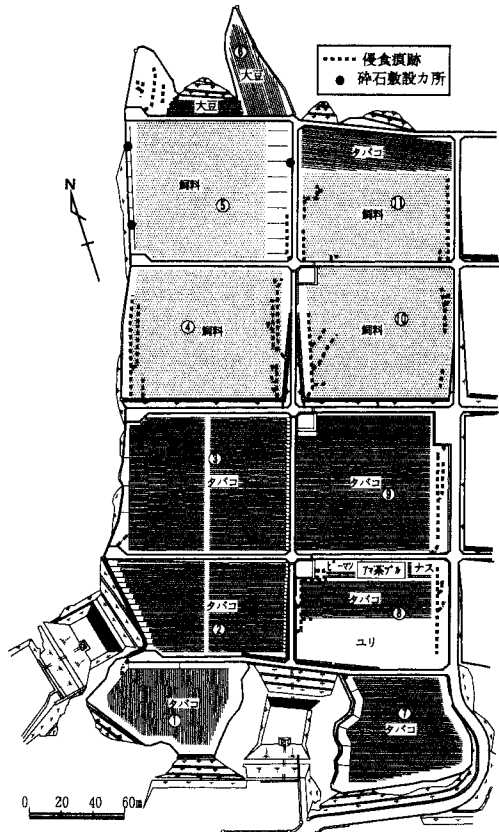


図一 3 春夏作耕培期間中の降雨状況

3(a), (b)に示した。それぞれ日雨量の分布を示し、図中には日雨量の中で観測された1時間最大雨量と10分間最大雨量を示した。日雨量と1時間最大雨量、さらに1時間最大雨量と10分間最大雨量の差がそれぞれ小さくなるにつれて、より短時間に雨が降ったことを示している。

マサ土圃場の土壤侵食はガリ侵食が優勢であり、その発生・発達の様子を時間の経過とともに追跡すると、初期にはわずかの降雨でもガリの発達がみられるが、次第に降雨履歴に左右されるようになって、ある時点からは、それまで起こった短時間降雨量を上回ったときに急激なガリ発達がみられることが多い³⁾。ガリは、次第に「降雨に対する免疫」を獲得するようになるために、時間が経過するにつれてガリ発達が遅くなる傾向がある。ガリは10mm/10分程度の降雨で急激に発達することが多い。したがって、マサ土開畑地の土壤侵食を評価する時には、長時間の総降雨量でなく、短時間、例えば10分間最大雨量の履歴に注目するのがよい。

以上のような観点から、1986年と1987年の降雨分布を比較すると、各年によって日雨量の分布および総降雨量



図一 4 A団地の土地利用と侵食状況 (1986)

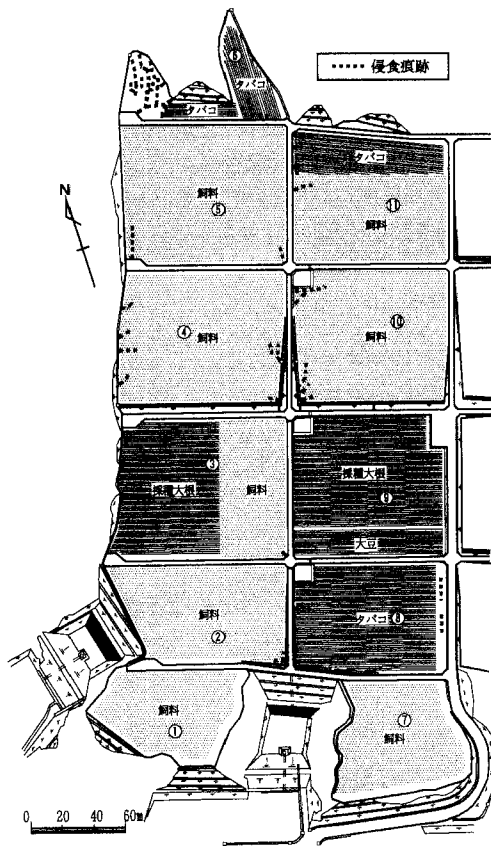


図-5 A団地の土地利用と侵食状況 (1987)

に差が認められるが、10分間最大雨量10mm以上の降雨の出現時期は、1986年の場合、8月下旬の作付終期であり、頻度は1回のみである。1987年には、降雨の欠測があるが、10分間最大雨量10mm以上の降雨は、作付初期と後期に少なくとも2回見られる。降雨履歴から判断すると、明らかに1987年の方が侵食性の高い降雨条件であったことがわかる。

2. 圃場面の土地利用と侵食状況

A団地の圃場内を踏査し観察した土地利用状況ならびにガリの発生状況は、それぞれ図-4、図-5のとおりであった。各図とも、作付状況、畦立て方向ならびに調査時の圃場面の状態、さらに観察されたガリの痕跡位置を示した。1986年ならびに1987年の侵食状況の概略を表-2に整理した。なお、各圃場で観察された一連のガリから断面の最も大きい部位のガリ幅とガリ深さを、例えば最大の断面規模が、幅50cm、深さ70cmであれば、(50/70)のように表記した。

また、対象とした各団地では春夏作物としておもにタバコとスイカ及び飼料作物(ヒエ、ソルゴ、青刈トウモ

表-2 A団地における土壌侵食と保全管理の状況

圃場No	1986年	1987年
①	侵食の痕跡はほとんどない。畝間流末に沿って排水溝。	侵食の痕跡はない。
②	尾根部に管理道挿入。南東角に承水路からガリ(40/30)波及。畝間流末は畝2~3本集めて排水溝で処理。	南東角に古いガリ(30/20)の痕跡。
③	尾根部に管理道挿入。西側排水溝に沿ってガリ(20/20)。畝間流末は畝10数本単位で集めて排水溝で処理。	飼料畑の南東角にガリ(15/12)。採種大根畑は畝毎に排水処理。
④	東西畑境界にガリ(25/40, 20/30)発生し、一部畑面に波及。	東側5条のみ傾斜方向に縦作条し承水路からガリ(50/30)波及。西側12条毎に排水溝で処理。この流末にガリ(30/18)。
⑤	前作跡地にガリ痕跡(50/40)。南東部一帯は排水不良地。西側の畑境界に沿って排水溝。3ヶ所に碎石を投入した排水溝設置。	縦作条部にガリ(20/20)。南東角に古いガリ(50/20)の痕跡。
⑥	縦畝の畝間にガリ(10/10)。横畝の流末、畑境界に沿ってガリ(10/10)西側裸地部分はガリ化(30/20)。	縦畝の畝間にガリ(20/15)。横畝の流末、畑境界に沿ってガリ(60/45)裸地部分は高密度(0.12%)でガリ(110/54)。
⑦	北西角に承水路からガリ(25/40)波及。畝間流末に沿って排水溝。	侵食の痕跡はない。
⑧	畝間流末にガリ(20/40)、上部に波及。東側裸地は支線道路から排水を受けガリ(25/30)。	畝毎に水兼道路へ排水処理。沈砂池及び余水吐法面から畝間にガリ(30/35)波及。東側裸地部にガリ(20/10)。
⑨	畝毎に水兼道路へ排水処理。東側裸地は支線道路から排水を受けガリ(50/40)。	畝毎に排水処理。
⑩	西側流末に沿ってガリ(80/90→150/100)発生し、畑面に波及。	東側5条のみ縦作条。畑面に7~8m間隔で排水溝。一部決壊部からガリ(45/12)。
⑪	餌料畑流末にガリ(25/30)。タバコ畑の畝間流末は畝間にマルチングを施し、水兼道路に排水。	飼料畑内3~4. m間隔で排水溝。一部流末にガリ(30/25)。タバコ畑畝毎に排水処理。畝間にガリ(30/12)波及。

ロコシ)が作付されており、タバコは4月の中旬および下旬に定植され、7月中旬から8月上旬にかけて収穫される。スイカは5月の初旬に定植され、8月上旬から中旬にかけて収穫される。飼料作物はスイカと同様な時期に播種、収穫されているが、前作として採種大根が作付された場合、作期はやや遅れる。

B団地は、1985年秋、開畑工事後直ちに作付された飼料(ヒエ、ソルゴ)畑を除き、1986年からはほぼ営農一作物

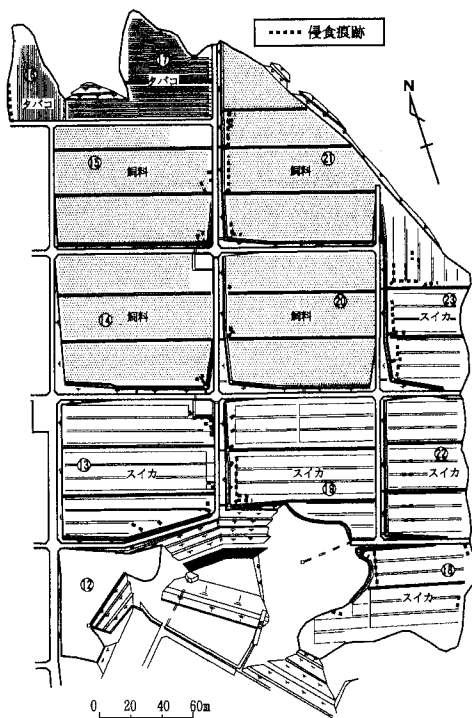


図-6 B団地の土地利用と侵食状況 (1986)

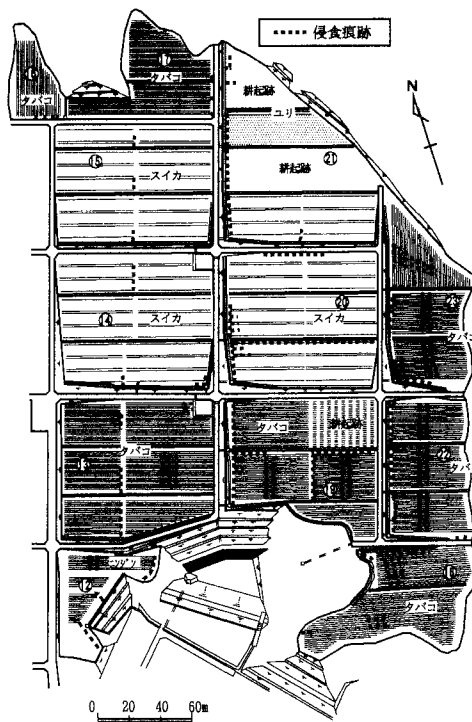


図-7 B団地の土地利用と侵食状況 (1987)

表-3(a) B団地における土壤侵食と保全管理の状況

圃場No.	1986年	1987年
⑫	一部、菅農実施試験圃。	畝間及び裸地部にガリ(20/10, 40/15)。下部のシュート側面は洗堀。
⑬	畝間流末にガリ(1:20/10, 2:15/10, 3:25/15)。1圃場南側の緩傾斜部には畝間流末に堆砂。	各圃場とも管理道に沿ってガリ(1:25/15, 2:30/25, 3:25/15)。畝間にガリ(20/20)波及。下流側は畝間に水兼道路に排水処理。3圃場は沈砂池法面からガリ(35/35)。2圃場内は畝間にガリ(20/10)。
⑭	1圃場南東角にガリ(25/10)。3圃場裸地部にガリ(20/10)。草生繁茂し土砂止め効果大。	1圃場は管理道に沿ってガリ(30/12)発生し、畝間に波及。この流末、承水路沿いにガリ(15/10)。3圃場でも管理道沿いにガリ(15/5)。
⑮	1, 2圃場の排水集中部にガリ(1:40/20, 2:25/20)。3圃場の一部は堆肥置き場。	各圃場とも管理道に沿って下流部にガリ(1:25/40, 2:25/10, 3:20/15)承水路流入部に堆砂。1圃場東側で承水路からガリ(15/6)波及。2, 3圃場東側は畝毎に排水処理。
⑯	山際ディッチ内にガリ(25/25)発生し、水兼道路に堆砂。	畝間流末から畝間に向かってガリ(30/15)波及。

表-3(b) B団地における土壤侵食と保全管理の状況

圃場No.	1986年	1987年
⑰	畝2~3本毎に集めて排水溝で水兼道路へ処理。	畝毎に排水処理。1圃場の1部畝間流末にガリ(15/10)。境界法面の法尻にガリ(30/25)。
⑱	周囲の管理道にガリ(25/15)。下部素堀排水路では排水停滞、堆砂。排水は林内放流。2圃場の畝間流末沿いに藁マルチングがあるが、ガリ(15/15, 30/10)と堆砂が交互に発生し、一部畝間に波及。	畝毎に排水処理。1圃場では素堀排水路からガリ(18/46)波及。2圃場の流末にガリ(20/10)。各圃場内には畝間にガリ(1:20/10, 2:10/3)。
⑲	1圃場の畝間流末にガリ(40/20)、一部草生沿いに堆砂。2圃場の畝間流末に沿ってガリ(40/20)。3圃場は上端から50mの位置に幅2mの管理道、これに沿って上部圃場の排水をφ50mmの塩ビ管を埋設し、承水路に導入。流末草生部に堆砂。圃場内は畝間にガリ(10/15)と堆砂が交互発生。西側畝間流末に沿ってガリ(20/20)と堆砂が交互に発生。	1, 2圃場内には畝間にガリ(10/5)。2圃場の管理道に沿ってガリ(40/30)発生し、畝間にガリ(10/10)波及西側の法肩承水路に沿って畝間流末からガリ(30/30)、畝間に波及。3圃場西側の承水路に沿っても同様のガリ(30-20)。

表-3(c) B 団地における土壌侵食と保全管理の状況

圃場No	1986年	1987年
㉔	2, 3 圃場の排水集中部にガリ (2 : 45/30, 3 : 25/20)。1 圃場の排水集中部は草生繁茂し、角型鋼管で排水。下部法面に崩壊復旧工事跡。	1 圃場の畝間流末に沿ってガリ (40/10) 発生し、畝間に波及 (20/15)。2 圃場の畝間流末に沿ってもガリ (50/30)、ガリ内部に土のう積み。畝間に波及 (20/10)。3 圃場の水兼道路に沿ってガリ (30/20)。
㉕	各圃場とも法肩の承水路に沿ってガリ (1 : 30/30, 2 : 40/15, 3 : 30/50, 4 : 40/10)。3 圃場では畑面に波及。ガリの流末は草生による堆砂。	各圃場とも畝間流末に沿ってガリ (1 : 40/20, 2 : 30/5, 3 : 20/5, 4 : 10/10) 1 圃場南側中央のシュートは側面洗堀。
㉖	畝毎に排水処理。管理道にガリ (10/5)。	各圃場とも畝間流末に沿ってガリ (1 : 30/15, 2 : 40/10, 3 : 50/16)、畝間に波及。圃場内には畝間にガリ (20/5)。3 圃場では堆砂 (20cm) による承水路への流入阻害。
㉗	1, 2 圃場とも畝間流末の管理道に沿ってガリ (1 : 15/10, 2 : 20/15) と堆砂が交互に発生し、畝間に波及 (1 : 15/15, 2 : 15/10)。ガリは途中でショートカットされ、承水路に連絡。この流末は草生による堆砂。3 圃場では急傾斜の方向に畝立され、畝間にガリ (10/20) と堆砂が交互発生。畝間流末沿いにガリ (15/20)。	各圃場とも畝間にガリ (20/10)。1, 2 圃場は畝毎に流末処理したが、ガリ (20/10) 化や堆砂が顕著。2 圃場では排水溝が決壊。3 圃場は、畝間流末に沿ってガリ (30/15)、畝間に波及 (20/10)。

にあたる。B 団地の土地利用状況ならびにガリの発生状況を図-6、図-7 に示した。それぞれの圃区は承水路工によってほぼ 3 分割されているため、耕区が集水単位になる。表-3 ((a), (b), (c)) で各圃区ごとに侵食状況の概略を整理した。各耕区はそれぞれ南側から 1, 2…の番号を付して区別した。

3. 流亡土砂量の実態と推移

圃場面の侵食実態調査の結果から、ガリ侵食に伴う流亡土砂量の推移を調べ、まず、A 団地のものを表-4 に、B 団地のものを表-5 に示した。各圃場は、全て集水域単位に分け、また圃場からの流亡土砂量が相互に比較しやすいように、単位面積あたりの流亡土砂量 (m^3/ha) を () 内に付記した。なお、A 団地においては、1985 年当初の侵食状況を詳細に調査し、既に報告している⁴⁾ので、ここでは、既報の値を引用して加えた。

流亡土砂量の計算にあたっては、ガリの痕跡について個々に実測した幅と深さから横断面積を算出し、それらを一本ごとに平均して平均断面積を求め、これに各ガリ延長を乗じて流亡土砂量とした。この方法では、ガリが

表-4 A 団地の流亡土砂量の推移 (1985~1987年)

圃場番号	流亡土砂量 (m^3)		
	1985年	1986年	1987年
①	1.8 (4)	0.13 (0.3)	— (—)
② 東	7.3 (28)	1.2 (5)	0.21 (0.8)
② 西	7.6 (22)	— (—)	— (—)
③ 東	14.9 (39)	— (—)	0.03 (0.1)
③ 西	16.5 (29)	0.32 (0.6)	— (—)
④ 東	7.8 (22)	5.9 (17)	0.52 (1)
④ 西	5.0 (10)	5.3 (10)	1.2 (2)
⑤ 東	6.3 (16)	7.4 (19)	0.81 (2)
⑤ 西	8.2 (15)	0.80 (2)	0.47 (0.9)
⑥ 東	0.5 (3)	0.16 (1)	4.1 (27)
⑥ 西	0.3 (2)	2.7 (21)	10.1 (59)
⑦	0.6 (1)	0.10 (0.2)	— (—)
⑧	27.3 (44)	9.9 (16)	0.53 (0.8)
⑨	29.3 (36)	6.8 (8)	— (—)
⑩	49.1 (64)	36.3 (47)	2.1 (3)
⑪	7.3 (9)	2.7 (3)	0.24 (0.3)
計	189.8 (25)	79.7 (10)	20.1 (3)

() 内は m^3/ha 。— は ガリなし。

埋め戻された場合は計上できないという欠点がある。一部でも痕跡の残されたものは判定できる範囲内で計算した。1986 年の結果は、8 月上旬の調査をもとに算出したものであるが、9 月の追跡調査で判明したり、変化したガリについてはその時点の値を採用した。この間に作物が収穫されて耕起・整地された圃場で新たに発生したガリは除外してある。

まず、表-4 の結果をもとに、図-4、図-5 及び表-2 の作付・侵食・管理状況を対照しながら A 団地における各圃場の土地利用や圃場形態と流亡土砂量の関係を調べてみよう。1985 年の状況は既報で述べたとおりであり、ここでは省略する。1986 年には、B 団地の完成に伴って作目ごとのブロックローテーション栽培が実施できるようになり、土地利用が単純になった。例えば、①、②、③、⑦、⑨ 圃場はほぼ全面、タバコの横畝 (1~2[°]) 栽培 (⑦ 圃場のみ斜畝)、④、⑤、⑩ 圃場はほぼ全面、飼料 (ヒエ、ソルゴ) 畑である。⑧ 圃場はタバコの横畝栽培を狭んでほぼ等高線方向に 3 分割利用された。⑩ 圃場は上部にタバコの横畝栽培を含む飼料 (ヒエ、ソルゴ) 畑である。表-4 と図-4 及び表-2 を対照すると、畝間の排水を水兼道路に導くような流末処理の管理が徹底したタバコ栽培圃場の流亡土砂量が際だって少ないことがわかる。⑨ 圃場の約 7 m^3 (8 m^3/ha) の土砂は全て東側の裸地から流亡したものであるから、これを除くと多くても約 1 m^3 (5 m^3/ha) で大半は、0.6 m^3/ha 以下である。こ

表一 5 B団地の流亡土砂量の推移 (1986~1987年)

圃場番号	流亡土砂量 (m ³)	
	1986年	1987年
⑫	— (—)	1.9 (7)
1	0.25 (1)	2.5 (13)
⑬ 2	0.05 (0.2)	3.8 (13)
3	0.37 (1)	3.0 (11)
1	0.05 (0.2)	0.28 (1)
⑭ 2	— (—)	— (—)
3	0.11 (0.5)	0.13 (0.5)
1	0.31 (1)	0.44 (2)
⑮ 2	0.60 (2)	0.18 (0.6)
3	— (—)	0.09 (0.5)
⑯	0.38 (3)	0.16 (1)
⑰ 1	— (—)	1.3 (7)
2	— (—)	0.46 (3)
⑱ 1	0.07 (0.2)	2.1 (8)
2	0.92 (6)	3.3 (17)
1	0.40 (4)	2.6 (24)
⑲ 2	2.4 (7)	7.8 (24)
3	0.47 (2)	2.0 (7)
1	— (—)	1.8 (6)
⑳ 2	0.48 (2)	2.8 (11)
3	0.15 (0.7)	2.7 (11)
1	1.1 (4)	1.5 (5)
2	0.74 (2)	0.23 (0.8)
㉑ 3	1.7 (11)	0.15 (0.7)
4	0.25 (2)	0.13 (0.9)
1	0.08 (0.6)	9.9 (71)
㉒ 2	0.08 (0.6)	10.4 (70)
3	— (—)	8.0 (57)
1	0.62 (4)	10.8 (63)
㉓ 2	0.59 (5)	12.8 (85)
3	0.58 (3)	14.8 (71)
計	12.8 (2)	108.0 (15)

()内は m³/ha。—は かりなし。

の事実、畑面を細分して利用しなくても畝間の流末処理を徹底すると、やや傾斜をもった横畝栽培がきわめて保全効果の高い方式であることを実証している。

ほぼ等高線方向に分割利用された圃場では、畝間の流末部に裸地を残し、適切な排水溝を設けていない⑧圃場で約10m³ (16m³/ha)であり、東側裸地のものを除くと約4m³ (8m³/ha)である。⑩圃場では、表一2に示したようにタバコ畑の畝間流末が円滑に処理されたため、3m³/haになった。

これらに対して、⑤圃場を除く圃区全面利用された飼料畑では、④圃場で5~6m³ (10~17m³/ha)であり、タバコ畑であった1985年とほぼ同じである。⑩圃場においては、1986年8月初旬に約18m³ (24m³/ha)であったものが、9月初頭には約36m³ (47m³/ha)、11月下旬、約40m³

(52m³/ha)まで増加した。昨年比べてわずかに減少したものの、依然として流亡土砂量の際だって多い圃場であることがわかる。

1987年になると、⑥圃場のように一部が裸地状態で放置され、一部でタバコの縦畝栽培が行われた場合 (図一5)を除いて、どの圃場においても流亡土砂量は3m³/ha以下に大きく減少した。前年まで驚異的な流亡土砂を発生していた⑩圃場の飼料 (青刈トウモロコシ) 畑でも、圃場面に高密度に排水溝が挿入され、法肩の承水路へ排水が誘導されたために2m³ (3m³/ha)に大きく減少している。

表一4からわかるように、A団地では明らかに流亡土砂量が減少する傾向を示した。草生化が進むとともに畝間排水の流末処理が徹底され、1985年の25m³/haが1986年には10m³/haに、さらに従来に増して侵食性の降雨に見舞われた1987年でも団地全体で3m³/haに減少し、年を追って1/2~1/3ずつ指数的に減少する傾向が認められる。

次に、B団地の結果 (表一5) について図一6、図一7及び表一3を対照しながら検討してみよう。まず、1986年についてみると、⑬、⑱、⑲、㉒、㉓圃場がスイカ、⑭、⑮、㉑、㉒圃場が飼料 (青刈トウモロコシ) 畑である。各圃場間で流亡土砂量の相違があまり顕著ではないが、スイカ畑の方が飼料畑よりも流亡土砂量がやや多い傾向にある。スイカ畑では、管理作業の精粗が加わってやや変動がみられるとはいえ、多いもので2.4m³ (7m³/ha)、ほぼ5m³/ha程度であろう。飼料畑では、㉑-3圃場の1.7m³ (11m³/ha)という値がみられるが、ほぼ2m³/ha程度のものが多い。飼料畑では、A団地でもみられたように圃場面での排水集中を抑止できないため、際だって流亡土砂量の多い圃場が現れる危険性をもっているが、圃場を細分化することによってA団地の場合とは反対の傾向を示すようになった。ただし、スイカ畑でも畝間の流末管理が行き届いた⑬、⑲-3、㉒圃場のように、2m³/ha以下のものが多いことも注目される。

1987年になると、両年とも飼料畑であった㉑-2、3、4圃場では流亡土砂量の減少する傾向が認められ、飼料畑からスイカ畑に変わった㉑、㉒-1圃場では流亡土砂量が約1.5~2.8m³ (5~11m³/ha)に増加するようになった。これらに対し、同じようにスイカに作付変更された⑬、⑱圃場では、畝間の流末がそれぞれ水兼道路に導かれたり、圃場が排水溝によって2分割されたため、両年度とも大差のない結果となった。一方、これらの圃場以外はすべてタバコが作付けされたが、傾斜の緩い⑩圃場や畝間の流末が水兼道路に導かれた⑰圃場を除き、いずれも約10m³/ha以上の土砂が流亡するようになった。特に、畝間の流末が承水路に至る部分の堆砂や草生の過繁茂によ

って処理しきれなくなった⑳、㉑圃場では、10~15m² (57~85m²/ha)、約70m²/haと際だって多量の土砂が流亡している。流亡土砂量の最も多い㉒圃場全体では、総量約38.4m³ (約83.5m³/ha)の土砂が流亡した。

B団地においては、1986年が開畑後、実質営農の初年度に当たり、当初においてはA団地以上に、斜面の細分利用と草生の発達によって、際だった保全効果が認められ、平均的な流亡土砂量はわずか2m³/haであった。しかし、畝間の流末が水兼道路に導けるような形態の圃場を除き、経年的に畝間の侵食や承水路の機能低下が進み、特にタバコを作付した圃場からは多量の土砂が流亡するに至った。そのため、平均的な流亡土砂量は約15m³/haに急増するようになった。

IV. 圃場形態と侵食特性

A団地では、1986年以降、一部の圃区を除いて、ほぼ圃区全面にわたって植栽されるようになり畝間の流末部は排水溝によって誘導したり、直接、水兼道路に排水を誘導するような保全作業が徹底するようになった。植生の定着に伴ってこのような作業が始めて効果的になったようである。また、緩傾斜の水兼道路と圃場面の接合部の一部では草生が安定したため、流入した流亡土砂がふり分けられ、草生部に沿って帯状の堆砂域が形成されたのを観察できた。これは土砂の流出抑制にきわめて効果的である。この反面で、圃区外から排水が流入したり、次第に排水不良地が現れるようになった所では、裸地で放置せざるを得ない部分ができ、依然としてガリ侵食を避けられない。また、A団地でみられたように、飼料畑でも裸地同様の広範なガリ侵食が発生することが多い。圃場面の排水が裸地同様に集中流下するためである。A団地の飼料畑のように圃場の内部に排水溝を設けたり、それらの流末管理を徹底する保全作業が行われるようになって始めてガリ侵食を抑制できるようになるといえる。

一方、両辺傾斜型の造成形態にあるB団地においては、畝立てが行われた場合は斜畝になり、畝自体に傾斜が加わって畝間にガリが発生しやすくなった。畝間を流下した排水も安定した排水施設に導かれなかった場合、畝間の流末部に沿って集中して流れるため、激しく蛇行するガリ侵食を誘発した。飼料畑では、排水の集まる耕区の下流端ないし角地の部分にガリが集中する傾向があった。ところが、開畑初年度には、各圃区とも承水路工によって細分され、畝間の流末も新しい承水路に直結されることが多かったため、発生したガリの規模は相対的に小さく、施工時期に恵まれて法肩承水路工の草生化が順調に

進んだため、ガリ侵食はあまり顕著に現れなかった。むしろ、部分的に草生の過繁茂によって植栽面の方が低くなり、承水路に排水の流入した痕跡がほとんど認められないような状態であった。畝間の流末を承水路に誘導した場合でも合流点付近の草生部で堆砂が認められたにすぎない。両辺傾斜型の造成形態の場合、排水は畝方向の傾斜に沿って流れ、承水路に流入しにくい構造にあるので承水路工は排水路として機能しないことが多い。また、畦立てをした場合、傾斜をもった畝が長くなり畝間にガリが発生するのを避けるため、圃場面を2分割して畝の途中で排水のショートカットを行い、それぞれの畝間流末部で排水処理を行わざるを得ない。このような管理作業として、例えば、B団地で1986年に行われた㉓-3圃場の塩ビ管による排水処理(表-3)は、畝間の排水を集め、洗堀されない管路で承水路に導いた一つの模範となる事例であるが、このような過重な管理を全圃場にわたって期待するには無理がある。また、畝間からの流亡土砂によって草生部に至る圃場面で堆砂が進むにつれて、一層、排水が承水路に流入しにくくなり、その結果、承水路の側部を流れるような事態を招く。したがって、両辺傾斜型の造成形態にある圃場では、排水の流下する経路が次第に低位部に変動することが多く、加えて流下経路に堆砂を起こす緩傾斜部がないため、ガリ侵食を助長するような側面がある。持続的な営農を維持していく上では土壌侵食を抑制する機能が次第に発現する構造を与える必要があり、両辺傾斜型の圃場はこの機能を発揮できない。営農が進むにつれて、圃場面の保水管理が次第に困難になってくる危惧があろう。

V. ま と め

今後、圃場形態の利点と欠点をさらに明確にしていく必要があるが、現状では、流亡土砂量の経年的な推移や保水管理のしやすさという側面からみてA団地のような、畝間にわずかな傾斜を与えた一辺傾斜型の圃場形態が望ましいといえる。さらに、圃区内に草生を伴った承水路工を道路と平行に緩傾斜で挿入して土地利用(畝立方向)を規制し、わずかな傾斜をもった横畝栽培を誘導するのが理想である。このような圃場形態のもとで圃場面の保水管理は、排水の集中する畝間流末部に重点をおくべきである。すなわち、畝立作物の場合、畝間の流末部、飼料畑のように畝を立てない作物の場合、圃場の内部に5~10m間隔で緩傾斜の排水溝を設け、それらの流末を排水施設に直結するような管理・保全作業が不可欠である。圃場の形態は、畝間等からの排水が最寄りの排水施設、例えば水兼道路に直結できるようにできるだけ圃場面と

排水施設との落差の少ないものが望ましい。

圃場が優れていることを実証した。

要 約

花崗岩風化土からなり、圃場の形態が異なる2団地において土壤侵食の発生形態及び保全管理の実態を2ヵ年にわたり追跡調査した。対象とした圃場は、圃場面傾斜や土壤がほぼ同じで、一方が区画の等高線方向にわずかに傾斜した形態であるのに対し、他方が、区画の側辺側と下端側、ともに同じように傾斜した形態である。

圃場内の侵食状況や保全管理の様式を調査すると、土壤侵食は排水の流末部に集中し、流末部を直接、排水施設に導くような保全管理を行った圃場では、流亡土砂量が少ないことがわかった。しかし、両辺傾斜型の圃場は、畝間の土壤侵食を助長し、さらに流末部の排水が堆砂や草生によって妨げられ排水施設に流入しにくい構造であるため、保全管理が次第に難しくなることがわかった。

マサ土開畑地で永続的な営農を推持していくためには、保全管理が容易であり、かつ土壤侵食を抑制する機能が次第に発現するような圃場の形態がふさわしく、この観点から、等高線方向にわずかの傾斜をもつ一辺傾斜型の

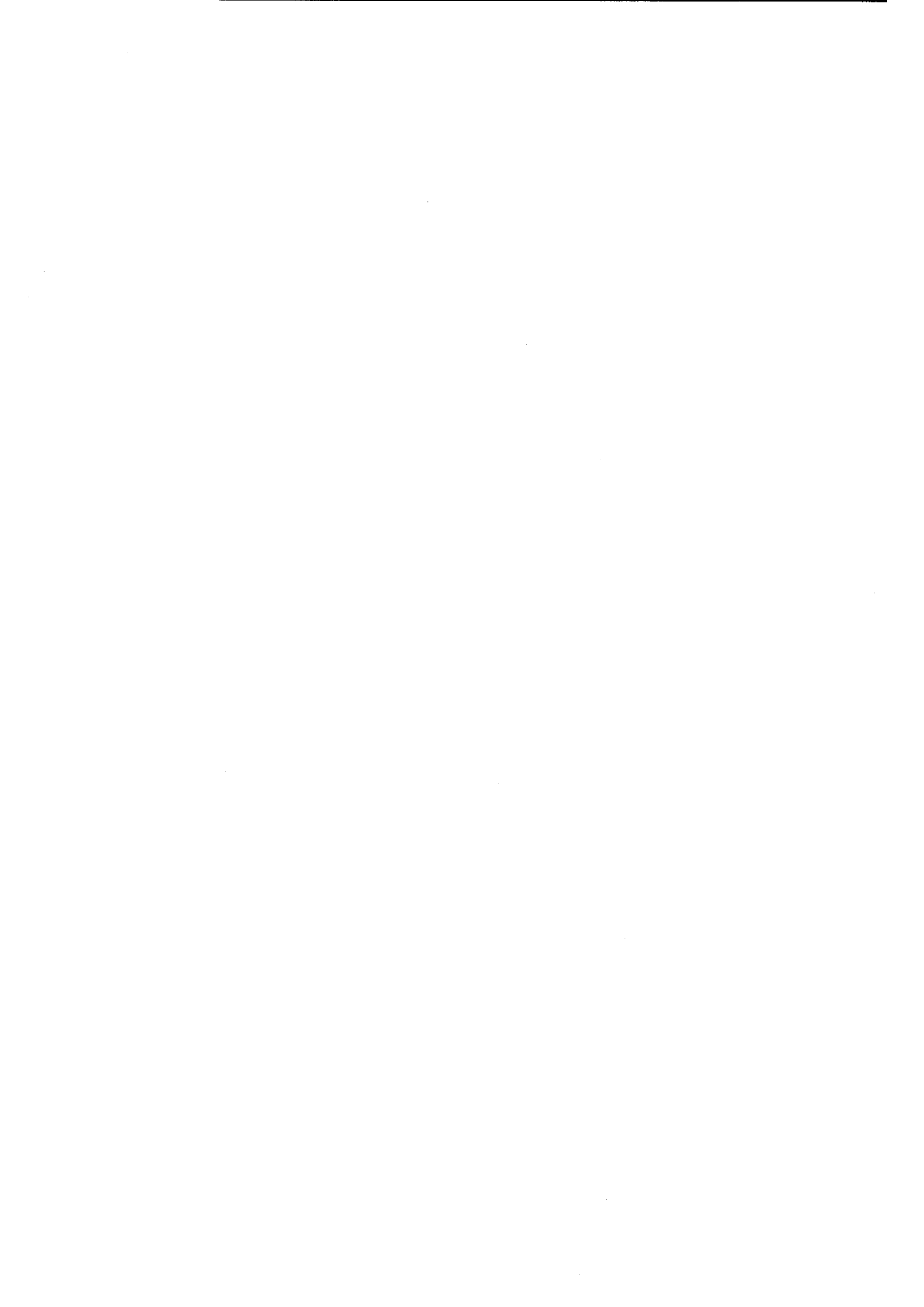
謝 辞

調査にあたり、京都大学農学部丸山利輔教授を始め開拓建設事業所関係各位ならびに畑地農業振興会の多大なご援助、ご協力を賜った。各位に対して心から感謝の意を表する。

引用文献

- 1) 前田 隆：日本の特殊土壤(その1)，農土誌，51(8)，pp. 55—58 (1983)。
- 2) 松本康夫：開発農地の保全を考える，土地改良測量設計，25，pp. 3—9 (1987)。
- 3) 松本康夫：日本の特殊土壤(その6)，農土誌，52(1)，pp. 53—59 (1984)。
- 4) 松本康夫：マサ土開畑地における営農一作後の侵食実態，土壤の物理性，56，pp. 34—40 (1988)。

(受理年月日1991年7月29日)



報 文

代掻き濁水の塩添加による凝集条件
— 代掻き濁水のカルシウム塩添加による凝集沈降浄化法(1) —

赤 江 剛 夫*

**Flocculation Condition of Puddled Suspension by Electrolyte Addition
— Clarification Method of Puddled Suspension
by Calcium Salt Addition (1) —**

Takeo AKAE

Division of Agriculture, Shiga Prefectural Junior College

Summary

The soil of the paddy field of Uso-river basin in Kotoh town, Shiga prefecture generates the very stable suspension when the paddy field is puddled. That causes a serious environment problem.

The author investigated the reason why the puddled suspension is so stable and contains so much suspended substances from the stand point of particle size distribution and dispersion-flocculation condition of the suspension. The two factors are considered to be the reasons. One is that this suspension is in a chemically dispersive condition. The other is that the soil increases clay size particles when it is mechanically disturbed.

In order to flocculate the dispersed puddled water, the chemical condition of flocculation was estimated using the hetero coagulation theory. In the calculation, the particles are supposed to be spherical, because the main clay mineral of the soil is Halloysite. The estimated flocculation condition was in good agreement with the experimental results. The Calcium ion concentration higher than 0.001mol/dm^3 was found to flocculate and clarify the suspension.

Key words : puddling, suspension, dispersion, flocculation, salt concentration, pH

(Soil Phys. Cond. Plant Growth, Jpn., 64, 37-44, 1992)

I. はじめに

滋賀県の琵琶湖に流入する河川のいくつかでは、毎年の水田の代掻き時に濁水が発生して、これが河川、琵琶湖に流出し、水系を汚濁させる問題が生じている。濁水によって運ばれる栄養塩類が湖の富栄養化に悪影響を及ぼすことに加えて、濁水が漁業資源に与える影響が心配され、大きな問題となっている。この現象は圃場整備が完了して排水系統が完備してから、以前よりも顕著になったという指摘もあり、緊急な対応を求められている。

これに対し、昭和56年の濁水発生防止対策調査開始以来、代掻き時用水量の削減と排水量の削減、浅水代掻きの励行などの用水管理、営農上の対策や、畦畔浸透の防

止工、暗渠の利用、排水路への反復利用施設の設置などの対策も講じられているが、いまだに決定的な効果は上がっておらず、さらなる検討が必要とされている。

濁水流出防止の対策としては、第1に圃場で濁水を生じさせない発生源対策、第2に圃場から排水路へ流出させない対策、第3には流出した濁水を河川に出さずに回収する対策が考えられる。発生源対策として、ポリ塩化アルミニウムや合成凝集剤を用いた凝集法がいくつか検討され、その効果も確かめられているが¹⁾、魚毒性の問題が指摘されたものもあり²⁾、実用上問題が残されている。そこで、土壌中には普遍的に存在し、量的にも多く、土壌改良などにも用いられていて安全性が高いCa塩を利用して土粒子を凝集沈降させることが可能かどうかを検討することにした。

そのために本報では、まず濁水排出水田地区の土壌でなぜ濁水発生が問題となるのか、その原因を土壌の基礎

*滋賀県立短期大学農業部 〒525 草津市西沢川2丁目8-4

キーワード：代掻き、濁水、分散、凝集、塩濃度、pH

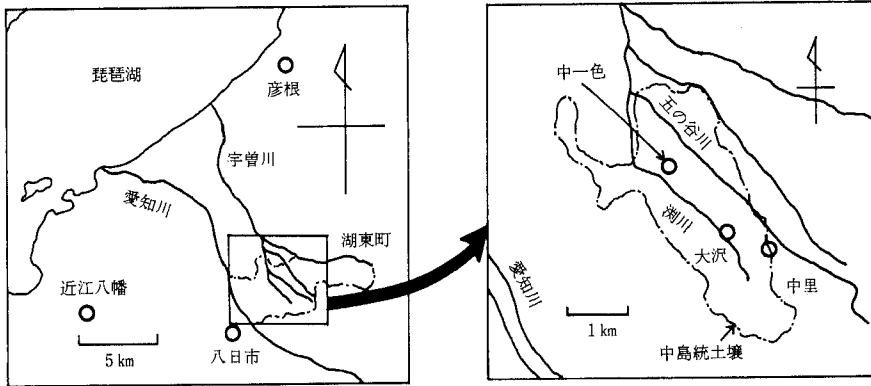


図-1 宇曾川水系と採土地点

Fig. 1 Uso-river basin and soil sampling point

表-1 土壌の基礎的性質

土 壤 名	真比重	土性	pH (H ₂ O)	陽イオン交換容量 (meq/100 g)	液性限界 (%)	塑性限界 (%)	塑性指数
短大農場土	2.515	L	6.6	—	43.0	22.5	20.5
中一色表土	2.574	LiC	6.2	11.0	48.0	25.9	22.1
大沢下層土	2.675	LiC	6.9	12.1	49.2	25.4	23.8
中里表土	2.511	L	6.5	—	46.4	23.9	22.5

的性質および土粒子の分散・凝集の観点から明らかにする。続いて、Ca 塩を添加して代掻き濁水を凝集沈降させるにはどのような条件を作り出せばよいかを、理論的に推定するとともに、凝集沈降実験で凝集が実際に生じる条件を確かめる。

II. 採土地点と土壌の基礎的性質

1. 採土地点

最近の調査結果によると、滋賀県湖東地域の宇曾川水系で濁水問題がもっとも深刻である。中でも最も排水路の濁度の高いのは、五の谷川と湖川に接する湖東町西部地域(図-1)であった³⁾。

土地分類基本調査は、五の谷川と湖川を抱くようにして、斑紋を有する強粘質な細粒質褐色低地土である中島統土壌がおおっていることを示している(図-1)。この土壌帯よりも上流山間部では濁度が低いのに、ここに入ると濁度が著しく増大することからみても、中島統土壌は濁水発生の鍵となる土壌の一つであると考えられる。採土を行った中一色と大沢はいずれも中島統土壌に属する。

当地区では約10年前に圃場整備が終わり、用排水系統

が完備している。その後濁水発生対策として反復利用施設も設置されている。

この地域の下層土は、黄褐色を呈し、強く乱されなければ速やかに沈降する土壌であるが、圃場整備工事中に著しく分散し濁水を発生した例が、聞き取り結果から分かっている。場所によっては圃場整備の中で下層土が表土に混層され、表土が下層土の影響を受けている圃場も存在する。そこで、湖川流域の大沢地先で得た下層土についても検討した。

一方、滋賀県立短大農場土では、代掻き後比較的すみやかに粒子の沈降が進み、田面水は2、3日の内に澄んで濁水の流出はほとんど生じない。濁水排水田土壌との違いを調べるために、滋賀県立短大農場土を、対照として採取した。

2. 土壌の基礎的性質

採土した土壌の真比重、陽イオン交換容量(CEC)、pH、コンシステンシーを表-1に示す。

中一色表土、大沢下層土のX線回析結果は、ハロイサイト(7 Å)を主とし、これに少量のクロライト、カオリナイト、石英が含まれていることを示した。

また、五の谷川、湖川流域に属し、中島統土壌の上流側境界に位置する湖東町中里地区の水田表土および下層

土のX線回析結果も、主要粘土鉱物はハロイサイト(7 Å)であり、これにクロライトと雲母型粘土を少量含んでいる。中里土壤は、大沢、中一色土壤と比べやや黒色が強く粗粒であるが、やはり分散して濁水が発生し、乾燥すると非常に硬く固結する共通の性質をもつ。コンシステンシー指数も互いに類似している(表-1)。中島統土壤が類似した物理的特徴をもつのは、共通の主要粘土鉱物をもつためであろう。

III. 実験方法

1. 粒度試験

土壤粒子が静的に安定した分散状態を示すには、熱運動によって沈降が妨げられるような粘土あるいはコロイド粒径が存在すること、これらの粒子間に凝集を起こすような粒子間結合が生じないことの2つが条件となる。濁水発生の一因を成す微細粒径の分布状況を知るために、試料の粒径分布を比重計法により測定した。

この際、分散処理の程度を3段階に変えて、それが粒径分布に与える影響を調べた。試料の分散法として、①分散剤を加えずに、JIS比重計法で指定された攪拌機による攪拌分散を1分間行っただけのもの、②分散剤としてよく用いられるヘキサメタリン酸ナトリウム(HMP)を加え、攪拌機による分散を1分間行ったもの、③HMPを加えて攪拌機による分散を1分間行った後、さらに超音波分散器で3分間分散させたものの3種を採用した。

現地では、奨励されている水田ハローによる1回代掻きおよび慣行のロータリーによる荒代掻きと本代掻きの2回代掻きの両方が行われている。土壤の機械的分散の程度は、代掻き法によってかなり異なる。粒度試験での分散法と代掻き法との対応は明かではないが、強い代掻きが分散を促進することはこの地域の農家にとってもよく知られた事実である。②と③の処理は、化学的な分散を受けた土壤がさらに強度の機械的分散処理を受けて最も分散した時、すなわち最も危険な条件の時に、細粒分がどの程度存在しえるか潜在的な可能性を調べるものである。

2. ゼータ電位の測定

粒子の表面電荷のpH依存性を調べるために、顕微鏡電気泳動法で粒子のゼータ電位を測定した。分散している2 μm以下の微細粒径分をとって約0.002重量%の希薄な懸濁液を作成し、NaOHまたはHClでpHを調整した。測定は20°Cの恒温室で行った。

泳動セル中の粒子の泳動速度はセル内に生じる媒質の浸透流動にも影響されるので、その影響のない上部静止

帯と下部静止帯の2点での測定の平均値を泳動速度とする方法が一般に得られている。しかし、セル内の流速分布は非対象である場合がほとんどであり、2点の平均では不十分な場合が多い。そこで、非対象の流速分布にも適用できるとされている方法⁴⁾を採用した。理論的計算から、セル中の深さと泳動速度の間には2次式が成立することが知られていて、その係数から真の泳動速度が計算できる。そこで、泳動セル中10%毎の9点の各深さにおいて粒子速度を測定した。正極性で5個、反極性で5個の計10個の粒子速度を測定し、これら10個の平均値をその深さでの泳動速度とした。各深さで測定した9点の平均泳動速度と相対深さの関係に、最小自乗法で2次関数をあてはめて係数を定め、この係数から真の泳動速度を算定した。

粒子径が拡散2重層の広がり領域に比べて大きいので、泳動速度からゼータ電位の計算にはスモルコフスキーの式を適用した。

3. 塩添加による凝集沈降実験

粘土粒径分が多くても粒子間に結合が生じれば凝集沈降させることができる。陽イオンを添加した時、粒子間結合の発生によって生じる凝集沈降の状態を観察し、凝集を生じさせるための平衡外液濃度を求めた。

1価イオン系としてNaCl、2価イオン系としてCaCl₂を計量して蒸留水に溶解し、0.0001 mol/dm³から1.0 mol/dm³の10段階の塩濃度溶液を準備した。秤量した風乾土7.5gをこれらの各種塩溶液中300ml中に懸濁させ、重量濃度約2.5%の懸濁液を作り、超音波分散器で3分間分散した。機械的分散の程度は使用機械や回数など代掻き法によって異なるのであるが、強度の代掻きによって機械的分散が促進された最も危険な場合にも有効な凝集条件を求めるために、超音波処理した試料を用いた。

300ccの懸濁液から25ccを分取し、分取した懸濁液にHCl、NaOHまたはCa(OH)₂を加えてpHを4から10ま

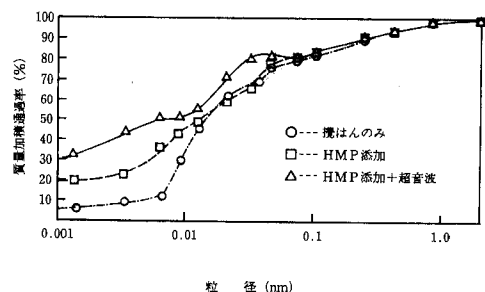


図-2a 粒径分布曲線(a)中一色土

Fig. 2a Particle size distribution. (Top soil of Na-kaissiki)

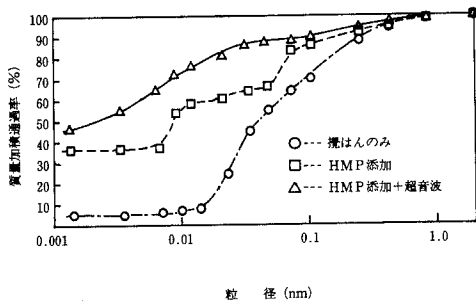


図-2b 粒径分布曲線(b)大沢下層土
Fig. 2b Particle size distribution. (Sub soil of Osawa)

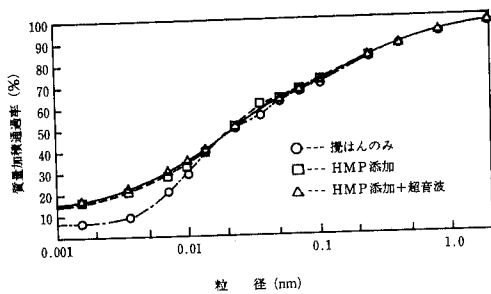


図-2c 粒径分布曲線(c)短大農場表土
Fig. 2c Particle size distribution. (Top soil of Shiga Junior College Experimental farm)

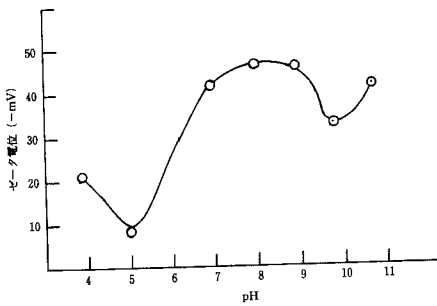


図-3 ゼータ電位のpHによる変化 (中一色表土)
Fig. 3 Dependence of Zeta potential on pH.

で変化させた。この懸濁液を試験管中に移して $20 \pm 1^\circ\text{C}$ 中の恒温室に静置し、24時間、48または72時間後の分散凝集状態を観察した。懸濁液のpHをガラス電極で、NaおよびCaイオン濃度をイオン電極または原子吸光法で測定した。



図-4 球状ハロイサイトの電顕写真(庄子貞雄氏) (文献(8)p. 177より引用)
Fig. 4 Electron micrography of Halloysite. (Cited from Yamane et al. literature 8) p. 177)

IV. 実験結果と考察

1. 粒径分布

図-2に粒径分析試験の結果を示す。

短大農場表土は、分散剤を加えると幾分細粒化するけれども、さらに超音波で機械的に強度の分散処理をすることによってほとんど変化がなかった。

中一色表土は、化学的分散剤を加え、そのうえに機械的な分散をあたえることでかなり細粒径が増大している。2 μm 以下の粘土分は、短大農場表土で約15%であるのに対し、化学的、機械的分散を受けた中一色表土では約34%も存在しており、中一色表土は濃厚な濁水が発生する可能性をもつ土壤である。現地の代掻き水中にどの程度の粘土分が存在するかは、代掻きの強度や分散機能をもつ肥料の存在とも関係するが、念入りな代掻きをすれば、土壤が分散して濁水が発生し、乾燥時には堅く固結することは経験的に知られている事実である。

下層土では分散処理の程度によって、粒径分布にもっと大きい違いが認められた。攪拌機による分散処理だけを行った場合、0.05mm以上が58%を占め、0.01mm以下は5%である。この分散法では、振とう静置後約15分にはほぼ透明の上澄みを生じた。ところが、分散剤HMPを加えると著しく分散し、2 μm 以下の粘土分が36%まで増大した。この時の粒径分布は中一色表土とほぼ同じである。これに超音波で機械的な分散を加えると粒子はさ

らに細粒化し、粘土分は46%まで増大した。この時の土性はほぼ重塩土(HC)に近い。下層土は単に弱い機械的分散を受けても粗大粒子が破壊されず、短時間で沈降することから濁水発生に関しては安全な土壌であると考えられがちである。しかし、化学的に分散条件にある時、機械的分散を受けると粗大粒子が破壊されて細粒化し、粘土分が著しく増大する可能性を持っており、潜在的には濁水の原因となり得る土壌である。

以上のように、この地区の水田土壌は表土、下層土とも、化学的に分散条件にある時、機械的な分散作用を受けると、粗大集合粒子が破壊して細粒子分が増大する特性を持っている。したがって濁水発生防止の観点からは、土壌が化学的に分散条件にあるときには、できるだけ機械的な刺激を加えないような配慮をする必要がある。

2. ゼータ電位とpHの関係

図-3に中一色表土のゼータ電位とpHの関係を示す。pH7以上では-40~-45mVの値であるが、pHが7以下になるとかなりの低下を示し、pH5で最小の-10mVとなった。このような傾向はカオリナイトの測定結果と類似しており、この土壌にpH依存性の荷電が存在することを示している。pH7以下でゼータ電位が低下するのは、粒子の全体としての負荷電量が減少していることを意味している。pH5付近で最低値を示したことから、この付近が等電点に近いと推定される。

3. 分散と凝集が生じる条件

(1) 凝集条件の理論的推定

粘土粒子間の結合の発生は、粒子表面の電位と対イオンの種類と濃度で決まる電気的反発力とファンデルワールス引力のバランスで説明される。このような考え方で粒子間結合の存在を予測でき⁶⁾。その結果は板状粒子のベントナイトの分散凝集試験の結果をよく説明することができた⁶⁾⁷⁾。こうした考え方で、分散が問題になっている中一色表土の凝集条件を推定してみる。

この地区の土壌の主要粘土鉱物であるメタハロイサイトは、1対1型であり、ケイ酸4面体層の底面を外側に向けて湾曲して重なり合い、キャベツ球状あるいは管状を呈することが電子顕微鏡観察の結果認められている(図-4)。ここでは、粒子を解析的に近似解が得られている球形と仮定して考察を進める。

ヘテロ凝集理論によると、半径 a_1 で表面電位 ψ_{s1} の球と、半径 a_2 で表面電位が ψ_{s2} である球が $2h_0$ の粒子間距離にある時、静電的相互作用のポテンシャルエネルギー $-V_R$ は、それぞれの粒子の表面電位が低く、電気2重層の厚さが粒子径に比較して小さい仮定のもとで、(1)式のように表される⁹⁾。

$$V_R = \frac{\epsilon a_1 a_2 (\psi_{s1}^2 + \psi_{s2}^2)}{4(a_1 + a_2)} \left[\frac{2\psi_{s1}\psi_{s2}}{(\psi_{s1}^2 + \psi_{s2}^2)} \right. \\ \left. \ln \left\{ \frac{1 + \exp(-2xh_0)}{1 - \exp(-2xh_0)} \right\} + \ln \{ 1 - \exp(-4xh_0) \} \right] \quad \dots\dots(1)$$

$$\text{ただし、} x^2 = 8\pi n z^2 e^2 / \epsilon k T \quad \dots\dots(2)$$

ここで n ：イオン濃度(イオン数/cm³)、 z ：イオンの価数、 e ：電子の電荷、 ϵ ：媒質の誘電定数(=80)、 k ：ボルツマン定数、 T ：絶対温度(293K)である。

また、球粒子間のファンデルワールス引力のエネルギー $-V_A$ は、粒子半径が粒子間距離に比較して大きい時、(3)式で表せる¹⁰⁾。

$$V_A = -a_1 a_2 \times A / \{(a_1 + a_2) 12h_0\} \quad \dots\dots(3)$$

ここでは、 A ：ハマカー定数は雲母の実測値である $2.2 \times 10^{-20} \text{J}$ を用いた。

したがって全相互作用エネルギー $-V$ は $V = V_R + V_A \quad \dots\dots(4)$

以上の計算には粒子表面の電位が必要である。粒子の荷電には、同型置換による永久荷電とpH依存性の荷電がある。このうち粒子の永久荷電表面間が相互作用するときの表面電位は、粒子の表面荷電密度、対イオンの種類と濃度で決まり、これは拡散2重層理論をもとに計算できる⁶⁾。一方、電位決定イオンによって決まるpH依存性荷電による電位は、次のネルンスト式で計算する。

$$\psi = 2.302 \times (kT/e) \cdot (pH - pH_0) \quad \dots\dots(5)$$

ここでpH：溶液中pH、 pH_0 ：等電点pHである。

顕微鏡電気泳動法によるゼータ電位の測定結果から、

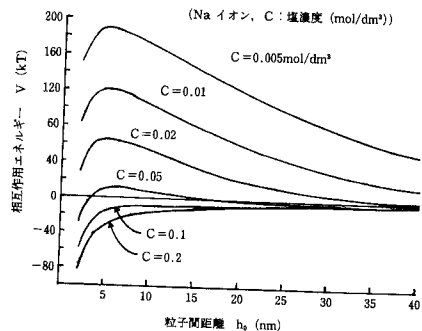
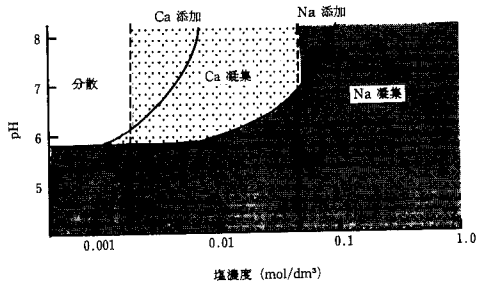
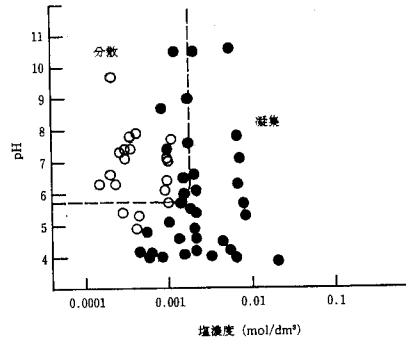


図-5 各塩濃度における相互作用エネルギーと粒子間距離(永久荷電粒子間)

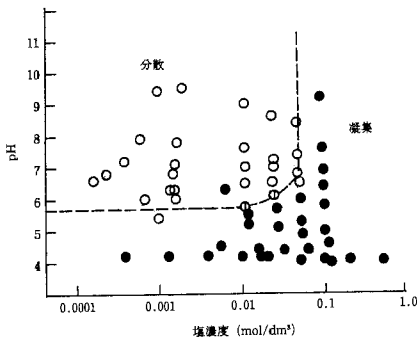
Fig. 5 Interaction energy and interparticle distance at different salt concentrations. (between permanent charges)



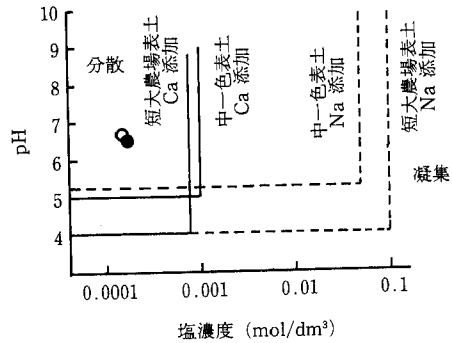
図—6 メタハロイサイトの限界凝集条件 (実線：永久荷電粒子間, 破線：永久電荷-pH依存荷電間)
 Fig. 6 Critical coagulation condition of Halloysite. (Solid line : between permanent charges. Broken line : between permanent charge and pH dependent charge)



図—7b Ca イオンを添加した中一色表土の分散凝集領域 (○：分散, ●：凝集, ⊙：緩速凝集, 破線：推定結果)
 Fig. 7b Dispersion-Flocculation condition of Nakaisiki top soil by Ca ion addition . (○ : dispersed, ● : flocculated, ⊙ : slow Flocculation, Broken line : calculated)



図—7a Na イオンを添加した中一色表土の分散凝集領域 (○：分散, ●：凝集, ⊙：緩速凝集, 破線：推定結果)
 Fig. 7a Dispersion-Flocculation condition of Nakaisiki top soil by Na ion addition . (○ : dispersed, ● : flocculated, ⊙ : slow Flocculation, Broken line : calculated)



図—8 中一色表土と短大農場表土の分散凝集領域 (実線：Ca 添加, 破線：Na 添加) 蒸留水懸濁液 ●：中一色表土 ○：短大農場表土
 Fig. 8 Dispersion-Flocculation condition of Nakaisiki top soil and Shiga J. C. Exper. farm top soil. (soild line : Ca addition Broken line : Na addition. Suspended by distilled water ● : Nakaisiki top soil. ○ : Shiga J. C. Exper. farm top soil)

中一色表土の等電点 (pH_0) は $pH 5$ に近いと考えられ、ここでの計算では $pH_0 = 5$ とした。

陽イオン交換容量は実測結果の $11.0 \text{ meq}/100 \text{ g}$ を用いた。これはハロイサイトの文献値 $5 \sim 15 \text{ me}/100 \text{ g}^{11}$, $10 \sim 40 \text{ me}/100 \text{ g}^{12}$ に一致している。粒子径や比表面積についても、粘土鉱物の種類によってほぼ決まった固有の値を取るの、実測値のないこれらの量については、文献より得た値を用いる。主要粘土鉱物であるハロイサイト粒子の比表面積として、 $60 \sim 160 \text{ m}^2/\text{g}^{12}$, 粒子径として $0.02 \mu\text{m}^{13}$, $0.05 \sim 1 \mu\text{m}^{12}$ とかなり幅をもった値が与えられているが、比表面積として $116 \text{ m}^2/\text{g}$ を、粒径には 0.02

μm^{13} を採用した。ここでの試算で採用した比表面積は報告された値の中間的な値であり、妥当な値であると考ええる。

等粒径同志 ($a_1 = a_2$) の凝集では (2), (3) 式における粒径関係項の形から分かるように、 V_A, V_R もも粒径に比例し、したがって V も粒径に比例する。このことは、急速凝集

($V=0$)の限界濃度は、粒径にかかわらず一定であることを意味し、同時に粒径が小さいほどの V の絶対値は小さく、凝集が生じ易いことを示している。これに対し、粒径が異なる粒子同志の場合は、 V は $a_1 \cdot a_2 / (a_1 + a_2)$ に比例するので、小さい方の粒子同志の値に近い値となる。したがって、凝集においては小さい粒子の存在の効果が大きいので、小粒径粒子に着目して考察すべきであらう。ハロサイトの粒径分布¹⁴⁾を考慮して、存在し得る小さい粒径に着目して検討するのが、ここでの目的にかなうと考える。

このような数値を適用して、CaとNaイオンについて塩濃度とpHを変化させた時の粒子の表面電位を計算し、粒子間の相互作用エネルギーを求めた。粒子間相互作用の種類としては、永久荷電表面同志の間の相互作用と永久荷電表面とpH依存性荷電表面間の2種類を考え、それぞれについて計算した。

拡散2重層の広がりか粒子に比べて小さく、表面電位が低い条件で線形近似を行って導かれた(1)式は、表面電位60mV以下、 $ka > 5$ の時、良い近似値を与えるときとされている¹⁵⁾。計算の中で求めた表面電位のうちでこの条件が厳密に満足されるのは、Ca系では0.005mol/l以上、Na系では0.1mol/l以上の塩濃度の場合であった。これ以下の濃度では、 V の計算に近似による誤差が含まれよう。しかし、1:1型0.01mol/l電解質濃度で表面電位がそれぞれ46.1mV、102.4mVの時の線形近似による影響を評価した例では、 V のピークの値が約6%低くなることと示されている¹⁶⁾。凝集条件での表面電位は、Caイオンで約-70mV、Naイオンで約-85mVであったことから、凝集条件を求める目的のためには、線形近似による誤差はそれぞれ大きくなく、利用に耐える程度であると考えられる。

図-5はNaイオン系の永久荷電粒子間距離と相互作用エネルギーの計算結果である。通常、ポテンシャルエネルギー曲線のピークの高さが15kT以上の時、コロイドは安定であるとされている¹⁷⁾ので、 V が15kTを越える時、この結合は存在しないものと判定する。ピークが無い場合および15kT以下の場合には、その結合が生じるものと判定する。急速凝集と緩速凝集の速度定数の比である安定度比は、近似的には V の指数関数的で増大するとされており、15kTの障壁があると、 $V=0$ の場合の $e^{-15} = 3.0 \times 10^{-7}$ 倍の速度定数となる。 $V=0$ の急速凝集が1秒で終了すると仮定すると $V=15kT$ の場合には約38日かかることになる。

図-6は、塩濃度-pH表面上のどの条件で結合が生じて凝集し、どの条件で結合が生じずに分散するかその境界となる条件を示したものである。図中の破線は永久荷

電同志の凝集限界条件を、実線はpH依存荷電と永久荷電間の限界凝集条件を表している。推定結果によると、Naイオン添加で凝集を生じさせるには、平衡外液をpH5.5以下にするかあるいは塩濃度を0.04mol/dm³以上にすればよい、Caイオンを添加した場合には、pHは同じく5.5以下であるが、塩濃度はNaよりも1オーダー小さい0.002mol/dm³以上にすれば凝集すると推定されている。

(2) 凝集試験による凝集条件の推定結果図-7は、中一色表土の凝集試験において、どのような平衡外液条件で分散または凝集沈降が観察されたかを、塩濃度-pH平面上に示したものである。図中、○印は分散沈降を生じたことを示し、●印は比較的急な凝集沈降を生じたことを示す。①印は、ほとんど凝集沈降するがわずかに分散している粒子も認められた緩速凝集状態を示している。

図-5によると分散と凝集がそれぞれ生じる領域はpH-塩濃度平面上で明確に区別して存在することが分かる。すなわち、中一色表土はNaを添加した時、pH5以下およびNa濃度0.1mol/dm³以上で凝集する。Caを添加した時は、pH5以下あるいはCa濃度0.001mol/dm³以上の領域で凝集した。図中の破線は理論的に推定した分散と凝集の境界を示したものである。推定した凝集領域は実験的に調べた凝集領域とNa、Ca添加のいずれもよく一致していると言える。したがって、ここで推定に用いた定数と考え方の枠組みは、当地区の土壌の凝集現象の説明に有効であると考えられる。

また、短大農場表土は、添加イオンがNaの場合、0.2mol/dm³以下で分散し、Ca添加では、0.002mol/dm³以下で分散した。pHについては明確な境界は中一色表土ほど認められなかったが、pH4以下の酸性で分散することはない。大沢下層土はNa添加では0.005mol/dm³以下かつpH7以上で分散した。Caを添加した時は、 10^{-6} mol/dm³の低濃度でわずかに分散が認められる程度で、ほとんどの条件で凝集した。

図-8は中一色表土と短大農場土の実測した凝集限界条件を示したものである。このように、中一色表土の分散領域が、短大農場土と比べ特に広いわけではなく、分散条件の領域そのものはほとんど変わらない。図中には、それぞれの土壌に蒸留水を加えて2.5%重量濃度懸濁液を作成した時の溶液中Ca濃度とpHをプロットしている。中一色表土懸濁液のCa濃度0.0002mol/dm³、pH6.6であり、このままでは分散条件にある。また短大農場土もほとんど同じ位置にプロットされている。したがって、現状ではいずれの土壌も分散条件にあって分散する可能性を持っている。

しかし、中一色表土には、分散処理を変えた粒度試験結果で示されたように、化学的な分散条件のもとで、機

機械的な分散作用が加わることによって微細粒子が著しく増大し、最悪の場合30%にまで達するという特徴がある。これは短大農場土には見られない中一色土壌の特徴である。現地で採取した代掻き水も蒸留水添加懸濁液とほぼ同じpH、Caイオン濃度を示したことから、中一色土壌は代掻き時には、化学的には分散条件にあることは確かである。これに代掻き作業による機械的分散が加えられて、微細粒子が増大し、濃厚で安定な濁水を発生するものと考えられる。

機械的分散をできるだけ小さくする代掻き法を採用することで、濁水の発生量を軽減することはできようが、濁水発生防止のためには、化学的な凝集条件を作り出すことがさらに根本的な方法である。それには、平衡外液のpHを低下させるかCa濃度を上昇させることが考えられる。現実には、pHを低下させることについては魚毒性や土壤養分の溶出などの問題が生じる可能性がある。したがって、Ca濃度を現在の約0.0002mol/dm³から0.001mol/dm³まで増加させる方法が安全で実用的な濁水発生防止策となろう。

V. 摘 要

滋賀県湖東町宇曾川流域の水田で発生する代掻き濁水の原因を、土壌の粒径組成と分散凝集条件から検討した。その結果、当地区では代掻き時に土壤溶液が分散を生じる条件に置かれて、これに代掻きによる機械的な分散が加わって微細粒径分が著しく増大するために、濃厚な濁水が発生するものと推定できた。粘土鉱物はハロイサイトと推定できたので、球状粒子へのテロ凝集理論を適用して凝集条件を推定した。推定結果は凝集試験で求めた凝集条件とよく一致した。Ca濃度を0.001mol/dm³以上にすれば凝集沈降による濁水の浄化が可能であることが分かった。

謝 辞

彦根県事務所土地改良課、中澤宏係長には、過去の濁水に関する調査資料を提供していただき、採土圃場の手配など便宜をはかっていただいた。滋賀県農業試験場環境部、大橋恭一係長からは、大沢下層土とその基礎的データを、(株)大林組技術研究所、川地武氏には粘土鉱物の同定結果を提供していただいた。滋賀県立短期大学学生、真本紀子さん、平野重久君、鶴田泰伸君、岩崎昌之君に

は実験に当たってご協力いただいた。記して謝意を表します。

引用文献

- 1) 滋賀県農業試験場：昭和56年度試験研究成績概要 p. 191 (1982)
- 2) 藤原公一、凝集沈澱 EB-a 145および PAC のニゴロブナ、ホンモロコおよびアユに対する毒性、滋賀県水産試験場研究報告, 99, pp. 54-59 (1987)
- 3) 滋賀県農林部：平成2年度農業排水対策事業実績書, pp. 6-8 (1991)
- 4) 森裕行・原 剛・麻生欣次郎：顕微鏡電気泳動法による鉱物粒子のゼータ電位測定、浮選, 27(4), pp. 171-178 (1980)
- 5) 赤江剛夫：粘土・水系に存在する粒子間結合様式の推定法—ベントナイト・水系の分散・凝集と流動特性(i)—, 農業土木学会論文集133, pp. 37-42 (1988)
- 6) 赤江剛夫：添加塩濃度がベントナイト・水系の分散・凝集および流動特性に及ぼす影響—ベントナイト・水系の分散・凝集と流動特性(ii)—, 農業土木学会論文集133, pp. 43-49 (1988)
- 7) 赤江剛夫：pH変化がベントナイト・水系の分散・凝集および流動特性に及ぼす影響—ベントナイト・水系の分散・凝集と流動特性(iii)—, 農業土木学会論文集133, pp. 51-56 (1988)
- 8) 山根一郎、松井健、入沢周作、岡崎正規、細野衛：図説日本の土壌, p. 177, 朝倉書店 (1978)
- 9) 北原文雄・渡辺昌編：界面電気現象, p. 73, 共立出版 (1972)
- 10) 8) と同じ: p. 81
- 11) 日本化学会編：季刊化学総説No 4, 1989, 土の化学, p. 51, 学会出版センター (1989)
- 12) 岩田進午、前田隆：土の物理化学と土質工学への応用 2. 粘土鉱物と土粒子の物理化学的性質, 土と基礎33(4), pp. 80-87 (1985)
- 13) 日本粘土学会編：粘土ハンドブック第2版, p. 132, 技報堂出版 (1987)
- 14) 須藤談話会編：土をみつめる, p. 54, 三共出版 (1986)
- 15) 8) と同じ, p. 73
- 16) 8) と同じ, pp. 71-72
- 17) 8) と同じ, p. 55

(受理年月日1991年9月4日)

報 文

代掻き濁水の凝集沈降剤の検索と施用法の検討
— 代掻き濁水のカルシウム塩添加による凝集沈降浄化法(2) —

赤 江 剛 夫*

**Selection of the Most Suitable Flocculation Aid of Puddled Water
and Test of Applying Method
— Clarification Method of Puddled Suspension
by Calcium Salt Addition (2) —**

Takeo AKAE*

*Division of Agriculture, Shiga Prefectural Junior College

Summary

In order to clarify the puddled water by sedimentation, flocculation aids were tested by the flocculation test in a laboratory. Eight flocculation aids were selected to test among the soil amendment inputs and the fertilizers which contain relatively high percentage of calcium. They are considered to be used safely, because they are not special but are frequently used in usual farming.

Among the eight flocculation aids tested, gypsum showed the most remarkable effect. The addition of 25kg/10a gypsum to the puddled water caused a rapid flocculation and clarified the water in a short time.

The way of addition was also examined. A simple mixing method, spreading the gypsum on the puddled water and stirring them slowly for a short time, resulted a successful flocculation.

Key words : paddy field, puddled water, flocculation, calcium, electrolyte concentration, gypsum

(Soil Phys. Cond. Plant Growth, Jpn., 64, 45-52, 1992)

I. はじめに

前報¹⁾では、濁水が発生して問題になっている滋賀県湖東町中一色土壌の代掻き濁水に、アルカリ塩を添加して凝集沈降させるための平衡外液の条件を理論的計算で推定し、塩化カルシウムおよび塩化ナトリウムを用いた実験で凝集条件を明らかにした。その結果、pHを5以下に下げると、あるいは平衡外液中のカルシウムイオン濃度を0.001mol/dm³以上にすれば、凝集沈降することが分かった。しかし、pHを5以下に低下させるのは作物の生育に酸性の害が生じることが懸念されるばかりでなく、農業用水の環境基準であるpH6~8.5の範囲²⁾からはずれている。したがって、実用的には平衡外液中のカルシウムイオン濃度を0.001mol/dm³以上にして凝集沈降させるのが適当であると考えられる。

代掻き濁水中のカルシウム濃度を高めるには、あらかじめ土壌自体の含むカルシウム量を増大させておき、土壌からの溶出を期待する土壌改良の考え方と、代掻き濁水に凝集剤を添加して応急的に凝集沈降させる考え方の2つがありえる。代掻きの対象となる土壌全体の改良を行えば、その効果は長期的に持続するものと期待できるが、一方で、投与するべきカルシウム量が膨大になり、その影響として現れるであろうさまざまな副次的な作用についても長期的な検討が必要になる。こうしたことから、本報告では、投下量が少なくすみ、副次的作用の心配の少ない後者の考え方で、実用的な施用法を検討することにした。

よく使用される合成凝集剤は、凝集効果は高いものの魚毒性が指摘されたものもある³⁾。そこで、まず農業上普通に使用されていて安全性の高い、カルシウムを多く含む土壌改良資材と肥料のうちから、本土壌にとって最適な凝集剤を室内実験で検索することにした。また、これを現地に適用する際には凝集剤と代掻き水を充分に混合

*滋賀県立短期大学農業部 〒525 草津市西波川2丁目8-4

キーワード：水田、代掻き水、凝集、カルシウム、塩濃度、石膏

する必要があるが、もっとも簡単な施用法である散布攪はんて期待される効果があげられるかどうかを検討した。

II. 方 法

1. 代掻き濁水の実態調査

例年濁水発生が顕著な滋賀県湖東町中一色地先の水田で、1991年4月末に代掻き濁水発生状況の実態調査を行った。調査項目は、代掻き後の経過時間と懸濁物質濃度、pH、陽イオン濃度である。

代掻き直後、代掻き終了後1日、3日、7日経過した4筆の水田の長辺方向等間隔に3ヵ所から柄杓で表面水をできるだけ乱さないように約1dm³ずつ採取し、実験室へ持ち帰って上記の項目について測定した。懸濁物質濃度は、採水した代掻き水をよく振とうとして一定量をひょう量びんに取り、炉乾後重量を測定して算定した。pHはガラス電極法で、陽イオン濃度は原子吸光法で測定した。

対照のため、滋賀短大農場の3筆の水田で、代掻き直後から1～数時間間隔で2日間、代掻き水を同様の方法

で採水した。採水した代掻き水について中一色水田と同じ方法で同様の項目の測定を行った。

表1に供試土壌の基礎的性質を示す。

2. カルシウム凝集剤の検索

検索を行ったカルシウム系土壌改良資材、カルシウムを比較的多く含む肥料の種類は計8種類、表2の通りである。このうち肥料および消石灰は農業用の市販品を用いたが、石膏および炭酸カルシウムは実験用試薬を用いている。これらの一般産業用製品は、その純度が実験用試薬よりもいくぶん劣るが、効果は実験用試薬とほとんど変わらないものと考えられる。

1 dm³の振とう容器に、中一色表土の風乾土75 gと700 mlの蒸留水を加えてよく混合し、振とう機で1時間振とうし、十分な代掻き状態を再現した。振とう終了後、蒸留水を加えて1000 mlとした。再度手で振とうした後、底面積100 cm²高さ25 cmの透明プラスチック製円筒容器に移した。懸濁液の上にそれぞれの凝集剤を0.1 g/dm³、0.25 g/dm³、0.5 g/dm³、1.0 g/dm³散布し、ガラス棒で約10秒間静かに掻き混ぜ静置した。代掻き時の水深を10 cmとすると、これらの添加量はそれぞれ10 kg/10 a、25 kg/10 a、50 kg/10 a、100 kg/10 aの散布量に相当する。実際の代掻き時水深は10 cmよりも浅い場合が多いので、実際には試験でえられた必要添加量よりやや少なくてよいであろう。

静置後1、3、6、24、48時間後に、ビニールパイプを装着した注射器で懸濁液の水面下5 cmの位置から懸濁液を10 ml採取した。このとき実験条件でこれらの時間に5 cmの位置から採取される粒径をストークス則を適用して計算すると、それぞれ、4.0、2.3、1.65、0.82、0.58 μmに相当する。採取した懸濁液を炉乾してひょう量し懸濁物質濃度を求めた。この際、土壌水中に溶解し炉乾で折出する凝集剤の量を、実測した溶解濃度を用いて差し引き、懸濁物質の濃度とした。各時間ごとに沈降状態を観察し、写真記録した。ガラス電極で懸濁液のpHを測

表-1 供試土の基礎的性質

a. 物理性		粒径組成(%)						主要	
		レキ	粗砂	細砂	シルト	粘土	土性	粘土鉄物*	
中一色	JIS	1.0	10.0	29.7	39.0	20.3	CL	MH	
	超音波処理	1.0	10.0	19.9	33.2	35.9	LiC		
短大	JIS	2.0	17.2	32.8	30.4	17.6	CL	K	

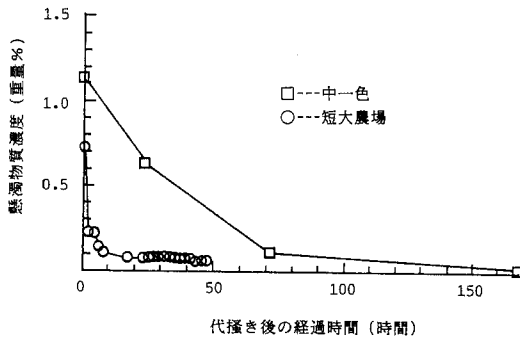
MH:メタハロサイト, K:カオリナイト

b. 化学性		交換性陽イオン(me/100 g)				CEC (me/100 g)	pH (H ₂ O)
		Ca	Mg	K	Na		
中一色		6.1	0.7	0.25	—	11.0	6.2
短大		5.7	1.0	0.67	0.1	12.2	6.6

表-2 試験した土壌改良資材および肥料

凝集剤名	形態	主要化学組成	含有アルカリ分(%)	水稲作への通常施用量(kg/10a)
石膏	粉状	CaSO ₄ · 2H ₂ O	40	20~60(中期施用)*
(苦土)消石灰	粉状	Ca(OH) ₂ , Mg(OH) ₂ (5%)	60	20~60(")*
炭酸カルシウム	粉状	CaCO ₃	56	20~60(")*
石灰窒素	粉状	CaCN ₂ , CaO	55	10~100
過リン酸石灰	粒状	Ca(H ₂ PO ₄) ₂ , CaSO ₄	30	—
熔リン	粒状	α-Ca ₃ (PO ₄) ₂	45	40~80
アヅミン苦土石灰	粒状	Ca(OH) ₂ , Mg(OH) ₂	50	100~160
砂状ケイカル	砂状	CaO, Al ₂ O ₃ , SiO ₂	47	200~300

*:文献7)より引用



図一 代掻き水中の懸濁物質濃度の経時変化

Fig. 1 Change of suspended substance concentration in puddled water.

定した。懸濁液の電気伝導度も測定した。実験は $20 \pm 1^\circ\text{C}$ の恒温室で行ったので、実験中懸濁液の温度はほぼ 20°C に保たれている。

48時間後の測定の後、上澄み液または懸濁液の少量(1~10ml)を採取し、原子吸光法で平衡外液中のCaイオン濃度を測定した。

著しい凝集効果が認められた石膏については、限界凝集濃度となった添加量間をさらに細分した添加量について同様の試験を行い、限界凝集添加量を詳しく検索した。

また、石膏については、添加剤の混合を完全に行った場合と単純な散布・攪はん混合法との凝集沈降への効果を比較するため、次のような試験を行った。すなわち、以上に述べた簡単な散布・攪はん混合法だけでなく、 0.1 g/dm^3 から 1.0 g/dm^3 の所定量の石膏をあらかじめ溶解させた石膏溶液中に75gの風乾土を混合し、これを振とう機で1時間振とうした完全混合法についても同じ凝集試験を行い、凝集沈降への効果を比較した。

III. 実験結果と考察

1. 現地水田の代掻き水の懸濁物質濃度と化学的条件

図一は、代掻き後の経過時間と採水した代掻き水の懸濁物質濃度の関係を示す。プロットは採水した3地点の平均値である。ただし、短大農場土は1筆の圃場についての測定であるが、中一色についてはそれぞれの代掻き後時間を経た4枚の圃場の調査結果である。

この図から、中一色土壌が長期間にわたって懸濁し、沈降しにくい土壌であることがよく分かる。肉眼で観察してかなり濁りがなくなったと認められるのは、懸濁物質濃度がおよそ 0.1% (= 1000 ppm) 以下になった時点である。短大農場土の3筆の水田がいずれも数時間以内にこの懸濁物質濃度 0.1% に達するのにに対し、中一色水田

表一 3 代掻き水中の交換性陽イオン濃度 ($\times 10^{-4}\text{ mol/dm}^3$)

	Na	K	Ca	Mg
中一色	2.5	1.4	3.0	2.5
短大農場	4.7	1.5	5.7	2.3

では1週間経過した水田でやっとこの程度の濁り方になったという状況である。この圃場以外の圃場から採水した代掻き水が1ヶ月以上経っても安定な分散状態を示した。これに対し1週間経過圃場で小さい値を示したのは、外部から流入した降雨や浸透水、用水による希釈の影響によるところが大きいと思われる。河川的环境基準は農業用水利用の浮遊物質(SS)として100 ppm以下であることを求めている⁴⁾。中一色水田はこの基準をはるかに超えており、また極めて安定であることから、何等かの手段を構じて排水可能な濃度にする必要性が明らかである。

中一色代掻き水のpHは、 $5.9\sim 7.1$ の間にあり、時間的に特定の変化傾向は認められなかった。短大農場のpHは 6.05 から 7.9 の値を示した。

中一色水田代掻き水のCa濃度は、 0.00028 mol/dm^3 から時間の経過とともに1週間後の 0.0009 mol/dm^3 まで増加しているようであるが、データが限られているので確かな結論を得るにはさらに調査が必要である。短大農場土は 0.0002 mol/dm^3 から 0.0012 mol/dm^3 程度で、2筆については増加したが、1筆は低下しており、変化の傾向は一定しない。

その他の懸濁水中陽イオンについても測定をおこなってみたが、いずれも 10^{-4} mol/dm^3 のオーダーの低濃度である(表一3)。これ以外に存在する可能性がある陽イオンは元肥として施肥されたアンモニウムイオンである。当地区では普通 4.2 kg/10a の窒素を施用しているが、この量がただちに 100 mm の代掻き用水中にすべて溶出したとすると、 42 ppm すなわち 0.003 mol/dm^3 となる。土壌への吸着などのために土壌溶液中に溶解するのはこの一部である。実際に代掻き後の田面水水質を測定した例では最大 21 ppm (0.0014 mol/dm^3)のアンモニア態窒素が報告されている⁵⁾。凝集理論によると、限界凝集塩濃度は価数の6乗に反比例する⁶⁾ので、この濃度の1価のアンモニウムイオンが 0.001 mol/dm^3 の2価のカルシウムと比べ凝集に大きな影響を与えることはない。したがって、添加するカルシウムイオンが凝集において支配的な影響を与えるものと考えられる。

図一2は、代掻き水中のCa濃度とpHをプロットした

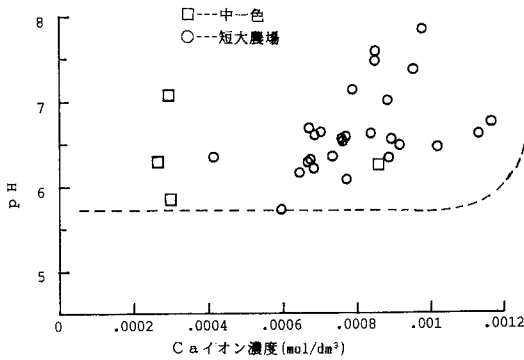


図-2 代掻き水中の Ca イオン濃度と pH
Fig. 2 Calcium concentration and pH of puddled water.

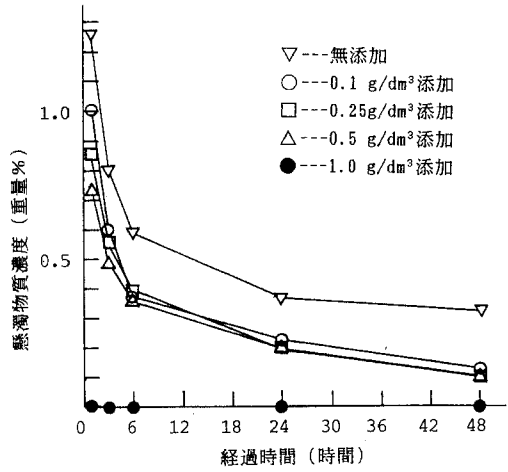


図-3(b) 消石灰

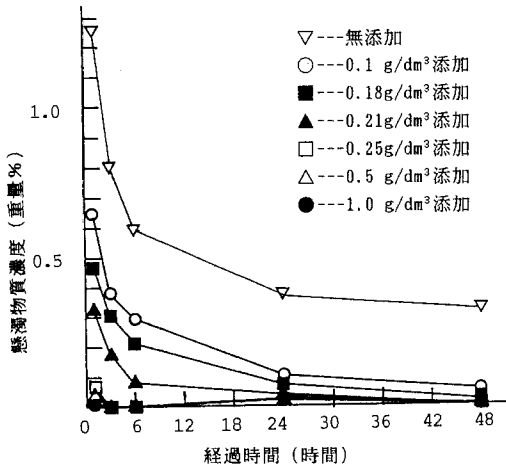


図-3(a) 石膏

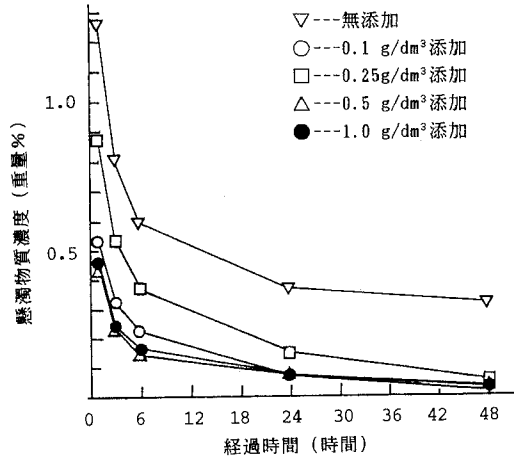


図-3(c) 炭酸カルシュウム

ものである。すべての点が前報で調べた分散領域に属しており、凝集沈降は生じない条件にある。中一色水田1週間経過は、現地でかなり濁度が小さくなっているのが観察された。この点は同定された限界凝集境界に他の点よりも近い位置にある。短大農場土は分散沈降するものの微細な粘土分が少ないため懸濁物質濃度は0.1%よりも小さく、濁りも比較的目立たないのであろう。

2. 凝集剤の検索試験の結果と考察

(1) 凝集剤添加量と懸濁物質濃度

図-3に各種の凝集剤を添加した時の時間と懸濁物質濃度の関係を示している。

石膏を添加した時の懸濁物質濃度と静置時間の関係では(図-3a)、時間とともに懸濁物質濃度は低下するのであるが、ある添加量以上でこの効果は著しい。石膏の場合、0.1g/dm³添加では3時間後0.38%、0.21g/dm³添

加では0.17%の懸濁物質濃度であるのに対し、0.25g/dm³では3時間後ほぼ0%となっている。これ以上の添加量では1時間後ですでに0.05%以下となっている。無添加の場合48時間を経過しても0.35%もの懸濁物質濃度があるのに比べ、著しい効果があると言える。

ついで凝集の効果が見られたのは消石灰であった(図3-b)。0.5g/dm³以下の添加量では3時間後0.48~0.6%、6時間後0.35~0.4%であり、効果は少ない。滋賀県農業試験場がCa(OH)₂を大中土壌と秦荘町土壌に25mg/500ml(=0.05g/dm³)添加して分散率を測定したところ、十分な凝集効果を発揮しなかったと報告されている⁹⁾。この程度の添加量では凝集効果が期待できないことは本報告の結果とも一致している。ところが、1.0g/dm³添加では1時間後にほぼ0%となって大きな凝集効果が認めら

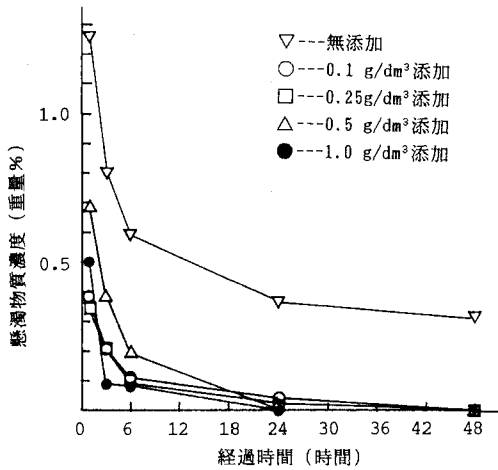


図-3(d) 石灰窒素

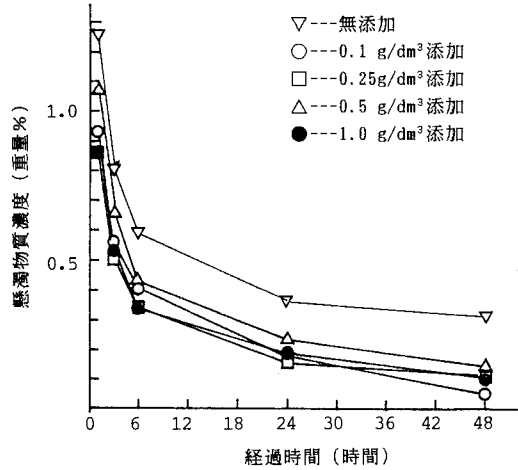


図-3(f) 熔リン

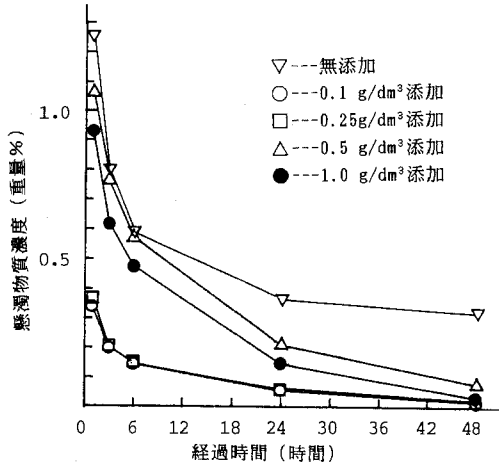


図-3(e) 過磷酸石灰

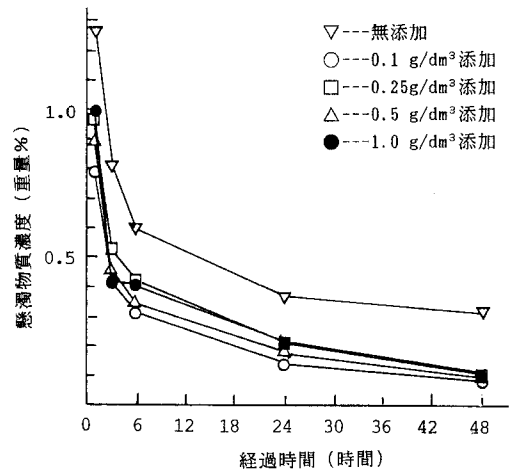


図-3(g) 苦土石灰

れた。しかし、石膏と比べると、同等の凝集効果を得るのに消石灰は石膏の4倍量の添加を要する。

炭酸カルシウムもいくらか凝集効果を示したが、ここで試験した添加量では短時間に0.1%以下にするような凝集効果はみとめられなかった(図3-c)。

肥料のうち水溶性である石灰窒素と過リン酸石灰は、やや特徴ある結果を示した。石灰窒素は、1.0 g/dm³の添加で3時間後に0.1%程度に、24時間後ではほぼ0%となった(図3-d)。これ以下の添加量でも6時間以内の短時間ではやや劣るものの、24時間以上経過すると1.0 g/dm³添加とほぼ同じ値を示した。無添加と比べると24時間、48時間の後にはかなり小さい懸濁物質濃度となり、長期的な凝集効果は存在する。石灰窒素は、その他の肥料と比べ比較的良好な凝集効果を示すと言える。

過リン酸石灰は添加量0.1 g/dm³や0.25 g/dm³よりも添加量の多い0.5 g/dm³の方が分散しやすいという特徴的な分散特性を示した(図3-e)。これは過リン酸石灰の水溶性のポリリン酸が分散剤として作用したためと考えられる⁹⁾。

図-3fに、熔リンの場合を示す。ここで調べた1.0 g/dm³程度の添加量ではほとんど効果が認められなかった。苦土石灰(図3-g)、ケイカル(図3-h)についても熔リンとほとんど同じ結果となり、添加量を増やしても凝集効果はほとんど認められなかった。

試験した凝集剤の凝集機能を、少量の添加量で短時間にしかも濁度の低下が著しいという基準のもとに総合的に評価すると、石膏 > 消石灰 > 石灰窒素 > 炭酸カルシウム > 過リン酸石灰 ≒ ヨウリン ≒ 苦土石灰 ≒ ケイカ

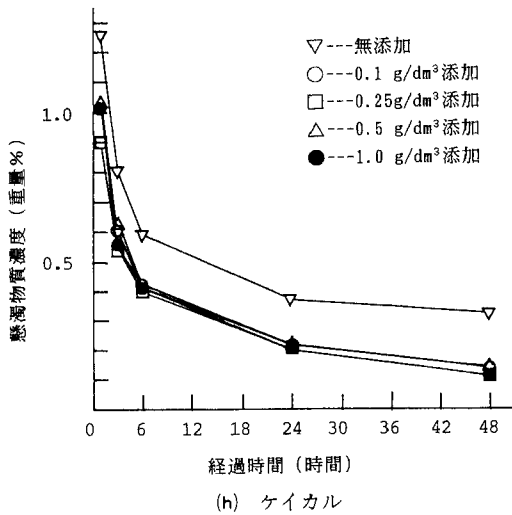


図-3 凝集剤混合、静置後の経過時間と懸濁物質濃度
Fig. 3 Change of suspended substance concentration after mixing flocculation aids settling.

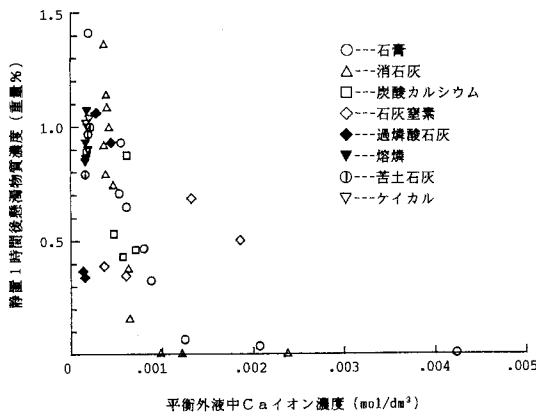


図-5 静置 1 時間後懸濁物質濃度と平衡外液中 Ca イオン濃度
Fig. 5 Suspended substance concentration after 1 hour settling and calcium ion concentration of outer solution.

ルとなる。実用的な効果が期待できるのは、石膏、消石灰であろう。

(2) 凝集効果と懸濁液中 Ca 濃度 (凝集効果の差の原因について)

凝集効果が顕著に現れる添加量は、凝集剤の間でかなりの差が認められた。図-4 は凝集効果を示した石膏と消石灰について、その添加量と 6 時間後の懸濁物質濃度の関係を示したものである。本土壤において凝集沈降が

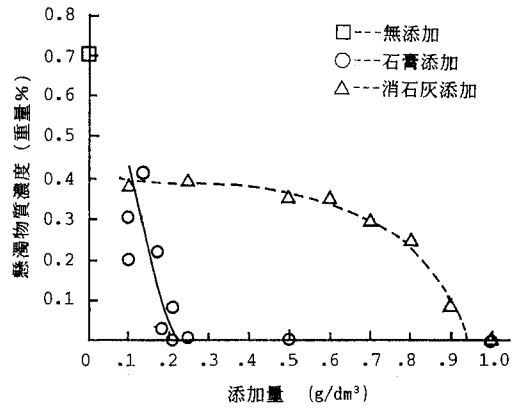


図-4 凝集剤添加量と 6 時間後の懸濁物質濃度
Fig. 4 Quantity of added flocculation aids and suspended substance concentration after 6 hours settling.

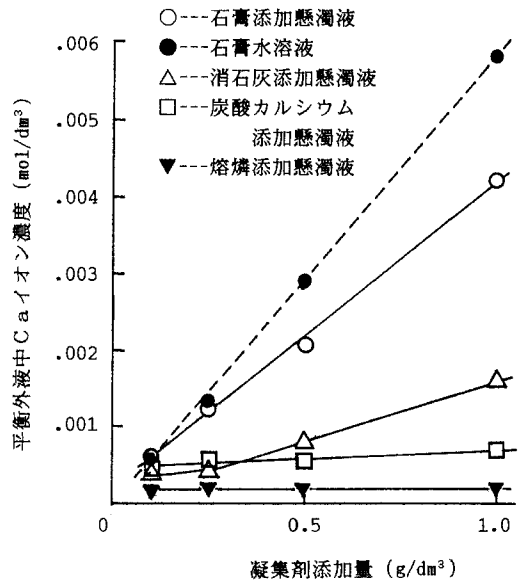


図-6 凝集剤添加量と懸濁液中 Ca イオン濃度
Fig. 6 Quantity of added flocculation aids and calcium concentration of suspension.

生じる添加量は、石膏では 0.25 g/dm³、消石灰では 1.0 g/dm³以上であり、4 倍の差があった。

図-5 は静置後 1 時間の懸濁物質濃度と各凝集剤添加量での Ca イオン濃度を示す。この結果によると、凝集剤の種類によって凝集効果が現れる添加量は異なるが、凝集効果が生じる時の平衡外液中 Ca イオン濃度は、互いに同じ値である。すなわち、石灰窒素を除くと、0.001

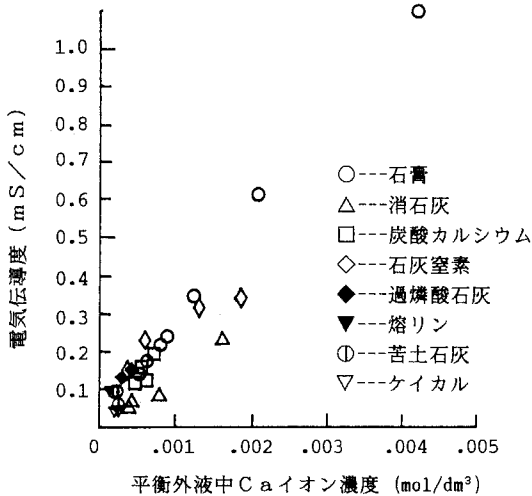


図-7 電気伝導度と平衡外液中 Ca イオン濃度
Fig. 7 Electric conductivity and calcium ion concentration in outer solution.

mol/dm³を上回るときに1時間以内の急速な凝集を生じていることが分かる。この Ca 濃度は、前報で同定した限界凝集濃度に一致している。

平衡外液濃度には、凝集剤の溶解度、陽イオン交換および有機物その他土壌中物質との Ca との反応などが関係する。

図-6は、添加量と懸濁液中の Ca イオン濃度の関係を示す。効果の認められた石膏と消石灰については添加量の増大とともに懸濁液中の Ca 濃度が増加した。添加量が増大し、平衡外液中 Ca イオン濃度が、0.001 mol/dm³を越える時に凝集が生じている。一方、効果の見られなかったその他の凝集剤については添加量にかかわらず懸濁液中 Ca イオン濃度はほとんど一定で、いずれも 10⁻⁴ mol/dm³のオーダーであった。

また図-7は懸濁液の電気伝導度 (EC) と凝集剤添加量の関係を示す。EC は、懸濁液中に存在する Ca 以外のイオンを含むあらゆる活性なイオンの総量の指標と考えることができる。この結果は図-6の結果とよく似ている。すなわち、凝集効果の現れたものについては、添加量の増大とともに EC が増加したのに対し、効果のなかったその他の凝集剤については0.04から0.2 mS/cmの範囲で、添加量にかかわらずほぼ一定の値を示した。これは、凝集剤の添加が懸濁液中総イオン量の変化をもたらさなかったことを意味している。

また、凝集効果の認められなかった各肥料では、水溶液の Ca 濃度も 10⁻⁴mol/dm³のオーダーであった。こうしたことから、これらの肥料は、そもそも溶解度が小さく、平衡外液の Ca 濃度が限界値まで上がらなかったため凝

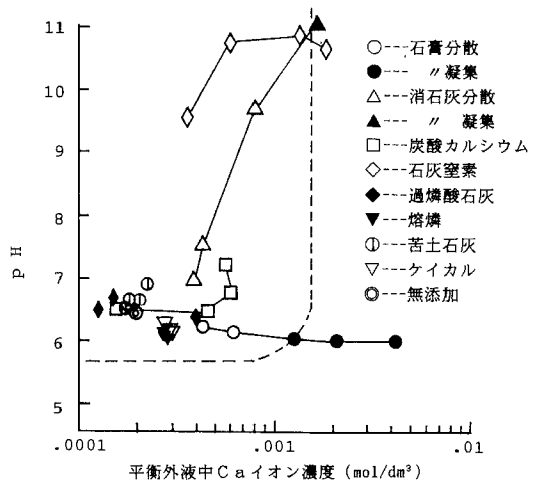


図-8 各凝集剤添加後懸濁液の Ca イオン濃度と平衡外液中 Ca イオン濃度と pH
Fig. 8 Calcium ion concentration and pH of the suspension after addition of flocculation aids.

集が生じなかったと考えられる。

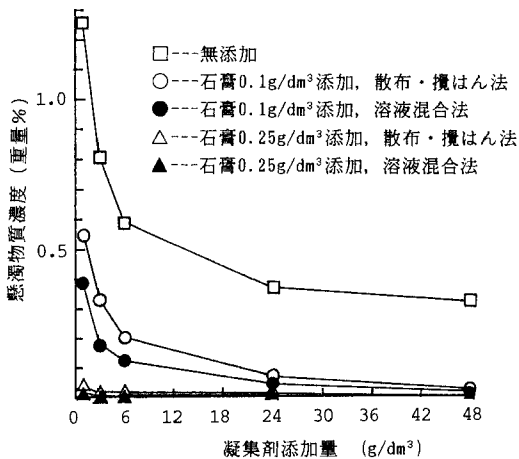
図6の破線は石膏水溶液中の実測 Ca 濃度を表しているが、100%溶解した理論濃度に一致した。これと懸濁液中 Ca 濃度の差が陽イオン交換、土壌中物質との反応等で捕捉された分に当たる。消石灰の場合は石膏よりもこの差が大きく、土壌との反応による捕捉量(不活性化 Ca 量)が多い。

拡散2重層理論によると外液中に存在するイオンは吸着相に存在するイオンと交換平衡している。吸着相にどれだけイオンが存在するかは、外液中でのイオンの水和状態と吸着相での水和状態とのエネルギー差で決まる。表面の吸着相にイオンが吸着される結果、スターン層表面での電位低下が決まり、拡散2重層でのイオンの分布も決定される。したがって、拡散2重層理論では土壌の性質が与えられれば、凝集を基本的に規定する要因は、土壌溶解のpHと外液中の陽イオン濃度である。

水溶液での溶解度 (mol 量) がほぼ同じであるにもかかわらず、消石灰の方が石膏よりも凝集により多くの添加量を要したのは、pH増大によるpH依存性負荷電量の増大や土壌物質との反応による不溶性物質の生成など、土壌による Ca イオンの捕捉量が多かったためであろう。そのために、平衡外液中に存在する Ca イオン量が凝集濃度になかなか達しないものと考えられる。

(3) 凝集剤の添加とpH

凝集剤を添加した時、Ca 濃度の変化とともに、pHの変化も生じた。図-8に凝集剤を添加した時の懸濁液の状



図一 混合法の違いと懸濁物質濃度

Fig. 9 Suspended substance concentration affected by mixing method.

態を Ca 濃度—pH 平面上に示した。

石膏添加では添加量の増加とともに pH はやや低下した。しかし、低下量はわずかであり、凝集濃度以上でも pH 6 以下になることはなかった。消石灰を添加すると pH はかなり増大し、1.0 g/l 添加で pH 11 以上の値を示した。炭酸カルシウムを添加すると pH はごくわずかに低下した。石灰窒素添加でも消石灰と同程度の pH 上昇を生じた。こうした pH の上昇は懸濁液の分散を促進する役割を果たす。石灰窒素の異常な挙動には、土壌コロイドや腐食との複雑な反応¹⁰⁾とともに pH 上昇効果も関与している可能性がある。

先述したように、河川での農業用水の環境基準 pH は 6.0~8.5 とされている。土壌との緩衝作用で pH が徐々に低下することは見込まれるものの、消石灰や石灰窒素における pH 上昇はそのまま排水するには不適である。

なお、その他の凝集剤では、pH 変化はほとんどなかった。

すでに述べたように凝集剤の添加に伴って pH が大幅に変化すると、いろいろな問題が生じる。この点からみても pH 変化量が少ない石膏はより望ましい凝集剤であると言える。

3. 施用方法について

最も有望な凝集剤である石膏について、混合方法による凝集効果の違いを検討した。混合を完全にするために予め凝集剤を溶解させた溶液に土壌を添加し、1 時間振とうした試料と、懸濁水面に凝集剤を散布し、ガラス棒で軽く攪はんした試料の懸濁物質濃度の変化を比較した(図一 9)。図一 9 の結果によると、完全混合の方が、限界凝集濃度以下で懸濁物質濃度がいくぶん小さい、しかし、その差はわずかである。しかも限界凝集添加量は混合法にかかわらず、おなじ 0.25 g/dm³ 以上であった。

したがって、石膏については、混合処理の違いによる影響は小さく、簡単混合法で充分に期待される凝集効果が得られるものと考えられる。

IV. おわりに

滋賀県湖東町水田の代掻き時濁水を凝集浄化するために、農業上普通に使用される土壌改良資材と肥料のうち Ca 成分を多く含むものを対象に凝集効果を調べ、安全で効果的な凝集剤を検索した。このうち石膏の効果がもっとも顕著であり、本土壌に対しては約 25 kg/10 a で急速凝集沈降による浄化機能が期待できることが分かった。施用の方法は、代掻き水上に散布し、攪はんする簡単な混合法でも十分な効果があることが分かった。

謝 辞

代掻き濁水の採水でお世話になった中一色の農家の方々、滋賀県立短大農場職員の方々にお礼申し上げます。実験に協力していただいた滋賀県立短期大学学生、平野重久君、鶴田泰伸、岩崎昌之君に感謝致します。

引用文献

- 1) 赤江剛夫：代掻き濁水の塩添加による凝集沈降条件の同定—代掻き濁水のカルシウム添加による凝集沈降浄化法(1)—, 土壌の物理性(投稿中)。
- 2) 例えば用水廃水便覧編集委員会：用水廃水便覧, p. 99, 丸善(1973)。
- 3) 藤原公一：凝集沈降剤 EB-a 145 および PAC のニゴロブナ、ホンモロコおよびアユに対する毒性, 滋賀県水産試験場研究報告 39, pp. 54—59 (1987)。
- 4) 2) と同じ p. 99。
- 5) 滋賀県農業試験場：緩効性および被覆肥料の荒代施用と田面水水質, 昭和 57 年度試験研究成績概要, p. 235 (1983)。
- 6) 久保輝一郎, 神保元二, 水渡英二, 高橋 浩, 早川宗八郎編：粉体 理論と応用, p. 162, 丸善(1979)。
- 7) 農山村文化協会：農業技術大系, 土壌施肥編 6, 施肥の原理と施肥技術, p. 技術 57 (1985)。
- 8) 滋賀県農業試験場：びわ湖—淀川水系における農業排水の水質改善(17)濁水発生防止対策調査(資材の効果比較), 昭和 56 年度研究成績概要, p. 191 (1982)。
- 9) 高井康雄・早瀬達郎・熊沢喜久雄編：植物栄養土壌肥料大事典, p. 1131, 養賢堂(1976)。
- 10) 7) と同じ, pp. 1104—1105。

(受理年月日 1991 年 9 月 28 日)

解 説

負圧センサーを用いた
自記テンシオメーターシステムの試作

谷川 寅彦*1・矢部 勝彦*1・千家 正照*2・西出 勤*2

Trial Manufacture of Auto-logging Tensiometer System
by the Use of Negative Pressure Sensor

Torahiko TANIGAWA*, Katsuhiko YABE*, Masateru SENGE*
and Tsutomu NISHIDE*

*1Faculty of Agriculture, University of Osaka Prefecture

*2Faculty of Agriculture, University of Gifu

Key words : negative pressure sensor, tensiometer, data logger of dry battery type, personal computer, interface circuit

(Soil Phys. Cond. Plant Growth, Jpn., 64, 53-58, 1992)

I. ま え が き

周知のように、一般に土壌水分張力を測定する場合、テンシオメーターが使用される。

テンシオメーターは、水銀マノメーター式、ブルドン管式、動ヒズミ式、などの方法により読み取られている^{1,2,3,4)}。近年、主に自記記録を目的とし、様々な圧力センサを使用して圧力変化を測定する方法が実用化されてきた。これらに使用される圧力センサの内部は一般に圧力変化に対して感圧部の内部容積があまり変化せず、一般によく用いられる水銀マノメーター接続方式のものと比較して土壌テンシオメーター内部間の水の出入りが少なく、反応遅れ時間が小さくなる。したがって、水銀マノメーター式と比較してより高い精度の測定が可能になることが期待される。

このような利点を持つ圧力センサ式のテンシオメーターではあるが、その自記装置は現時点では、比較的高価なものも多く、また、交流電源を必要とする大型の装置になる傾向もある。そこで、著者らは、以下に述べる様な能力を有する自記テンシオメーター装置の開発を試みた。すなわち、①記録機(乾電池式データロガー)を含め、比較的安価に製作・構成が可能、②市販の乾電池の

最小限の使用で長期間連続測定が可能、③記録紙を読み取るなどの労力を省き、パーソナルコンピュータに簡単に測定データを転送でき、データ解析、作図などを容易に行なえる能力を有する、などを開発目標として検討を試みた。そしてこのような自記テンシオメーターシステムを考案・試作した。さらに、このシステムを実際の測定に適用して一応の成果を得ることができた。そこで、このシステムの概要、工夫した点、使用中に気付いた点などについて紹介する。

II. 試作システムの構成^{5,6)}

試作したセンサ式テンシオメーターシステムは写真-1(試作システム全体概要)に示す。

供試した吸引圧(負圧)センサはガス湯沸し器内部の水圧調節に使用されるものである。

また、温度補償回路が内蔵され、さらには、12Vの乾電池で作動が可能、多少の電源電圧低下も補償される。(日本アレフ㈱, MM-S型, 価格15,000円,あるいは出力特性など若干性能が低下するが安価なALP-35002型, 価格3,500円, 1990年現在)。出力特性は吸引圧の増加に対して、直線的である。吸引圧-出力電圧特性の一例(MM-S型, 20℃)は図-1に示す。

図-1に示すセンサではメーカー保障値で0~500cm H₂Oまで測定可能としている。現在までに行なったこれらのセンサに対する調節およびその性能、供試データロガー(ユニバルス㈱, データロガー L810型, 価格約200,000

*1大阪府立大学農学部 〒591 大阪府堺市百舌鳥梅町4-804

*2岐阜大学農学部 〒501-11 岐阜県岐阜市柳戸1-1

キーワード: 負圧センサ, テンシオメーター, 乾電池式データロガー, パーソナルコンピュータ, インターフェイス回路

円 (1990年現在) の組合せで、テンシオメーター内部のセンサ取り付け位置における値で各々700cm H₂O 程度まで測定が可能であることを確認している。ただし、ALP-35002型においては高吸引圧時の空気もれを防止するため、エポキシ系接着剤でシール加工を施して使用する。センサの作動用の電源、出力の構成は GND (共通)、+12V 電源、+出力電圧の 3 線である。なお、出力電圧が比較的大きいのでノイズの影響は受けにくいと考える。センサ式テンシオメーター、データロガー、さらにはセンサとロガー間に組み込みが必要な試作インターフェイス回路 (材料費概算3,000円程度、(1990年現在)) とそれを含む全体の結線を図-2に、データロガー本体の入出力コネクタ (37ピンタイプ) の各ピン機能割り付けを表-1に示す。

まず、供試したデータロガーは内部構成からみるとコンピュータといえるものであり、チャンネル数、測定開始時間、測定時間間隔など様々な組合せがプログラムでき、それに従った測定が実行可能な型式である。また、入力端子は、アナログ入力 ($\pm 10V$ 仕様) を 8ch もっており、直流電圧として測定され、データは内部メモリに格納される。8ch 全部を使用した場合、1時間に1回程度の測定であれば数ヵ月間連続測定が可能である。したがって、数ヵ月の測定期間において8本までのテンシオメーターが接続可能である。最大8本のテンシオメーターに取り付けた各々のセンサの信号出力線をそれぞれアナログ入力端子の 1ch ~ 8ch (ピン5~12) に接続し、センサの GND 線はピン24~31あるいは33に接続する。これは GND がデータロガー内部で共通であるため可能である。さらに、+12V の電源線をピン14に接続する。ここで、ピン14は本インターフェイス回路の12V出力端子に相当する。また、1回のデータ測定時、図-2に示すようにデータロガー内部ではマルチプレクサによってアナログ入力の各 ch を切換えながら、各チャンネルの入力電圧を順次、増幅し A/D 変換、さらに内部メモリに

格納を行っている。次に、センサ用12V電源回路については以下の様な節電のための工夫をした。この理由は供試センサの作動時には1個あたり、12V-7mA (MM-S型)、9mA (ALP-35002型) 程度の電力を消費するためである。この消費電力は少ないように思えるものの、試験的に、単1乾電池の直列12V電源に対し、6個並列にセンサ (MM-S型) を接続したところ約1週間程度で10V程度までに電池が消耗する消費電力量であった。

ただし、この場合、センサ自体は常時電圧をかけ、連続作動させていても特に信頼性に問題はなかった。このため、長期間の観測に使用する場合には、センサの消費電力量に対して十分な容量をもつ電源の採用、あるいは、なんらかの節電対策が必要になることは明白である。ここで長期間の定時観測への適用を考えた場合、各測定時刻時以外の待ち時間にはセンサへの電力供給は不要である。そこで、データロガー内部電源とは別にセンサ専用外部12V電源を用意し、その外部電源 on-off 回路に節電の工夫を加えた。外部電源とした理由としては、データロガー本体から直接12Vの電源が確保できないからである。加えて、仮に最大電流が40mAである5V同期電源出力を昇圧して使用することが出来ても、数個のセンサに対しては十分な電力量を確保できない。また、この場合、回路が複雑になる。さらに、データロガーの内蔵電源 (単3電池直列9V) を外部の機器に対して多く利用すると内部電源が消耗し、データロガーの動作に支障を生ずる可能性が高くなるなどがあげられる。このセンサ専用電源の on, off は5V同期電源出力 (ピン35) を利用して、それに DC 5V-約40mAで作動するリレーを接続して行った。このピン35は図-2に示す供試データロガーの、電源 on, off のメインスイッチ、ロギング (測定) スタート指令用のスイッチの位置により動作が異なる。メインスイッチが off の時には、内部のデータ保持以外の全機能は停止する。したがって、以下は、メインスイッチ on の場合についての説明である。ただし、データロガー自体の電源自動 off 機能、プログラム設定方法等の詳細については繁雑を避けるため説明を省略する。



写真-1

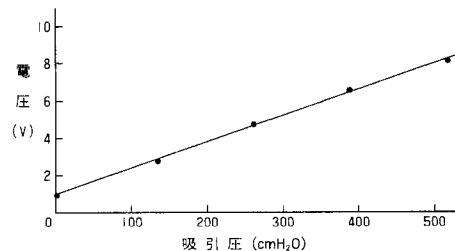


図-1 供試センサーの吸引圧-電圧特性一例

解説：負圧センサを用いた自記テンシオメータシステムの試作

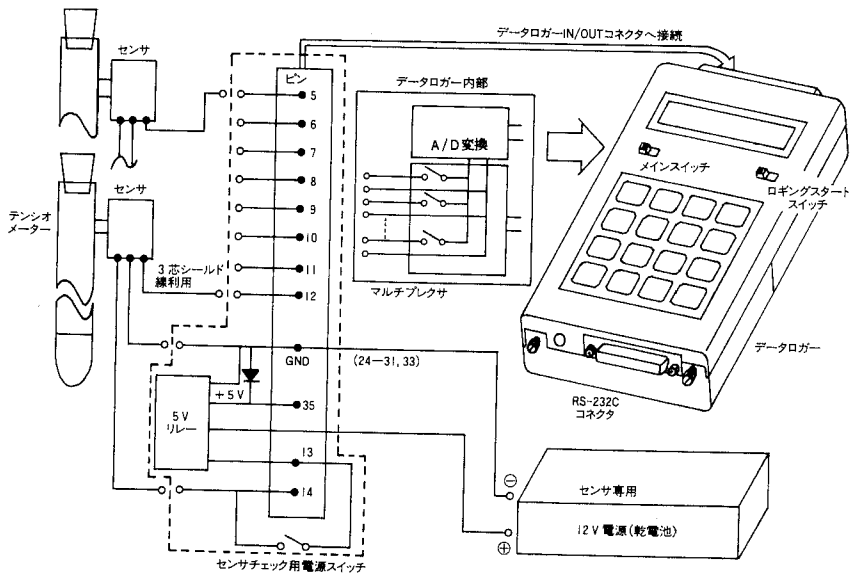


図-2 インタフェイス回路、結線等の概略(破線内は試作したインタフェイス回路)

表-1 データロガー入出力コネクタ(37ピンタイプ)機能割り付け表

ピン番号	シグナル	ピン番号	シグナル
5	ANALOG 1 ch	24	GND (ANALOG 1 ch)
6	" 2 ch	25	" 2 ch
7	" 3 ch	26	" 3 ch
8	" 4 ch	27	" 4 ch
9	" 5 ch	28	" 5 ch
10	" 6 ch	29	" 6 ch
11	" 7 ch	30	" 7 ch
12	" 8 ch	31	" 8 ch
13	STOP RELAY (NC)	33	GND
14	" (COM)	35	+5V 出力

※5～12は最大10V仕様

※13, 14間において測定期間常時接(Normally Close, COMMON間) 異常時, 測定終了時, スタンバイ時(電源入, 測定未スタート時)断

※24～31, 33はデータロガー内部で共通

※35はデータロガーコントロール信号(TTLレベル)に同期した電源出力

5V同期電源出力(ピン35)はロギングスタートスイッチがoff(プログラム時などが相当)で5Vの電源電圧を連続に発生する。

したがって, ピン35とGNDに接続されたりリレーは作動し, センサに12V電圧を供給可能とする。電源回路に組込む保安用回路については後述する。次に, ロギングスタートスイッチをonとして測定を開始する場合には, このピン35の5V電源出力は0Vとなり, リレーが切れ, センサ電源の接続が断たれ, 節電される。その後, プロ

グラムで定めた測定時刻が来た場合にのみ1秒強の時間, 5Vの電圧を発生する。したがって, リレーは測定時刻にだけ作動し, センサと12V電源を接続し電力を供給する。たとえば, 1時間に1度の定時の測定を例にとれば, このセンサ専用12V電源は1日あたり1分弱使用されるだけであり, 数ヵ月程度の測定に対しても消費電力量は問題にならない。測定時刻前後の動作をより詳しく述べると, データロガーが待機している状態から測定時刻直前になると, ①5V同期電源が電圧を発生(ピン35が0

V から 5 V に) →②リレー作動→③センサ専用 12V 電源が on に→センサに 12V の電圧がかかった状態で約 0.1~0.2 秒経過→④ 1 ch ~ 8 ch を測定→⑤ 5 V 同期電源出力が切れ 0 V に (ピン 35) →⑥リレーが切れる→⑦センサ専用 12V が電源が off に→⑧待機状態に戻る, ……繰り返し, という制御である。センサは③~④間のわずかな時間間隔でも十分に立ち上がり, 正常な動作が可能である。参考までにセンサ立ち上がり特性について単純な試験を行った。連続通電時とリレー利用の節電時について出力電圧をほぼ同条件 (MM-S 型, 吸引圧約 500cm H₂O, 26°C, 測定繰り返し回数 15 回, 測定間隔 1 分) で比較したところ, 連続通電時, 7.767±0.010V, リレー使用時, 7.777±0.010V 程度であり, この結果から判断して, 実用上問題はないと考えている。なお, ALP-35002 型についても平均値で差異が 0.010~0.020V 程度と若干大きい程度であった。最後に, ピン 13, 14 間は保安用の回路であり, ロギングスタートスイッチが on, すなわち, 測定期間中は, 閉じており 12V 電源の on, off には全く影響しない。それ以外の場合, 例えばロギングスタートスイッチが off のとき, すなわち, データロガーにプログラムを入力しているときなどの測定準備をしているとき, あるいは, データロガー異常状態などでは回路が開く。これは保安上の対策であるが, 測定準備中などではピン 13, 14 間が開いているため, 前述のリレー回路が作動していてもセンサに電力が供給されない不都合が生じてしまう。このような場合, センサに電圧 12V を与え, チェックしたい場合に備え, ピン 13, 14 間をまたがる形で電力供給用のスイッチを設けている。このスイッチを利用することによりセンサのチェックが可能になる。

最後に, リレー回路のピン 35 と GND の間にダイオードを逆方向, 並列に挿入した理由は, リレー作動時の逆起電力を吸収させ, データロガーに対する安全性を高めるためである。

Ⅲ. 使い方の手順, 設置, 記録, データの回収法について

現地での設置に先立ち, テンシオメーターの水密性, 電源などの動作については確認することが望ましい。ここでは, 参考までに, 設置, 測定手順の概略を述べる。

図 3 に示す手順は設置場所の状況に応じ, 多少前後しても構わないが, 先ず, テンシオメーターの埋設, 注水を行う。次に, テンシオメーターのセンサ, データロガー間の結線を行う。この場合, 著者らは外径 4 mm の 3 芯シールド線をセンサと試作インターフェイス回路間に使用している。シールドは GND に接続しており, この

電力, 電圧データ, GND の 3 芯シールド線は著者らが使用している長さ (5 m 程度) では電圧低下などについてほとんど問題が生じていない。しかし, テンシオメーターのセンサは, 露地だけでなくビニルハウス内も含め, 降雨, 灌水, 結露などにより非常に湿りやすい状態にある。

したがって, この 3 芯シールド線とセンサ間のハンダ付け部分, センサ全体はビニル袋, テープなど適当な素材で十分に防水する必要がある。これを怠り, 水分が侵入した場合, 配線間の絶縁不良, あるいは断線, さらにはセンサの故障の原因にもなる。

以上の作業が終了した後にデータロガーへプログラムを入力する。供試したデータロガー自体は幾通りかのデータ記録方式を選択 (プログラム) 可能なものであるが, ここでは定時刻開始, 定時観測の手順について紹介する。

測定開始時刻, 測定時間の間隔などをプログラム入力する方法は 2 つある。第 1 は, データロガーのキーボードから入力する方法であり, 第 2 はパーソナルコンピュータとデータロガー本体を RS-232C ケーブルにより接続, プログラムをパーソナルコンピュータから転送する方法である。これらの方法でプログラムを入力し, プログラム内容のチェックを行うとともに, 本システムを試験的に定時観測させてリレー回路などがうまく作動しているかなどをチェックする。その後, ロギングスタート

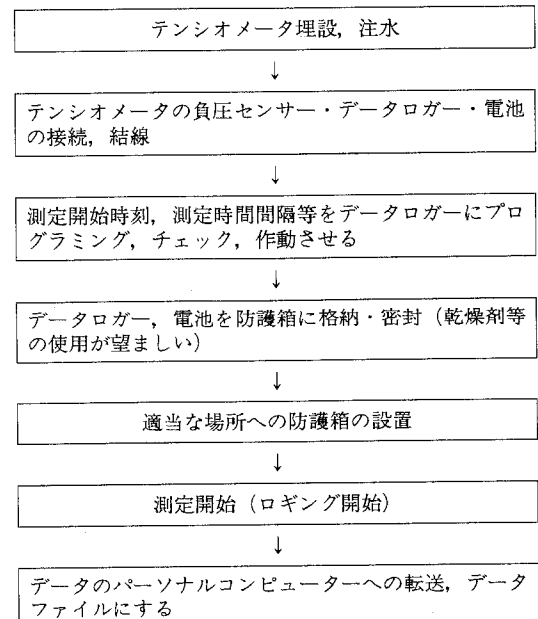


図 3 自記テンシオメータ設置, 測定手順の概略

解説：負圧センサを用いた自記テンシオメーターシステムの試作

スイッチを on にし、測定をスタートさせ、防護箱への格納を行う。なお、データロガーを常にパーソナルコンピュータと接続し、リモートコントロール的に複雑な計測手順指令をデータロガーに対して与え、制御することも可能である。この場合、接続するパーソナルコンピュータの電源確保、価格など本システムのメリットを損い兼ねない問題があり、ここではふれないで置く。また、使用したデータロガー自体は精密な電子機器であり、防水構造になっていないため、防護箱が太陽光線よけ、降雨など水の浸入、ごみ、虫の侵入防止のために必要である。

また、内部には湿気を防ぐため乾燥剤の使用が望ましい。ロギングスタートスイッチを入れた後、プログラムで指定された測定開始時刻が来ると、自動的に土壤負圧（吸引圧）の測定が開始され、以後、定められた時間間隔で測定が継続される。この場合、測定期間中のテンシオメーターに対する水の補充は必要不可欠のことであるが、データ自体はデータロガーに与えられたプログラムに従って、自動的に内部に格納されてゆく。その後、適当な時期にデータロガーに格納されているデータをパーソナルコンピュータに転送し、データファイルを作成する。

次に、測定終了後、あるいは測定期間中にデータロガーからデータを回収する方法の概略を図-4に示す。上段①は測定期間途中で携帯型パーソナルコンピュータを利用して、データを回収、装置を再セットして測定を継続させる方法である。下段②は装置一式を回収後、持ち帰り、パーソナルコンピュータにデータを転送する方法である。この2つの方法はデータロガーの記憶容量なども考え合わせ適当に使い分けることが望ましい。さらに、この様に転送されたデータファイル（各 ch 毎電圧デー

タ）からは図-5に示すような手順でパーソナルコンピュータの環境でテンシオメーターの吸引圧（負圧）→電圧データ記録をマトリックスポテンシャルに再変換、解析などを行う。具体的には、著者らはこれらの作業をデータロガー添付ユーティリティプログラムと自作プログラムによる処理を併用して行っている。最後に、本システムを適用した場合の観測結果の一例（1ヵ月間の例）を図-6に示す。この結果は露地畑（メロン栽培）で深さ方向に6点、テンシオメーターを埋設し、自記記録した例（pF 値表示）であり、1990年6月に観測した結果である。この結果では5~25cmまでの深さでは全体的に乾燥傾向を示している。なお、供試センサはMM-S型である。この結果をみると、本システムが当初目的とした性能をある程度達成していることがわかる。

IV. あとがき

本自記テンシオメーター装置は試作品ではあるが、露

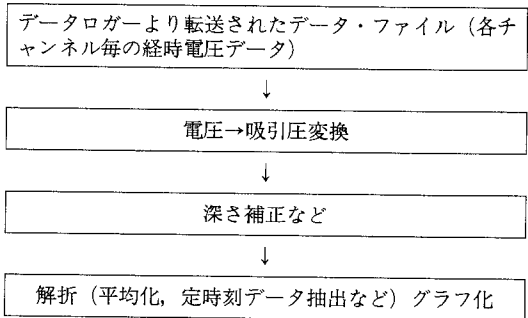


図-5 計測データの処理の流れ概要

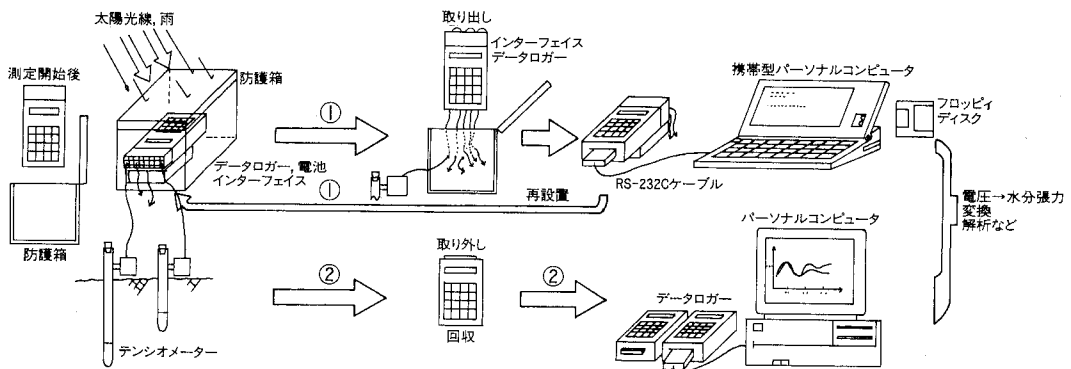
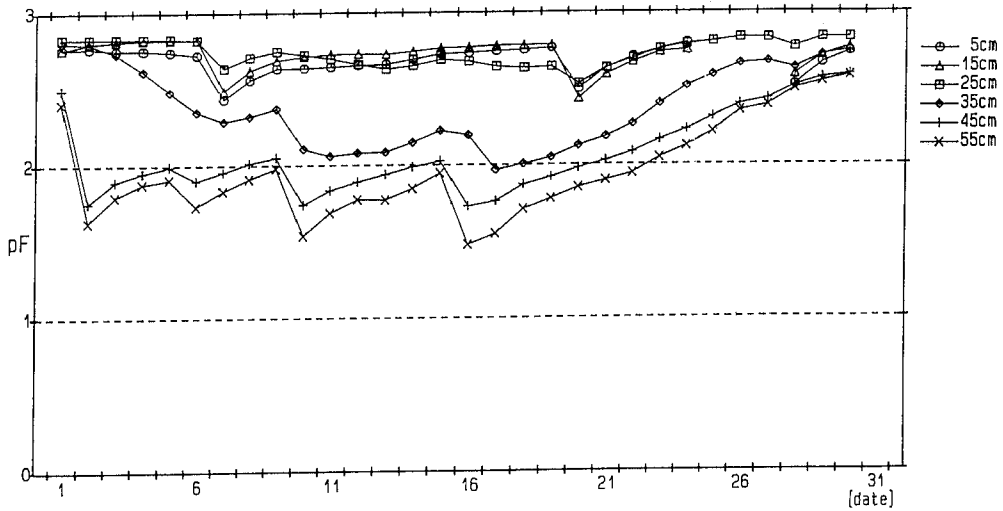


図-4 データ回収法の概略



図一六 自記テンシオメーターによる測定結果の一例 (pF値表示)

地栽培試験での測定にこれまで2期(春→夏, 秋→冬)に数セット使用されてある程度の成果をあげている。しかし、現在はテンシオメーターのセンサとロガー間の3芯シールド線はネジ式で接続しているため、現地での接続の容易さを考えたプラグジョイント化、圧力センサの出力電圧調節の必要など、未だ、不十分な部分があり今後改良すべき点であるといえる。今後、本装置をより実用的で精度の高いものに改良していこうと考えている。

最後に、比較的安価なALP-35002型センサについては実際の測定に適用し、長期自記記録に成功しているので、今後、発表の機会が得られれば、工夫した点など詳細な点を含め報告したいと考えている。

引用文献

- 1) 西出 勤, 瀬戸隆一, 高橋輝雄: 動ヒズミ式土壌水分

計の測定原理—土壌水分検出による畑地カンガイの自動化に関する研究(I)—, 農土論集50号, pp.9~14(1974)

- 2) 西出 勤: 動ヒズミ式土壌水分計の性能—土壌水分検出による畑地カンガイの自動化に関する研究(II)—, 農土論集54号, pp.11~16(1974)

- 3) 西出 勤: 浸潤による土層内の水分ポテンシャル—土壌水分検出による畑地カンガイの自動化に関する研究(III)—, 農土論集55号, pp.15~21(1975)

- 4) 矢部勝彦: 土壌水分の測定法, 土壌の物理性 No. 41, pp.90~94(1980)

- 5) 矢部勝彦他: 露地畑および施設栽培における水消費と必要水量—豊川用水地区における畑地灌漑用水の需要の動向—調査報告書, 畑地農業振興会, pp.1~40(1991)

- 6) ユニパルス株式会社: U LOGGER L810取り扱い説明書 Rev. 2.03-03, pp.1~59(1990)

(受理年月日1991年4月2日)

 書 評

応用地理学ノート

松井 健編著

朝倉書店 1991年刊

A 5版 216 pp. 3,200円

本会員には土地を扱う工学分野関係の技術者や研究者が多くおられるが、これらの方々のほとんどが口を揃えて、地形分類図、地質図、土壤図、植生図などの地図情報は工学分野ではあまり役立たないと言われる。本書の編著者の松井氏もそのことを本書中で「各分野の専門家によって作られたこれらの一次的地図情報は報告書の冒頭の地域概況のアクセサリーとして引用されるに過ぎないのが実情である」と述べられる。また、松井氏はこの理由を本書中で「一次的地図情報を判読し、活用するには、それぞれの地図の分類・作図単位を十分に理解していなくてはならないが、そうならないのはユーザーである自治体の職員や、計画や設計を担当する職業的プランナーにとって、一次的地図情報が馴染みが薄いためである」と指摘されている。これらの点については、評者も松井氏と同感である。

確かに、一次的地図情報には、土地を扱う工学分野の方々が必要とされる物理的、工学的な量や指標に関する情報は少ない。しかし、これはこれまでに一次的地図情報を作成してきた各分野の専門家に全て責任があるのではなく、土地を扱う工学分野の専門家による地図情報への工学的情報のインプットに関する画策へのアプローチが不足しているからである。また、この不足は土地を扱う工学分野では点的なあるいは線的な狭い部分の詳細な土地情報を必要とする場合が極めて多く、既往の地図情報が持つ大きなスケールで工学的事象を検討する場合が少なかったことによると思われる。

さて、本書は、上述したように、これまでにほとんど類を見ない地図情報の活用化を中核とする「応用地理学」の書である。本書が出来上がるについては編著者の松井氏の経歴が深く関わっている。編著者は骨本の自然史研究のメッカであった財源科学研究所で20年間、土壤地理学と第四紀学の研究に従事せられ、多大な業績を上げられた方である。その後、編著者はコンサルタント会社の経営者へ転身されて17年間、国、地方公共団体、公社公団等の地域総合計画およびそれらの戦略手段たる宅地開発、農用地開発、工業開発、水源地開発、観光開発等

の事業計画の策定に不可欠である自然条件、社会・経済条件等の基礎調査、ならびにそれらの計画を達成するにあたって避けては通れない環境保全、防災等の調査を多く手がけられた。これらの業務の遂行にあたっての中心的なノウハウが各種地図の作成とそれらの解析という自前で開発した「応用地理学」的な手法で対応するものであったということであるが、編著者の研究の経験と業績とがその基盤をなしていたことは言うまでもない。なお、編著者は目下は研究機関および民間会社での経験を活かされて、私立大学で「地理学」を教えておられる。

すなわち、本書はこのコンサルタント会社の調査業務での「応用地理学」的な成果のうち、学会誌等に公表を評された部分を編集したものである。本書の主な内容は次のようである。Ⅰ. 地理情報の意義と地域計画への適用、Ⅱ. 環境地理学試論、Ⅲ. 災害地理学序説、Ⅳ. 地域計画論ノート。

Ⅰ. では、地理情報の起源と利用動向が総説され、また既往の地図情報の応用そのものの手法と実際例が論述されている。Ⅱ. では、地理的な広がりを持つ自然的環境要素の調査・解析を重視した環境影響評価の手法とその実際例が論述され、また農業が環境に及ぼす地理的インパクトについての既往の調査・試験研究成果が総説され、さらにエネルギーと環境問題についての地理学的センスを活かした評論がなされている。Ⅲ. では、地理的な広がりを持つ自然的環境要素とそれへの人為的働きかけがもたらす災害要因を重視した災害予測と防災アセスメントが論述されている。Ⅳ. では、地理学的手法からアプローチによる自然的・文化的特性を活かした地域計画のあり方とその実際例が論述されている。

今や、都市でも、農村でも自然的環境と調査する人間生活を重視した総合整備が強く要請されるようになり、本会員の多くがその計画手法を模索されていることと思われるが、本書はその手法の一つを多くの実例を用いて提示したものである。本会員の皆様には是非とも一読をお勧めしたい。(日本大学農獣医学部 河野英一)

書 評

畜産土木入門

— 土地利用型畜産をめざして —

小林裕志・佳山良生・堤 聰・本橋圀司 共著

川島書店 1991年刊

A 5版 204 pp. 3,300円

早然の物質循環を重視した畜産，すなわち草地畜産の情開の重要情が叫ばれて久しい。現状とはいえ、飼料原料の70%以上を海外に依存し、「加工型畜産」の傾向がますます強まっている。いっぽう、関係者の懸命の努力にも係わらず、行き場を失った家畜糞尿による「いわゆる畜産公害」という課題はなかなか払拭できない。これらの原因について、わが国農業の自然的・歴史的背景や最近の国際経済情勢との関連を含めて様々の議論がなされている。その中で、この原因の一つにわが国の畜産学教育における総合性の欠如も指摘されている。すなわち、「牛の胃の構造は分かるが牛のことは分からない」という「名言」を引き合いに出すまでもなく、従来のわが国の畜産学教育の欠陥の一つが、「総合的動物生産学としての位置づけの脆弱性」にあるというものである。そうであれば、自然の循環と生態系を重視した畜産，すなわち土地利用型畜産に関する研究や教育の重要性が、ますます強調されるべき時代といえよう。

本書は北里大学獣医畜産学部の「畜産土木学科」に属するグループが中心となって執筆されている。当学科は、わが国にはじめての学科名をもって1981年に設置されたもので、教官の専門分野も畜産学、草種学、農業機械学などで構成されており、研究はもちろん教育の場面でも新しい総合科学としての展開が期待され注目されてきた。著者代表の「はしがき」によれば、「本書は発足以来このかたグループが行ってきた新分野についての議論の成課」としている。内容についてはもちろん、いろいろな意味で興味もたれる著書といえよう。

本書は総論と技術編よりなっている。総論の部分において、まず自然生態系や自然史をとりあげた後、農耕と牧畜の起源、耕種農業と畜産の歩み、農畜改良の歴史等について解説している。続いて本邦畜産の特色すなわち有畜農業と小規模経営について述べた後、現代日本畜産の特殊性と変則性について言及している。さらに農林生態系と国土保全の課題については、近代農業が自然生態系に与える影響について考察し、農業生産と自然循環系との調和こそが環境保全の前提になることを大気、水、土壌そして生命等との係わりにより説明している。

畜産や土木に関する専門の技術解説を期待する読者は、これらの内容について多少の違和感を覚えるかもしれない。しかし、本書がこれらの項に相当のスペースと精力を費やしていることは、従来の個別科学としての畜産学や土木学でなく、総合科学を指向する著者らの意図の表れであり、本書の特長とも考える。家畜生産ならびにその基盤に関連する分野の専門家を目指す若い人達に、とくに一読を勧めたい項である。

各論に相当する技術編では、まず内外の草地開発の歩みを紹介したうえで、草地造成・改良についての基本技術について記述している。また草地利用の項においては、施肥や牧草の生育特性について記述した後、採草、放牧そして調製利用、さらにレクリエーションや緑化工などを含めた草地利用の方法と基礎技術について解説している。さらに農業水利および農業機械については、畜産業と水利、畜産業の機械と施設に関する基本と技術の要点が紹介されている。本項では草地の開発と利用技術とともに、これを円滑に家畜生産に結びつけるうえで必要な諸施設、水の制御や畜産の関連機械について、その基本と技術が体系的かつ分かり易く記述されており、また景観やレクリエーションに果たす草地の役割等新しい分野にも着目している。草地や畜産施設の施工などに関係する分野の学生や技術者の教科書、参考書としての活用が期待できるであろう。

上記のように本書は、動物生産の背景としての自然の生態系や農業の歴史から最新の生産利用技術にいたる膨大な分野をカバーしている。そして、著者らの意図ならびに入門書としての所期の目的は見事に達成されているように思われる。しかし、読者の専門や目的によっては、技術解説書としての側面に対するさらなる要望も少なくないものと考えられる。これらの点が次著により補完されることを希望しておきたい。いずれにせよ、本書を総合科学としての新しい畜産学と、「環境に優しい」土地利用型畜産の確立をめざす著者さの姿勢が読みとれる好著と評価し、これが草地畜産やその基盤について勉学を志す若い学徒の座右の書となることを期待したい。

(岡山大学農学部 内田仙二)

第15期最初の総会開催される

平成3年8月 日本学術会議広報委員会

日本学術会議の第15期が7月22日から発足し、7月22日～24日の3日間、第15期最初の総会が開催されましたので、その総会等についてお知らせします。

日本学術会議第112回総会報告

7月22日の第15期の発足に伴い、内閣総理大臣による日本学術会議会員の辞令交付が行われた。第15期の会員は、選出制度が学術研究団体を基礎とする推薦方式になって、3回目の会員である。この第15期会員による最初の総会である、第112回総会が7月22日から24日までの3日間、本会議講堂で開催された。

第1日目(22日)は、午前は新会員への辞令交付式があり、午後総会が開会され、直ちに、会長及び両副会長の選挙が行われた。会員による互選の結果、会長には近藤次郎第5部会員が13期、14期に引き続き三選された。人文科学部門の副会長には、川田侃第2部会員、自然科学部門の副会長には、渡邊格第4部会員が選出された(渡邊副会長は再選)。選挙終了後、近藤会長から「新人の方が半数以上おられ、大きな抱負をもっておられると思う。挫折感を持つことのないようできるだけ努力をしたい。皆様にも御協力をお願いしたい」との就任のあいさつがあり、又、川田、渡邊両副会長からもそれぞれ就任のあいさつがあった。

会長、副会長選出後は、直ちに各部会が開催され、各部の部長、副部長、幹事の選出が行われた。(第15期の役員については、別掲を参照)

第2日目は10時に総会が開会され、近藤会長が14期の会長という資格で第14期の総括的な活動報告を行った。その報告の折々には、国際交流とか、将来計画委員会、学術会議の予算等、会長の感慨、または感想をも交えてその所感を述べた。続いて、会員推薦管理会報告として、久保亮五委員長代理として事務総長が、第15期会員の推薦を決定するまでの経過報告を行った。

引き続き、会長から3日目の総会で提案・審議する予定の「第15期活動計画委員会の設置について(申合せ案)」に関する各部での事前討議について、並びに各常置委員会の各部での委員の選出について、それぞれ各部へ依頼した。

総会終了後、各部会が開催され、前述の申合せ案の討議及び各常置委員会委員の選出等が行われた。

第3日目(24日)、10時に総会が開会され、会長から「第15期活動計画委員会の設置について」の提案が行われた。

これは、第15期の活動の基本計画の立案を目的とする臨時の委員会を次の定例総会までの間、設置するという内容を内容としている。そしてこの提案は原案どおり可決された。

総会終了後、直ちに各部会が開会され、設置が決定された第15期活動計画委員会委員の選出等が行われた。

なお、この第15期活動計画委員会は、総会期間中に第1回の会議を開き、全会員を対象にした第15期の学術会議の活動に関するアンケートの実施を決めるなど、早速その活動を開始した。

また、運営審議会附置委員会、常置委員会、国際対応委員会等も活動を開始した。

第15期日本学術会議の辞令交付式等について

第112回総会に先立ち、第15期日本学術会議会員の辞令交付式が7月22日(月)11時から、総理大臣官邸ホールで行われた。辞令交付式は、海部内閣総理大臣、坂本内閣官房長官、大島、石原両官房副長官、稲橋総理府次長等の出席を得て執り行われた。

第1部から第7部までの会員1人ずつの名前が読み上げられた後全会員の最年長である渡邊格第4部会員が代表して海部総理から辞令を手渡された。この後、海部総理大臣から「会員の皆様には、創造性豊かな科学技術の発展、総合的観点に立った学術研究に係る諸活動に御尽力いただきたい。」とのあいさつがあり、これに応じて第15期会員を代表して渡邊格会員が「微力ながら全力を尽くし、重要な責務を全うし、国民の期待に応えたい。」とあいさつがあり、式は終了した。式には192名の会員が出席した。

また、総会2日目の夕方には、学術会議ホールで、坂本官房長官主催の第15期会員就任パーティーが開催された。パーティーは坂本官房長官のあいさつで開会し、日本学士院院長代理の藤田良雄幹事の祝辞があり、これに対する近藤会長の答礼のあいさつ、沢田敏男日本学術振興会会長の発声による乾杯の後、懇談に入った。ホールには溢れんばかりの人々で歓談が続き盛会であった。

第15期日本学術会議役員

会長 近藤 次郎 (第5部・経営工学)
副会長 川田 侃 (第2部・政治学)
副会長 渡邊 格 (第4部・生物科学)

<各部役員>

第1部 部長 肥田野 直 (心理学)
副部長 弓削 達 (歴史学)
幹事 一番ヶ瀬康子 (社会学)
" 山本 信 (哲学)

第2部 部長 西原 道雄 (民法学)
副部長 細谷 千博 (政治学)
幹事 正田 彬 (社会法学)
" 山下 健次 (公法学)

第3部 部長 大石 泰彦 (経済政策)
副部長 島袋 嘉昌 (経営学)
幹事 岡本 康雄 (経営学)
" 藤井 隆 (経済政策)

第4部 部長 中嶋 貞雄 (物理科学)
副部長 田中 元治 (化学)
幹事 竹内 郁夫 (生物科学)
" 樋口 敬二 (地球物理学)

第5部 部長 岡村 総吾 (電子工学)
副部長 市川 惇信 (計測・制御工学)
幹事 内田 盛也 (応用化学)
" 増子 昇 (金属工学)

第6部 部長 中川昭一郎 (農業総合科学)
副部長 水間 豊 (畜産学)
幹事 志村 博康 (農業工学)
" 平田 熙 (農芸化学)

第7部 部長 岡田 晃 (社会医学)
副部長 伊藤 正男 (生理科学)
幹事 渥美 和彦 (内科系科学)
" 金岡 祐一 (薬科学)

(注) カッコ内は、所属部・専門

第15期日本学術会議会員の概要について

この度任命された210人の第15期日本学術会議会員の概要を以下に紹介する。(カッコ内は前期)

1 性別 男子207人(207人) 女子3人(3人)
2 年齢別 50～54歳 3人 55～59歳 29人
60～64歳 105人 65～69歳 58人
70～74歳 15人
最年長 74歳(76歳)
最年少 54歳(51歳)
平均年齢 63.5歳(63.1歳)

3 勤務機関及び職名別

(1) 大学関係 国立大学 71人(78人)
公立大学 2人(4人)
私立大学 93人(88人)
その他 3人(2人)
計 169人(172人)

(2) 国公私立試験研究機関・病院等 11人(9人)

(3) その他 法人・団体関係 9人(10人)
民間会社 9人(6人)
無職 10人(13人)
その他 2人(0人)
計 30人(29人)

4 前・元・新別 前会員 88人(109人)
元会員 3人(4人)
新会員 119人(97人)

5 地方別(居住地) 北海道 4人(3人)
東北 8人(6人)
関東 133人(130人)
中部 20人(17人)
近畿 34人(42人)
中国・四国 5人(4人)
九州・沖縄 6人(8人)

(注) 詳細については、日本学術会議月報7月号を参照

平成4年(1992年)度共同主催国際会議

本会議は、昭和28年以降、学術関係国際会議を関係学術研究団体と共同主催してきたが、平成4年(1992年)度には、次の6国際会議を開催することが、6月7日の閣議で了解された。(カッコ内は、各国際会議の開催期間と開催地)

- ・第9回国際光合成会議
(平成4年8月30日～9月5日, 名古屋市)
共催団体: 日本植物生理学会
- ・国際地質科学連合評議会及び第29回万国地質学会議
(平成4年8月24日～9月3日, 京都市)
共催団体: (社)東京地学協会外5学会
- ・第5回世界臨床薬理学会議
(平成4年7月26日～31日, 横浜市)
共催団体: 日本臨床薬理学会

- ・第11回国際光生物学会議
(平成4年9月7日～12日, 京都市)
共催団体: 日本光生物学協会
- ・第14回国際平和研究学会総会
(平成4年7月27日～31日, 京都市)
共催団体: 日本平和学会
- ・第8回国際バイオレオロジー会議
(平成4年8月3日～8日, 横浜市)
共催団体: 日本バイオレオロジー学会

御意見・お問い合わせ等がありましたら、下記までお寄せください。

〒106 東京都港区六本木7-22-34

日本学術会議広報委員会 電話03(3403)6291

第15期活動計画決まる

平成3年11月 日本学術会議広報委員会

日本学術会議は、このたび開催した第113回総会において、第15期活動計画と新しい特別委員会の設置を決定しましたので、その概要をお知らせいたします。

日本学術会議総会における内閣官房長官挨拶

平成3年10月23日(水) 日本学術会議講堂

日本学術会議第113回総会に当たりまして、一言ご挨拶を申し上げます。

御承知の通り、日本学術会議は、我が国の科学者の内外に対する代表機関として、科学の向上発展を図り、行政、産業及び国民生活に科学を反映浸透させるという重大な責務を負っております。

21世紀に向けて、さらに調和のとれた真に豊かな国民生活を実現するためには、創造性豊かな科学技術は申すまでもなく、学術全般を一層発展させることが必要であります。また、我が国の国際的地位の向上に伴い、全地球的視点に立った我が国の国際的な貢献が強く求められております。

そこで、日本学術会術の皆様におかれましては、日本の科学研究の一層の進展のために、長期的かつ高い観点から議論を重ねていただくとともに、科学研究の分野において我が国がどのような国際的貢献をなすべきか等自然科学のみならず、人文・社会科学も含めた全学問的領域から総合的に検討していただき、建設的な御意見を積極的にご出しいただきたく、お諮りをいたします。

頂戴いたしました有意義な御意見につきましては、その実現に最大限の努力をいたしたいと考えております。

終わりに、日本学術会議の今後の御発展と、御出席の皆様方の御健勝を祈念いたしまして、私の挨拶といたします。

日本学術会議第113回総会報告

日本学術会議第113回総会(第15期・第2回)は、10月23日～25日の3日間開催された。

総会冒頭、官房長官の挨拶があった。(上掲)

近藤会長からの前回総会以降の経過報告に続いて、運営審議会附置委員会、部会、常置委員会、国際対応委員会の各委員長、部長からの報告があった。そして第15期日本学術会議の活動方針となる「第15期活動計画(申合わせ)」と「臨時(特別)委員会の設置について(申合わせ)」(別掲)の2件の提案があり、真剣な討議の後、一部修正をして、圧倒的多数の会員の賛成により可決した。この2件の提案内容は、前回の臨時総会で設置された第15期活動計画委員会

が審議を重ねて作成したものであり、またその間に2回の連合部会及び部会を開いて、各会員の意見を集約したものである。

総会2日目は、予定を急遽変更してSSC(超電導超大型粒子加速器)計画についての討議を行った。これは去る10月15日に運営審議会のメンバーに対し、米大統領補佐官D・アレン・ブロンリー博士が、SSC建設計画に関して日本の協力を求めるスピーチを行ったのに対して、第4部から総会討議資料が提出されたためである。中嶋卓雄第4部長と伊達宗行会員が登壇し説明を行い質問等に答えた後討議に入った。午後も熱心な討議は続き政府に対して要望を提出することが採択された。

内閣官房長官挨拶の中で諮られた学術に関する国際対応については、第15期活動計画の中にも提唱されているが学術会議としては、今後、重要案件として審議することとした。

このほか、広報委員会、将来計画委員会も開催された。

総会3日目は、各常置委員会、各特別委員会(第1回会議)が開催された。

第15期活動計画

日本学術会議は、創設以来、科学者や学術研究団体との連携の下に、その目的・職務の遂行に努力し、我が国の学術研究体制の整備についての重要な勧告等を行い、研究所の設立などを含めて数々の業績を挙げてきた。また、数多くの国際学術団体との連携・協力、国際学術協力活動への参加など世界の学界と提携しつつ学術の進展に貢献してきた。しかしながら、創設後40有余年を迎えた現在、学術を取り巻く状況は、国際的にも国内的にも著しい変化を生じた。このような状況を踏まえて、第15期日本学術会議は、本会議の創設以来の基本的精神を引き続き堅持しながら、変動の激しい内外情報に対応して、なお一層の成果を挙げるべく努力する。

日本学術会議は、学術に関する重要事項を自主的に審議し、我が国の学術研究の在り方についての方策を立案し、学術研究の成果を行政、産業及び国民生活に反映浸透させることを使命としている。このため、会員の科学的知見を結集し、時代の要請に即応しつつ将来を見通し、以下の視

点から学術研究の一層の推進を図る。

人文・社会及び自然科学を網羅した日本学術会議は、全学問的視野に立ち、学術研究団体を基盤とする科学者の代表機関であることを認識して、全科学者の参加と意見の集約を図らなければならない。さらに、本会議が集約した科学者の意見を速やかに政策の形成に反映させるようにすべきである。特に学術政策については、他の関係諸機関との連携を強化し、その実現を図る。

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

我が国の科学者を内外に代表する機関である日本学術会議は、国際社会における我が国の地位の向上に照らし、海外諸国の期待と時代の要請にこたえて、学術の分野における国際貢献に積極的な役割を果たすべきである。

日本学術会議は、真理探究という基本理念に立脚し、国民とともに学術の在り方を考え、同時に学術の国際性を重視するものである。そのためには、学術の健全な発展に向けて、学問・思想の自由の尊重と研究の創意への十分な配慮の下に、長期的かつ大局的な視点に立ち、創造性豊かな研究の推進に努める。

科学が文化国家の基礎であるという確信に立ち、日本学術会議は、科学者の総意を代表してその精神を高揚したい。即ち、21世紀に向けて学術体制及び研究・開発の望ましい在り方を抜本的に検討し、我が国の学術政策に指針を与えることにより、国民の期待にこたえるとともに、人類の福祉と世界の平和に貢献することを期するものである。

1. 重点目標

第15期活動計画の重点目標は、次のとおりとする。

(1) 人類の福祉・平和・地球環境の重視

今世紀において、科学・技術は長足の進歩を遂げたが、一方において、地球環境の悪化を始めとして、人類の将来を脅かすような事態が起こっている。さらに現在の世界は、激動の渦中にあり、その影響は、学術の分野にも及んでいる。

今日の社会的現実が提起している問題を解決するには、直接に関係する研究だけでなく、広く諸科学が積極的に関与する必要がある。そのためには、多くの研究領域が、それぞれ独自に一層の深化を図るとともに、共同の努力を行い、研究の内容、学問体系の変革にまで進むべきである。人文・社会及び自然科学を包含する日本学術会議は、その特徴を生かして十分な審議を行い、人類の福祉・平和・地球環境を重視して、学術研究の進むべき方向を提示する。

(2) 基礎研究の推進

学術の研究は、人類の発展に不可欠であることは言をまたない。日本学術会議は、将来の学術の発展に向けて、各分野の基礎研究の推進に積極的に取り組むこととする。

また、学術の領域は広範多岐であり、基礎研究であれ応用研究であれ、それぞれの領域ごとに方法論も異なり、研究者の求めるものに大きな違いがあることを十分に考慮し、各分野の研究者の声を聞き、それぞれに適した育成策を講ずる必要がある。それと同時に、学術研究の動向に注目し、いわゆる学際的研究や学問の総合化に留意しつつ、諸科学の調和のとれた発展を目指すことが重要である。

以上のため、第13期においては学術研究動向、第14期においては学術研究環境に関する調査研究を行い、我が国の学術水準の国際比較やその発展を阻害する諸因子な

どを指摘した。今期においては、これらの調査結果を参考にしつつ、創造性の基礎となる個人の着想を重視し、かつ、国際的にみた学術研究の動向を見極め、独創的研究の強化策等を積極的に図る。さらに、国民生活の向上発展に資する学術の具体的方策を審議提言する。

(3) 学術研究の国際貢献の重視

学術研究は、本来、真理の探究を目指す知的活動であり、その成果は広く人類共通の資産として共有されるべきものである。したがって、学術の国際交流は、学術研究にとって本質的に重要であり、その在り方に常に關心を払う必要があることは言うまでもない。

さらに近年は、国際平和の推進や環境問題の解決等、いわゆる地球のあるいは国際的規模の課題について、我が国の研究を充実させつつ、広く世界の諸科学の発展を積極的に推進する必要が増大している。また、発展途上国及び近隣諸国の学術振興のため、これら諸国の研究者に協力して、貢献策を立案することが強く要望されている。これらのことから、我が国の科学者が今後積極的に国際貢献に取り組み、学術を人類の繁栄と世界の平和に役立てるため積極的な役割を果たすことが必要となりつつある。

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

2. 具体的課題（要旨）

次の課題を選定した。

- (1) 科学者の倫理と社会的責任
- (2) 学術研究の長期的展望
- (3) 研究基盤の強化と研究の活性化
- (4) 研究者の養成
- (5) 学術情報・資料の整備
- (6) 学術研究の国際交流・協力
- (7) 国際対応への積極的取り組み
- (8) 文化としての学術
- (9) 平和と安全
- (10) 死と医療
- (11) 生命科学と社会的諸問題
- (12) 人口・食糧・土地利用
- (13) 資源・エネルギーと地球環境
- (14) 巨大システムと人間

3. 具体的課題への対応及び臨時（特別）委員会設置について（省略）

注：国際対応委員会の扱いは常置委員会の並びとする

◇今回の総会決定により設置された特別委員会◇

- ・文化としての学術
- ・平和と安全
- ・死と医療
- ・生命科学と社会的諸問題
- ・人口・食糧・土地利用
- ・資源・エネルギーと地球環境
- ・巨大システムと人間

御意見・お問い合わせ等がありましたら、下記までお寄せください。

〒106 東京都港区六本木7-22-34

日本学術会議広報委員会 電話03(3403)6291

第15期特別委員会の活動始まる

平成4年3月 日本学術会議広報委員会

日本学術会議では、昨年10月の総会において設置された第15期の各特別委員会が活動を始めましたが、今回の日本学術会議だよりでは、これらの特別委員会に加えて、日本学術会議主催 IGBP シンポジウム等についてお知らせいたします。

第15期の特別委員会

昨年10月の第113回総会で決定された、日本学術会議の第15期活動計画では、活動の重点目標として、①人類の福祉・平和・地球環境の重視、②基礎研究の重視、③学術研究の国際貢献の重視、の3本の柱を掲げるとともに、これらの重点目標を踏まえて、多方面の科学者によって構成される日本学術会議にふさわしく各分野にわたって広く対応し、かつ第15期中に適切な形で報告・提言に取りまとめるべき具体的課題として14の課題を選定している。

具体的課題のうち、今期中に一応の結論を出すことが望ましい臨時的な7つの課題については、それぞれ特別委員会を設置し、審議を開始した。

各特別委員会の名称及び任務等は次のとおりである。

◆文化としての学術

委員長：宅間 宏（第4部会員）

（任務）学術は、人類発展の基礎である。学術研究の意義についての社会的認識を深めるため、文化としての学術の在り方を検討する。

◆平和と安全

委員長：香西 茂（策2部会員）

（任務）平和と安全の確保や国際摩擦の解消等に関する研究推進の在り方及び研究体制等について検討する。

◆死と医療

委員長：小坂二度見（第7部会員）

（任務）医療技術の急速な進展は、自然科学の分野だけでなく、人文・社会科学の領域にも種々の問題を提起している。終末医療における尊厳死、安楽死や医療経済の問題、さらに説明と同意などの社会的側面等人の死と医療の在り方について検討する。

◆生命科学と社会的諸問題

委員長：山科都男（第7部会員）

（任務）生命科学とその応用の急速な進展に伴い、倫理的、社会的諸問題並びに規制の在り方等について検討する。その際、我が国における生命科学の研究体制の在り方にも留意する。

◆人口・食糧・土地利用

委員長：梶井 功（第6部会員）

（任務）世界人口の増加や地球環境変化による食糧需給の不安定化問題と、これらに伴う土地利用変化の諸影響等を総合的に検討して、人間活動の在り方を探る。また、一極集中の激しい我が国の現状を勘案し、今後の国土利用の在り方についても検討する。

◆資源・エネルギーと地球環境

委員長：吉野正敏（第4部会員）

（任務）資源・エネルギーの開発と利用に伴う自然及び人間社会への影響を研究し、「持続可能な発展」のための諸方策と環境教育の在り方等について検討する。

◆巨大システムと人間

委員長：内山喜久雄（第1部会員）

（任務）技術革新・システムの巨大化が人間に及ぼす影響について、安全性確保と人間性尊重の立場から検討する。

これらの各特別委員会は、発足以来現在までに各々2～3回の会議を開催して、それぞれの任務に添った具体的な審議課題や今後の審議計画等について熱心に審議を進めている。今後の審議の成果が大いに期待されているところであり、今後、審議成果が発表され次第紹介していく予定である。

公開講演会の開催状況

第15期に入って、初めて開催された日本学術会議主催公開講演会は、「文明の選択—都市と農業・農村の共存を目指して—」と題して、平成4年1月27日(月)13時30分～16時30分に、福岡明治生命ホール(福岡市)で開催され、水間会員(第6部)、北村会員(第6部)及び利谷会員(第2部)の講演が行われ、多数の聴講者があった。

つづいて、「子どもの人権を考える」と題して、平成4年3月7日(土)13時30分～16時30分に、日本学術会議講堂で開催され、堀尾会員(第1部)、永井会員(第2部)及び馬場会員(第7部)の講演の後、熱心な質問が続出した。

地球圏—生物圏国際協同研究計画(IGBP)シンポジウム

日本学術会議主催の地球圏—生物圏国際協同研究計画(IGBP)シンポジウム「日本のIGBP研究の現状と将来」が去る2月4日(火)、5日(水)の両日、日本学術会議を会場として開催された。

日本学術会議においては、平成2年4月の総会において、「地球圏—生物圏国際協同研究計画(IGBP)の実施について(勧告)」を採択し、政府に対し研究の積極的な推進を求めたところであるが、IGBPについて国内の各研究者、研究機関において実施される研究の促進を図るとも

に、この研究が極めて多くの分野にわたり、また多数の研究機関が関与していることから、この研究の連絡、調整を図る場として、本シンポジウムを開催することとしたものである。また、我が国のIGBPの研究が、広義のモンスーン・アジア地域、西太平洋地域、極域を中心に行われることから、これらの地域の研究者を招きそれぞれの国の研究の状況の紹介、意見交換を行った。

本シンポジウムの内容は次のとおりである。

〔1日目〕

講演 IGBPについて

第1領域～大気微量成分の変動と生物圏

- (1) 地球大気化学国際協同研究計画 (IGAC)
- (2) IGACの東アジアにおける展開 (APARE)

第2領域～海洋における炭素循環

- (3) 海洋における炭素循環

第3領域～地球変化に係わる生態系及び水循環

- (4) 炭酸ガス変動が炭素循環に及ぼす影響
- (5) 水循環と生態系 (BAHC)

第4領域～地球圏-生物圏の相互作用を考慮したモデリング

- (6) 気候モデルおよび大気化学モデル
- (7) 局地気候・環境モデリングの立場から
- (8) 生態系モデリングの立場から

第5領域～IGBPにおける地球観測衛星の整合性と問題点

- (9) 気象衛星データの現状と将来
- (10) 地球観測衛星データの現状と将来
- (11) NASA EOS と ASTER

第6領域～古環境変化の原因と応答

- (12) PAGESについて
- (13) 南極氷床ドーム深層掘削観測計画
- (14) 温暖化と沿岸環境

第7領域～農林水産活動の地球環境への影響

- (15) 農業生態系に関する地球環境研究-メタンと温暖化-
- (16) 森林・林業に関する地球環境研究-炭素収支と温暖化の抑制-

〔2日目〕

特別講演～ナショナルプロジェクト紹介～

オーストラリア、中国、フィリピン、タイ及び日本

領域別個別討議

第1領域から第7領域まで

各領域からの報告

総合討議

当日は2日間にわたるシンポジウムであったが300人を超える参加者があり、盛況のうちに終了した。

本シンポジウムの成果は、報告書として取りまとめ、今後の研究の参考資料として関係機関・研究者等に配布することとしている。

なお、平成4年度にも引き続き本シンポジウムを開催する予定である。

二国間学術交流事業

日本学術会議では、二国間学術交流事業として毎年代表団を海外に派遣し、訪問国の科学者等と学術上の諸問題について意見交換を行って、相互理解の促進を図る事業を行っている。

この事業は、昭和58年度から実施されており、これまでにアメリカ合衆国、連合王国、オーストラリア、中華人民共和国等19か国に代表団を派遣してきた。

平成3年度は、11月4日から14日までの11日間の日程で、ベルギー王国及びオーストリア共和国へ、川田侃副会長を団長とする計10名（うち随行事務官2名）から成る代表団を派遣した。

ベルギー王国では、科学技術担当省、科学、文学及び芸術に関する王立アカデミー、ブリュッセル自由大学、EC本部教育関係機関、EC本部環境総局などを、また、オーストリア共和国では、科学研究省、オーストリア科学アカデミー、ウィーン大学、ドナウ河畔の国連都市にある国際原子力機関 (IAEA)、国連工業開発機関 (UNIDO) などを訪問した。

各訪問先では、関係者との間で、それぞれの国の学術研究体制や科学技術政策などをめぐって活発な意見交換が行われた。

特に印象的だったものとして、まずベルギー王国では、ECが推進しているERASMUS計画、これはEC Action Scheme for the Mobility of University Studentsの略で、EC12か国の大学生を域内各国へ相互留学させて、専門科目や語学の能力向上あるいは風俗習慣の理解をはかろうとするもので、ECの将来に大きく貢献するものと思われる。また、ベルギー王国は、長い歴史の流れの中で、フランス語とオランダ語の2か国語が話されてきたため、この言語間の対立が、政治・経済の発展はもとより、学問の分野にも非常に複雑な影響を与えていることであった。今回訪問した科学、文学及び芸術に関する王立アカデミーやブリュッセル自由大学もまったく同名のアカデミーと大学がフランス語系 (ワロン系) とオランダ語系 (フラマン系) とに分かれて存在しており、我々の代表団も、団編成を2班に分けてこれらの機関を訪問することになったことは、非常に印象的であった。

オーストリア共和国では、650年の伝統をほこるウィーン大学やオーストリア科学アカデミーの建物の重厚さに目を見はり、またドナウ河畔に作られた国連都市にIAEAとUNIDOの2つの国連機関を訪問した際には、IAEAのチェルノブイリ原発事故以後の核問題への積極的な取り組みやUNIDOの開発途上諸国における工業発展に対する貢献度の大きさに団員一同大いに感激するとともに、D. L. Siason Jr. UNIDO事務局長の流暢な日本語には、だれもがびっくりさせられた。

近年、学術、特に基礎研究における我が国の国際貢献の重要性がウエイトを増す中で、この種の学術交流事業は益々強化されるべきものであることを、派遣代表団員全員が強く認識させられた今回の渡欧であった。

御意見・お問い合わせ等がありましたら、下記までお寄せください。

〒106 東京都港区六本木7-22-34

日本学術会議広報委員会 電話03(3403)6291

会務報告

諸会議開催経過

1. 事務局会議（'91.8.20 岡大農）
 - 1) 学術会議15期 土壌・肥料・植物栄養学研究連絡委員会委員推薦について
神戸大学農学部教授、本研究会副会長 東 順三氏を推薦
 - 2) 学術会議15期 農業総合科学研究連絡委員会委員推薦について
岡山大学農学部教授、本研究会評議員 足立忠司氏を推薦
2. 事務局会議（'91.10.2 岡大農）
 - 1) シンポジウム準備スケジュールの打合せ
 - 2) シンポジウム準備の分担
 - 3) 1991年度総会・1990年度第2回評議員会の開催について
3. 事務局会議（'91.11.1 岡大農）
 - 1) シンポジウム準備状況の確認
 - 2) 総会・評議員会の議題ならびに準備資料確認
 - 3) 編集委員会報告
 - 4) 会誌発送経過について
4. 1990年度第2回評議員会（'91.11.6 岡大大学院自然科学研究科）
 - 1) 1990年度事業報告
 - 2) 編集委員会報告
 - 3) 1991年度事業計画
 - 4) 1990年度会計報告
 - 5) 会計監査報告
 - 6) 1991年度予算案
 - 7) 入退会者の承認
 - 8) 会員の動向
 - 9) 土壌物理研究会の名称変更について
 - 10) その他
5. 1991年度総会（'91.11.6 岡大大学院自然科学研究科）
 - 1) 1990年度事業報告
 - 2) 編集委員会報告
 - 3) 1991年度事業計画
 - 4) 1990年度会計報告
 - 5) 会計監査報告
 - 6) 1991年度予算案
 - 7) 土壌物理研究会の名称変更について
 - 8) その他

なお、総会で可決された1990年度決算、1991年度予算は次の通りである。

総会報告

	項 目	1990年度決算	1991年度予算
収 入	繰越金	1,734,190円	1,969,492円
	一般会費	1,931,000	2,700,000
	購読会費	283,500	300,000
	賛助会費	60,000	100,000
	出版物売上	279,597	100,000
	雑収入	170,016	100,000
	合 計	4,458,303	5,269,492

支 出	会誌製作費	1,657,064	2,600,000
	総会費	421,150	550,000
	通信費	160,232	300,000
	文具費	68,057	70,000
	賃 金	20,500	200,000
	交通費	65,620	300,000
	会議費	4,800	100,000
	幹事手当	40,000	50,000
	編集委員会費	47,888	100,000
	選管委員会費	—	300,000
	予備費	3,500	699,492
	次年度繰越金	1,969,492	—
		合 計	4,458,303

6. 第33回シンポジウム

日 時：1991年11月6日（水）9：50～17：05

場 所：岡山大学大学院自然科学研究科大会議室

テーマ：土壌中における非保存性物質の動態と土壌物理性

講 演

1. （特別講演）大気中でのガス輸送とその計測
大滝英治（岡山大学教養部）
2. 水田土壌中における CO₂ と CH₄ の動態—大気へのフラックス—
木村真人（名古屋大学農学部）
3. 大気—生態系の含窒素ガスの交換
吉田尚弘（富山大学理学部）・和田英太郎（京都大学生態学研究センター）
4. 農業生態系から放出される含流ガス
陽 捷行（農業環境技術研究所）
5. 生態系における腐植生成と脂肪酸成分の変動
米林甲陽（京都府立大学農学部）

コメント 笹川英夫（岡山大学大学院自然科学研究科）

三野 徹（岡山大学農学部）

総合討論

7. 編集委員会 ('91.12.2)

- 1) 会誌64号の編集ならびに閲読結果について
- 2) 会誌のレイアウトについて

会員の動向

1. 会員数 (1992.1現在)

会員種別	会員数
正・学生会員	562
北海道	68
東北	60
関東	189
中部	48
近畿	60
中四国	80
九州	54
海外	3
賛助会員	7
購読会員	62
合計	631

2. 新入会員 (1991.8-1992.1)

氏名	種別	連絡先
大島造園 土木(株)	賛助	194 町田市原町田 2-4-1
笹川 英夫	正	700 岡山市津島中 3-1-1 岡山大学大学院自然科学研究科
大滝 英治	正	700 岡山市津島中 2-1-1 岡山大学教養部
峯 浩昭	正	872-01 宇佐市北宇佐 65 大分県農業技術センター
小野 芳郎	正	710-13 吉備郡真備町箭田 4187
吉田修一郎	学	113 文京区弥生 1-1-1 東京大学農学部農業工学科
西村 拓	正	113 文京区弥生 1-1-1 東京大学農学部農業工学科
守安 卓弥	学	113 文京区弥生 1-1-1 東京大学農学部農業工学科
前村 庸之	学	113 文京区弥生 1-1-1 東京大学農学部農業工学科
沖 陽子	正	700 岡山市津島中 1-1-1 岡山大学農学部
花村 燐	学	113 文京区弥生 1-1-1 東京大学農学部農業工学科
千葉県 農業試験場	購読	280-02 千葉市大膳野町 808

3. 住所変更 (1991.8~1992.1)

氏名	旧	新連絡先
早坂 猛	熊本	861-55 熊本市楠野町 573 (自宅)
榊原 正典	愛知	480-12 瀬戸市窯町 440-19 (自宅)
松尾 良満	佐賀	842-03 佐賀県神埼郡三瀬村岸高 佐賀県農業試験場三瀬分場
加藤 正樹	高知	305 茨城県稲敷郡基崎町松の里 1 森林総合研究所
金野 隆光	香川	305 つくば市観音台 3-1-1 農業研究センター
遠藤 敏夫	愛知	020-01 盛岡市下厨川赤平 4 東北農業試験場
吉田 堯	三重	765 善通寺市仙遊町 1-3-1 (自宅)
上田 弘美	鳥取	680 鳥取市西品治 828-7 (自宅)
本橋 明夫	北海道	060 札幌市北区北7条西5丁目 札幌スカイビル8F 北海道開発コンサルタント
市来小太郎	長崎	899-43 国分市新町 130-6
加護谷栄章	兵庫	651-21 神戸市西区伊川谷町前開 471 (自宅)
佐藤泰一郎	富山	783 南国市物部乙 200 高知大学農学部
豊満 幸雄	茨城	889-21 宮崎市学園木花台西 1-1 宮崎大学農学部
在原 克之	千葉	299-02 袖ヶ浦市三ッ作 1357 (自宅)
吉永 憲正	高知	783 南国市廿枝 1100 高知県農業技術センター
土屋 一成	三重	082 北海道河西郡芽室町新生 北海道農業試験場
有光 一登	京都	305 つくば市梅園 2-3-34 (自宅)
神谷 光彦	北海道	006 札幌市手稲区前田7条 15-4-1 北海道工業大学
山田 優	大阪	558 大阪市住吉区杉本 3-3-138 大阪市立大学工学部
酒井 正治	熊本	305 稲敷郡基崎町松の里 1 森林総合研究所
岩下 徹	宮崎	880-02 宮崎郡佐土原町下那珂 5851 宮崎県総合農業試験場
増島 博	東京	300-03 稲敷郡阿見町阿見 3998 茨城大学農学部

4. 退会会員 (1991.8-1992.1)

3名 (正会員3名)

(1984・11・22改正)

土壌物理研究会会則

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

広告料 賛助会員 実費

賛助会員以外 実費の5割増

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

「土壌の物理性」投稿規定 (1989・7・26改定)**1. 投稿要領**

- 1) 投稿は本会会員に限る。ただし共著者の場合また編集委員会が依頼した場合はこの限りではない。
- 2) 投稿原稿の採否は編集委員会が決定する。編集委員会は要すれば文章の加除修正を行う。ただし内容については、これを著者に依頼することがある。
- 3) 投稿は以下に示す種別にしたがい、その内容は土壌の物理性に主体をおくものとする。

「報文」他誌に未発表のものに限る。書き方は方法、結果、考察ならびに総括(摘要)の体裁をとり、引用文献を明らかにすること。

「論説・総説」土壌の物理性に主眼をおき、広い視野に立って記述したもの。

「資料」既に発表した報文または発表予定の内容を各分野の参考資料となるよう書き改めたもの。

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

「その他」土粒子、書評などを含む。
- 4) 投稿には下記形式の送り状を付け、原文1部、コピー2部の計3部を送付する。報文のみ初刷りは著者校正とし、印刷済みの原稿は返さない。別刷りは30部を著者に贈呈する。それ以上希望する場合は実費を申し受ける。

発表年月日		受付年月日	
種 別		原稿枚数	
表 題		図表数	表 枚 図 枚,
著 者 名		写真数	葉
所 属		別 刷	30部+ 部
キーワード (和文・英文)			

付記：投稿は下記宛のこと
「土壤物理研究会編集幹事」

2. 原稿執筆要領

- 1) 原稿には400字詰横書きの原稿用紙を用いる。
- 2) 原稿の枚数は、刷り上がり6ページ以内(図表を含めて32枚程度)を基準とする。超過ページならびに写真、図表など、特に多額の経費を要するときは実費を申し受ける。
- 3) 文体 平かな漢字混りの横書き口語文として、できるだけわかりやすい表現にする。
- 4) 術語以外はなるべく常用漢字を用い、かなは現代かなづかいとする。
- 5) 句読点、括弧、ハイフンには一画を与える。数字、ローマ字は一画に二字までとする。
- 6) 数字 アラビア数字を用い、漢数字は普通の字句についてのみ用いる。
- 7) 外国人名は欧字とする。最初の文字のみ大文字とする。
- 8) 外国地名はカタカナを原則とするが、必要に応じて欧字を用いる。
- 9) 字体の指定は、ゴシック、*italic*、**bold**のように鉛筆で指定する。紛らわしい文字は誤植防止のための指示を鉛筆で記入する。(例：1ーエル、1ーイチ、1ーアイ、 x^2 、 Na_2CO_3 など)
- 10) 術語 原則として文部省編：学術用語集による。普通に用いられる外国語の術語、物質名などはカタカナで書く。
- 11) 略字、略号を使うときは、はじめにそれが出る個所で正式の名称とともに記す。例：液性限界(LL)
- 12) 数量の単位は原則としてSIを用いる。(但し、当分の間はCGSの併用を認める)
- 13) 表・図・写真などは必要最小限とし、同一事項を表と図に重複して示すことは避ける。
- 14) 表・写真は本文のあとに1枚ごとに原稿用紙あるいはこれとほぼ同大の別紙に書き、またははり付ける。1枚ごとに著者および表題を鉛筆で略記して事故の発生を避ける。本文中欄外に挿入位置を指定し空白はあけない。ただし指定の位置にはならないことがある。
- 15) 空欄の多い表は避け、注を使うなどして紙面の節約をはかる。
- 16) 表の番号は「表-1」のようにし、説明とともに表の上に記入する。
- 17) 図はそのまま製版にとれるようトレーシングペーパー等(白か透明)に黒インクで明確に書く。製版に適しない図は書き直しを要求することがある。図中の文字は鉛筆でうすく記入することにとどめる。図の番号は「図-1」のようにし、説明とともに図の下に鉛筆で記入する。
- 18) 図は刷り上がりの大きさを指定し、1.5~2倍ぐらい大きく書く。ただし必ずしも指定の大きさにならないことがある。図中の字の大きさおよび線の太さは刷り上がりを考慮して定める。
- 19) 地図には定尺をつけ、何万分の1など縮尺を指定しない。
- 20) 文献は本文のあとにまとめて通し番号順に書く。通し番号は引用の順序または著者名のABC順とする。本文の引用個所の右肩に番号を片括弧で小さく入れる。論文名は記載しなくてもよい。
- 21) 題名、著者名、所属、報文の図、表および写真の表題には英文を併記するものとし、さらに報文については、300語以内の英文要約をつけるものとする。
- 22) 英文原稿も上記の規定に準ずる。
- 23) 原稿に使用する年号は全て西暦に統一する。但し、引用文献等でタイトルの中に元号が入っている場合は変更する必要はない。

土壤物理研究会編集幹事

〒700 岡山市津島中1-1-1

岡山大学農学部

三浦健志

電話 0862-51-8354 (直通)

〒501-11 岐阜市柳戸1-1

岐阜大学農学部

千家正照

電話 0582-30-1111

正 誤 表

報文：熱帯低湿地開発の諸問題

著者：久馬一剛

土壌の物理性 第63号 p. 43~49 (1991)

訂 正 箇 所	誤	正
46ページ Table 4 N の欄	24.9	189.7
同上	59.6	504.4
47ページ Table 5 N の欄	0.178	1.355
同上	0.112	0.656
同上	0.166	0.687
同上	0.140	0.742
同上	0.142	1.201
同上	0.100	0.506
同上	0.101	0.537
同上	0.107	0.548

一編集後記一

本号は自由投稿が主体です。報文が6編、解説が1編で、そのうち報文は植物根による圧密土層の改良、転換畑の地下灌漑、土壌微細構造、開畑地の土壌保全に関するものが各1課題、代掻き濁水の浄化法に関するものが2課題、そして解説として自記テンシオメータの試作について1課題掲載することができました。現場の問題に取り組まれた貴重な論文を多く寄せられ感謝いたしております。

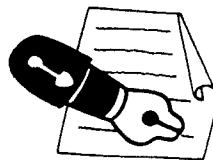
本号から報文の体裁を少し変えました。大きな変更点は、キーワードを付けたことと、英文サマリを前にもってきたことです。いかがでしょうか、ご感想をお聞かせ

下さい。投稿されるときにはキーワードを忘れずに付けて下さるようお願いいたします。

本学会の名称変更に関する記事を掲載いたしておりますが、きたんのないご意見を事務局までお寄せ下さい。

発行が半年ばかり遅れましたことをお詫び致します。発行期日の遅れを取り戻すためにも、皆様からのご投稿を心からお待ちしております。いろいろ不行き届きもあると思います。お気づきの点が御座いましたらご指摘下さい。よりよい会誌にするため皆様のご協力をお願い致します。

(三浦健志)



土壌物理研究会

事務局構成	会 長	長堀 金造 (岡山大)
	副 会 長	東 順三 (神戸大)
	会計幹事	島田 清 (岡山大), 天谷 孝夫 (岐阜大)
	庶務幹事	三野 徹 (岡山大)
	編集幹事	三浦 健志 (岡山大), 千家 正照 (岐阜大)
編集委員会	委 員 長	足立 忠司 (岡山大)
	委 員	井上 光弘 (鳥取大), 木村 真人 (名大), 高木 東 (中国農試)
		逸見 彰男 (愛媛大), 宮内 定基 (愛媛大)

発行 土壌物理研究会 〒700 岡山市津島中1-1-1 岡山大学農学部農地整備学研究室

TEL 0862-52-1111 (EXT. 8359) FAX 0862-54-0714

郵便振替口座 東京5-17794

銀行口座 中国銀行津島支店 口座番号 普1223273

印刷 西尾総合印刷(株) 〒701-11 岡山市横井上90

TEL 0862-54-9001(代) FAX 0862-55-4656

現場透水試験器

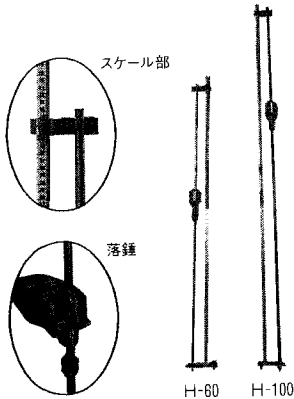
科学技術庁長官により
第50回「注目発明」に選定される

日本道路公団と
共同出願

土壌調査器具(長谷川式)

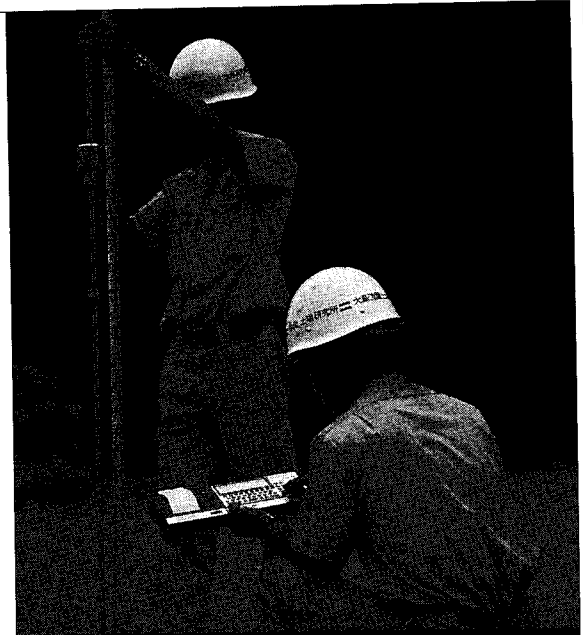
土壌を掘り出し簡便に硬度測定

土壌貫入計(硬度計)



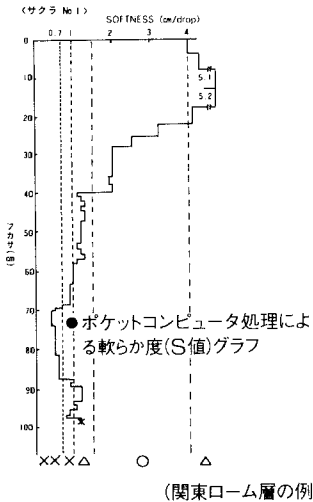
※山中式土壌硬度計や土研式貫入計と相
関関係があり、数値の換算可能。

土壌貫入計及び▶
データ処理機作
業風計



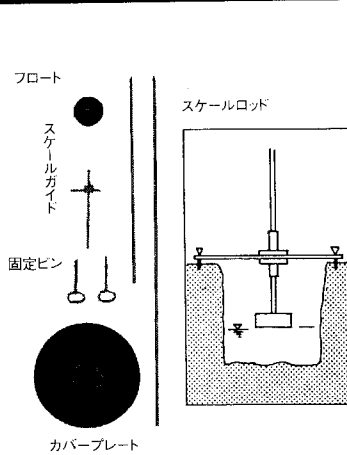
ポケットコンピュータ利用

土壌貫入計 データ処理機



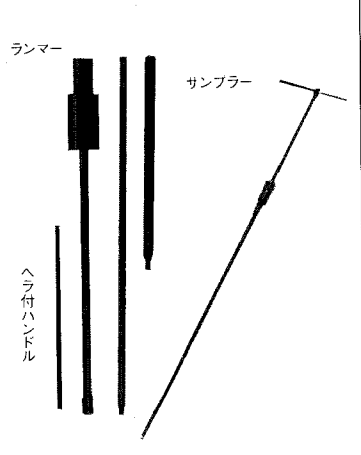
透水試験が現場で容易に可能

簡易現場透水試験器



精度の高い土壌調査が少労働で可能

大型検土杖



※採取土壌は、pH・ECの分析に利用可能

開発・製造元



大島造園土木(株) 緑化・土壌研究所

OHSHIMA LABORATORY OF GREEN ENVIRONMENT TECHNOLOGY

販売元

ダイトウ・グリーン株式会社

〒194 東京都町田市原町田2丁目4番1号
TEL:0427-21-1703 FAX:0427-21-0944

緑の環境を総合的に科学する

Soil Physical Conditions and Plant Growth, Japan

No. 64

March 1992

Contents

Foreword	J. AZUMA	1
Originals		
Penetration of Pigeon Pea Roots into Compacted Soil	J. MATSUMOTO, T. KUBOTA, H. KATOU, S. OSOZAWA, J. ARIHARA, N. AE	3
Applicability of Subirrigation in Clayey Paddy Fields Converted to Upland Fields	M. FUKUMOTO, K. MIYAMA, S. OGAWA	11
Attempt to Measurement of Three Phases Distribution of Soil by Soil Micromorphological Method	R. HIRAYAMA	21
Soil Erosion on Differently Shaped Farm Fields of Decomposed Granite Soil	Y. MATSUMOTO	27
Flocculation Condition of Puddled Suspension by Electrolyte addition — Clarification Method of Puddled Suspension by Calcium Salt Addition (1) —	T. AKAE	37
Selection of the Most Suitable Flocculation Aid of Puddled Water and Test of Applying Method — Clarification Method of Puddled Suspension by Calcium Salt Addition (2) —	T. AKAE	45
Notes		
Trial Manufacture of Auto-logging Tensiometer System by the Use of Negative Pressure Sensor	T. TANIGAWA, K. YABE, M. SENGE, T. NISHIDE	53
Book review		59
Announcement		61

Research Association of Soil Physics, Japan
c/o Laboratory of Land Consolidation,
Agricultural Department, Okayama University
Tsusima Naka 1-1-1, Okayama, 700, Japan
President Kinzou NAGAHORI