

Soil Physical Conditions and Plant Growth, Japan

土 壌 の 物 理 性

第 23 号

昭和46年 2 月

卷 頭 言.....	美 園 繁.....	1
ピーク強度を示すせん断応力ヒズミ曲線について.....	吉 田 勲.....	4
アメリカの土壌力学研究.....	木 谷 収.....	10
カスピ平野（イラン）ならびに後竜地区（台湾）の土壌とカンガイ計画.....	水之江 政 輝.....	14
最近の西欧における土壌構造と作物に関する研究.....	久保田 徹.....	20
土 粒 子.....		26
会 務 報 告.....		27
編 集 後 記.....		31

土壤物理研究会会則

- 第1条 本会は土壤物理研究会と称する。
- 第2条 本会は土壤の物理性を中心とする試験研究の発展と農業技術への貢献を図ることを目的とする。
- 第3条 本会はその目的を達成するため次の事業を行なう。
- 1 研究発表会、討論会及び見学会などの開催
 - 2 土壤の物理性 (Soil Physical Conditions and Plant Growth, Japan 会誌という) 並びにその他の印刷物の発行
 - 3 内外の研究、技術の交流及び他の学会、諸団体との協力
 - 4 その他本会の目的を達成するため必要な事業
- 第4条 本会の会員は正会員、学生会員及び賛助会員の3種とする。
- 第5条 会員は次の会費を所定の期日までに納めるものとする。
- | | | | |
|------|------|---|---------|
| 正会員 | 年 | 額 | 1,000円 |
| 学生会員 | " | | 600円 |
| 賛助会員 | 1口年額 | | 10,000円 |
- 第6条 本会に次の役員をおく。任期は2年とし、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 正会員から互選される。
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。

「土壤の物理性」投稿規定

- (1) 投稿は本会会員に限る。ただし共著者の場合また編集委員会が依頼した場合はこの限りではない。
- (2) 原稿の採否は編集委員会が決定する。編集委員会には要すれば文章の加除修正を行なう。ただし内容についてはこれを著者に依頼することがある。
- (3) 投稿には400字詰横書きの原稿用紙を用い、用語、図表等は関係学術雑誌の規定にならって執筆すること。枚数は16枚程度を一応の規準とする。
- (4) 投稿は以下に示す種別にしたがい、その内容は土壤の物理性に主体をおくものとする。
 <報文> 他誌に未発表のものに限る。書き方は方法、結果、考察ならびに総括(摘要)の体裁をとり、引用文献を明らかにすること。
 <論説・総説> 土壤の物理性に主眼をおき、広い視野に立って記述したもの。
 <資料> 既に発表した報文または発表予定の内容を各分野の参考資料となるよう書き改めたもの。
 <解説> 物理性に関する諸事項の理解を計るための平易な解説ならびに研究技術の普及交換を進めるための紹介を含む。
- (5) 原稿には下記形式の送り状をつける。報文のみ印刷りは著者校正とし、印刷ずみの原稿は返さない。

発表年月日	受付年月日
種 別	原稿枚数
表 題	図表数
著者名	写真数
所 属	別 刷
	30部+ 部

- (6) 別刷は30部を著者に贈呈する。それ以上希望する場合は実費を申し受ける。
- 付記：投稿及び会誌編集に関する通信は下記宛のこと
 東京都北区西ヶ原(〒114) 農業技術研究所内
 土壤物理研究会編集委員会

(担当幹事 寺沢四郎)

卷 頭 言

土壌物理研究会の発展のために

—会長退任の挨拶にかえて—

美 園 繁

1. 退任の辞

11月18日に開かれた今年の総会は、事務局からの経過報告を承認し、会費の値上げ、昭和45年度予算、会則および規定の改正を決定し、新しい評議員会で選出された新役員を承認して終わりました。

新しい会長および事務局とのひきつぎはまだ終わっていませんが、この総会で1969年4月にひきついだ会長の仕事を解任して頂きました。約1年半の期間でありましたが皆様の御協力を心から感謝いたしております。厚く御礼申し上げます。

今度の総会で決定されたことは、会務報告を見ても分るようになりかなり重要なものであります。これまでのように会誌と研究討論会を中心とすることに変わりはありませんが、そのとりくみの内容は土壌物理研究会の活動をさらに発展させようとする立場で提案され決定されたものであり、いわば積極的な方針が採用されました。

もちろん総会での決定は、事務局会議で準備した原案をもとにして、在京評議員会および新旧合同評議員会で時間をかけて十分に検討を加え、必要な修正を行なった後になされました。したがって例年に比べて検討不十分であるとか、決定までの手続きの上でミスがあるとかいうことではありません。

評議員および総会に参加した会員には、提案の内容もその理由も十分理解されています。しかも今度の総会は、第12回研究討論会と同時に行なわれましたが、例年になく盛況で文字通り北は北海道から南は鹿児島までの全国から、12大学、8国立試験研究場所、31公立試験研究場所、7民間機関などから120名の研究者の参加の中で開かれたものでありますから、総会としては成功しているといえます。

けれども会員の大多数は総会に参加しておりませんので決定の内容も十分に知ることはできません。総会決定を具体化していくためには、当然のことながら会員の協力を必要とします。それがなければ積極的な方針も絵に書いた餅に終ることになるでしょう。

そこで、提案者の1人としての責任もありますので、総会決定の内容、採用の理由または根拠などについて述べ、ひきつづいて今度の総会には提案いたしませんでしたが、新会長へのひきつぎにしようと考えていた問題、土壌物理研究会の研究活動の方法案について述べようと思います。

多くの方々の御批判・御意見を頂きたいと考えます。

2. 総会決定について

(1) 会費の値上げ

今度の総会で会費は500円から1,000円に上りました。500円会費は1965年から継続されたもので値上げが必要なことは誰の目にも明らかになっていました。しかし、提案理由の中にもありますように、物価の値上り分だけを補ない従来通りの運営をすすめる方針であれば、恐らく800円位でよかったことと思います。それを1,000円にしたのは、従来よりもさらに本会の活動を充実し、発展させていこうとする立場から出されたものであります。

それはあとで述べる45年度予算に具体的に表われますが、その外にも本会の財政を賛助会費へ依存する割合を低め会員の会費を基本にする考え方を実現しようとしたものであります。

(2) 昭和45年度予算

総会決定の内容と方針は、昭和45年度予算にもっとも具体的に表われています。その主な点はつぎのようになります。

編集委員会を設けてその機能を発揮できるよう財政的に保証し、編集委員長は事務局会議に出席できるようにしています。これは会誌の水準をあげ内容を充実していくことはもとよりであります。季刊・巻号制を追及しながら本年度は3回刊に努力する方針の表われであります。

予備費の中には3回刊の経費が予定されています。

事務局会議および評議員会の交通費および役員手当が算出基礎とともに明示され前年度よりも増額して計上されています。これは、会の日常業務の運営を民主的に、

しかも円滑にすすめるための財政的な保証であるとともに、会員の直接選挙によって選出されている評議員会の機能を発揮し、会の発展を民主的な基礎の上に築いていこうとする考え方の表われであります。

項目は雑費となっていますが、他学会へのPRもおこなって会員の拡大とともに学会との連絡を図ろうとしているのも積極的な方針の表われであります。

このように今年度の予算は物価値上げに対しても受身の姿勢で対処するのではなくて、本会の活動内容を充実し、活動規模を拡大していこうとする積極的な方針に基づいて組まれています。

(3) 会則および規定の改正

会費値上げだけでも会則改正は必要になりますが、今年度の総会では選挙管理委員会と編集委員会を本会の正式な機関として会則に明文として定めました。

また、役員選出規定を改正いたしました。その要点は評議員選挙を選挙管理委員会の管理とするとともに、当選者の確認の手続きを選挙の性格に合わせて、全国的信認を優先させ地方区分による補正を従としたことであります。また、新しい評議員会による新しい会長・副会長の選出手続きを規定しました。

会則および規定の改正は、これまでに述べた本会の活動を積極的に展開する方針に沿って行なわれたものでありますが、それは同時に本会の創立10周年を記念して発足した、評議員を会員の直接選挙で選ぶという制度の精神をうけつぎ発展させたものであります。

3. 積極方針を採用した根拠

このような積極方針を提案し決定するには、それに合う情勢判断あるいは本会の力量および長期展望についての見解があります。私は、評議員会および総会の席でも提案理由の中に含めて申し上げましたが、二つの側面から考えています。一つは本会の主体的条件からであり、他の一つは本会を巡る客観的な情勢からみた場合であります。

(1) 主体的条件

私は1969年4月に会長をひきつぎましたが、それは本会が創立された1958年4月から丁度10年を経過した時期に当たります。土壌物理研究会は10周年を記念して幾つかの催しを行ないましたが、その中でとくに評議員を会員の直接選挙で選出し、その評議員会が本会の会長・副会長を選出するという制度を採用しました。

10年の歴史を経過しますと会の基礎もそれなりに固まっていますが、土壌物理研究会の活動は会誌「土壌の物理性」の刊行と年1回行なわれる研究討論会を中心として

定着して参りました。

創立10周年記念を機会に本会の運営を民主的な基礎の上に築きながら、活動内容をさらに充実し、発展させていこうとしていることはむしろ当然のことです。

ところで本会の会員は、それぞれの研究分野に関連する学会に所属しています。日本土壌肥科学会、農業土木学会、農業機械学会、土質工学会、日本作物学会などがそれです。各学会ではそれぞれの専門的な研究成果が発表され討論されています。とくに日本土壌肥科学会および農業土木学会では、土壌物理に関する研究成果の集中的な発表・討論ができるように、学会の制度としても保証されています。前者は第1部門（土壌物理）、後者は土壌物理研究部会がそれに当たります。

各学会の活動は年々活潑になってきております。それにもかかわらず土壌物理研究会が必要とされ、会誌も研究討論会も好評を受けているのです。

その主な理由は、土壌物理研究が創立以来採用し追及して来た活動方法にあると思います。会員の専門研究を基礎にしながら専門を異にする研究者が協力してそれぞれの角度から意見を出し合っていく方法、結果としては専門研究を基礎に総合的な研究がおこなわれていくという活動方法に由来しています。

会誌の編集も、研究討論会の運営もこの方法にしたがって行なわれていますが、このような活動方法は、それぞれの学会が充実し発展していても必要がなくなるものではありません。むしろ逆にその必要をますますつく感ずるようになります。

総合的な討論を通じて専門研究者はそれ自身の位置と役割、将来の方向を確定できるとともに、専門と専門の間の境界領域の問題も明らかにされるからであります。

土壌物理研究会が将来も継続し、その活動を充実していかなばならないのはそのためです。

同時にこのような活動方法は、専門を異にする研究者の集団的な協力を必要としますから、必然的に運営の民主化を要求します。土壌物理研究会が10周年を記念して採用した方針は、その意味でも理にかなったものであったといわねばなりません。

(2) 客観的情勢

土壌物理研究会がその活動を積極的に展開していかなばならない必然性は、前述の主体的条件のほかに本会を巡る客観的情勢からも生れています。その主なものをみましょう。

「情報化社会」、「技術革新」の時代とうたわれながら、国土と自然を汚染し、人間の生命と生活を危険におとしめている公害が全国をおおいつつある状況の中

、科学研究のあらゆる分野に重要な問題が提起されています。土壌物理研究会もその例外であり得るわけがありません。

今年の4月、日本学術会議第56回総会は「70年代の科学研究・学術体制ならびに日本学術会議のあり方について」広範な科学者とともに討論を起し、その成果を集約して声明等の形式で公表することについて」の申し合せをおこない、各地での討論集会を行ないました。そして10月の第57回総会では、討論をさらに継続していくことを確認し、その運動はひきつづいています。

その主な趣旨は、「科学技術は一面では画期的な発展を遂げたけれども、他の一面では不調和や跛行性を示しており、発展の方向を誤るならば人類にとって測り知れない禍をもたらす危険さえある。科学・技術と科学者のあはきはきわめて重大な時期にきている。ここで改めてわれわれの基本的な態度を根本的に再検討しよう」というのであります。

日本学術会議のこの申し合せは、科学者をめぐる一般的な客観情勢を反映したものといえることができます。われわれの場合には、さらに農業、農学および農業技術の研究をめぐる特殊な情勢が存在しています。わが国の農業が重大な曲り角に遭遇し、その体質改善を要請される中で農学および農業技術の研究についても、研究者の研究内容や方法、研究態度を含めて根本的な再検討が請われています。

このような情勢の中で、土壌物理研究会が創立以来12年の研究活動の成果の上に立って、改めてその研究方法の正しさを確認し、それをさらに充実し発展させていくこととしていることは、きわめて重要なことであるといえます。

もちろん、本会の討論がいままでの水準で十分である、総会で決定された方針が満足すべきものであるというわけではありません。活動方法も方針もより広く会員の中で討論され、たえず前進的に改善されねばならないことはいうまでもありません。

けれども、会員の専門研究を基礎にして総合的な視点立って展開される研究活動の方法は、さきに述べた客観情勢からの要請にも正しく答えていくことの出来るのであります。

とくに現在、公害をめぐって人間と自然あるいは環境

との相互関係や国土および資源の利用の在り方などが根本的に問い直されている時期に、土壌物理研究会がその社会的な責任を果たしていく上で、前述の研究方法はきわめて有効なものとなると思います。

4. 研究活動をさらに前進させるために

すでに述べたように今度の総会で決定した方針は、本会が創立以来追及して来た方針をうけつぎながら、土壌物理研究会が到達している今日の主体的条件およびわれわれを巡る客観情勢からみて、それにふさわしいものとして積極的に展開しようとするものであります。

この立場に立ちながら本会の研究活動をさらに充実し発展させていくための方法案を提案し検討をうけたいと思います。

土壌物理研究会の活動を特定の課題に制限することは正しくありませんが、さきに述べたすぐれた研究活動方法を採用しながら、具体的に存在している土壌について、研究成果をあげていくことはますます重要になると思います。とくに、国土と資源の利用が問い直されている時期に、本会がわが国の土壌について具体的に研究成果を蓄積していくことはきわめて重要であるとともに、本会が果さねばならない社会的責任の一つであると思います。

さきにも述べたように本会の活動を具体的な土壌についての総合的な研究だけに限定するのは誤りですが、このような課題は本会こそもっとも適切に解決していくことが出来ることも事実であります。

このような研究活動を含めて、本会の研究活動全般を継続的・系統的に企画し運営していくために、本会の正式な機関として研究委員会を設ける必要があります。

この研究委員会には、本会が評議員選挙のときに用いる地方区分から少なくとも1人は委員として参加します。当面は地方区分毎の評議員が兼ねてもよいと思います。

各地方区分では、その委員を中心に地方活動が日常的におこなわれるようにします。

もちろん、これらの活動を保証するために本会の財政力量にみ合う最低の予算を保証しなければなりません。

これが私の申し送りの骨子であり、検討問題としての提案であります。多くの御意見を頂ければ幸いです。

ピーク強度を示すセン断応力ヒズミ曲線について

吉 田 勲*

1. 緒 論

硬い地盤において、セン断試験を行なうと図1に示すように、セン断応力(τ)～ヒズミ(ϵ)曲線にピーク強度が良くみられる。この $\tau \sim \epsilon$ 曲線を式で表わすことができれば、この式をもとに、車両のSoil thrustを求めることが可能である。そこで、 $\tau \sim \epsilon$ 曲線を正確に表わす式が必要となってくる。この場合の曲線式として、従来発表された式としては、Bekker¹⁾式とKacigin and Guskov²⁾式とがある。前者は、この $\tau \sim \epsilon$ 曲線が非周期的な振動曲線に似ていることに注目し、この式を多少修正して、この場合の $\tau \sim \epsilon$ 曲線式として(1)式を提案した。他方後者は理論的に(7)式を導いた。本論文では筆者の実験より得た $\tau \sim \epsilon$ 曲線と上記両式の計算値とを比較し、その結果、両式ともセン断ヒズミが、最大セン断応力を示すセン断ヒズミ(ϵ_{opt})を越えると実測値と計算値との間にはかなりの差があることがわかった。そこで、筆者はこの場合の $\tau \sim \epsilon$ 曲線を表わす式として、(9)、(10)式を提案した。本式は前二者の式よりも、より良く実測値に合っていることを示し、さらに、(9)、(10)式をもとに、この場合のSoil thrust算出式として、(13)、(16)式を提案している。

2. 記号の説明

本論文に使用した記号を以下に記す。

B : 履帯幅(cm)

C : 粘着力(kg/cm²)

k_1 : Bekker式の係数(1/cm)

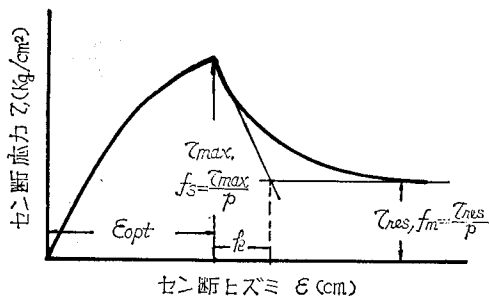


図-1 記号の説明図

* 九州大学農学部 1970. 7. 12 受理

k_2 : Bekker式の係数

t_r : 進行低下率(%、 $i = \frac{tr}{100}$)

l : 接地長(cm)

SH : Soil thrust(kg)

$E_i(-l)$: 積分指数関数

p : 垂直応力(kg/cm²)

ϕ : 内部摩擦角(°)

τ : セン断応力(kg/cm²)

τ_{max} : 最大セン断応力(kg/cm²)

τ_{res} : 残留応力(kg/cm²)

ϵ : セン断ヒズミ、水平変位(cm)

ϵ_{opt} : τ_{max} のときのセン断ヒズミ(cm)

Y : (1)式の[]の値

Y_{max} : Y の最大値

$f_s = \tau_{max}/p$

$f_m = \tau_{res}/p$

k : 実験定数(cm)

3. 従来の $\tau \sim \epsilon$ 算出式

1) Bekker式

M. G. Bekker は硬い地盤における Soil thrust を求めるにあたり、セン断試験を行ない、その $\tau \sim \epsilon$ 曲線に τ_{max} が現われることに注目し、この場合の $\tau \sim \epsilon$ 曲線を表わす式として次式を提案した。これは現在良く使用されている。

$$\tau = \frac{C + p \tan \phi}{Y_{max}} \left[e^{(-k_2 + \sqrt{k_2^2 - 1})k_1 \cdot \epsilon} - e^{(-k_2 - \sqrt{k_2^2 - 1})k_1 \cdot \epsilon} \right] \quad (1)$$

ここで $\tau_{max} = C + p \tan \phi$

(1)式は $\epsilon = \epsilon_{opt}$ で τ/τ_{max} が最大値1となり、さらに ϵ が増すと τ/τ_{max} が減少し、 $\epsilon = \infty$ で τ/τ_{max} は0になることを示している。これより(1)式は $\tau \sim \epsilon$ 曲線に τ_{res} が見られる場合にはあてはまらないことがわかる。

Bekker は(1)式の係数 k_1 は土の締固めを示しこの値は土の締固めとともに増大し、ディメンションは(1/L)であり、他方 k_2 は曲線の形を支配する重要な係数で、無次元であると述べている。係数 k_1 , k_2 を求めるにあ

たり A. D. Sela³⁾ が良い方法を発表しているので参考までに要約すると以下のとおりである。

いま $-k_2 + \sqrt{k_2^2 - 1} = -A$ とおくと
 $-k_2 - \sqrt{k_2^2 - 1} = -\frac{1}{A}$ となる。

1)式の Y_{max} は(1)式の [] 内の最大値であるから(2)式を微分して、第1次導関数をゼロとおき、 $k_1 \cdot \epsilon_{opt}$ を求めて、これを(2)式に代入すると求めることができる。

$$Y = e^{-A \cdot k_1 \cdot \epsilon} - e^{-A \cdot k_1 \cdot \epsilon_{opt}} \quad (2)$$

$$\left(\frac{dY}{d\epsilon}\right)_{\epsilon=\epsilon_{opt}} = -A \cdot k_1 e^{-A \cdot k_1 \cdot \epsilon_{opt}} + \frac{k_1}{A} e^{-A \cdot k_1 \cdot \epsilon_{opt}} = 0$$

$$\therefore k_1 \cdot \epsilon_{opt} = \frac{2A \log(1/A)}{1-A^2} \quad (3)$$

$$\therefore Y_{max} = e^{-2A \log(1/A)/(1-A^2)} - e^{-2 \log(1/A)/(1-A^2)} \quad (4)$$

したがって(1)式は次のように書ける。

$$\tau_{max} = \frac{Y}{Y_{max}} = \frac{e^{-\frac{2A^2 \log(1/A)}{(1-A^2)} \frac{\epsilon}{\epsilon_{opt}}} - e^{-\frac{2 \log(1/A)}{(1-A^2)} \frac{\epsilon}{\epsilon_{opt}}}}{e^{-\frac{2A^2 \log(1/A)}{(1-A^2)}} - e^{-\frac{2 \log(1/A)}{(1-A^2)}}} \quad (5)$$

参考までに(3)式、(5)式の計算結果を表-1に示す。表-1をもとに図-2(a)のように、横軸に ϵ/ϵ_{opt} 、縦軸に τ/τ_{max} をとり、図-2(a)の右に(b)図を書く。これは横軸にA値、縦軸に $\epsilon/\epsilon_{opt} = 0.25, 0.50, 0.75, 1.50, \dots$ に対し(5)式より求めた τ/τ_{max} を示している。(b)図の上に、(c)図を描く。横軸はA値で、(b)図の場合と同じく、縦軸に(3)式より算出した $k_1 \cdot \epsilon_{opt}$ を示す、次に一例として、 k_1, k_2 の求め方を説明する。図-2(a)に示した $\epsilon/\epsilon_{opt} \sim \tau/\tau_{max}$ 曲線は後述の図-3(1)の $\tau \sim \epsilon$ 曲線より求めたものである。図-2(a)の $\epsilon/\epsilon_{opt} = 0.25, 0.50, 0.75, 1.25, 1.50, 1.75, 2.0$ より出発して垂線を立て、 $\epsilon/\epsilon_{opt} \sim \tau/\tau_{max}$ 曲線と交わせ、これらの交点より、右に水平線を引き図-2(b)にて、出発点の ϵ/ϵ_{opt} に相当する $A \sim \tau/\tau_{max}$ 曲線と交わせ、さらにこの交点より垂線を下しA軸と交わらせてこの点のAを読みとる。この例では $\epsilon/\epsilon_{opt} = 1.25, 1.50, 1.75$ の場合(a)図より水平に引いた線と $A \sim \tau/\tau_{max}$ 曲線とは交わず、A値を知ることができない。 ϵ/ϵ_{opt}

$= 0.25, 0.50, 0.75, 2.0$ の場合A値は求まり、Aの平均値は $A = 0.44$ であった。A=0.44より垂線をたて、(c)図の $A \sim k_1 \cdot \epsilon_{opt}$ 曲線と交わせると $k_1 \cdot \epsilon_{opt} = 0.9$ を得る。図-3(1)の $\tau \sim \epsilon$ 曲線より $\epsilon_{opt} = 0.3m$ であるから、 $k_1 = 3, k_2$ は次式より $k_2 = 1.36$ となる。

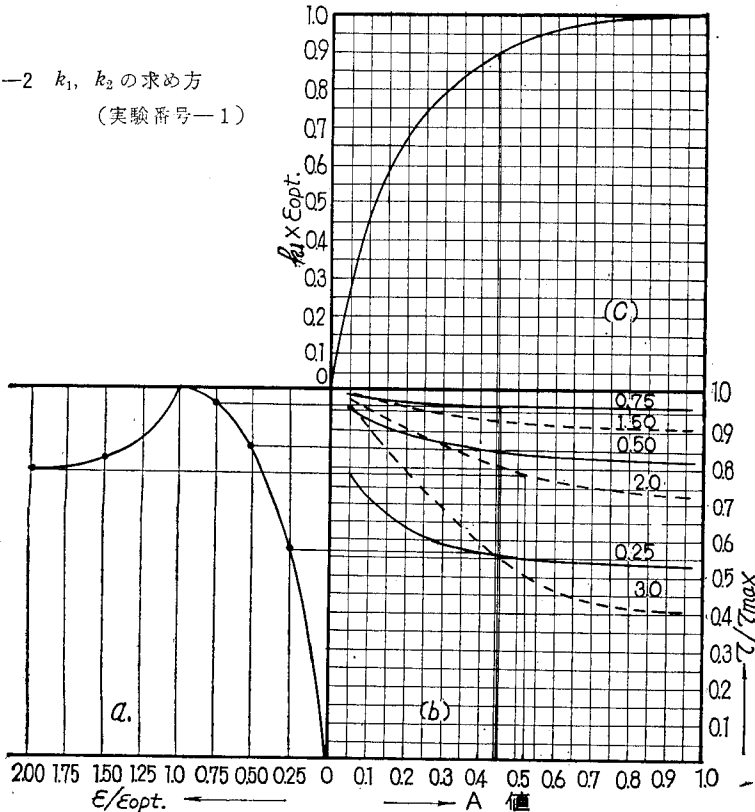
$$k_2 = \frac{1+A^2}{2 \cdot A} \quad (6)$$

Bekker式の欠点としては、 ϵ/ϵ_{opt} より立てに垂直線と $\epsilon/\epsilon_{opt} \sim \tau/\tau_{max}$ 曲線の交点より引いた水平線と出発点の ϵ/ϵ_{opt} に相当する $A \sim \tau/\tau_{max}$ 曲線とが交わずA値が求まらない場合が多く、したがって k_2, k_1 値が得られず、(1)式の曲線が描けない場合が多いことがあげられる。

2) Kacigin and Guskov 式

彼らは Bekker 式(1)の k_1, k_2 の意味が明確でないとして $\tau \sim \epsilon$

図-2 k_1, k_2 の求め方 (実験番号-1)



曲線を表わす式として、(7)式をあたえた。

$$\frac{\tau}{p} = \frac{\tau_{res}}{p} \left[1 + \frac{a}{\cosh(\epsilon/\epsilon_{opt})} \right] \tan h(\epsilon/\epsilon_{opt}) \quad (7)*$$

Kaigin and Guskov は(7)式の定数 a はピーク応力における摩擦係数と残留応力との比により変化するが、 a の値は次式で十分に表わせるとしている。

$$a = 2.55 \left(\frac{f_s - f_m}{f_m} \right)^{0.925} = 2.55 \left(\frac{\tau_{max} - \tau_{res}}{\tau_{res}} \right)^{0.925} \quad (7-1)$$

(7)式の係数 ϵ_{opt} 、 a は(1)式の k_1 、 k_2 よりもより簡単に求められる利点がある。この場合の Soil thrust 算出式は(8)式となる。

$$SH = \frac{B \cdot \tau_{res} \epsilon_{opt}}{i} \left[\log \cosh \left(\frac{il}{\epsilon_{opt}} \right) - a \left(\frac{1}{\cosh \left(\frac{il}{\epsilon_{opt}} \right)} - 1 \right) \right] \quad (8)$$

3. 筆者の提案式

筆者はこの場合の $\tau \sim \epsilon$ 曲線式として次式を提案する。

$$\epsilon \leq \epsilon_{opt} \quad \tau = \tau_{max} (1 - e^{-\epsilon/\epsilon_{opt}}) \quad (9)$$

$$\epsilon \geq \epsilon_{opt} \quad \tau = \tau_{max} - (\tau_{max} - \tau_{res}) (1 - e^{-\frac{\epsilon - \epsilon_{opt}}{k}}) \quad (10)$$

(9)式は ϵ の増加とともに τ は指数的に増大し、 $\epsilon = \epsilon_{opt}$ にて、 $\tau = \tau_{max}$ となる。(10)式は $\epsilon > \epsilon_{opt}$ で ϵ の増加について、 τ は τ_{max} から指数的に減少し、 $\epsilon = \infty$ のとき $\tau = \tau_{res}$ となることを示している。(10)式の中の係数 k は図-1に示したように、 $\epsilon = \epsilon_{opt}$ 、 $\tau = \tau_{max}$ の点より、セリ断応力減少曲線に接する線を引き、 $\tau = \tau_{res}$ の水平線と交わせ、この交点の $\epsilon = \epsilon_{opt}$ よりの横距(cm)である。 k が大きいことはセリ断応力の減少が緩慢に行なわれ逆の場合には急激に起こることを示している。

4. 実測値と計算値の比較

現位置表層セリ断試験機(バーグラフセリ断試験機)を用いてセリ断試験を10回行ない、その時の土質状態を表-1に、その結果を図-3に示す。なお供試土の土性は $G_s = 2.55$ 、粘土分11.0%、シルト分18.9%、砂分70.1%で三角座標分類法によると土質名は砂質ロームである。図-3より求めた a 、 ϵ_{opt} 、 k 、 τ_{max} 、 τ_{res} 、 ϵ 値を表-1に併記する。図-3(1)には図-2で求めた k_1 、 k_2 値を(1)式に代入して求めた $\tau \sim \epsilon$ 曲線を記号 B 、表-1の a 、 ϵ_{opt} 、 τ_{max} 値を(7)式に代入して得た曲線を記号 K, G 、筆者の提案式による曲線を記号 Y でそれぞれ示しているが、 $\epsilon > \epsilon_{opt}$ では差が大きい。 K, G 曲線は $\epsilon \leq \epsilon_{opt}$ 、 $\epsilon \geq$

表-1 Sela 法による k_1

A	k_2	$k_1 \cdot (\epsilon_{opt})$	ϵ/ϵ_{opt} に対する					
			0.25	0.50	0.75	1.25	1.50	1.75
0.05	10.025	0.300	0.787	0.960	0.995	0.998	0.995	0.991
0.10	5.050	0.465	0.715	0.930	0.990	0.995	0.986	0.975
0.15	3.408	0.582	0.669	0.908	0.985	0.992	0.976	0.957
0.20	2.600	0.671	0.637	0.891	0.981	0.989	0.966	0.939
0.25	2.125	0.739	0.613	0.877	0.977	0.987	0.957	0.921
0.30	1.817	0.794	0.594	0.867	0.975	0.984	0.949	0.906
0.35	1.604	0.837	0.580	0.858	0.972	0.982	0.942	0.892
0.40	1.450	0.873	0.569	0.850	0.970	0.981	0.936	0.879
0.45	1.336	0.901	0.559	0.845	0.969	0.979	0.931	0.869
0.50	1.250	0.924	0.552	0.840	0.967	0.978	0.926	0.859
0.55	1.184	0.943	0.547	0.836	0.966	0.977	0.922	0.852
0.60	1.133	0.958	0.542	0.833	0.966	0.976	0.919	0.846
0.65	1.094	0.970	0.538	0.831	0.965	0.975	0.917	0.840
0.70	1.064	0.979	0.536	0.829	0.964	0.975	0.914	0.836
0.75	1.042	0.986	0.533	0.826	0.964	0.974	0.913	0.833
0.80	1.025	0.992	0.532	0.825	0.964	0.974	0.912	0.830
0.85	1.013	0.996	0.531	0.825	0.963	0.974	0.911	0.829
0.90	1.006	0.998	0.530	0.825	0.963	0.974	0.910	0.828
0.95	1.001	1.000	0.529	0.824	0.963	0.974	0.910	0.827

ϵ_{opt} いずれの側でも実測値とは大きなはだたりがある。また(7)式の値は ϵ_{opt} で τ は最大値とならず、 ϵ_{opt} よりも少し大きい値で最大値となる。Y曲線の場合、 $\epsilon \leq \epsilon_{opt}$ では、K.G 曲線と同様にかなりの差があるが、 $\epsilon = \epsilon_{opt}$ で、 $\tau = \tau_{max}$ を与え、 $\epsilon \geq \epsilon_{opt}$ では実測値と計算値はよく合っている。図-3(2)~(10)では(1)式の係数、 k_1, k_2 値は求まらず、(1)式による $\tau \sim \epsilon$ 曲線は描けなかった。以後(7)式および筆者の提案式による計算値と実測値との

比較をする。図-3全体より(7)式については、 $\epsilon \leq \epsilon_{opt}$ において実測した $\tau \sim \epsilon$ 曲線が上に大きくふくらんだ形をしている場合、計算値は実測値よりもかなり小さい値を与える。その他の場合は良い適合を示している。 $\epsilon \geq \epsilon_{opt}$ では $\tau \sim \epsilon$ 曲線が非常にゆるやかな場合、適合すると推定されるが、筆者の実験では ϵ が ϵ_{opt} を越えて、セン断応力が急激に減少する場合には(7)式は不適であると言える。(9)、(10)式より求めた曲線Yは $\epsilon_{opt} \geq \epsilon$ では(7)式の

表-2 セン断応力ヒズミ曲線より求めた諸係数値と実験時の状態

実験番号	τ_{max} (kg/cm ²)	τ_{res} (kg/cm ²)	ϵ_{opt} (cm)	k (cm)	a (cm)	k_1 (cm ⁻¹)	k_2	実験時の状態	
								含水比(%)	乾燥密度 (g/cm ³)
1	0.126	0.102	0.30	0.06	0.77	3.0	1.36	16.1	1.03
2	0.084	0.052	1.10	0.60	1.73	...	...	24.5	1.16
3	0.088	0.044	0.40	0.13	2.55	...	...	14.4	1.04
4	0.550	0.455	0.30	0.14	0.88	...	...	11.0	1.08
5	0.140	0.092	0.95	0.32	1.20	...	...	24.3	1.15
6	0.042	0.020	0.50	0.12	2.36	...	...	9.0	1.13
7	0.186	0.090	0.60	0.40	2.42	...	...	19.6	1.31
8	0.112	0.035	0.50	0.14	4.86	...	...	15.6	0.90
9	0.100	0.056	0.40	0.30	2.09	...	...	19.3	1.24
10	0.136	0.100	1.20	0.28	1.10	...	...	25.8	1.19

* (7)式の記号は原書のそれと同じではない。

k_2 値算出表 (吉田)

τ/τ_{max} の 値									
2.0	2.25	2.50	2.75	3.00	3.25	3.50	3.75	4.00	
0.988	0.984	0.980	0.977	0.973	0.969	0.966	0.962	0.958	
0.964	0.953	0.942	0.931	0.920	0.910	0.899	0.889	0.879	
0.937	0.917	0.897	0.878	0.859	0.841	0.822	0.805	0.787	
0.909	0.880	0.852	0.824	0.797	0.770	0.745	0.720	0.697	
0.883	0.845	0.806	0.772	0.737	0.704	0.672	0.642	0.613	
0.859	0.812	0.767	0.723	0.682	0.643	0.606	0.571	0.538	
0.837	0.783	0.730	0.680	0.633	0.589	0.547	0.509	0.473	
0.818	0.757	0.698	0.642	0.590	0.541	0.497	0.455	0.417	
0.802	0.735	0.670	0.609	0.553	0.501	0.453	0.410	0.371	
0.787	0.715	0.646	0.581	0.521	0.466	0.417	0.372	0.332	
0.775	0.699	0.625	0.557	0.494	0.437	0.386	0.340	0.300	
0.766	0.685	0.609	0.537	0.472	0.413	0.361	0.315	0.274	
0.757	0.674	0.595	0.521	0.454	0.394	0.341	0.294	0.253	
0.751	0.665	0.583	0.508	0.439	0.378	0.324	0.277	0.236	
0.746	0.658	0.575	0.498	0.428	0.366	0.312	0.264	0.224	
0.742	0.653	0.568	0.490	0.419	0.357	0.302	0.255	0.214	
0.739	0.649	0.563	0.484	0.413	0.350	0.295	0.248	0.207	
0.737	0.646	0.560	0.481	0.409	0.346	0.290	0.243	0.202	
0.736	0.645	0.558	0.479	0.407	0.343	0.288	0.241	0.200	

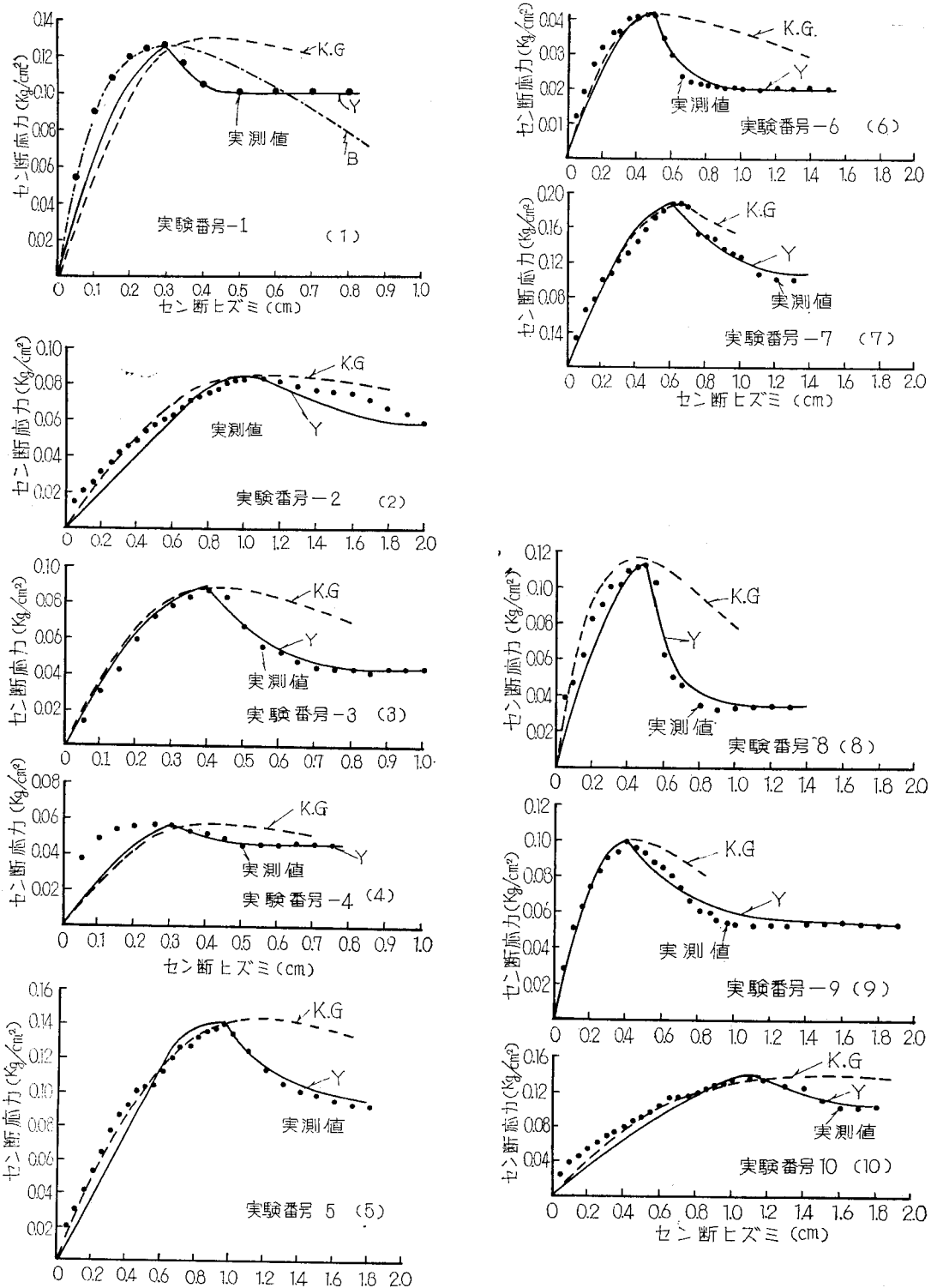


図-3 実測した $\tau \sim \epsilon$ 曲線と計算曲線との比較

場合と全く同様なこと可言え、上に大きくふくらんだ形の $\tau \sim \varepsilon$ 曲線には合わない。しかし、 $\varepsilon = \varepsilon_{opt}$ では(7)式と異なり、必ず $\tau = \tau_{max}$ となり、実測値と一致している。 $\varepsilon > \varepsilon_{opt}$ では10例とも実測値とよく一致している。したがって筆者の提案式は Bekker 式や Kacigin and Guskov 式よりも実測値に近い $\tau \sim \varepsilon$ 曲線を与えると考える。

4. Soil thrust 算出式

この場合の Soil thrust は次のようにして求める。

$\varepsilon \leq \varepsilon_{opt}$ のとき(9)式に $\varepsilon = il$ を代入し、接地圧分布を一様と仮定すると、クローラ型車両の Soil thrust は接地長にわたって積分することにより求まる。

$$SH_1 = B \int_0^l \tau_{max} (1 - e^{-\frac{il}{\varepsilon_{opt}} - il}) dl$$

$$= B \cdot \tau_{max} \cdot D \left[\frac{-1}{1+R} + \frac{e^{-R}}{1+R} - \int_0^R \frac{e^{-R}}{1+R} dR \right] \quad (11)$$

ここで、 $R = \frac{il}{\varepsilon_{opt} - il}$, $D = \frac{\varepsilon_{opt}}{i}$

(11)式の右辺第3項は積分指数関数⁵⁾を利用すると求まる。 $t=R+1$ とおく。

$$I = \int_0^R \frac{e^{-R}}{1+R} dR = e \int_1^t \frac{e^{-t}}{t} dt = e \left[\int_1^\infty \frac{e^{-t}}{t} dt - \int_t^\infty \frac{e^{-t}}{t} dt \right]$$

$$= e \left[-0.2194 - Ei(-t) \right] \quad (12)$$

(12)式を(11)式に代入すると

$$SH_1 = B \cdot D \cdot \tau_{max} \left[\frac{1}{1+R} (e^{-R} - 1) - e (-0.2194 - Ei(-t)) \right] \quad (13)$$

$il = \varepsilon_{opt}$ のときは

$$SH_1 = B \cdot D \cdot \tau_{max} [e \times 0.2194]$$

$$= B \cdot D \cdot \tau_{max} \cdot 0.5964 \quad (14)$$

$\varepsilon \leq \varepsilon_{opt}$ における Soil thrust は

$$SH = SH_1$$

である。

$\varepsilon \geq \varepsilon_{opt}$ のとき

同様にして

$$SH_2 = B \int [\tau_{max} - (\tau_{max} - \tau_{res}) (1 - e^{-\frac{il - \varepsilon_{opt}}{k}})] dl$$

$$= \frac{B}{i} \left[\tau_{max} \cdot E - (\tau_{max} - \tau_{res}) \times \right.$$

$$\left. \left(E + \frac{1}{k} (e^{-\frac{E}{k}} - 1) \right) \right] \quad (15)$$

ここで、 $E = il - \varepsilon_{opt}$

この場合の Soil thrust は(16)式となる。

$$SH = (14)式 + (15)式$$

$$= B \cdot D \cdot \tau_{max} \cdot 0.5964 + \frac{B}{i} \left[\tau_{max} - (\tau_{max} - \tau_{res}) \left(E + \frac{1}{k} (e^{-\frac{E}{k}} - 1) \right) \right] \quad (16)$$

5. 結論

以上のことを要約すると次のごとくなる。

- 1) 従来、ピーク強度を示す上の $\tau \sim \varepsilon$ 曲線を表わす式として発表されている式には Bekker 式と Kacigin and Guskov 式とがある。前者は係数 k_1, k_2 の決定が困難で、 $\tau \sim \varepsilon$ 曲線が求まらない場合が多い。他方 Kacigin and Guskov 式は実測値とあまり良い一致を示していない。
- 2) 筆者はこの場合の $\tau \sim \varepsilon$ 曲線を示す式として(9)、(10)式を提案した。この式は $\varepsilon \leq \varepsilon_{opt}$ で上に大きくふくらんでいる曲線にはあまり良い一致を示していないが、他の場合はかなり良く一致している。 $\varepsilon = \varepsilon_{opt}$ のとき、 $\tau = \tau_{max}$ となり、 $\varepsilon \geq \varepsilon_{opt}$ で実測値と計算値はかなり良く適合している。筆者の提案式も必ずしも完全無欠ではないが前二者よりも実測値に近い計算値を与える。
- 3) (9)、(10)式より、この場合の Soil thrust 算出式として、(13)、(16)式を提案する。
今後、模型や現地実験を行ない、(13)、(16)式の適用範囲を確かめたい。

参考文献

- 1) M.G. Bekker: Introduction to Terrain-Vehicle Systems, pp. 134-133, The University of Michigan Press, Ann Arbor
- 2) V.V. Kacigin and V.V. Guskov: The Basis of Tractor Performance Theory, Journal of Terramechanics, (1938), Vol. 5, No. 3, pp. 43-66.
- 3) A.D. Sela: On the Slip and the tractive effort, Proc. First Int. Cnt. Mechanics of Soil-Vehicle Systems, (June 1931), pp. 537-604
- 4) 吉田 勲: SOIL THRUST に関する一考察, 農業機械学会誌, (1939), Vol. 31, No. 3, pp. 199-201
- 5) 森口繁一, 宇田川銑久, 一松信: 数学公式1, p154, 岩波全書。

アメリカの土壌力学研究

木 谷 収*

1. まえがき

著者は1964年から2年間、フルブライト交換留学生として米国ミシガン州立大学に留学し、主として農業機械の走行と耕耘に関連した土壌力学の研究を行った。当時アメリカで見聞した研究内容は4年後の今日すでに旧聞に属するので、新しい研究動向については最近の帰国者のお話や近刊の雑誌に譲り、ここでは土壌力学に関連した主要研究所を訪れたときの印象を綴りたい。

ここではアメリカ農務省の耕耘機械研究所、国防省の水路試験場と走行研究所、大学としてはミシガン州立大学、カリホルニア大学、アイオワ州立大学、民間の研究所としてキャピラーの技術研究所などの印象を記したい。

2. 国立耕耘機械研究所 (National Tillage Machinery Laboratory)

この研究所は1930年代に、土壌力学と耕耘の研究で有名な N. L. Nichols 教授の提唱で、農務省の一研究所として Alabama 州, Auburn に設置されたものである。その伝統からして耕耘の研究が中心であるが、トラクタのタイヤやシューと土壌との関係など走行に関係したことにも力を入れている。近年は陸上のみならず海底のことも目を向け、筆者が訪れたときにも海底トラクタの走行部の研究に力を入れていた。このように看板にとられない自由さ、研究組織の柔軟性には大いに参考にすべきものがある。

耕耘機械研究所の特徴の一つは、徹底した土壌槽試験主義である。圃場では土の条件をコントロールして再現性のあるテストが難しいため、長さ82m、巾6.5m、深さ1.6mないし0.65mの屋外土壌槽を9本もうけ、これらに各種土壌をつめ、さらに長さ65mの屋根付土壌槽2本を用いて完全な実機テストを、正確に整地された条件下で行うことができる。耕耘装置の実験で中心となるのは、一般に土壌抵抗の分力測定であるが、ストレインゲージを用いた6分力計から出た信号をデータコーダに入

れ、必要な因子を選び出して、いきなり X-Y レコーダでグラフ化するとか、アナコンを通じて一連の計算をしたのちグラフ化したり、または A-D コンバータを通じてタイプで打出すなど、データ処理が実に巧みで自動化されているのには目をみはった。

土壌槽実験装置の良否は、いかに整地を精密にしかも能率的に行えるよう設計されているかにかかっていると云っても云い過ぎではない。耕耘機械研究所では、碎土、均平と散水、下層鎮圧、表土鎮圧など一連の整地作業をそれぞれ独立の専用台車につけられた作業機で行い、能率を上げるとともに、試験用台車も、作業機テスト用、タイヤテスト用、牽引負荷テスト用と機能的に分けられており、たいへん使いやすく設計されている。

さらに室内には円形の土壌槽をそなえ、比較的高速のモデルテストや耐久テストを行っている。

筆者が訪れた頃には、フィン付プラウの土壌槽テストをはじめ、耕耘用刃物と土壌の相似律、ミニマムティレッジのための作業機、プラスチックを張った低摩擦プラウなど実用開発の基礎試験をやっていたが、これと並行して、土の引張強度試験や圧縮せん断試験、土壌強度とエネルギーの関係、電気浸透と摩擦低減の問題など土壌力学の基礎になる研究にも力を注いでいた。

所長の A. W. Cooper 博士には以前東京でお目にかかったこともあるので博士のお宅に一晩泊めて頂いたが、その悠々とした生活のみて、未来をみつめた息の長い研究にはこのような生活の基盤が必要ではないかと感じた。美しい花の咲きほころぶ隣家をさして、謹厳な博士が「隣りは花を育て、うちは子沢山で子供を育てる。これも社会的分業だ」と冗談を云って一家だんらんを楽しんでおられたのが印象的であった。

3. ミシガン州立大学 (Michigan State Univ.)

East Lansing にあるこの大学は、米国でもつとも古い土地交付大学として、21学科を擁する大きな農学部をもち、土壌の研究も土壌科学科をはじめ、農業工学科、資源開発学科などにまたがっている。筆者は農業工学科に籍をおいていたので主としてその土壌力学の研究に

* 三重大学 農学部

ついでにのべたい。

筆者はスウェーデン人の S. Persson 教授の下でその研究の手助けをするとともに、私自身の Ph. D. 論文の研究を行った。教授の研究の中心テーマは、土壌の力学パラメータを用いて土壌を分類し、耕耘や走行に直接役立つ土壌地図を作ろうと云う雄大なもので、主としてリングせん断試験機、ペーパーメータ、コーン貫入試験機の油圧化したものを用い、クーロンの定数、ペッカーの貫入定数などを求め、牽引力や耕耘抵抗との関係を出そうと云うものであった。90馬力のトラクタの脇腹に装着した上記のメータ類を用い、各種の土壌条件の土地にでかけて実測した。もち帰った膨大なデータを手製のカーブフォアにかけ、カードにせん孔して電算機で処理した。実験は筆者が主任となり、大学院生と学部のアルバイト学生2人を助手として、1年がかりで行った。実験のためには大型トラレーヤや散水機を積んだトラックも一緒に移動しなければならないので、たいへんな労力とチームワークを要するものであった。

その他、巾4mの大型ロータリ耕耘機、ミニマムティレージの研究、小土壌槽を用いての土壌切削テスト、土中にアスファルトの層を吹きこんで不透層を作る研究などが行われていた。

筆者自身の Ph. D. 論文テーマとしては、土壌の応力一歪関係の研究をとりあげた。これはかねてから土壌の一次元的な応力一歪関係に疑問をもっていたからである。教授はその意義をみとめて、すぐ研究費をさいてくれた。アメリカでは契約研究制度が中心なので、経常研究費がほとんどなく、飛び入りの研究をはじめのがたいへん難しい。幸い実験には高圧の X 線を使う他は、自分で設計・製作した装置で間に合ったので、研究を順調にすすめることができた。研究は土壌の円柱試料の横歪をコントロールしながら3次元的な応力一歪関係を求め、塑性論の歪硬化の理論を用いて、硬化現象を含んだ応力一歪関係式をみちびき、その応用をはかったものであった。

ところで Ph. D. の資格試験に要求される専門および関連分野や語学の知識の中の広さと、他大学から学位をとりに来ている50歳近い教授にも機械的にそれをおしつける徹底さにはびつくりした。近年米国では、国公立および民間の研究機関で指導的地位に立つには、学位をもっていることが要求されるようになっており、広い範囲の研究を管理し、共同研究のまとめ役をするには、そのような巾の広さが当然必要であるとのことである。

4. カリホルニア大学 (Univ. of California)

Davis の農学部を訪れたのは、アメリカの土を踏んで

2日目であった。それだけに、ジェット機の煙だけがかずかにたなびいている澄みきった青空のサンフランシスコを後にして、一面茶褐色に夏枯れした野や丘を過ぎて Davis にいたる光景の印象は強烈であった。その後、ジェット機でロッキー山脈をこえたときの暗灰色の乾燥地帯、南部を夏に自動車旅行したときの乾ききり白茶けたコットンベルトの印象とともに、Davis への道はアメリカの土壌と水が、日本のそれときわめて異質であることを強く印象づけるものであった。

カリホルニア大学では、ちょうど東京教育大学の山中勇教授がみえておられ、懇切に御案内頂いた。土壌力学関係では W. J. Chancellor 教授が研究室をみせて下さり、土壌の破壊強度に関する各種の実験装置をみせて頂いた。筆者もエネルギーの少ななくてすむ耕耘法を追求するために圧縮せん断、振りせん断、引張り破断、切断などによる土壌の破壊強度の比較試験をまとめた直後のことであり、教授の見せてくれた遠心力による引張り強度テストや曲げ強度試験装置には興味をそそられた。教授は耕耘に引張り破壊を導入するために曲げを使おうとして、圧縮・引張り試験結果をもとにして土の曲げ強度を精密に解析しようとしており、またメニスカス理論をもっと深めなければならないことなど、我々と同じようなことを考えているので驚いた。実験ではサンプル作りをきわめて慎重に行っているのには感心した。また、土壌の粘弾性についての研究も筋道立った計画に従って行っていると感じた。

5. アイオワ州立大学 (Iowa State Univ.)

筆者が Ames にあるアイオワ州立大学を訪れたとき、日本から小中俊雄氏(現三重大学)が留学中で、同氏のお世話で研究施設をみせて頂いた。この大学の農学部はやはり古い伝統を誇っているが、日本の大学では考えられないくらい実用機の試作研究が盛んであって、実験室や農場にごろごろしている試作機をみて、プラグマティズムに徹し、地域社会に奉仕する大学の姿勢を端的に表わしていることを感じた。

もつとも、基礎研究もないがしろにされているわけでは決してなく、土壌力学関係としても、振動耕耘機の研究や、種々の形状のペネトロメータによる土壌硬度の測定法比較、耕耘前後の土壌面形状や力学性の測定、とくに圃場におけるありのままの土壌性状測定や非攪乱サンプリングなどに力を入れているのに興味をひかれた。

室内土壌槽は、土槽を動かす型のもので、小型ではあるが、集中制御式でたいへん使いやすく作られていて、能率がよいとのことであった。小型の移動土槽は、土壌の入れ替えや、湛水土壌のテストを行なうのに便利であ

って、湛水耕うんのテストにも力を入れているとのことであった。

6. 水路試験所 (Waterway Experiment Station)

ミシシッピ川を見下す南北戦争の古戦場 Vicksburg にある軍事研究機関、水路試験場は、もともとミシシッピ川の洪水調節の研究を目的として作られたものであるが、その広大な敷地 (たとえばミシシッピ川の実験用野外水理模型だけでも 100ha に及ぶ) を利用して小規模な原爆の地下爆発の研究も行ったことがあるそうで、このためか見学の許可をとるまでにたいへん手間どった。Persson 教授の紹介にもかかわらず、出発の前々日になっても許可がこず、照会したところ、今大使館を通じてまだ身元調査をしているとのことであった。ようやく出発直前に OK がきた。しかし一度中に入ると所長が直接会ってくれて何でも望みのものを見せてあげましようとしてアメリカらしいあけつぼりげさであった。

土壌力学の研究をやっているのは主として同試験場の車輛走行性能研究部であって、大がかりな装置を使って主として実験的研究を行っていた。たとえば土壌槽は長さ×巾×深さが約 8×2×1m で小さな貨車ほどもある。ミキサープラントのような土のコンディショニング装置を用いて、粉碎、注水、攪拌された土がこの土槽につめられる。この土壌を数箇以上連結し、この上を高架式モノレールに導びかれたタイヤ・シュー試験車が走行する。最高速度としては 11m/S まで出すことができる。計測はガラス窓をへだてた静かな計測室で行われる。計測システムは耕耘機械研究所のそれと質的に似ているが、さらに大がかりなデータ処理システムをそなえている。この研究部は 70 人余りの職員をかかえ、土壌力学に關した研究機関としてはアメリカでも最大のものである。

主任研究員の D. R. Freitag 博士は、この研究所がきわめて基礎的な土壌の力学性の研究から、航空機よりセンサーを投下して土につき立て、その貫入、振動から土壌条件を判定してタンクの走破性の可否をしらべると云ったきわめて軍事的な研究まで幅広い研究を行っていることを説明してくれた。研究の中心は土壌の trafficability であり、そのため土壌の分類、含水比、硬度、傾斜、気候等の条件から車輛の走破性の可否を判定し、走破性がないところではその対策を研究するものである。このため土の分類方法についての広範囲な研究をはじめ、分類の基礎の 1 つになる振りせん断試験や土の締固め試験に関する新しい試験装置、試験方法の開発を試みており、理論的にも土の剪断強度についての塑性論的な研究など、かなりつつこんでいい仕事をしていると感じた。

7. 走行研究所 (Land Locomotion Laboratory)

ミミガン州、Detroit の郊外にある走行研究所は、主として特殊車輛の走行の研究を行っている軍事研究所であるが、著名な M. G. Bekker 氏 (前技師長) の走行理論がここで生れたことから察せられるように、きわめて基礎的、理論的研究にも力を入れている。筆者が訪れたときには、Bekker 氏はすでに G M 社へ去って、昔日の活気が薄れたのではないかと感を得たが、それでも、走行に關した土壌パラメータの研究、土壌貫入の次元解析、人工土壌、トラフィカビリティーの決定方法、不整地走行における不規則運動の解析、剛性車輪およびシューへの土壌反力の分布、ベッカーの貫入定数の再検討など、広範囲な基礎研究を手がけており、ベッカーをこえようとする努力が払われていることが、2 度の訪問と討議の間にかがうことができた。

8. キャタピラー技術研究所 (Caterpillar Tractor Company)

イリノイ州、Peoria にあるキャタピラー社の技術研究所をたずね、その規模の大きさにまず一驚した。何十と云うエンジンテストルームや材料試験室、建設中の巨大な構造強度テスト室などキャタピラーの実力をまざまざと見せつけられた気がした。土壌力学関係では、広大な丘陵地における機械の実物テストの他に室内に作られた大小 2 つの土壌槽を用いてのモデルテストを徹底してやっており、筆者が目にした模型だけでもたいへんな数であった。とくに小土槽では、標準砂とグリースまたは純粘土を混ぜた模擬土を用いて相似性についての基礎研究を続けていた。このように一貫して基礎的な研究が続けられることは、世界のトップ企業の自信と、長い目でみた合理性を示すものであろう。

私企業でも基礎研究にきわめて力を入れている傾向は、John Deere, Massey-Ferguson, Ford など農業機械メーカーを訪れたときにも強く感じたものである。たとえば、Ford のトラクタ工場の研究部で聞いた言葉は印象的であった。「未来のものを生み出す研究者は、日常性の中に完全に埋没してはだめなのです。Ford では改良的な仕事をする研究者を未来的な仕事をする人と分離しています」。

9. あとがき

アメリカの研究はヨーロッパのそれに較べ一般に体系的でないといわれる。土壌力学についてもそのような批判があたっていないわけではない。しかし、土壌力学も所詮応用科学の 1 つであり、現実の技術問題に対し、解

答と発展を与えなければならないとの立場を重視すれば、アメリカ流のプラグマティズムに徹した研究方法——常に何らかの形で実用化のプログラムをもって研究すること——はきわめて効率のよい方法であり、この効率の高さがピューリタンの勤勉さとあいまってアメリカの発展の原動力となったのであろう。

精密な実用技術体系を立てるには、その基礎も体系化

され、精密化されなければならない。したがって我々は基礎研究にも大いに力を入れているのだとアメリカ人は云う。我国でも大勢として同じ傾向であろう。しかし、ここに実用性、日常性の落とし穴がある。この落とし穴をさけて発展するには、研究組織上の流動性を前提とした分業と協力が必要であろう。

農林省登録腐植酸肥料

フミン酸肥料懇話会

会員メーカー（ABC順）

アツミン

日本重化学工業株式会社

東京都中央区日本橋小網町2-14(洋糖ビル)

フミゾール

北炭化成工業株式会社

埼玉県戸田市川岸1丁目1-20

エスコン

日本水素工業株式会社

東京都千代田区有楽町1-10(三信ビル)

テルナイト

帝石テルナイト工業株式会社

東京都渋谷区幡ヶ谷1-31

カスピ平野 (イラン) ならびに後竜地区

(台湾) の土壌とカンガイ計画

水之江 政輝*

筆者はイラン国タレガン地区の開発調査(昭37, 10. 16 ~11. 30)と中華民国における技術協力(昭41年5月~昭42年8月の間FAO, 昭43年11~12月の間と昭44年12月~昭45年2月の間日中技術協力)の任務の一部としてカンガイ計画を対象とした土壌調査に従事する機会を得たので、ここに調査結果の一部を報告します。

1. カスピ平野の土壌とカンガイ計画

この調査は外務省の投資前調査費により行ったもので、砂漠に近い未利用地約6万haを開発して、実り豊かな緑のオアシスを造成しようとする、きわめて雄大な水利開発事業である。われわれはこの事業の技術的ならびに経済的な可能性を検討し、これをわが国の技術陣が手がけることによって日本、イラン両国の親善を深めるとともにわが国の企業進出や各種建設資材の安全な輸出を図らうとするものである。

1. 開発計画の概要

64,000haの耕地に年間3億7千万トンのカンガイ用水を供給して、現在栽培している小麦、メロン、果樹等の生産の増大を図ると共に、将来この国の外貨獲得に影響を与えると思われる、綿、ビート等の増殖と営農の改善や酪農の導入によって、経営の発展向上を図ろうとするもので、農業用水のほかに年間1千万トンの飲雑水と年間約2億4千万KWHの発電をあわせて行なうものである。

受益地はイランの首都テヘラン市の西方150~200kmに位置しており、北部には標高2,000~2,500mのタレガン山系が東西に走り、その山ろくは南に広がってカスピ平野となっている。平野部は北部から南部にかけて $1/100$ ~ $1/200$ の起伏の少ないゆるい勾配である。

土壌は平野北部の一部に砂れき層の堆積した洪水の痕跡地があるが、それを除いた大部分は土壌分類からみて1級~2級に属する土壌構造を形成しており、畑作に適した地域である。また、土壌の多くは植壤土で地味も豊

かであり、この国特有のアルカリ性土壌も南部のごく一部に存在するのみで、地区内の大半は中性土壌に属している。

気温は冬期(12月~2月)を除いては、15~35°Cで、特に夏期(5月~10月)は25°C以上の高温が続き作物の生産に適している。雨量は年間約350mmで極めて少なく、しかも降雨の殆んどは冬期に集中しており、作物の生育に必要な春期から夏期にかけては全く降雨のない乾燥シーズンであり、このため湿度も低く30%前後で乾燥地帯の様相を形成している。

2. 土壌の保水性ならびに透水性

カスピ平野における適正カンガイ法の確立と、それを前提とした末端配水組織の計画樹立に資するため、カンガイ庁から提供の土壌図をもとにして、24時間容水量(F C)、萎凋点(P F 4. 2)、Cylinder intake rate ならびにFurrow stream の調査を行なった。

表一 調査地点

区 分	Cylinder intake rate	Furrow stream	備 考
I 級 地	53	4	耕作ならびにカンガイに適し、生産性が高い
II 級 地	54	4	耕作ならびにカンガイに適するが生産性はI級地に比べてかなり劣る
III 級 地	19	2	耕作可能でカンガイに適するがII級地に比べて土壌、地形上から排水ならびに保全対策が必要
IV 級 地	11	—	耕作に適さない。特別の状況下を除いてはカンガイ不能。
V~VI級地	6	—	耕作不能

表一2は土壌の保水性の一部をまとめたものであり、図一1はI-49地点の24時間容水量時における土壌の三相分布を示したものである。10cm当りの有効水分量はI級地でおおよそ13mm、II級地では12mm前後で、一般に小さい値を示した。これは腐植含量が少ないことと、ほ場管理が十分でないことによるものと推察される。

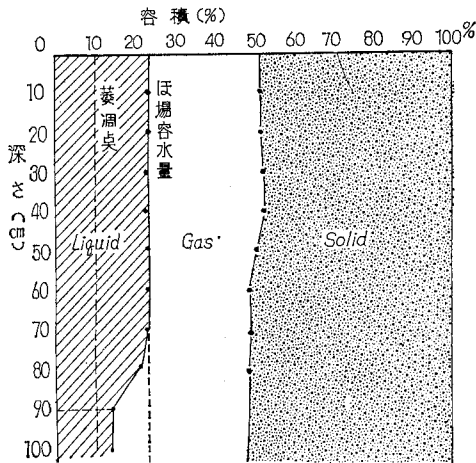
* 東海近畿農業試験場畑作部

表一 土壤の保水性

測点No	記号	層位	仮比重	空隙率	24時間 容水量	萎凋点	10cm当 り有効 水分	TRAM		
								R=0.5	R=1.0	R=1.5
I-30	3H A-0	1 0~30	1.27	52	27.0	12.5	14.5	45	90	136
I-32	3H A-0	1 0~30	1.22	54	24.0	11.0	13.0	41	82	122
I-34	3H A-0	1 0~80	1.59	40	14.0	6.2	7.8	24	48	72
I-49	3H A-0	1 0~40	1.27	52	24.0	11.0	13.0	41	82	122
I-50	2H A-0	1 0~30	1.19	55	25.0	11.5	13.5	42	85	127
I-51	2H A-0	1 0~30	1.19	55	23.0	10.5	12.5	39	78	117
I-52	3H A-0	1 0~80	1.22	54	29.0	13.0	15.5	49	97	146
平均			1.28	52	23.7	10.8	12.9	40	80	120
II-54	3H1-2 A-0	II S 0~30	1.11	58	22.3	10.1	12.2	38	76	114
II-47	2H B1-1	II T 0~70	1.40	47	21.8	10.0	11.8	37	74	111
平均			1.26	53	22.1	10.1	12.0	38	75	113

以上の結果と作物の水分消費型(表層から各層位ごとに40, 30, 20, 10%と推定)を考慮して, TRAM(全生長水分量=1回当りカンガイ水量)を計算すると表一3のようになる。TRAMの限度は最も深根性の Grape でもおよそ170mmであり, 現状の土壤条件からみて1回に200mm以上のカンガイを行なうことは無意味である。(慣行では雪どけ水を利用して1回に200~400mmをカンガイしているものもある)

土壤に対する水の浸入性については Cylinder intake rate と Furrow intake rate の測定

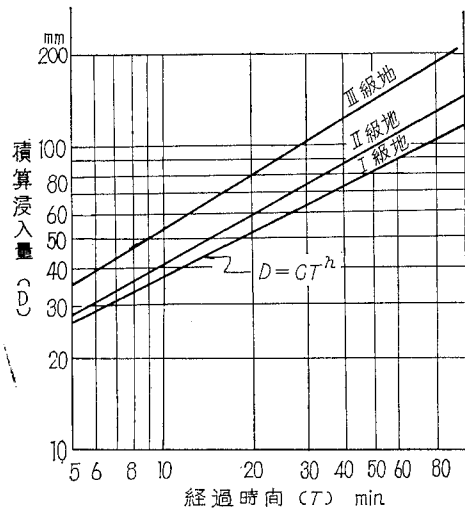


図一 は場容水量時における土壤の三相分布 (No.I-49)

表一 3 1回当りカンガイ水量

作物	根域の深さ(D)	I 級 地		II 級 地	
		(D) 当AM	1回当り 粗カンガイ 水量	(D) 当AM	1回当り 粗カンガイ 水量
Wheat, Barley	0.4	12.8	35	12.0	32
Rape, Tomato, Cabbage	0.6	19.2	51	88.0	48
Onion	0.3	9.6	25	9.0	24
Vegetable	0.5	16.0	43	15.0	40
Corn, Peas, potato	0.9	28.8	77	27.0	72
Melon(1)(2), Soybean	1.0	32.0	85	30.0	80
Dentcorn, Cottoa	1.2	38.4	103	36.0	96
Sugar beet, Alfalfa	1.5	43.0	128	45.0	120
Grape	2.0	64.0	171	60.0	160

(注) TRAMが消費されたときカンガイするものとして, ほ場カンガイ効率を75%として計算



図二 Cylinder intake 曲線 (土壤分級別平均値)

表一 4 Cylinder intake rate

分級	調査 点数	D=CT ⁿ		I=60cnT ⁿ⁻¹ =KT ^m		Basic intake rate (I _B)
		c	n	k	m	
I 級地	21	11.5	0.50	345	-0.50	19.8
II 級地	14	11.1	0.56	373	-0.44	44.5
III 級地	6	13.0	0.61	476	-0.39	56.6

を行なった。その結果の平均値を土壤の分級別に整理すると表一4, 図二のようになる。

土壤の分級が大きくなるにつれてインテーク定数なら

びに Basic intake rate (I_B) 値は共に大きくなる傾向が見られ、II~III級地あるいは、それ以下の級地においては、調査地点の約 $1/5 \sim 1/3$ は 75mm/hr 以上の I_B 値を示した。これらの地点ではカンガイ効率の点から地表カンガイ法の適用にあたっては特別の配慮が必要である。

以上とは別に、うね間カンガイ法における適用値を明確にするため Furrow Stream と Furrow intake rate の測定を行った。Furrow intake rate は通常うね長10m 当り l/sec または l/min で測定される。Pilot farm 設定予定地点 (測点 No. I-49) で行った測定値を示すと図-3 の通りであり、表-5 は土壤の分級別にうね間インテーク定数として整理したものである。

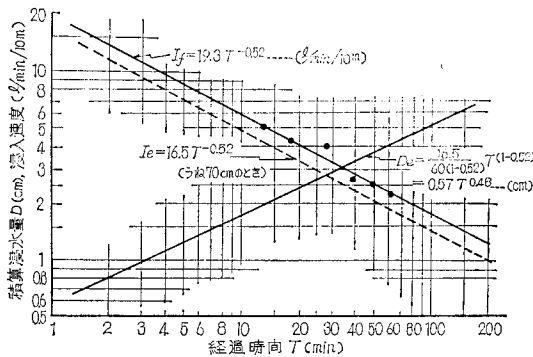


図-3 うね間インテークレート曲線の1例 (測点 I-49)

表-5 ほ場当りうね間インテーク定数

分 級	ほ場当り推定インテークレート $I = KT^m$			
	mm/hr		l/min/10m	
	k	m	k	m
I 級 地	224	-0.63	26.1	-0.63
II 級 地	243	-0.56	28.3	-0.56
III 級 地	308	-0.50	35.9	-0.50

これらの結果とうね間流下試験の結果を考慮して、地表カンガイにおける流れ方向の区画長の許容長を表-6 のように決定し、カンガイ計画の基礎資料とした。

表-6 地表カンガイにおける流れ方向の区画長 (勾配5%のとき)

作 物	ボーダカンガイ		うね間カンガイ
	I 級地	II~III 級地	
根域深60cm以下 (Wheat, Barley, Vegetable)	m	m	m
根域深90cm以上 (Cotton, Alfalfa)	200	100	200

2. 台湾の水利開発と土壤

1. 水利開発の重要性

台湾の畑地面積は総耕地面積の約40%という大きな割合を占めていながら、国民の食構造が米食にかたよっていることから、農業の歴史的な生い立ちも日本と同様に水田稲作が経営の中心となって今日に及んでいる。米作を中心とした水田農業は水利利用の合理化や多収性品種の育成など、新しい技術の導入によって、さらに進歩発展するものと推察されるが、台湾農業において早急に改善を要する面は、これまでに取りのこされてきた畑作の振興と育成をはかることであり、カンガイ施設を持たない35万 ha の既耕畑地にカンガイ施設を設けて畑地の生産を向上安定させるとともに、さらに35万 ha の可耕傾斜地を開発してカンガイ施設を施すことである。

2. 後産地区の土壤とカンガイ計画

(1) 24時間容水量による土壤の区分 24時間容水量の測定結果を土壤の三相分布で整理し、これをカンガイ計画の立場から区分するとおよそ4タイプに大別できる。

(図-4) タイプ I~II は地下水の影響との関連でさらに2~3に区分される。表-7 はそれぞれのタイプの特徴を示したものである。

図-5 ①~④は24時間容水量と W_p (PF4.2) の関係

表-7 タイプ別特徴

タイプ	特 徴
I	地下水の影響を受けない状態でのFC値が概15%以下のもの
I-1	地表下100cmの範囲内では地下水の影響を受けないもの
I-2	地下水の影響をうけて30~40cm以下の土壤水分 (FC値) が漸増の傾向を示すもの
I-3	地下水の影響は受けないが地下60cm付近にやや粘質土 (厚さ約10cm) を介在するもの
II	地下水の影響をうけない場合の表層のFC値が15~20%の範囲のもの
II-1	地表下100cmの範囲では地下水の影響を受けないもの
II-2	地表下100cmの範囲で地下水の影響をうけるもの
III	地下水の影響を受けない場合の表層のFC値が25~30%の範囲のもの
IV	地下水の影響を受けない場合のFC値が全層 (地下80cmまで) にわたって35~40%の範囲で、この時の容気率が極めて小さく (約8%) 湿害をうけるおそれのあるもの

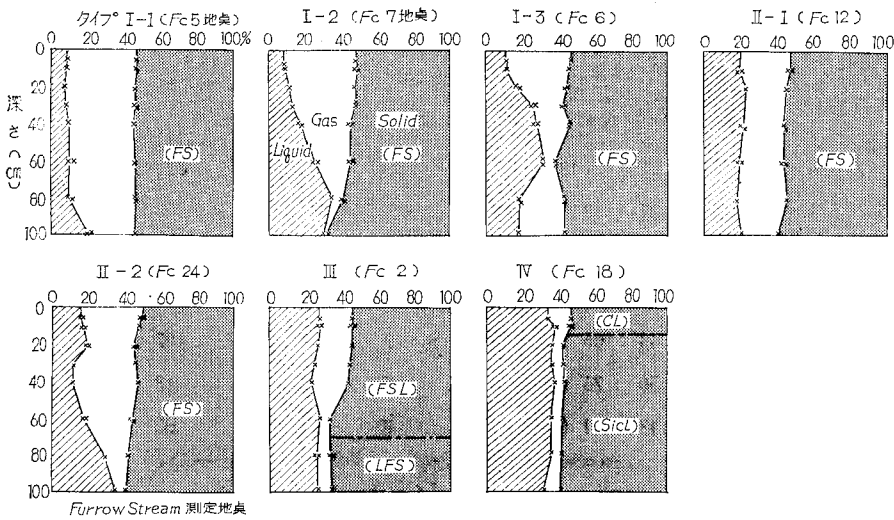


図-4 ホ場含水量による区分(タイプI-IV) (後竜カンガイ計画地区)

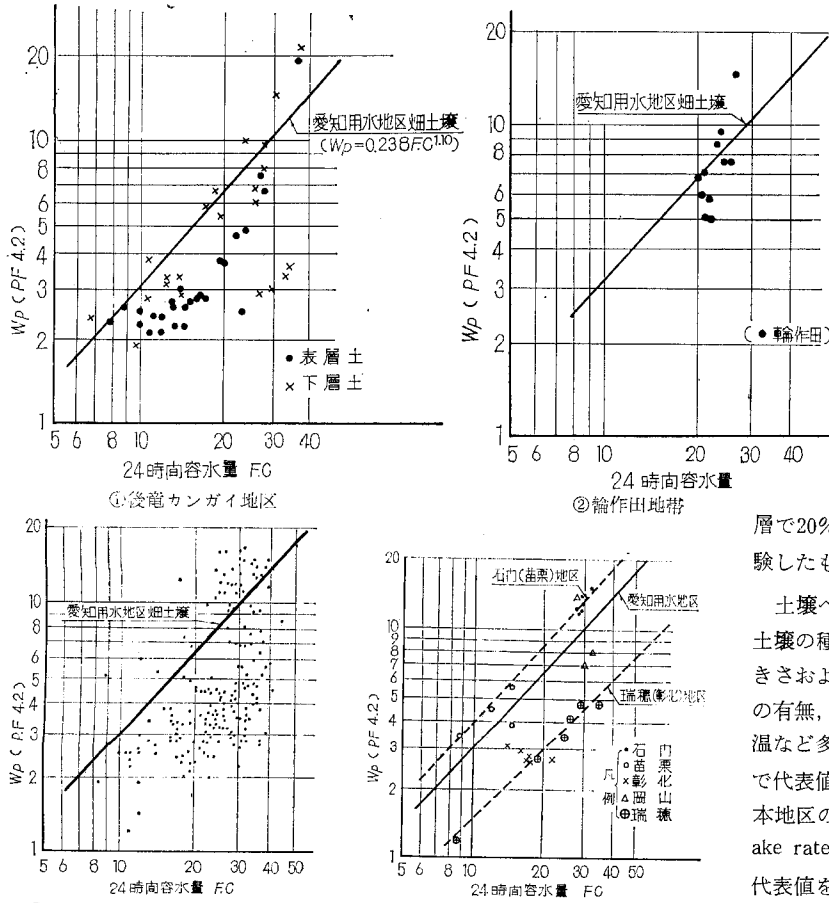


図-5 ①~④24時間含水量とWpの関係

係を示したものである。①は後竜カンガイ地区のもので、地下水の影響や残留重力水の影響などをうけて測定

値に大きなバラツキが見られる。②は輪作用地帯のものであり、③は東部地区(瑞穂)のものである。④は5か所の畑地カンガイ試験地における測定結果で、この場合は石門、苗栗試験地と瑞穂・彰化試験地の2つに大別され、岡山試験地の値はその中間に属する。瑞穂、彰化試験地は地下水の影響をうけたものと推定されるが、この点は今後解明を要する課題である。

(2) TRAM (全生長有効水分量) ならびに

水の浸入特性とカンガイ方法 TRAMは、カンガイ時間、カンガイ頻度、カンガイ効率、カンガイ方法などを決めるための重要因子で、主に土壌の有効水分と作物による土壌水分の吸収形態などによって決められる。表-8は作物による土壌水分の消費を第1層で40%、第2層で30%、第3層で20%、第4層で10%と仮定して試験したものである。

土壌への水の浸入性(Intake rate)は土壌の種類、土壌構造(特に空隙の大きさおよび量とその分布)土湿、地被物の有無、供給水の濁度および水温、地温など多くの因子によって変化するので代表値の決定はかなり困難である。本地区の調査では土壌間における Intake rate の相対的な差異と土壌固有の代表値を得るため、初回測定のおよそ24時間後(ほぼFC値に近い水分状態)における測定を行ない、その値を代表

表一八 土 壌 の 物 理 性 と カ ン ガ イ 方 法

タイプ	土 層 深 度	真 比 重	仮 比 重	空 隙 率	ほ 場 容 水 量	萎 凋 点	10cm 当 り 有 効 水 分 量	1 回 当 り カ ン ガ イ 水 量		F C 時 イ ン テ ー ク 定 数		カ ン ガ イ 方 法 区 分 (4 分 法)				要 カ ン ガ イ 時 間 t_B	備 考
								R=	R=	C	n	L=25m		L=50m			
								40cm	60cm	40cm	60cm	R=	R=	R=	R=		
I-1	0~50	2.68	1.39	48.1	110.7	2.5	8.2	21	31	13.1	10.81	S	S	S	S	725	S: 散水カンガイのみ可能なところ
I-2	0~50	2.66	1.43	46.2	112.7	2.5	10.2	27	38	15.3	30.78	S	S, F	S	S	260	
I-3	0~20	2.61	1.49	42.8	113.4	2.2	11.2	28	42	17.8	80.75	S	S	S	S	640	
II-1	0~20	2.65	1.46	45.0	117.7	3.1	14.6	37	55	11.3	30.80	S	F, S	S	S	580		F: うね間カンガイでも可能なところ
II-2	0~20	2.61	1.48	43.3	120.9	3.7	17.2	43	65	9.2	20.65	F, S	F	S, F	S, F	197	
III	0~20	2.55	1.44	43.5	127.2	7.2	20.0	50	75	0.5	0.75	F	F	F	F	18	
IV	0~15	2.45	1.44	41.3	136.6	19.6	17.0	43	64	0.9	0.81	F	F	F	F	53	

また、開田の可能性について検討を加えるため、シリンドーインテークレートの測定開始後60分目に表層約10cmを十分に攪拌して、その後のインテーク・レートの減衰状態を測り、無処理区と比較して攪拌によるインテーク・レートの減衰効果を求めた。

図一六の直線①は愛知用水計画における開田適地とした畑地のY-Xの関係であり、②は愛知用水計画で開田不適地としたものである。後竜地区の調査結果では大半が②よりも攪拌処理効果が小さく水利用効率の面からみて水田としての利用は不利であることがうかがわれる。

FC時ならびに要カンガイ時のインテーク定数は表一八に示した通りである。カンガイ方法の区分は、①土地の傾斜および等高線の状態、土壌の物理特性、土層の深さ等の立地条件 ②風向、風速等の気象的条件、③作物の種類、栽培方法、経営規模などの栽培的条件、④カンガイ施設費、施設管理費などの経済的条件などによって決められるが、本地区では、実測のFC値と W_p 値ならび

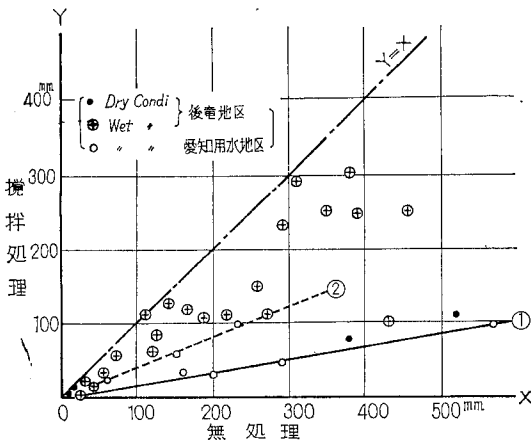
にシリンドーインテーク定数をもとにして、4分法によるうね間法の適用限界を有効根域深度とうね長別に求めて表一八に示した。もちろんうね間法の適用できる地区では散水法の適用も可能である。

(3) うね間インテークならびに水足の速さ うね間カンガイにおける適用数値を明らかにするため、土壌タイプごとに1地点を選んで水足の速さとうね間インテーク・レートおよび流亡土砂量の測定を行なった。測定結果は図一七、八および表一九の通りである。

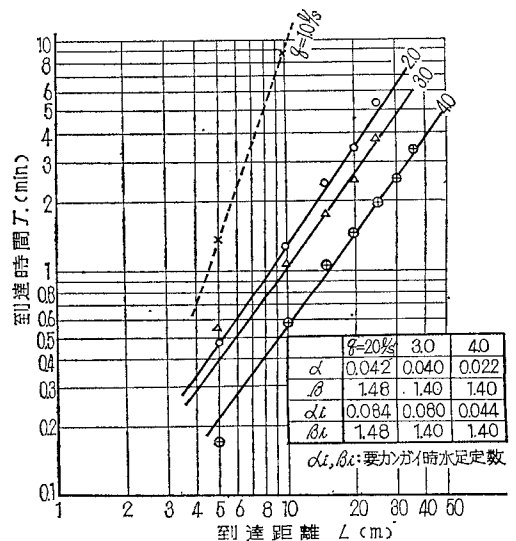
表一十はこれらの測定結果をもとにして、測定地点別にカンガイ適用値を整理したものである。(土壌タイプ別の適用値省略)

3. その他 (水利開発事業からみた土壌物理研究の現状)

筆者が接触した範囲(事業面での分野)では陳尚氏(水



図一六 攪拌処理による浸入量の減衰(処理後1時間)



図一七 水足の速さ (Wet Condition) --No. 1 勾配0.4%—

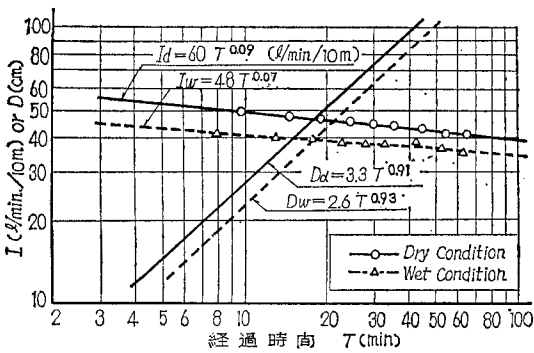


図-8 うね間インターテック曲線の1例 (No.1, 勾配0.4%)

表-9 水不足数 (wet Condition)

地点 番号	うね 勾配 %	区分	$q =$			
			2l/s	2.5l/s	3l/s	3.5l/s
No.10	0.40	α	0.042	0.040	0.022	
		β	1.48	1.40	1.40	
No.20	0.25	α	0.015	0.010	0.027	0.010
		β	1.84	2.04	1.49	1.62
No.30	0.83	α		0.023	0.044	0.032
		β		1.26	1.05	1.16
No.40	0.83	α	0.034	0.034	0.032	
		β	1.28	1.14	1.14	

表-10 うね間カンガイ適用値 (カンガイ対象土層を40cmとしたとき)

No.	1回 カン ガイ 水量 mm	$D = CT^n$		うね 間 流量 勾配 %	うね 間 通 水 時間 min	最大 うね 間 長 m
		C	n			
1	28	26.0	0.93	28.0	3.0	3.7
2	33	14.0	0.70	15.0	2.5	10.6
3	44	15.0	0.63	16.0	3.0	11.6
4	33	8.0	0.85	9.0	3.0	25.0

(注) D_i : Cの要カンガイ時の値, α_i, β_i : α, β の要カンガイ時の値

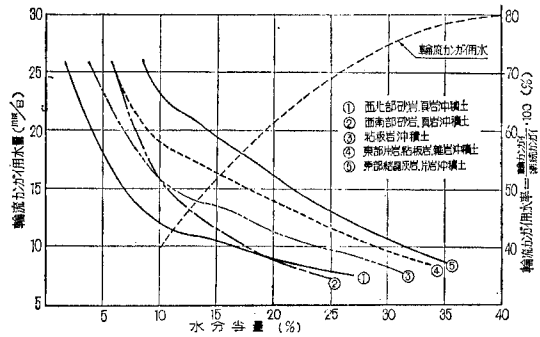


図-10 水分当量と輸流カンガイ用水量の関係 (ア東尚) -

利局土壌試験室)らのグループによる水田土壌を対象とした調査研究が中心となっており、なかでも水田用水量や流水容土による改良基準を水分当量との関係を進めている研究には顕著な成果があげられているが、これらは理論的な研究よりも直接事業への適用をねらった実用的な研究が主である。図-8はその1例で、土性と水分当量の関係を示したものであり、図-9は水分当量から輸流カンガイ(間断カンガイ)における用水量を求めるための図表である。現在水田における用水計画ではこの図表を基準として用いている。

畑地土壌を対象とした研究は近年ようやく緒についたばかりで、かなりの立遅れが見られる。ただ現在進捗中の科学発展計画の中にはカンガイ土壌の物理性を対象とした研究が大幅に取りあげられており、民国58年(1969)から8~12か年計画で、①輪作田、期作田および畑地の土壌物理性の調査、②各種土壌の水分恒数の研究、③土壌の物理性と適用カンガイ方法の研究、などカンガイ事業計画への適用を前提とした研究が進められており、このために多額の国費が投入されることになっている。

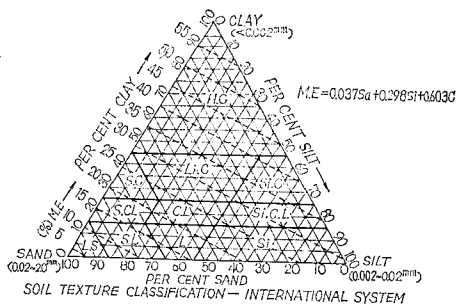


図-9 土性と水分当量の関係 (西部粘板層) -

最近の西欧における土壌構造と作物生産に関する研究

久保田 徹*

1964年の11カ月間、英国ロザムステッド試験場に留学する機会に恵まれた。留学のテーマは「飼料作物栽培と土壌の理化学性」というもので、化学部に席を置きG.W. Cooke 部長の指導を仰いだ。当時、筆者は農林省四国農試において稲-牧草輪換栽培の技術体系の研究に従事し、主にイタリアンライグラスの肥培管理があと作水稲に及ぼす影響を調べていたが、Agronomist の立場から牧草栽培土壌の特性や牧草による土壌物理性改良が生産力に果たす役割について明らかにしたかった。

留学中の知見、研究結果、西欧の研究所見学时に得た見聞などから標題のものをまとめた。ここでいう土壌構造は Pedologist の用いる形態学的用語ではなく edaphologist や一部の土壌物理学者の用いるそれで土壌構造の生産力的機能を中心としたものである。なお、7年前の知見は陳腐であるかも知れないが、この点は御容謝頂きたいと思う。

1. ロザムステッド物理部について

始めにロザムステッド物理部について簡単に紹介します。

物理部の創設は1913年で、B. A. Keen の土壌水の研究から始まった。土壌水の研究はその後の主要な研究の柱となり引き継がれ発展した。世界に研究の威容を誇るに至ったのは1920年代と思われる。この頃、W. B. Haines の土壌水の状態と移動の研究、凝集力理論、Keen 等の耕耘の研究、E. M. Crowther, A. N. Puri 等の土壌の膠質学的研究などの土壌物理の古典的研究が陸続と発表された。当時の J. agric. Sci. Camb. vol 25 (1925) を見ると全45論文中実に16篇がこの物理部の仕事である。Haines は従来の土壌孔隙毛管仮説から新しくセル説を提唱し現在の土壌孔隙の概念を打ち出した。後にH. L. PenmanはHainesのセル理論を基にして土壌通気、蒸発の機構の解明を行った。また、長期の圃場耕耘実験の結果は、毛管説で考えられるほど耕耘は土壌水分に影響を及ぼさなかったと記されている。Keen 等は圃場の水の動き、

透水、蒸発散の測定を開始したが、この蓄積が後の農業気象学の礎を創っているように思われる。

1930年代に R. K. Schofield が pF 理論を発表し土壌水の熱力学的把え方を定着させると同時に灌漑の実際の指標に大きな役割を果たした。当時のロザムステッド年報では彼はコロイド物理学者として記されており物理部の研究領域の幅の広さがうかがえる。Schofield の研究の多彩さは改めて述べる迄もないが、土壌物理の研究に粘土の荷電の究明が不可欠であるとして、後に同型置換荷電の他に解離型荷電の存在を明らかに粘土科学に貢献した。この頃、E. W. Russel の粒団生成機構の理論が発表された。

1940年代から Penman を中心に土壌水蒸発の機構や灌漑の研究が精力的に行なわれ土壌物理から農業気象の性格が強まって来る。そして現在は Penman を部長とし御気象学の J. L. Monteith, ガス拡散の J. A. Currie から数名の研究者が活躍中である。

ロザムステッドの研究の源は実験圃場にあるといわれている。有名なクラシカル・エクスペリメント圃場はもとより土壌や耕作管理経歴の異なる膨大な圃場を有し、常に新しい研究材料を提供して来た。緑豊かな広大な実験圃場に立つと農業研究に従事する喜びをしばしば感じる事があった。

2. 牧草による土壌物理性改良と生産力

牧草あと地は畑作物あと地よりも多収性であると一般にいわれている。英国では19世紀始めから、例えば Norfolk 型輪換で知られるように畑作物輪作中に1~3年の牧草栽培(これを ley という)が割込むようになり、病害、雑草の回避や土壌肥沃度の維持に効果が認められて来た。そして第2次大戦中の食糧難時代に古い草地を耕作したが、この頃から ley の土壌改良効果が特に注目されたといわれている¹⁾。

ley が団粒形成、孔隙性、保水性、透水性等に及ぼす効果については Troughton の著書²⁾に詳しいのでここでは述べないが、ley あと地の多収性に対して物理性の改良効果はどの程度寄与しているであろうか。

* 農業技術研究所

英国ではロザムステッドやハーレー草地研究所で ley の試験が古くから行なわれ、作物の多収性が認められているが、これらの報告⁸⁾⁴⁾⁵⁾によると、ley は易耕性や発芽をよくすることはあっても物理性改良が增收をもたらすことはほとんどなく、增收の原因は窒素地力の増大にある。Clement³⁾ (1931) は ley 圃場試験成績の重回帰分析から增收要因を解析したが、ley あと地の麦の增收は地力窒素の有利な利き方によって団粒形成とは全く相関がないと報告している。このように物理性改良の增收効果は否定的である。ちなみに諸外国では、例えば Van Bavel ら⁶⁾ はマーシャル微砂質壤土の傾斜地で ley あと地の耐水性団粒量ととうもろこし収量の相関を認めしたが、Mchenry ら⁷⁾ はチェルノーゼム微砂質壤土で ley の団粒化や孔隙変化ととうもろこし収量の関連を必ずしも見出せなかった。

筆者は ley の物理性の効果を抽出すべく設計された試験を探したが英国では次例しかなかった。ICI・ジェロットヒル研究所の Low¹⁾ (1963) は砂壤土で施肥を過剰量迄順次増進することにより化学性を消去し燕麦を栽培した。ley あと地では施肥窒素の利用率がよく、畑作土壌では達し得ない增收を得て物理性の効果を示唆している。後に、フランス・ベルサイユ農業研究センターの Trocmé 栽培部長から同部で蔬菜について Low と同様の多肥多収性になる結果を得たと話に同った。

1964年夏、ハーレー研究所で草地に関するハーレー・ワグニンゲン共同シンポジウムが開かれ、その中で ley の多収性がとり上げられた⁹⁾。オランダでは草地は概して重粘質土壌の永久草地であるが近年 ley 方式の研究が行われている。Grotenhuis, Harmsen らによって、オランダの新しい干拓土壌(砂質土壌)で ley あと地は畑作地より常に增收になること、しかしハーレーでは多肥により畑作地でも ley と同等の収量を挙げ得ることが報告された。この場合土壌窒素を主体に討議が行なわれたが、天候不順時には作土の slaking や滞水の防止に特にシルト質土壌で ley の効果が顕著になることも報告された。

ley によりいわゆる改良されたといわれる土壌構造とそれに対する作物の感応の関係は土性や腐植含量等の土壌条件、地勢、気象条件、作物の種類や栽培管理方法によって多様であろう。浸蝕やクラスト形成等の物理的障害の大きい地帯では增收効果が発現するかも知れないが障害の軽微な地帯では効果は期待できないように思われる。英国の畑作地帯は主にイングランド東部に分布し、緩かな起伏と温和な降雨条件にあり土壌浸蝕は問題になっていない。この地帯は氷河堆積物からなり下層に堆積するチョークを混入したチョーク質土壌が多く土壌自身

良好な構造を維持し、恢復する性質を備えているといわれる。加えて施肥量が低く農業収約度が低い。これらのことから ley やその他物理性の改良が增收に結びつき難い地理的条件にあるように思われた。またこの方面の試験研究に対する感心は後述の大英諸国に比べてかなり低いことも事実であった。

一方、ley が易耕性をよくし良い播種床が得られることは広く認められている。¹⁾³⁾⁴⁾⁹⁾¹⁰⁾ イングランドの粘質地帯のように春の農耕作業が天候に極めて左右されるところで ley is beneficial といわれているのは、降雨後でも ley は排水がよく耕耘播種作業が易容なことに理由がある。

農業機械踏圧の障害についてシルソー農業機械研究所土壌部の Fountain, Payne ら¹¹⁾ (1952)は広く調査を行ない、通常の農業機械の使用の範囲では土壌圧縮は軽微で栽培上無視できると結論した。以来、機械踏圧による構造悪化はイングランドではあまり心配ないと考えられている。これも先に述べた土壌の特性と ley 方式が障害軽減に役立っているように思われた。事実彼らの調査圃場は ley あと地または輪換地が多い。また ley あと地は圧縮され難いと述べている(有機物の土壌圧縮に対する効果について Russell ら¹²⁾, Taylor ら¹³⁾の報告がある)。諸外国の踏圧の影響を見ると、Weaver ら¹⁴⁾ (1950) はデビッドソン土壌におけるトラクターの使用は下層土を圧縮し硬盤形成の要因となること、Trowse ら¹⁵⁾ (1961)はハワイのラトソルで機械踏圧は作土の仮比重を高めさとうきびを減収させること、一方 Bolton ら¹⁶⁾ (1959)はブルックストーン粘質土壌でトラクターの過剰踏圧をしても孔隙減少や燕麦の減収がないと報告している。Bolton の供試圃場の多くは牧草輪換地か ley あと地であるのが特徴的である。これらの踏圧障害の差異も土壌の構造維持特性と管理方法の差異に由来するものであらうと思われる。

筆者等¹⁷⁾ (1937) は次の圃場試験で ley の効果を確かめた。下記の土性と管理方法の異なる3圃場に、大麦と赤ビートを播種後ローラまたはランドローバで踏圧処理し孔隙性の変化と作物の感応を調べた。

a 圃場: LiC (粘土29%) C 0.5%

長期間有機物無施用の畑作連作地

b 圃場: CL (粘土20%) C 1.5%

8年 ley の耕起直後

c 圃場: SL (粘土10%) C 0.6%

長期間有機物無施用の畑作連作地

1) 踏圧と構造の変化

径1~2mmの団粒と2.5cmの土塊の孔隙量をケロシン法,¹⁸⁾¹⁹⁾ワックス法²⁰⁾で測った。(図-1)。団粒の孔

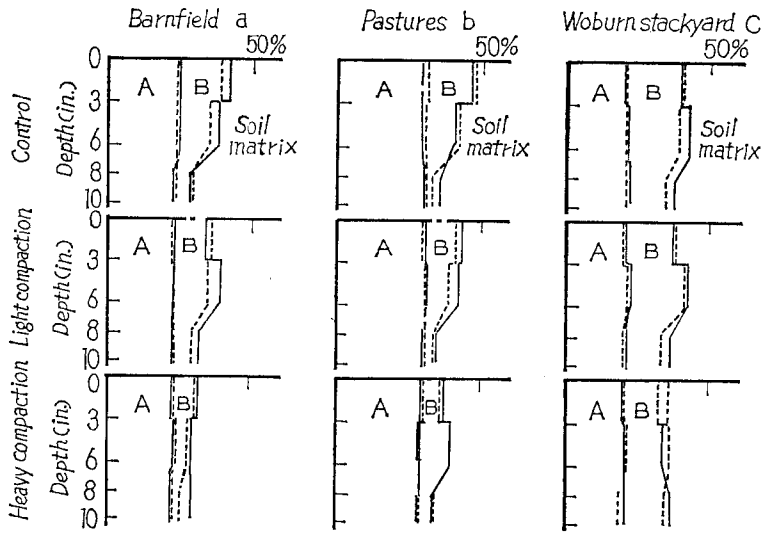


図-1 Pore distribution. A, Total pore space in 1-2mm aggregates; B, total pore space in clods. Two kinds of line show duplicate plots.

隙量はどの圃場でも踏圧の影響を受けず、25cmまでの深さ別の差異もほとんど認められなかった。団粒の孔隙量 (<0.04mm)は土性や有機物等の土壤管理で支配されるが耕耘作業や踏圧には無関係であると考えられた。一方、土塊の孔隙 (>0.04mm)は踏圧で減少するが20~25cm深では影響は明らかでない。ley あと地は圧縮に対する抵抗性がある事が明らかに認められた。土塊の破壊強度²¹⁾は畑土壌では踏圧で増大したが ley あと地では増大しなかった。踏圧後の降雨で粘質土壌踏圧区は滞水したが ley あと地ではよく排水した。

2) 生育, 収量, 養分吸収

ley では踏圧による発芽率の低下が軽微であった。発芽を阻害する臨界仮比重は粘質より砂質土壌の方が大きかった。土塊固有の大型孔隙と発芽率は見掛上比例関係にあった。

発芽後の乾燥で粘質土壌踏圧区は亀裂を生じ、根はそ

表-1 The effects of compacting soil on the relative total uptake of nitrogen and phosphorus by barley and globe beet

Data are ratios	total uptake of phosphorus / total uptake of nitrogen		
	Barnfield	Pastures	Stackyard
Barley			
No treatment	0.161	0.241	0.126
Light compaction	0.151	0.240	0.132
Heavy compaction	0.157	0.234	0.105
Globe beet			
No treatment	0.170	0.197	0.192
Light compaction	0.193	0.201	0.128
Heavy compacton	0.148	0.196	0.083

れにそって伸長し、個体当りの生育は比較的良いが、砂質土壌では踏圧はラスト形成を促進し根は矮小化して生育が非常に劣った。ley では踏圧区は無処理区と同等の生育をした。踏圧はどの圃場でも土壌水分量とその経時変化にほとんど影響を及ぼさなかった。容気量は砂質土壌が粘質土壌より高く経過したが生育との関係は認められず、作土表層の通気性が生育にとって重要であると考えられた。

弱度踏圧でも砂質土壌は減収したが ley あと地と粘質土壌は減収しなかった。強度踏圧による減収は ley あと地では小さかった。

踏圧による根の伸長の差異は養分

吸収によく反映し矮小根は易動性養分である硝酸を良く吸うが難動性養分である磷酸の利用率は劣り、両吸収量は3圃場の構造維持特性と踏圧処理の影響をよく表わした(表-1)。この問題は後述する。

ley の物理性改良についておもしろいと思った報告を次に挙げる。

ロザムテテッドのEmerson²²⁾(1955)は粘質土壌でもley あと地は排水が良いことに注目して、牧草根の木化導管は枯死後毛細管として水の伝達作用をもつことを確かめた。ペレニアルライグラスやメドーフエスクの根は径20~30μの木化導管をもち、これは土壌の飽和透水係数の6×10⁻⁷secを担うが、不飽和では透水の効果が大きいと考察している。

Low¹⁾(1955)は畑作土壌を何年牧草栽培すると永久草地と同等の構造を恢復するかを透水性、保水性、団粒化度の点から調査した。極砂質又は粘質土壌では5~10年、中粒質(たとえば微砂質壤土、埴壤土)では数十年以上の長期間を要するが、普通2~4年で構造は顕著に変化するという。

ハーレーのClement²³⁾(1958)はleyによる団粒化や土壌窒素の富化は作土表層2~3cmに著しく、耕耘はこれを稀釈してしまおうと報告している。彼らはley あと地は不耕起で構造を破壊しない方が水や窒素養分の収支に有利であると考えて除草剤(パラコート)とsod-seederにより麦やケイルの不耕起栽培を継続していたが良好な結果を得ていた²⁴⁾。同様のley あとの不耕起栽培はジェロットヒル研究所でも実施されていた²⁵⁾。筆者らはこの不耕起栽培をライグラス跡地の水稲乾田直播栽培

に適用したが、初期生育がよく地力窒素の供給が後期にまで持続し、地上部も根もあとまきりの生育をして増収し省力、多収安定栽培法として有効であることを確かめた⁴⁰⁾。

3. 土壤構造と養分吸収特性

作土の構造は根の伸長を支配し植物の養分吸収に直接影響を及ぼす。オランダ・ Groningen 土壤肥沃度研究所の Wiersum^{26,27)} (1961・1962) は、植物による土壤養分利用の効率は根の分布密度と同時に養分の mobility が重要な因子であるという。構造の変化は土壤と根の接触面積の変化であるが、これは硝酸、カリ等の易動性養分の吸収には影響は小さく、リン酸、マンガン等の難動性養分の吸収には影響が大きい。彼の計算によると通常の耕作では難動性養分は土壤容積で 2～5% しか利用されない²⁷⁾。Wiersum は団粒の大きさ別に栽培実験を行ない粗粒では細粒よりも N/P 吸収量が大きくなることを認めて上記考への妥当性を確かめた²⁷⁾。前述の筆者らが得た踏圧と両養分吸収比の成績も Wiersum の考へに添った結果である。ロザムステッドで Cornforth²⁸⁾ (1968) は Wiersum の追試を行なったが、ライグラスによる大型団粒中の硝酸の吸収は予想に反してあまり大きくなかった。そして、団粒中の硝酸の浸出利用には土壤の乾湿反復が必要であろうと考察した。

当時注目されていた報告に Passidura ら²⁹⁾ (1963) の土壤圧密とマンガン吸収の報告があった。泥炭や腐植質の軽しろう土壤で麦類にマンガン欠乏がよくでるが、彼らは欠乏症の燕麦を踏圧すると症状が消えることに気づいた。従来考えられるマンガン有効化の経路はこの場合あてはまらず、新しく根による接触吸収説を唱えた。踏圧は根と土壤の接触面積を増しマンガン吸収を促進したという。同様にトラクターの轍の跡では麦のマンガン欠乏が出ないという話を西ドイツ・ブラウンシュヴァイヒ農業研究センター土壤耕作研究所長 Frese 氏から同った。ついでながら Frese 氏は筆者らの踏圧試験に興味を示した数少ない人の一人でロザムステッド来所の折に会うことができたが彼の研究所では土壤構造と作物生産について種々研究が進められている様子であった。

4. 西欧の研究見学

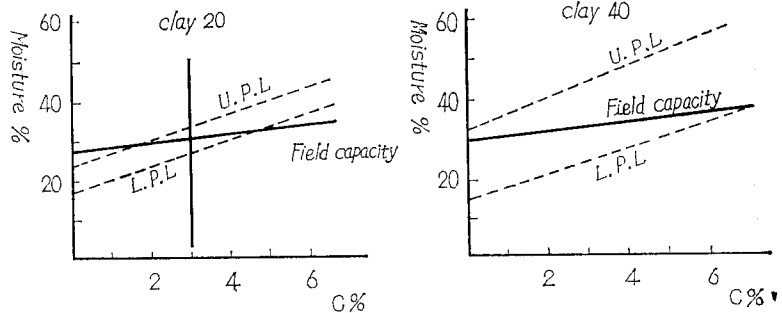
1964年夏、主に土壤構造の edaphic な研究を行なっている下記を見学した。

ゲント農業大学土壤物理部 (Prof. De Boodt)
Groningen 土壤肥沃度研究所土壤物理部 (Dr. Peerkamp, Dr. Boekel)

ベルサイユ農業研究センター土壤部 (Dr. Henin)

ベルギーは耕地面積当りの肥料消費量が世界でも高く収約農業国である。しかし施肥技術だけでは生産力を上げられない物理性の劣悪な耕地が多く、特に東部、北部に分布するレス地帯では作土の土壤構造が生産力を支配している。土壤生産力地図作成上構造の調査が重要な位置を占めるとして、ゲント大学の De Boodt らは精力的にこの面の調査研究を行っている。作物生育に良い物理性を構造指標として導き出すべく、構造の諸因子と生育収量の関係や構造の測定法、調査法の研究が多い³⁰⁾³¹⁾³²⁾。レス質土壤で団粒安定指標と麦や根菜の収量が密接に関係するという報告³¹⁾ (1961)、孔隙、保水性、団粒化度を総合した構造指標と麦、根菜の収量に関する報告³²⁾ (1958) 等作物がよく構造の差異に感応している。このことについて De Boodt は、多肥栽培を行っている壤土質のレス土壤で下層土迄均質でなかつ平坦面にあり垂直方向にのみ水が移動し地下水の影響の少ないところでは生育が作土の構造に感応するという話であった。De Boodt の団粒安定指標とは処理前の土壤の団粒平均重量直径と水中振とう節別後の耐水性団粒の平均重量直径の差に相当し団粒構造の不安定性の程度を捉えている。De Boodt の実験室には pF-水分用の圧膜装置が10台ほど並んでおり迅速水分計と共に能率よく土壤水の測定が行われていた。迅速水分計³³⁾は乾燥機と直読天秤を組み合わせたもので半自動的に熱乾水分が測定できる。また簡便な土壤通気測定装置があった³⁴⁾。

オランダ・ Groningen 研究所土壤物理部では Peerkamp



図—2 Effect of organic matter on lower and upper plastic limit and moisture content at pF 2 (Boekel 1963)

粘質土壤はより粗粒質土壤に比べて圃場容量が UPL より低く、分散し難い水分状態にあるが、LPL より高く外力で塑性変形を受け易い水分状態にある。有機物の増加は圃場容量を増大させるがそれを上回って UPL, LPL を増大させ、改良効果が認められる。

kamp 部長のもとに風蝕防止、灌漑、土壌構造と生育や耕耘に関して農業に密着した研究が行われていた。チューリップ球根やアスパラガスが海岸沿いの砂質土壌やレス質土壌に栽培されているが春先の風蝕が問題となっている。スプリンクラー散水でクラストを作ったり多量に産する馬鈴薯澱粉を散いでその糊作用で風蝕を防ぐというようなローコストの実際的技術の検討も行われていた。土壌改良剤はとてども引き合わないそうである。構造と生育について Boekel³⁵⁾ (1963) は pF 2 の気相率が粘質土壌は15%、シルト質土壌は50%、砂質土壌は20~50%をもつ構造が生育に良いと報告している。易耕性について Boekel の興味深い研究³⁶⁾³⁷⁾がある。作土の構造は踏圧、降雨、過湿状態における重力の3つの破壊作用に対していかに不安定な状態にあるかを見るのが重要であるとして、アッターベルグ限界の液性限界や塑性限界がそれぞれ土壌の分散、塑性変形に直接関係する水分点であることを注目し、これら水分点が圃場含水量に対してどういう位置にあるかを見ることにより作土土壌の構造維持力が推定できるというものである。この方法で Boekel は粒径組成と構造維持特性の関係、有機物施用の改良効果などを定量的に確かめた³⁸⁾ (1963)。(図一2)

フランス・ベルサイユ農業研究センター土壌部の見学では会話が難かしく正確さを欠くがおよそ次のとおりである。Heninを中心に果樹を含む広範な耕地土壌の構造の調査と、同時に生成学的な構造の研究も併行しているように見受けられた。彼等の調査項目の一つに土壌団粒の分散の特性をとらえた団粒不安定度というのがある。これは、水、アルコール、ペンゼン等の親和性の異なる各分散媒に対する団粒不安定度を指標化したもので、生成の異なる土壌間差異や化学肥料の差異に基づく作土の性質の変化がよく把握されるということ、また粘質土壌で果樹の生育と相関があったという話であった。これらの成果は Henin 等の著書“Le Profil Cultural”に著している模様である。

最後に西欧土壌構造研究グループについて述べたい。1958年5月国際土壌学会の分科会としてゲント大学で国際土壌構造シンポジウムが開催され、前述の De Boodt, Peerkamp, Frese, Henin, Low らを中心に多数の研究報告と討議がなされた³⁹⁾。以来西欧の土壌構造研究グループが各国1名の代表者で結成され緊密な連繫をもち、1967年に「西欧諸国における土壌構造測定法」³⁹⁾を集収編纂した。内容は、野外の調査法、サンプリング、構造に関連した土壌成分分析法、Soil Geometry の諸性質の測定(三相分布、水分、通気性、ガス拡散、透水性、薄片法)、外力と土壌の挙動(土質力学的性質、団粒不安定度)、

野外測定法の各章に分かれ総数205の方法が記載されている。

ゲントシンポジウムにおける土壌構造研究をめぐる討議と結論の中から重要と思われる部分を以下に抜粋する。

- 1 土壌構造が作物に及ぼす効果は土壌(特に下層上の性質)と気象条件で異なる。構造の良、不良を見極めるには長期にわたり気象との関連で見るのが重要である。
- 2 土壌構造はある一時点の静的状態を見てもあまり意味がなく構造の経時変化または外力による構造の変化を把握することが重要である。
- 3 作物の感応は供試作物により異なり、たとえば麦類は発芽時に、根菜類は生育後半によく構造に感応する。
- 4 作物生産を支配するのは土壌構造自身ではなく水や空気の収支、熱の伝播、機械的障害等の孔隙の機能である。

おわりに

土壌構造と作物生産を直結する研究よりもその前にまたは並行して土壌構造と物質移動、土壌構造と粒子の力学的挙動等の機能面を明らかにすることが重要であると現在筆者は考えるが、この方面の研究について紹介することが出来ず力が足りなかったことを痛感する。

留学の御援助を頂いた四国農試鈴木新一栽培部長、農事試野本亀雄場長、当時四国農試におられた荒木浩一技官、中野啓三技官に深甚の謝意を表します。

引用文献

- 1) Low, A. J. (1955) Improvement in the structural stage of soils under leys. J. Soil Sci. C, 179-197
- 2) Troughton, A. (1957) The underground organ of Herbage grasses. Bul. 44, Commonwealth Bureau of Pastures and Field Crop. Hurley. 125-129
- 3) Williams, T. E. (1960) Leys and subsequent arable productivity. J. Brit. Grassland Soc., 15, 139-194
- 4) Cooke, G. W. (1963) Effects of leys and green manure on soil. J. Royal Agric. Soc. England, 121, 143-150
- 5) Clement, C. R. (1951) Benefit of leys-structural Improvement or nitrogen reserves. J. Brit. Grassland Soc., 16, 194-200
- 6) Van Bavel, C. H. M. and Schaller, F. W. (1959) Soil aggregation, organic matter, and yields in a long-time experiment as affected by crop management. Proc. Soil Sci. Soc. Am., 15, 399-404
- 7) Mchenry, J. R., Zook, L. L., and Phoades, H. F. (1950) Pore space and aggregation in a chernozem soil as affected by age of perennial grass sod. Agron. Jour., 42, 377-330
- 8) Low, A. J., Piper, F. J. and Roberts, P. (1963) Soil Changes in ley-arable experiment. J. Agric. Sci. Camb., 60, 229-233
- 9) Hurley/Wageningen Symposium, Hurley Glassland Inst., Berks., May 1964

- 10) Hood, A.E.M. (1953) An experiment on the effect of leys on soil fertility. 3th Intern. Grassland Congr. session 10A, 10~13
- 11) Fountaine, E.R. and Payne, P.G.T. (1952) The effects of tractors on volume weight and on the soil properties. National Inst. Agric. Engineering, Silsoe, Case study, 17
- 12) Russell, M.B. Klute, A. and Jacob, W.C. (1952) Further studies on the effect of long-time organic matter additions on the physical properties of Sassafras silt loam. Proc. Soil Sci. Soc. Am., 16, 155~9
- 13) Tailor, H.M., and Henderson, D.W. (1953) Some effects of organic additives on compressibility of yolo silt loam soil. Soil Sci., 83, 101~9
- 14) Weaver, H.A. (1959) Tractor use effects on volume weight of Davidson loam. Agric. Engng. St. Joseph Mich., 31., 132~3
- 15) Trouse, A.C. and Humbert, A.P. (1961) Some effects of soil compaction on the development of sugar cane roots. Soil Sci., 91, 208~17
- 16) Bolton, E.F., and Aylesworth, J.W. (1959) Effects of tillage traffic on certain physical properties and crop yield on a Brookston clay soil. Can. J. Soil Sci., 39, 93~102
- 17) Kubota, T. and Williams, R.J.B. (1937) The effect of changes in soil compaction and porosity on germination, establishment and yield of barley and globe beet. J. Agric. Sci. Camb., 63, 227~33
- 18) Kawaguchi, K. and Toratani, H. (1953) Determination of apparent density of soil aggregates by the kerosene displacement method. J. Sci. Soil Manure, Tokyo, 29, 337~40
- 19) Currie, J.A. (1936) The Volume and porosity of soil clumb. J. Soil Sci., 17, 24~35
- 20) Russell, E.W. and Balcerak, W. (1944) The determination of the volume and air space of soil clods. J. agric. Sci. Camb., 34., 123~32
- 21) Williams, R.J.B. and Cooke, G.W. (1951) The effects of farmyard manure and grass residues on soil structure. Soil Sci., 92, 30~9
- 22) Emerson, W.W. (1955) Water conduction by severed grass roots. J. agric. Sci. Camb., 45, 241~245
- 23) Clement, C.R. and Williams, T.E., Meded. Landb-Hogeschool, Ghent, 24, 166 (1958)
- 24) Arnott, R.A. and C.R. Clement (1932) Sowing winter wheat on leys destroyed with a herbicide. Nature Lond., 195, 1277~8
- 25) Hood, A.E.M., Jameson, H.R. and Cotterell, R. (1963) Destruction of pastures by paraquat as a substitute for ploughing. Nature Lond., 197, 748
- 26) Wiersum, L.K. (1951) Utilization of soil by the plant root system. plant and Soil, 15, 189~192
- 27) Wiersum, L.K. (1952) Uptake of nitrogen and phosphorus in relation to soil structure and nutrient mobility. Plant and Soil, 15, 62~70
- 28) Cornforth, I.S. (1938) The effect of the size of soil aggregates on nutrient supply. J. agric. Sci. Camb. 70, 83~35
- 29) Passidura, J.B. and Leeper, G.U. (1953) Soil compaction and Mn deficiency. Nature Lond., 200, 29~30
- 30) De Boodt, M. and De Leenheer, L. (1954) The practical meaning of pore sizes with respect to texture of soil. Intern. Congr. Soil Sci. Leopoldville. August 1954, 11, 104~110
- 31) De Boodt, M, De Leenheer, L. and Don Kirkham (1951) Soil aggregate stability indexes and crop yields. Soil Sci., 91, 135~46
- 32) De Boodt, M, De Leenheer, L. (1953) Soil Structure and plant growth. Meded. Landb Hogesch., Ghent. 24, 312~321
- 33) Soil moisture Determination in a current of warm air according to De Leenheer (1957) West European Methods for Soil Structure Determination, Intern. Soil Sci. Soc., IV, 5
- 34) Air permeability determination in the laboratory according to Kirkham, De Boodt and De Leenheer (1957), West European Methods for Soil Structure Determination, Intern. Soil Sci. Soc. V, 93
- 35) Boekel, P. (1953) Soil Structure and Plant Growth. Neth. J. agric. Sci. 11, 120~27
- 36) Boekel, P. (1953) Evaluation of the structure of clay soils by means of soil consistency. Meded. Landb-Hogeschool, Ghent, 24, 312~321
- 37) Boekel, P. (1953) The effect of organic matter on the structure of clay soils. Neth. J. agric. Sci., 11, 250~63
- 38) Intern. Symposium on Soil Structure, Meded. Landb Hogesch., Ghent, May 1953, 24
- 39) West European Working Group on Soil Structure : West European Methods for Soil Structure Determination, Intern. Soil. Sci. Soc., (1967)
- 40) 千葉繁, 高橋和夫, 久保田敬 (1970) イタリアンライグラスあと地における水稲不耕起直播栽培, 四国農試報告 21, 1~22

土 粒 子

そ 菜 の 洗 浄 と 土 壤 付 着

土から離れた分野の仕事をしてきたが、はからずも昨年よりそ菜の洗浄について取り組みはじめてので、その経過を書いてみる。

周知のごとく農林省は総合農政の一環として産地指定事業を推進している。産地指定された地域では、とくにそ菜の生産地ではそ菜の収穫、選別、出荷までの一連の作業体系の機械化が整備されていないのが現状である。これら作業体系の機械化技術の確立のための研究の一部として洗浄機を取り上げたわけである。

根菜類の出荷作業には古くから洗浄作業がふくまれていたが、その能率については度外視されていた。産地指定されると等級および品質の規準について市場側の要求度が厳しく、洗浄作業は選別作業について重要な作業工程となってくる。さらに洗浄機としてはそ菜が短期的な作物であるので処理能力の高いことが要求されてくる。

現在市販されている洗浄機はそ菜栽培農家にかなり普及してきているが、共選場での大型洗浄機の使用例はあまりみない。これら洗浄機は洗浄性の点で手洗いに優るものが現在ないといって良い。そこで商品性の面からいって真水で手洗したときに出てくる根菜のつやのある肌合、色調に匹敵する洗浄性をもつ機械の開発が最終目標になると考えられる。このような洗浄機を開発するにあたって、土壌粒子と植物体との付着の状態の解明、付着力の測定が必要であると考えた。土壌粒子と植物体との付着力がわかれば、そこから有効な洗浄の機械的手段が見つけれられると期待したわけである。従来の農業機械学の研究手法からいけば、あらゆる機械的手段を考えて、それらの中から洗浄性の優れた手段を選びだすのが研究方法となる。その場合洗浄性の判定規準を決めることが困難であったので、植物体と土壌粒子との付着力の測定を第一歩として研究にとりかかった。

付着力の測定は遠心法によった。その結果、粘土等の微小土壌粒子の付着力は、植物体の機械的強度に限界があって遠心法では測定出来なかった。また単なる物理的付着力だけでなく、植物体自体から出る分泌物、土壌中の有機物等が接着剤的な役割を果たして土壌粒子の付着に影響を与えていることも考えられる。この点については一度風乾された付着土壌粒子の洗浄の困難さが生じる

ことから知られる。遠心法について微小土壌粒子の付着エネルギーの推定を超音波洗浄によって行なった。その結果、微小土壌粒子が洗浄される前に水温が上昇して、測定法として適当でなかった。

さてこの微小土壌粒子が洗い落せるかどうか根菜類の洗浄性の判定に重要なポイントとなる。かりに機械洗浄で全付着量の99.7~99.9%（重量百分率）の土壌粒子が洗浄できても、残りの0.1~0.3%が洗浄されていない場合、根菜類の表面をみると汚れているように見える。たとへば大根のように肌の白いものは土壌粒子が完全に落ちていないとごくわずかの土壌粒子の付着があっても全体が汚れている感じがして、出荷のときその商品性に問題が生じる。農家の庭先で大根の機械洗浄作業をみているとブラシ式洗浄機で大きっぱに洗って、機械洗浄では落せない微小土壌粒子を流水中で人が布でこすり取っているのは以上のような理由による。

つぎに洗浄機械の開発にあたって、洗浄機の性能を調べる場合、洗浄性の基準を何にとるかが大きな問題となる。前述したように全付着量に対する洗浄された土壌粒子の重量百分率を基準にとることは実用性がない。たとへ付着土壌が80~95%洗浄されたとしても、肉眼観察では汚れていると判断されてしまい残りの5%の洗浄度合が根菜類の商品性に大きな影響を与えてしまう。布地の洗浄機の性能および洗剤の効力の比較には白地の布を規定の方法で汚らして洗浄機にかけ、洗浄後の布地表面の反射率と洗浄前の反射率の差より洗浄性の判定を行なっている。ただしこの方法は根菜類の洗浄性の判定に応用できるとはかならずしも言いきれない。植物体表面の凹凸による乱反射、カロチノイドの含有による色調の影響の問題が生じるからである。したがってそ菜の洗浄における洗浄度の定量的測定法に有効なものがないのが現状である。

本年度からは、洗浄度の定量的測定法の確立を目指すとともに、従来の洗浄機で落せない0.1~5%の付着微小土壌粒子をなるべく植物体を損傷することなく洗い落せる機械的手段を見出す基礎研究を行うことにした。

（東京教育大学農学部農産機械学研究室 前川孝昭）

[会 務 報 告]

(1969年11月22日～1970年11月18日)

この期間の主な経過は、次の通りです。

事 務 報 告

(1) 第3回評議員会

4月2日 東京農大

〔出席〕美園会長、国分、山沢、木下、横井、湯村、岩田、寺沢各評議員、三好編集幹事、粕淵会計幹事

1. 事務局幹事の交代について

編集幹事本村悟氏のタイ赴任にともない農技研仲谷紀男氏を後任とすることを承認。

2. 会誌について

会誌は気軽に投稿できるようにし、ひろい会員の投稿を促すようにしていく、巻号制とともに委刊を研究してみる。当面、No.21は4月中に会員へ発送し、No.22は6月には会員へ発送できるようにする。No.23は海外の土壌物理の問題を特集する。

3. 長期滞納会員の取り扱いについて

長期滞納者(約40名)の名簿を作り、各評議員の協力を求めて会費納入をいま1度とく促す。その間会誌の発送は停止しておく。

4. 第12回研究討論会について

主題は毛管水領域における諸問題、副題は測定法、水分移動、養分の挙動、力学的性質などと関連させて事務局で具体化する。

5. 来期の評議員選挙について

選挙管理委員会を選出。委員長は山沢評議員、委員は岩田・竹中評議員・足立・前川幹事となる。

6. 会員の加入促進について

農業機械学会、農業土木学会などを機会に研究会の宣伝、会員加入を促進する。

7. その他

10周年記念行事の一部として賛助会員への感謝状を出す。

(2) 第4回評議員会(新旧合同)

11月17日 農技研

〔出席〕美園会長、八幡、木下、湯村、寺沢、国分、須藤、東山、山沢、竹中、横井、岩田評議員、足立、粕淵幹事

1. 第12回研究討論会および総会について

2. 役員選出

3. その他

(3) 第7回事務局会議

4月28日 農技研

〔出席〕美園会長、横井、岩田評議員、足立、粕淵幹事

1. 事務報告

第3回評議員会の議事確認、その他

2. 財政報告

長期滞納者への手紙を協力する評議員を経由して発送、広告料・賛助会費の請求をおこなった。会員加入促進は土壌肥料学会、農業機械学会でおこなった。

3. 編集関係報告

会誌No.21の会員への発送は終わったが、No.22の原稿は完全に揃っていないので催促している。No.23の執筆依頼者をきめ、7月末原稿締切りの予定で執筆を依頼することになっている。

4. 第12回研究討論会について

11月18日、農技研で開催する。副題は、測定法、水分移動、養分の挙動、力学的性質、農業機械との関連などとする。8月末までに講演承諾をとりつけ、8月末ポスター発送、9月15日講演要旨の原稿を揃える。

土壌肥料学会、農業土木学会などへも研究討論会の広告を頼んでみる。

(4) 第8回事務局会議

10月5日 農技研

〔出席〕美園会長、岩田評議員、足立、前川、粕淵幹事
経過報告を承認し、総会への提案事項をあげ、在京評議委員会を経て議案とすることにした。

1. 経過報告

会誌No.22は会員への発送を終ったが、研究討論会についての記事を落したので改めてハガキで通知することにした。ポスターは刷上がった。

会誌No.23の原稿は集まってきている。

評議員の投票は約180通届いている。

2. 総会への提案事項としては、つぎのことが予定される。

① 報 告

会務報告(昭和44年11月22日～45年11月18日)

決算報告(昭和44年10月1日～45年9月30日)

会計監査報告(昭和44年10月1日～45年9月30日)

選挙管理委員会報告、新評議員名簿の発表と承認。

編集関係の報告を会務報告に入れるか、別にするかは再検討する。

② 議 題

会費値上げ案、予算案(昭和45年10月1日～昭和46年9月30日)、第13回研究討論会について、編集委員会の設置について、新会長など役員の紹介、会計監査の選出、新旧会長の挨拶など。

以上の案を10月末に予定する在京評議員会に提案し、総会議案の準備をする。

(5) 第9回事務局会議

10月28日 農技研

〔出席〕美園会長、横井、岩田評議員、足立、前川、粕淵幹事

1. 事務報告

① 10月末日に開催を予定していた在京評議員会を11月6日に延期した。

② 10月30日会計監査をうける。

2. 会誌について

No.23の原稿はほぼ集まっており、11月上旬に印刷にかかり、年内に発送の予定。

研究会の運営に関する会長の提案について討議、在京評議員会および17日の評議員会でも討議を予定。

3. 総会について

前記の通り

4. シンポジウムについて

5. 研究会の運営について

(6) 第11回事務局会議（在京評議員会と合同）

11月6日 農技研

〔出席〕美園会長、国分、山沢、椎名、寺沢、岩田評議員、足立、粕淵幹事

1. 第12回研究討論および総会について

2. 新旧評議員会合同会議（11月17日午後1時より農技研）の開催について

1) 44年度決算（44.10.1～45.9.30）

項 目	予 算	決 算
① 繰越金	240,557	240,557
② 会費	527,000	474,800
③ 賛助会費	115,000	85,500
④ 出版物売上	50,000	46,200
⑤ 広告料	90,000	90,000
⑥ 雑収入	64,000	68,970
⑦ 合計	1,086,557	1,006,027
繰越金内訳		
郵便振替預金	57,367	
銀行預金	18,485	
現金	22,876	
合計	98,728	

註：未払金 負債はありません

(7) 第12回研究討論会

主題：毛管水領域における諸問題

日時：昭和45年11月18日（水）9：30～17：00

場所：農業技術研究所講堂

講演：遠心力場における水分張力について

山本 晴雄（北海道中央農試）

毛管水領域における養分の挙動

山崎 慎一（北海道農試）

毛管連絡切断含水量について

椎名 乾治（農 土 試）

土壌の粘弾性挙動について

吉田 力（山 形 大）

土壌の付着性について、毛管力との関係

秋山 豊（農 技 研）

農業機械と土壌水分量の関連について

八木 茂（農 機 研）

総合討論

出席人員、12大学、8国立場所、31公共場所、7民間機関、その他1より120名研究者が参加した。

(8) その他

会誌「土壌の物理性」は1970年8月、学術刊行物の指定をうけております。

項 目	予 算	決 算
① 会誌製作費	630,000	588,550
② 討論会費	70,000	73,330
③ 評議員選挙費	55,000	36,995
④ 通信会誌郵送費	100,000	79,804
⑤ 文具費	10,000	12,450
⑥ 交通費	10,000	2,900
⑦ 賃金	45,000	27,070
⑧ 会議費	15,000	7,200
⑨ 役員手当	40,000	35,000
⑩ 予備費	60,000	44,000
⑪ 次期繰越金	51,557	98,728
⑫ 合計	1,086,557	1,006,027

(2) 会費納入状況

年 度	項 目	44年度納入者数	未 納 者 数
42年度以前		21	0
42年度分		62	2
43 "		128	58
44 "		507	195
45 "		220	—
46 "		5	—
		943名	255名

(3) バックナンバー在庫状況

No. 7 ~ No.12	34	No.18	234
No.13	97	19	143
14	222	20	209
15	266	21	213
16	232	22	233
17	239	計	2,122

4) 会員動向 (44.10.1~45.9.30)

入 会	60名	現 在 数	755名
退 会	49名		
註 学会時加入者数			
4 / 2 土肥学会	12	5 / 20 農土学会	7
4 / 8 農機学会	8	6 / 3 土質工学会	7

会計監査報告

昭和45年10月30日農業技術研究所土壌物理研究室で監査を行いました。監査の結果、記載に間違いはありませんでした。また、関係書類もきちんと整理されていました。

以上

会計監査委員 喜 田 大 三
田 淵 俊 雄

編 集 報 告

20号	44年9月25日発行	10月22日発送
21号	45年3月25日発行	4月15日発送
22号	45年8月25日発行	9月16日発送

選挙管理委員会

(1) 第1回選挙管理委員会

4月28日 農技研

〔出席〕山沢委員長, 竹中, 岩田委員

1. 評議員選挙について

7月15日 投票用紙印刷

8月15日 投票用紙発送

9月15日 投票メ切

を予定する。

なお、投票メ切は22号(名簿おりこみ)の印刷のおくのため、30日に延期(もちまわり委員会)

投票用紙の発送は9月16日に完了

(2) 第2回選挙管理委員会

10月9日 農技研

〔出席〕山沢委員長, 岩田, 足立, 前川委員

1. 開 票

・開票立会人: 寺沢四郎, 宮内定基氏

2. 選挙結果および当選者の確認

(イ) 投票数

有効投票数	186	(延886)
無効投票数	6	
計	192	

(ロ) 開票結果(得票順)

美園 繁(関東)	岩田 進午
田淵 俊雄	寺沢 四郎
須藤 清次(東北)	鬼鞍 豊(九州)
国分 欣一	竹中 肇
長堀 金造(中, 四国)	横井 肇
八幡 敏雄	山崎不二夫
木下 彰(北海道)	湯村 義男(中部)
川口桂三郎(京都)	
次点	江川友治, 佐久間敏雄, 米田茂男

(3) 第3回選挙管理委員会

10月29日 農技研

〔出席〕山沢委員長, 竹中, 岩田委員

1. 評議員当選通知を10月26日に発送したことを確認。
2. 選挙規程の不十分な点について、評議員会に報告、審議を求める。

総 会 1970年11月18日

1. 開会の辞

2. 議長選出

3. 経営報告

(1)事務報告

(2)会計報告

(3)会計監査報告

(4)選挙管理委員会報告

註, 出席人員については第12回研究討論会の項を参照

議 題

(1) 会費値上げについて

諸物価の値上げのため、従来どうりの運営を行うためには最低300円の値上げが必要となりました。さらに、今年度は会誌の水準をあげるため、とくに①編集委員会を確立すること、②年3回発行のための予備費を設ける

4. 審 議

(1)会費について

(2)昭和45年度予算について

(3)会則および規定の改正

5. 新役員紹介

6. 新会長挨拶

7. 閉会の辞

こと、③会の民主的運営のために、交通費その他を保障すること、を中心に予算を組みました。このため一きょに2倍の1,000円という会費になりますが、会の一層の発展のため御協力下さいますようお願いいたします。可決

幹事・事務局について覚書

(1) 幹事は、会長または幹事長の下で本会の庶務、会計、編集、研究、その他の日常業務をおこなう。

(2) 幹事は幹事会を開くことができる。

(3) 事務局は会長、副会長、幹事長、幹事、編集委員長で構成される。

(2) 45年度予算 (45.10.1~46.9.30)

収入の部

項 目	金 額	備 考
① 繰 越 金	98,728	*会費内訳
② 会 費*	765,000	45年度以前未収分 125,000
③ 賛 助 会 費	110,000	45年度分 640,000
④ 出 版 物 売 上 げ	50,000	計 765,000
⑤ 広 告 料	80,000	**雑収入内訳
⑥ 雑 収 入**	70,000	シンポジウム展示料 60,000
⑦ 合 計	1,173,728	レ ジ メ 代 10,000
		計 70,000

支出の部

① 会 誌 製 作 費	500,000	No.23, 24号 印刷製本代 250,000×2=500,000
② 討 論 会 お よ び 総 会 費	90,000	レジメ印刷, アルバイト代, その他
③ 通 信 ・ 会 誌 郵 送 代	50,000	No.23, 24号送料代 その他
④ 文 具 費	15,000	封筒代その他
⑤ 交 通 費	90,000	事務局会議交通費 40,000 } 計90,000 評議員交通費 50,000 }
⑥ 賃 金	60,000	毎週1日1回, 月5,000円
⑦ 会 議 費	15,000	会場費, 茶菓代のみ, 食事は出さない。
⑧ 役 員 手 当	60,000	会長・副会長・幹事各6,000円/年および評議員出席手当500円/1回・1人
⑨ 編 集 委 員 会 費	60,000	編集委員旅費および手当 手当は5,000円/年・1人, 編集幹事手当は含まない。
⑩ 雑 費	35,000	他学会へのPR費など
⑪ 予 備 費	197,728	会誌の増刊分の費用をふくむ
⑫ 合 計	1,173,728	

(3) 会則および規定の改正

会則の改正

現	行	改	正
第5条 会員は次の会費を所定の期間までに納めるものとする。		第5条 会員は次の会費を所定の期日までに納めるものとする。	
正会員 年 額	500円	正会員 年 額	1,000円
学生会員 //	300円	学 部	
賛助会員 1口年額	10,000円	学生会員 //	600円
		賛助会員 1口年額	10,000円
		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ばれる委員によって構成され、本会の評議員選	

規定の改正

現

行

土壤物理研究会役員選挙規定

評議員選出規定

- (1) 選挙有権者は選挙年の4月1日現在の正会員とする。
- (2) 投票は所定の投票用紙を使用し、無記名、地域に関係なく5名以内連記とする。
- (3) 当選者の決定は次のように行なう。
- (4) 7名は不記の各地域の最多得票者各1名を当選とする。
北海道、東北、関東、中部、近畿、中四国、九州
- (5) 8名は地域にかかわらず得票順に（上記7名を除く）当選とする。
- (6) 得票数が同数の場合は抽せんによる。
- (4) 選挙は9月中に実施する。
- (5) 選挙は幹事会が管理する。

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。

○現行第8条、第9条をそれぞれ第9条、第10条に。

改

正

土壤物理研究会役員選出規定

1. 評議員選出規定

- (1) 現行のまま
 - (2) 現行のまま
 - (3) 当選者の決定は、得票順を原則とし、これに地域制による補正を加えておこなわれる、その手続きはつぎのように行なう。
 - (4) 得票順に定数を選び出す。
 - (5) この定数の中に不記の各地域からそれぞれ1名以上入っているときは、全員を当選者とする。
 - (6) この定数の中に下記の各地域のいずれかから1名も入っていない場合には、定数次位以下の候補者の中からその地域の最多得票者を選び、さきの定数下位のものと入れかえる。入れかえる人数は該当する地域の数と同じである。
入れかえ後の定数を当選者とする。
 - (7) 下 記
北海道、東北、関東、中部、近畿、中四国、九州（日本学術会議の地方区分にしたがう）
 - (4) 現行のまま
 - (5) 選挙は選挙管理委員会が管理する。
 - (6) 選挙管理委員会は当選者が確定したら速やかに各当選者にその旨を伝えるとともに会長に報告しなければならない。
2. 会長・副会長・会計監査選出規定
- 会長は、評議員選挙の終了から総会までの間に、次期の評議員会を招集する。この会は次期の会長・副会長・会計監査を選出する。

【編集後記】

本号では会員諸兄弟の中で、海外で活躍された方々にその経験などを発表して下さいようお願いし、木谷、水之江、久保田の三氏より貴重な原稿を頂いた。最近では外遊の経験者も多く、必ずしも珍しいわけでもないが、その経験を広く紹介して頂くことは、今後外遊される会員あるいは将来の夢を育てている会員にとってよい勉強になると考え、あえてこのような企画を実行してみた。数こそ少なかったが、三氏の内容はそれぞれの外遊の目的と経験を違ったタイプでまとめられており、今後外遊

された会員の投稿に指針を与えて下さったように思われ、これを機に多数の会員が自分の経験を広く紹介して下さいようになれば幹事は望外の喜びである。

さて本号はわれわれ幹事の責任による最後の号である。二年間駄馬にむらうって努力してみたものの、最初の目標であった会誌発行の正常化も完全には達成できなかった。会員諸兄弟に深くお詫びする次第である。

次号より新しい才能によって会誌が飛躍的に充実することを祈りながら、最後に重ねて会員諸兄弟の活発な御投稿をお願いして筆をおく。

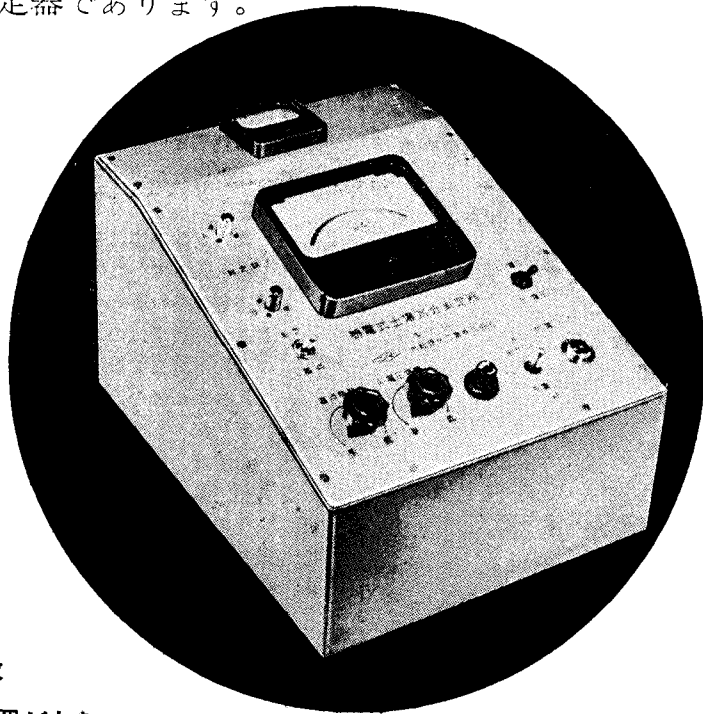
(前川、仲谷、横井)

農業技術に革新をもたらす

DIK誘電式土壌水分測定器

PATENT. p. 386877

本器は、在来の電気抵抗式、もしくは抵抗値を含めた静電容量式の水分計と全く異なり高周波誘電率のみによる土壌水分測定器で在来の水分計では得られなかったいろいろの特長をもつ全く新しい土壌水分測定器であります。



特 徴

- (1) 測定範囲が大きい
あらゆる土壌に対して、飽和～風乾に至る間の水分変化が的確に測定出来る。
- (2) 水分測定値が直線的である
 μA で表示される水分測定値は、圃場状態の実用的範囲において殆んど直線である。
- (3) 即応的である
埋没した感体は、直接土壌の誘電率を測定するので、測定時の水分をそのまま表示し時間的な遅れは全然ない。
- (4) 再現性がある
測定に当って、土壌には何の物理化学的変化も与えないで、連続的にくり返し測定ができ、同時にその再現性が十分に保証されている。

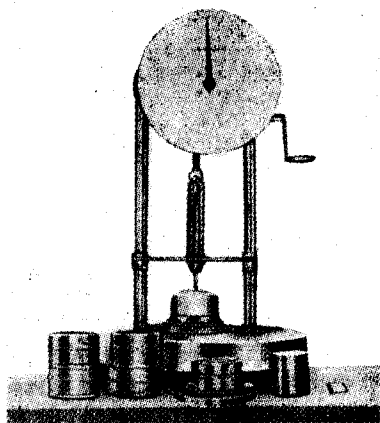


大起理化工業株式会社

東京都荒川区町屋2丁目16-2
TEL 東京 (802) 2 1 9 1 (代表)

土壤学の権威山中金次郎博士の御指導に依る

各種土質測定器



(山中式土壤粘着力(付着力)測定器)

山中式土壤粘着力(付着力)測定器
山中式加圧透水性測定器 A 型
山中式透水係数測定装置 B 型
油圧式土壤固結力測定器
山中式土壤硬度計 A 型 B 型(平型) C 型(小型)
山中式容積重測定器
山中式現地容積重測定器
山中式最大含水量測定器
山中式ピペット分析装置
山中式凝集力測定器
其他土壤測定に関する諸機械器具設計製造



(山中式土壤硬度計)



製造発売元

株式会社 山村製作所

本社工場

東京都世田谷区奥沢7丁目40番9号(〒158)

電話(03) 701-2334・7535

大井工場

東京都品川区南大井4-3-10(〒140)

電話(03) 761-2032(代表)

堆肥不足に

テンポロン®



タバコ・蔬菜の苗床の土作りに
果樹園の土壤を若返らせ、樹勢を回復させる地力の素

メモ

テンポロンの主成分は熟成堆肥の成分である
フミン酸カルシウムを85%（完熟堆肥の約20
倍の濃度）を含んでいます。
したがって最近の堆肥不足を補ぎなうために
最も適した化学堆肥です。

代表製法特許 日本第240330号

類似品に御注意下さい

発売元



三菱商事株式会社
本社/東京・丸の内 電(211)0211(代表)

製造元

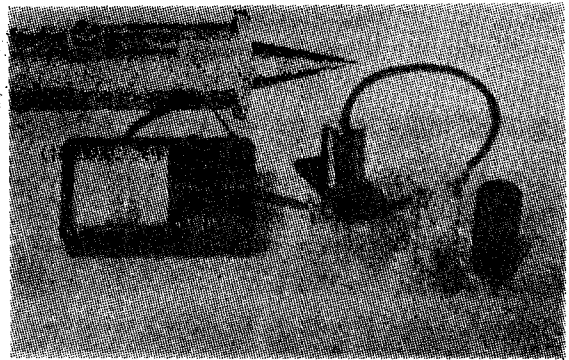
天北化学株式会社
本社/東京・神田 工場/北海道・幌延
電話東京(262)4304

理研式酸度計

PHメーター

農産加工用、醸造用、
土壤調査用、酪農用、

簡易騒音計
疲労度検査器
ルクスメーター
各種科学計器



携帯用ケース付 ¥25,000

理研科学測定器研究所

東京都足立区伊興町前沼1254

電話 (899) 4874



土壤の物理性 第23号

(会 員 配 布)

1971年2月25日 発行

発 行 土 壤 物 理 研 究 会

埼玉県鴻巣市大字鴻巣1227

農事試験場内

電 話 0485-41-1231

振替口座 東京 17794