No.17 October. 1967

Soil Physical Conditions and Plant Growth, Japan

土壌の物理性

第17号 昭和42年10月

巻頭言……国分欣一…1

地中環境についての二,三の問題……内島善兵衛…3

畑地圃場整備をめぐる土壌物理の諸問題……椎名乾治…10

粉体の物理性……素木洋一…15

第9回シンポジウム要旨……21

土壌物理研究会

土壌物理研究会会則

第１条　本会は土壌物理研究会と称する。

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なう。

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及び賛助会員の２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　500円

賛助会員　１口年額　5,000円

第６条　本会に次の役員をおく。

会長１名，副会長１名，評議員，会計監事若干名及び幹事若干名。役員の選出は総会において行ないその任期は１年とする。但し再任をさまたげない。

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　本会の経費は会費その他の収入をもってあてる。

第９条　本会の会務執行に必要な規定は別に定める。

付　本会の事務局は当分の間下記におく

（昭和42年４月以降）

東京都文京区弥生１の１の１

東京大学農学部農業地水学研究室内

「土壌の物理性」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は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・綜説＞　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。

(5)　原稿には下記形式の送状をつける。報文のみ初刷りは著者校正とし，印刷ずみの原稿は返さない。

発表年月日		受付年月日	
種　別		原稿枚数	
表　題		図表数	図　枚，表　枚
著者名		写真数	葉
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

東京都文京区弥生１の１の１　東京大学農学部農業地水学研究室内土壌物理研究会編集委員会

巻頭言

挨拶に代えて

副会長　国　分　欣　一

来年は明治100年にあたるという。忘れられかけた維新当時の日本の近代化における黍明期の歴史の片々が今さらの如く人々の胸によみがえってくる。

土壌物理研究会は来年は発足以来10年をむかえることになる。生みの悩みは先人の努力によって払われてやがて青年期をむかえて躍動の時期に入る訳である。

日本の農業は曲り角といわれて久しくなるが，農業近代化のために構造改善事業が実施され，さらに昭和40年度からは機械化を前提とした区画整理を主とする大規模な圃場整備事業が始められている。それには施工に伴う問題はもとより爾後の作物生産上数多くの問題が介在し，それを成功に導くには当然土壌の物理的問題の処理が適正に行われかどうかにかかってくる。それには各専門分野の総力を有機的に結集してはじめて成果が期待出来る。

土壌の場合物理性は化学性と紙の表裏の如く密接に関係し，最近では道路の路床土の安定にカルシウム塩やナトリウム塩を加えて締固めるなど土木施工の物理的処理のために化学的な方法も用いられるようになった。各分野の連けいとお互の啓蒙が一歩前進の原動力となるだろう。

今年度はシンポジウムの課題として火山灰土壌を取り上げた。これはそれぞれの分野でその特異な性質のために戸迷ったり手を焼いたりしていることが多く，その意味で共通のなやみを持っているものである。本研究会でこのような特定の土壌を取り上げたのははじめての試みであるが，縦横にそれらの特異性を浮きぼりにして共通の悩みの解消に役立てば幸である。火山灰土壌と云えば当然母材が問題になり生成論的に詮索すれば人間の遺伝的な形質を問題にするのと同じく大へん厄介なことになる。それは

とも角として現実にわれわれの手にふれるものには共通な一連の性質があって特に農耕地土壌ではそれが必ずしも純系でなく再積性，冲積のタイ積物の混入したものがかなりあって腐植が多いとか，粘土は主としてアロフェンからなり燐酸吸収が強いとか，仮比重が小さく吸湿水量が多いとかまたその粘土は水中で分散しにくく乾けばサラサラにくだけるとかの一連の性質をもつものについて広義に解釈して検討しようとするものである。それでも北海道の火山灰はそんなもんじやないとか九州ではこうだという話が出るだろう。一族郎党親子兄弟，従兄弟の血縁同志の共同生活する大家族を扱うようなもので活ぱつな討論を期待する。

地中環境についての二，三の問題

内 島 善 兵 衛*

1. は し が き

作物は土壌中にひろげた根系によって，その体を物理的に固定しているばかりでなく，土壌中に存在している水と各種無機成分を溶液の形で体内に吸収している。また，多くの作物の種子は土壌中の水分と暖まりとによって生命活動を開始するのが普通である。それゆえ，地中環境は作物の生長・成育の全過程に密接に関係していて，収量のうえにも著しい影響を与えることがしられている。

地中環境のなかの無機成分の含有量と作物の生長との関係は，土壌肥料の分野で詳細に研究されているが，他の分野の諸問題の研究はわが国では余り活発ではない。これはわが国の農業生産の主体が水稲であったことに原因しているといえよう。タン水状態にある水田では水の移動やガス拡散は全く問題にならず，専ら化学的環境だけが現在までとりあげられてきた。しかしながら，畑地農業の発展が期待され，また畑作水稲などの新しい技術の展開がなされている現在では，われわれはその関心を物理的環境の解明にも注ぐことが必要である。この小文は農業気象の立場からみた地中環境についての問題点を拾いあげたものである。

2. 地中環境の分類

地面以下の地中環境を構成している諸要因はそれぞれに影響しあっていて，単純に分類することは困難である。一応，きわめて機械的に分類するとつぎのように記すことが出来るだろう。

- 地中環境
  - 化学的環境
    - 無機養分の含有量
    - 有機物の含有量
    - 酸化還元電位
    - 水素イオン濃度
  - 生物的環境
    - 微生物フローラ
    - 線虫など
  - 物理的環境
    - 水分状態
    - 熱・温度状態
    - ガス状態
    - 物理的組成

化学的環境は土壌肥料学の分野でよく研究されており，その人為的コントロール法も確立されているといってよいだろう。生物的環境は土壌学・作物学・応用昆虫学のなかで取扱われており，種々な農業技術がそのコントロールのために提出されている。物理的環境を構成しているものとしては水・熱・ガスと物理的組成（団粒構造，間隙量など）をあげることができるだろう。水・熱・ガスは土壌中で拡散可能な量であり，それの拡がりを支配しているのは各々の濃度傾度と拡散係数である。拡散係数の値は土壌中の間ゲキ量に密接にむすびついている。

わが国では，地中の物理的環境の研究は土壌物理学，農業土木学，農業気象学のなかで，おのおの隔離して行なわれている。そのためか，物理的環境の実態の確実な把握，それに基づいての農業技術の発展は諸外国に比較して若干遅れているように思われる。特に，土壌一植物一空気系における水分の輸送の問題はほとんど手がつけられていない。そこでこの小文では主として土壌水分の作物による吸収・放出を中心として説明してみたいと思う。

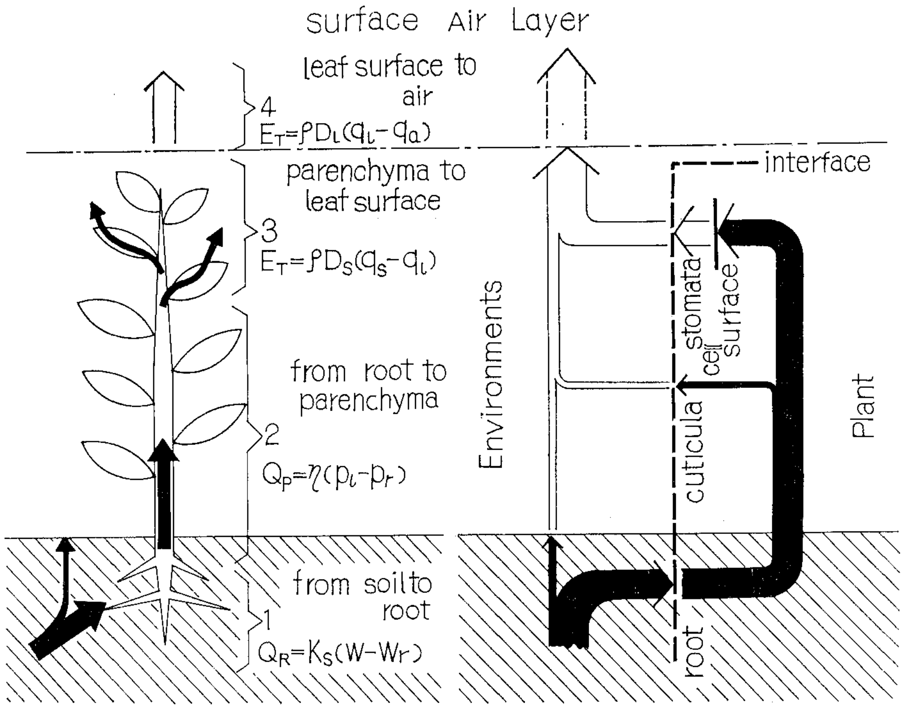
3. 土壌一植物一空気系における水分の輸送

土壌中における水分の輸送の問題は Richards (1932) が Darcy の法則を応用して以来，多くの研究者によっていろいろなケースについて研究が進められてきたが，土壌一植物一空気系における水分輸送が注目されるようになったのはGardner(1960), Gardner・Ehling(1962) がつぎの関係式を提出してからといえよう。

$$E_T=\frac{\psi_l-\psi}{R_{pl}+\frac{b}{k}},$$

ただし E_T，蒸散量；ψ_l，ψ，葉内と根圏層内の吸引圧；k，吸引圧 ψ での透水係数 (capillary conductivity) R_{pl}，根から葉への水の輸送を支配している拡散抵抗；b.根系の形，根の活力，根の深さに関係している定数。これに続いてVisser (1964, 1965) とBudagovsky

*農業技術研究所気象科



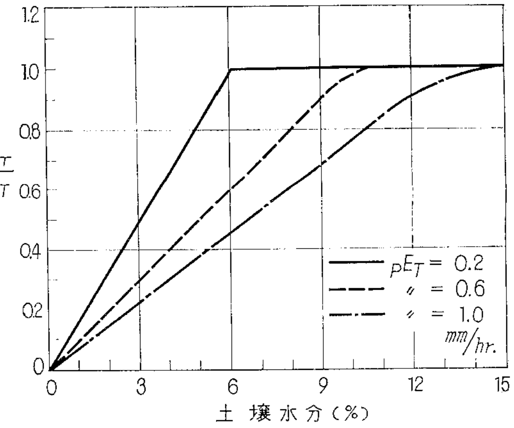
図—1　土壌—植物—空気系での水の輸送（内島原図）

(1964) は，この複合系での水輸送の問題を発展させている。

複合系での水の輸送をモデル化すると**図—1**のようになる。図にみられるように四つの過程からなりたっている。第1過程では地中における水分拡散が役割を果している。第2過程では根毛から葉の柔細胞面までの水の移動が大切である。第3過程では，柔細胞膜面から気孔を通って葉面までの水蒸気拡散が重要な問題となる。第4過程では葉面から接地気層内への水蒸気の拡散が支配的である。このように，全くちがった四つの過程の組合せによって複合系の水の輸送はなりたっている。Visser と Budagovsky は植物体を円柱で近似して，各過程での水の輸送を表わす連立方程式を解き，蒸散と土壌条件・植物条件とを関連づける式を求めている。Budagovsky の式を示すとつぎのようになる：

$$P_T=\frac{E_T}{\eta}+\frac{P_{s,o}}{\left[\frac{1}{\xi_2}\left(W-\frac{E_T}{K_s}\right)+1\right]^3}$$

ただし，P_l；葉の吸水力，η；植物体の水拡散抵抗，P_{so}；有効土壌水分が0の場合の土壌水の圧力，ξ_2；経験定数，W；根毛付近の容積水分量，K_s；土壌中での水分拡散係数。Budagovsky は $P_{so}=25$バール，$\xi_2=0.063$，$\eta=1.4\times10^{-5}$sec/cm，$K_s=1.1\times10^{-6}$g/cm²secという値を利用して，蒸散能 $_pE_T$ に対する蒸散 E_T の比の土壌水分による変化をしらべている。その結果が**図—2**に示されている。土壌水分が多い場合には $E_T/{}_pE_T=1.0$ であるが，ある値以下になると $E_T/{}_pE_T$ は土壌水分量に比例して減少するようになる。$E_T/{}_pE_T$が1より小さくなる土壌水分量は，蒸散能が大きいほど次第に高くなる。これは Closs (1958) がえた実験結果とよく一致している。このように，物理的モデルを採用することによって，複雑な系での水の輸送が定量的に記述できるようになってきたが，これらの計算に必要な物理的パラメーターの決定は余りなされていない。



図—2　土壌水分と蒸散 (Budagovsky, 1964)

特に，わが国では全く手がつけられていない。

上に説明したモデルでは根圏層内での水の吸収を層別に明らかにすることはできない。この問題に対する研究が最近 Roseら（1965，1967）によってなされている。かれらは地表面での水収支項と土壌水分プロフィルの測定とから各深さにある根による水の吸収強度を求める方法を発表している。水収支期間（t_1，t_2）における野外の地表面での水収支式はつぎのように表わされる：

$$\int_{t_1}^{t_2}(I-v_z-E)dt-\int_0^Z\int_{t_2}^{t_2}\left(\frac{\partial\theta}{\partial t}\right)dzdt$$

$$=\int_0^Z\int_{t_1}^{t_2}\gamma_z dzdt,\qquad \text{(cm)}$$

ただし，I；カンガイ強度 or 降水強度（cm/sec），E；地面蒸発速度 cm/sec，Vz；深さでの水の垂直フラックスcm/sec，θ；z での容積水分含量（cm^3/cm^3），γ_z；z での根の吸水による容積水分含量の変化強度（cm^{-1}）。上式の左辺のなかで Vz 以外の項は測定可能量であるが，Vz は間接的に求めねばならない。Vz は次式によって与えられる：

$$Vz=Kz+Kz\left(\frac{\partial\psi}{\partial z}\right)$$

ただし，Kz；z での垂直方向における透水係数（cm/sec），ψ；土壌水分の吸引圧（cm）である。Kz の値は裸地面での水収支式を変形した次式から決定できる。

$$[Kz]=\frac{\int_{t_1}^{t_2}\left(I-E-\int_0^Z\frac{\partial\theta}{\partial z}\right)dt}{\left(1+\left[\frac{\partial\psi}{\partial z}\right]\right)_z T},$$

ただし，T，水収支期間の長さ（sec）；［　］は期間平均値を示す。水収支期間としては2～4日がとられている。

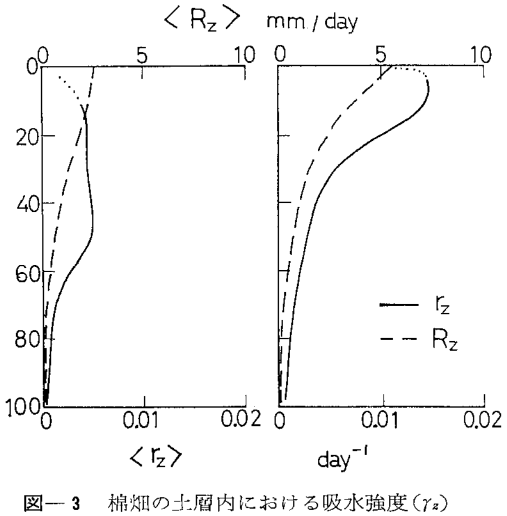
Rose らは Kz が土層と θ とによって非常に広い範囲に変化することを報告している。Rijtema（1965）はつぎの指数関係が透水係数と土壌水の吸引圧との関係をよく満足するといっている。

$$K=K_0\exp(-0.00434\psi),$$

ただし，K_0は飽水状態時における透水係数である。Roseらのワタ畑での計算結果を示すと図―3のようになる。深さ 50cm 以下の土層内での水分吸収は非常にすくなく，蒸散によって消費される水分の大部分は 40cm より浅い土層内から吸収されていることがわかる。これはワタの根群が比較的に浅い土層内にあるためであろう。土壌表面近くの吸水強度分布を明らかにするには，一層詳細な観測データが必要である。このような解析が生態学的データの収集と平行して行なわれるならば，より合理的なカンガイ法を確立するうえに役にたっただろう。わが国の主な土壌の水―物理的特性に関する基礎的な研究はほとんどなされていないので，土壌の水―物理的特性の実験室・野外における詳細な研究と実際的な土壌水分の長期連続観測とを平行的に進めることが必要である。

4. 土壌中の炭酸ガス

耕地に施されたタイ肥は土壌微生物の作用によって分解されてしまう。その過程で多量な炭酸ガスが放出される。それゆえ，タイ肥は単に土壌構造をよくするだけでなく，植物群落への炭酸ガス供給源として役にたっている。Monteith ら（1964）による観測例を示すとI表のようである。長期間にわたる平均値としても，植物群落によって吸収同化される炭酸ガス量の約1/5が土壌から補給されている。晴天日には低下し，曇天時には高くなり，100％にも及ぶことが報告されている。このように多量な炭酸ガスが土壌中から群落に向って流れているので，土壌中での炭酸ガスの拡散の問題は土壌物理だけでなく，作物の物質生産の立場からも非常に大切である。しかしながら，われわれの土壌中のガスに関する知識はまだ限られている。特にわが国ではほとんど知られていないようである。



図―3　棉畑の土層内における吸水強度（γ_z）の垂直分布（Rose ら，1967）

土壌中のガスの組成は土壌構造・根系の分布・根系の活動度・土壌微生物の量と活動度・有機物の含量・地面上の風などによって著しく変化するが，その一例を示すと2表のようになる。湿った土壌では酸素がすくなく，炭酸ガスが多い。乾いた土壌では逆になっている。炭酸ガスの濃度は深いほど高くなり，酸素ガス濃度は逆に減少している。それゆえ，炭酸ガスは土壌中から空気中

へ，酸素ガスは空気中から土壌中へ流れている。土壌から空気中への炭酸ガスの放出は土壌呼吸とよばれており，測定にはペトリー皿にソーダライムを入れて地面におき，大きなガラスタンクで覆う方法が古くから用いられている。Monteith ら（1964）は種々な実験から，ペトリー皿の面積は 150cm^2 以上，タンクの面積は400cm^2 以上であることが望ましいといっている。この方法では数日間の平均放出量しか求められないが，地面近くの炭酸ガス濃度差に積分交換係数をかけて CO_2 フラックスを求める一種の空気力学的方法が考案されている（内島・宇田川・堀江・小林，1968 予定）。この方法を用いると，時々刻々における土壌呼吸量をしることができる。土壌呼吸量は地温によって非常に大きく変化するが，それは大体次式で近似できるといわれている。

$$R(T)=R(0)\ Q^{T/10}$$

ただし，$R(T)$；地温 T での土壌呼吸量（gCO_2/m^2 day），$R(0)$；地温 0 での土壌呼吸量，Q；定数。Q は 2～3 の間に変化するようである。地温 10°C では 3gCO_2/m^{2}day，15°C で5.5g，30°C で約 18g に増加する。これは地温上昇につれて土壌微生物の活動がさかんになるためである。

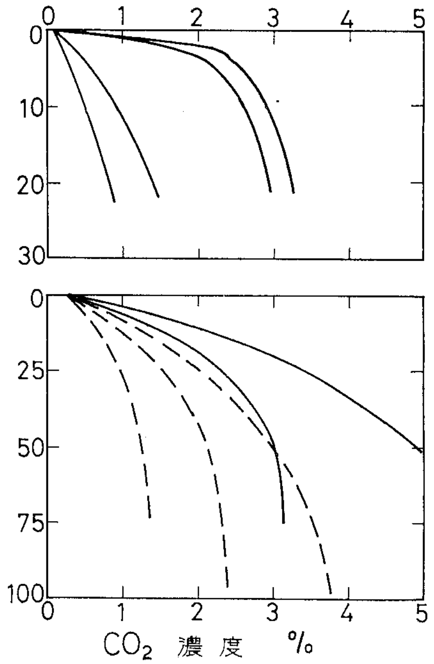
土壌中の炭酸ガス濃度の垂直分布は土壌中におけるガス（CO_2, O_2, H_2O）の拡散を研究するうえに大切である。実験的研究とならんで，Wasseling（1962）はこの問題を理論的に取扱つている。定常状態時における土壌中の炭酸ガス拡散を次式で近似している：

$$\frac{\partial}{\partial Z}\left(D\frac{\partial c}{\partial z}\right)+\alpha=0$$

ただし，c；炭酸ガス濃度，$D=D_0\ (0.9p-0,1)$；土壌内での炭酸ガス拡散係数，$\alpha=\alpha_0\left\{1-\left(\frac{z}{L}\right)^{0.25}\right\}$；地中での炭酸ガス放出強度，$D_0$；静止空気中での炭酸ガスの分子拡散係数，$p$；土壌の間ゲキ率。この式を $z=0$ で $c=C_0$ $z=L$ で $\frac{\partial c}{\partial z}=0$ という条件でといて，つぎの関係をえている，

$$c=C_0-\frac{\alpha_0}{0.14(0.9p-1)}\left\{\frac{1}{2}z^2-\frac{16}{45}z^{\frac{9}{4}}L^{-\frac{1}{4}}-0.2Lz\right\}.$$

$C_0=0.03\%$，$D/D_0=0.14$cm^2/sec，$\alpha_0=1\times10^{-6}$mg CO_2/cm^{2}sec，として，上式から計算した結果が矢吹の実測データと一緒に図―4 に示されている。土壌空気中の炭酸ガス濃度の変化は土壌面近くで著しく，深くなるにつれて弱くなっている。上式の結果は一般的な傾向としては観測結果とよく一致しており，拡散方程式の利用の有用なことがわかる。

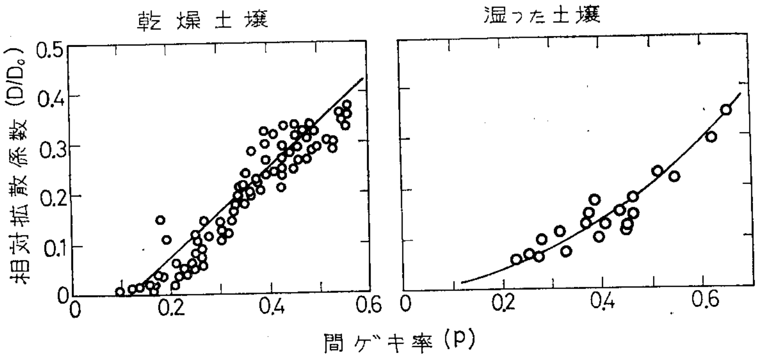


図―4　土壌中における炭酸ガス濃度の垂直分布（上，矢吹；下，Wasseling）

地中における炭酸ガス分布と拡散係数とがわかると，逆に土壌中での炭酸ガス生成強度の垂直変化を明らかにすることができる。土壌中におけるガスの拡散係数は土壌中のガス状態を支配している重要な因子である。1940年に Penman が土壌中でのガス拡散に関する報告を発表して以来，多くの研究が行なわれている。Penman は，乾燥した土壌においては，土壌間ゲキ率(p) と相対拡散係数（D/D_0）との間に直線関係のあることを報告している。これは大体次式で近似できる：

$$D=\frac{D_0}{n}(p-p_0),$$

ただし n，土壌間ゲキの形状に関係した係数；p_0，ガスの拡散に関与しない間ゲキ量。Penmanは $n=1.51$ を実験的にえているが，これは理論値 $n=1.57$ とよく一致している。D_0 の値を示すと 3 表のようである。ただし，m は $D=D_0\times(T/T_0)^m(P_0/P)$ とした時のベキ数値である。p_0 の値は土壌構造によって変化し，非構造性の細い土壌では $p_0=0.1$，団粒構造の土壌では $p_0=0$ になると報告されている。乾燥土壌では拡散係数の変化は比較的に法則的であるが，湿った土壌では相対拡散係数の変化は複雑である。それゆえ，まだ十分には明らかにされてはいない。ソビエトの研究者達の実験データを示すと



図—5 土壌中の相対拡散係数 (D/D_0) の間ゲキ率による変化（左，Penman; 右，ソビエト）

図—5 のようになる。湿った土壌では関係曲線は x 軸に対して凸になっており，値は乾燥土壌の場合より低くなっている。このような関係曲線が主要な土壌について求められていると，土壌中の拡散係数を容易に推定することができる。しかしながら，わが国では土壌中のガス状態に関する研究は全く断片的になされているにすぎず，その実体もまだ不明のままといってよい。これは土壌物理の基礎的な研究がほとんどなされていないことに原因しているようである。

5, 土壌の温度状態

土壌の温度は作物の生育に非常に重要な関係をもっているにもかかわらず，農学のなかでは余り注目が払われていない。微細気象学や農業気象学のなかで主として取扱われている。地面に到達する日射は地表面で吸収され，そして蒸発・乱流伝達・地中伝導とに分配されている。これらの間にはエネルギー保存の法則がなりたち，これを式で表わしたものが地表面の熱収支式である。これはつぎのようになる：

$$S=lE_0+L_0+B_0,$$
$$S=(1-a)(Q+q)-F_0,$$

ただし，S；純放射，lE_0；潜熱伝達量，L_0；顕熱伝達量，B_0；地中伝導量，a；アルベド，$(Q+q)$；全短波放射量：F_0，有効放射量。上式を物理的関係を用いて変形すると，蒸発が十分に生じている地面温度の式がえられる。それはつぎのようになる：

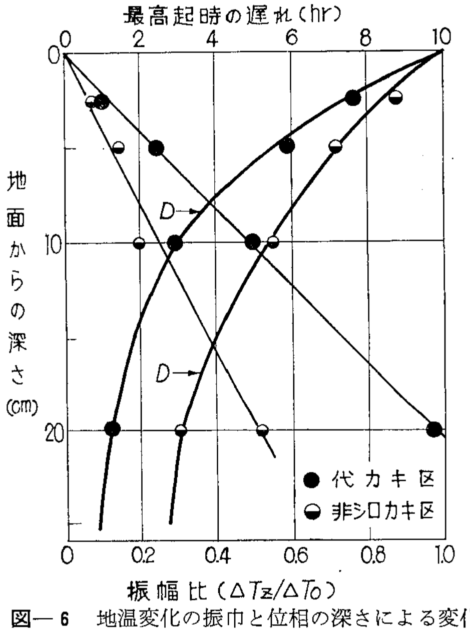
$$T_s=T_a+\frac{(S-B)/h-2d}{1+2\varphi}$$

ただし T_s，T_a，地表面温度と気温，h，顕熱伝達係数；d，飽差：φ，気温における飽和水蒸気曲線の変化率。この関係からわかるように，$(S-B)/h>2d$ なる条件では地温は気温より高い。純放射 S の決定は純放射計などで容易になされるが，地中伝導熱の決定は困難である。また，地中の温度状態がどのようになっているかは上式では判断がつかない。

この問題をとくのには熱伝導理論が広く利用されている。それによると，地表面の温度が sin 函数で表わされる場合には，地中の温度はつぎのようになる。

$$T_s(z,t)=T_s+\Delta T_0 exp\left(-\frac{z}{Z_d}\right)sin\left(\omega t-\frac{z}{Z_d}+\varphi\right),$$

ただし，T_s；日平均地温，ΔT_0；地面の温度変化の振幅，$Z_d=\sqrt{\frac{2\lambda}{\omega c\rho}}$，制動深さ，$\omega=2\pi/T$，日変化の時角，$\varphi$；位相の遅れ，$\lambda$；土壌の熱伝導率，$c\rho$；土壌の容積熱容量，$T$；日変化の周期。$Z_d$ は振巾が約 1/3 に減少する特徴的な深さを表わしている。上の式から，温度変化の振巾は深さにつれて指数的に減少し，位相は直線的にずれてくることがわかる。いま一例を示すと図—6のようになる。シロカキをしない密な土壌では熱の伝わり方



図—6 地温変化の振巾と位相の深さによる変化（内島，1964）

が良好で，制動深さは約 17cm であるが，シロカキで膨軟になった土壌では熱の伝わりが悪く，Z_d は約半分に減少している。振幅は指数的に減少し，位相は直線的に遅れていることがわかる。

熱伝導論からの関係式は土壌の温度状態を予測するのに非常に有効であるが，関係式のなかには土壌の熱的特徴量がふくまれている。そのような量としてはつぎの四つがある。

土壌の熱伝導率 λ, cal/cm. sec. °C,

土壌の温度伝導率 k, cm²/sec,

土壌の容積熱容量 C, cal/cm³. °C,

土壌の熱コンダクタンス b, cal/cm². sec$^{1/2}$ °C

λ と C とが基本量で，残りは誘導量でおのおのの間にはつぎの関係がある。

$$k=\frac{\lambda}{C},\quad b=\sqrt{\lambda C}=\sqrt{k}\cdot C=\frac{\lambda}{\sqrt{k}}$$

土壌の熱的特徴量を決定するためにゾンデ法や温度波法などが利用されている。それらの結果によると，土壌の熱的特徴量は土壌の構造と水分含量とによって著しく変化する。Vogomolov (1941) は乾燥土壌についてつぎのよう関係式を提出している：

$$\lambda_d=3\pi\lambda_a\, ln\left(\frac{43+0.31p}{p-26}\right),$$

ただし λ_a，乾燥空気の熱伝導率，λ_d，乾燥土壌の熱伝導率，p，間ゲキ率（0～100%)。乾燥土壌の λ は間ゲキ率がますと急激に減少するが，50%以上の間ゲキ率では変化は著しくわずかになり，約 2.0×10^{-3}cal/cm. sec. °C に接近する。これは実験結果とよく一致している。土壌が湿ってくると土粒子間の伝熱抵抗が減少すると同時に，水蒸気の移動による熱輸送が加わるために，水分の増加につれて熱伝導率は増してくる。水分の増加に伴う λ の増加は次第にゆるやかになってくる。一方，容積熱容量はほぼ直線的に増加するので，温度伝導率はある土壌水分までは増加するが，より多湿になってくると逆に減少してくる。

土壌に関係した2，3の媒質の熱的特徴量と Z_d とを示すと表―4のようになる。Z_d は日変化のためであるが，年変化の場合には表値を19倍すればよい。ここに説明したような特徴量が耕うん方法や農業技術の施行や違いによってどのように変化するかは余り明らかにされていない。このような土壌の構造の変化に伴う熱的性質の変化を野外条件下でしるにはゾンデ法を使用することが望ましい。しかし，ゾンデ法はわが国ではほとんど開拓されていない。

表―1 純光合成の日量のなかで土壌からのCO_2flux の占める割合 (%)

作物	牧草畑	ビーン畑	大麦畑	ケール畑
期間	18April ～24May	16June ～28July	30May～1Aug	7Aug.～25Sep.
比率	8	17	22	22

表―2 土壌空気の組成

含有量% / 土層cm	湿った土壌		乾燥した土壌	
	O_2	CO_2	O_2	CO_2
10	13.7	6.5	20.6	1.0
25	12.7	8.5	19.8	2.1
45	12.2	9.7	18.8	4.3
90	7.6	10.0	17.3	6.7
120	7.8	9.6	16.4	8.5

表―3 D_0 (T=273°K, P=760mmHg) の値

	D_0 cm²/sec	m
O_2—空気	0.178	1.75
H_2O—空気	0.220	1.81
CO_2—空気	0.138	2.00

表―4 各種媒質の熱的特徴量

	C	$\lambda\times10^3$	$k\times10^3$	$b\times10^2$	Z_d(cm)
石英	0.48	21.0	4.7	10.00	35.9
粘土鉱物	0.48	7.0	1.46	5.79	20.7
砂(風乾)	0.27	0.6	0.22	1.27	7.8
(シオレ点)	0.28	1.8	0.64	2.24	13.3
(圃場容水量)	0.35	3.5	1.00	3.49	16.6
(飽水)	0.70	5.9	0.84	6.43	15.2
土壌(風乾)	0.26	3.6	0.14	3.06	6.2
(シオレ点)	0.36	2.8	0.78	2.69	14.6
(圃場容水量)	0.47	2.3	0.49	3.28	11.6
(飽水)	0.70	1.1	0.16	2.77	6.6
ピート(風乾)	0.35	0.14	0.04	0.22	3.3
(飽水)	1.15	1.20	0.10	3.70	5.4

6. おわりに

地中環境の研究について最近の話題を思いつくままに記したが，農作物の倒伏などに密接な関係をもっている土壌構造についてはふれることが出来なかった。これは耕地での農業機械走行の問題にも関係しているので非常に大切である。農業気象の分野では熱状態やガス環境ならびに水分環境について着々と研究が進められているが，接地気層内での研究の展開にくらべればまだ遅々たるものである。とくにわが国ではその感が深い。この小文が農業気象学の分野でなされている地中環境の研究に土壌物理学者の協力をえられる糸口にでもなれば非常に幸いである。

主要な文献

1) Budagovsky A.I.(1964) Isparenie Pochvennoi Vlagi. Izd. Nauk Moskva (耕地の蒸発散, 内島訳, 畑地農業振興会, 1965).

2) Gardner W.R. (1960) Dynamic aspects of water availability to plants, Soil Sci., 89, 67～73.

3) ——and Ehlig C.F.(1962) The iufluence of soil water on trans piration by plants, J. of Geophys. Research, 68, 5719～5724.

4) Monteith J.L., Szeicz G. and Yabuki K. (1964) Crop photosynthesis and the flux of carbon dioxide below the canopy, J. Appl. Ecol. 1, 321～337.

5) Penman H.L.(1940) Gas and vapour movements in the diffusion of vapours through porous solids. 1. The diffusion of vapours through porous solids. 2. The diffusion of carbon dioxide through porous solids. J. of Agric.Science, 30. Part 3～4.

6) Philip J.R.(1966)Plant water relations: some physical aspects, in Annual review of plant physiology.

7) Rijtema P.E.(1965) An analysis of actual evapotranspiration, Agricultural Resarch report 659, Wageningen, Netherlands.

8) Rose C.W., Stern W.R. and Drummond J.E. (1965) Determination of hydraulic conductiviy as a function of depth for soil in situ, Aust. J. Soil Res., 3, 1—9.

9) Rose C.W. and Stern W.R. (1967) Determination of withdrawal of water from soil by crop roots as a function of depth and time, Aust, J. Soil Res., 5, 11—19.

10) Vepshinin P.W., Melnikova M.K., Michurin B.I., Mashkov V.S., Poiasov N.P. and Chudnovsky A.F. (1959) Osnovy Agrofiziki (基礎農業物理学), Izd. Fiziko-Matematicheskoi Literatury, Moskva.

11) Visser W.C. (1965) A method of determining evapo-transpiration in soil monoliths. Miscellaneous reprints No 25, Wageninen-gen, Netherlands.

12) 内島 (1964) 技術者のための農業気象学講座, 農業技術, 19.

13) 内島・宇田川・堀江・小林 (1968) 植物群落内におけるエネルギーとガスの交換に関する研究 (4), 農業気象 (投稿中).

14) Wasseling J. (1962) Some solutions of the steady state diffusion of carbon dioxide through soils, Technical Bulletin No 26. Wageningen, Netherlands.

15) 矢吹 (1965) 高畦内土壌空気の炭酸ガス濃度, 農業気象 21, 113—114.

会　告

I　第9回シンポジウム開催

テーマ　火山灰土壌の物理性をめぐる諸問題

日　時　昭和42年11月21日（火）9.30～17.00

場　所　東大農学部3号館403号室

プログラム

開会あいさつ　副会長　国分欣一氏　9.30～9.40

講演　司会（午前）石井和夫氏

　火山灰土壌の生成と物理性　松井　健氏　9.40～10.30

　火山灰土壌の生産力と物理性　増島　博氏　10.30～11.20

　火山灰土壌の水分　岩田進午氏　11.20～12.10

昼食，休憩　12.10～13.00

総会　議長　木下　彰氏　13.00～14.00

講演　司会（午後）東山　勇氏

　火山灰土壌の耕うんの諸問題　藍　房和氏　14.00～14.50

　火山灰土壌の土土の諸問題　安富六郎氏　14.50～15.40

総合討論　司会　石井和夫，東山勇，多田敦氏　15.40～16.50

閉会のあいさつ　会長　八幡敏雄氏　16.50～17.00

注　講演時間は30分で，質疑討論の時間を20分間と予定しています。

II　総会（42.11.21）の議案

○報　告

1. 会務報告
2. 昭和41年度（41.4.1～42.3.31）決算報告ならびに監査報告

○協　議

第1議案　会計報告の承認

第2議案　会則第4条（会員）に「学生会員」を加える。

第3議案　会則第5条（会費）に「学生会員年額 300円」を加えるほか，賛助会員1口年額 5,000円を10,000円に値上げする。

第4議案　会則第6条（役員）の任期1年を2年に改める。また幹事は総会選出を会長委嘱に改める。

第5議案　会計年度始まりを4月1日から11月1日にうつす。

畑地圃場整備をめぐる土壌物理の諸問題

椎　名　乾　治*

1. まえがき

最近使用されている圃場整備という言葉の内容はいろいろに理解されているが，ここでは次のように考えることにする。

「水田作や畑作経営における労働の生産性を飛躍的に高めるためには，栽培技術以前の問題として，生産基盤である耕地それ自体が労働ならびに作物生育の両側面において，高能率かつ高反収を期待しうる条件を具備することが不可決であり，そのような土地基盤を造るためには，治山，治水工事からダム，頭首工，大ポンプ場，幹線用排水路の新設，改修などの基礎的工事をはじめ，それに続く一連の末端工事，すなわち区画整理や交換分合，農道あるいは支線用排水路，暗キョ，明キョ等の圃場用排水施設や畑地カンガイ施設の整備，開田，開畑，開園工事，客土，床締め，土層，土壌改良など，いわゆる営農と直結した土地基盤整備が必要であり、このような営農と直結した土地基盤整備をとくに圃場整備と呼ぶことにする」（圃場整備に関する技術的問題検討会資料(1)，農林水産技術会議事務局)。

したがってここでいう圃場整備工事は，なんらかの形で水と土のコントロールを行なうことを意味しており，すべての問題に土壌物理の知識が関連していることになり，その問題点も多い。しかもいま圃場整備を畑地に限って考えてみると，水田圃場整備が事業研究ともに進んでいるのと較べて，そのおくれは大きく，試験研究はもとより，事業もまだ数えるほどしか進められていない。

したがって，圃場整備と土壌物理の関連についても予想の域を脱しない事柄が多いが，それだけに研究成果が直接事業に結びつく公算も大きく，試験研究の意義も大きいことになる。ここではいままで，筆者が関係した調査試験を通じて問題意識として感じた事項2・3について整理したことを述べて参考に供したい。

2. 区画整備と土壌物理性

労働生産性を高めるために大型機械を導入できるような区画を造成することは，圃場整備事業の重要な目標の一つであるが，整備された大区画内で土壌物理性の差異が極端に存在する場合には作物生育の不揃い，施肥基準の相違，機械作業への障害などから，大きな問題となることが多い（もちろん化学性についても問題は大きいが，ここでは主として物理性についてのみ考えることにする)。そこで，これらの問題について考えてみるわけであるが，最初に区画についての考え方を統一しておく必要がある。

畑地の区画の概念については，統一されているとはいえないが筆者は，おおよそ次のように考えてい。

所有区：1農家の1所有用地の区画とする周囲全部には普逼固定施設がない。

耕区：耕起，整地播種，刈取りなどの一連の農作業の単位として考えられる区画で，普通畑では中に含まれる各農家の所有区はいずれも同一作物を栽培することになる。この区画は輪作体系の設定の仕方によりまた経営集団の発展により，その形状，面積は常に変ってくるもので，水田と比較すると極めて流動的概念である。その大きさ形状は機械作業効率からみても比較的良好でありまた一辺は大型機械が運行できる道路に接することが条件である。

圃区：道路（まれには水路）に囲まれた区画で，耕区と同一になることもある。圃場整備を行なうときの基本区画であり，機械化体体系，営農体系，農地保全，カンガイ排水，防風林など多くの観点から合理的な形状，面積としなければならない。

経営区：農家群あるいは農業組織などが協業または共同で営農を営む区域で機械利用組織，共同カン水組織などと関係が深く，圃場整備事業の計画を行なう場合の最小単位となるものである。

結局諸区画のうち，所有区は主として耕地集団化の観点から，耕区は機械の大きさ，作業体系などから，圃区は営農，農地保全，カンガイ排水などからその大きさ，形状が決められるが，この場合土壌物理性の偏差が，問題になるのはどの区画であろうか。いま問題を土壌物理性――作物生育――機械作業の関連で考える場合には，最低が耕区，普通の場合には同一圃区内に少なくても作物生育に影響を及ぼすような物理性の偏差がないことが

* 農業土木試験場土地改良部

望ましい。すなわち圃場整備計画を行なう場合，このことに関し，事前の判断が必要であるが，これは，従来から行なわれている土壌断面調査を数 ha に一点程度行なえば十分できるはずである。ただここでの問題は，異なった土壌区が存在した場合，おのおのの物理性が，生物生育，機械作業に及ぼす影響を明らかにする必要があるわけで，この点での調査試験方法が確立される必要がある。

この調査，試験方法についてもまだ合理的案がないが，重要なことは，現実の調査組織で実行可能なことと，その成果から圃場整備計画時において，土壌物理性改良工事の必要性が判定できなければならないことである。このような観点から筆者の見解を述べると次のようである。

(1) 圃場整備計画地区について，当初1～3haに1点づつ，土層層序ごとに1mの深さまで，定容積採土を行ない，最小容水量（土柱法），毛管連絡切断含水量（素焼板吸引法），仮比重，現地水分量（採土時），硬度（山中式硬度計）を測定する。この種の測定であれば，乾燥器，秤，素焼板さえあれば，200～300の試料を，1カ月程度で終らせることができる。

(2) 計画地区内で，生産力の相当異なる圃場をいくつか選定し，その土壌物理性と化学性を精査し，その原因を究明し，土壌物理性に原因しているときは，その内容と前記水分定数との関連を明らかにする。

(3) 計画図面で導水路の配置が決まり，おのおのの圃区の形状，大きさが定まったならば，(1)，(2)の試験結果から問題となるような異なった土壌物理性をもつ土壌が混在していないかどうかをチエックする，混在している場合には，なるべく混在しないように道水路配置を変更するのがよいが，出来ない場合には，その改良対策を樹立する。

以上はまったくの筆者の粗案であり，しかも大変労力のかかる，めんどうな調査であり，圃場整備にあたって，こんなことまで行なう必要はないのではないかという意見も聞かれるが，これは単に，機械作業→作物生育→土壌生産力という，技術的な関連のみではなく，実は，圃場整備の大きな目標の一つである，営農改善のための耕地の集団化に関係していることである。

農家は耕地の集団化の意義は理解しても，いざ交換分合ということになると，長い間の耕作地に愛着をもち，土地生産力の差異を理由にしてなかなか，交換分合が進まない場合が多い。このようなとき確実なデータをもった説得と，またその対策が必要であり，この種の調査，試験は合理的圃場整備事業成立のきめ手であるといっても過言ではない。また作物団地の形成にあたっても，この調査結果は重要な基礎資料となることは間違いない。

3. 造成整地工事と土壌物理性

前述の区画整理と土壌物理性の問題は，造成整地工事を伴う場合には，さらに大きくなる。切土，盛土部分が同一圃区内に存在することは避け得ないので，下層土（切土）の土壌物理性と，盛土部分の土壌物理性を調査し，同一圃区内で大きな生産力的差異がおきないような計画が必要とされる。

いままで行なわれたいくつかの事例をみてみると，この問題は，急傾斜地帯などのテラス造成，地形修正を行なうような大きな造成工事においては，問題点が明確であるという意味からは，比較的処理し易い（対策が簡単だという意味ではない）むしろ，小規模な傾斜修正とか，部分的整地を行なう場合には問題は複雑である。

すなわち，急傾斜地帯のテラス造成，地形修正工事などにおいては，表土扱いなどを行なうことはまず不可能で，下層土の露出はさけられないから，下層土の理化学性を調査し，これらの改良対策を樹てればよい。またこの場合の栽培は果樹類がほとんどであるから，全地区の土壌改良はある程度の年月をかけて行なうことも可能である。

これに対し，普通畑地帯などで，小さな段落差のついている畑区画を拡大しようとすると，一圃区内を少なくとも，同じような地形に修正する必要があり，小規模であるが，土の移動が行なわれる。この場合，造成は部分的であるから，表土扱いなどの行なえる可能性は小さく，同一圃区内に表土の厚さの異なる部分が生じるばかりでなく，部分的に下層土が露出する場合もある。

このようなケースでは，計画時点で，土壌物理性の変化が，作物生育に与える影響を判断することは大変困難であり，事後処置が必要となる場合が多いが，事後処置としては第1章で述べた調査，試験の他に，表土の厚さを全圃場について，検土杖などで，調査し，下層土が不良な場合には，なるべく下層土が露出しないような運土計画が樹立することが大切である。

4. 土層改良と土壌物理性

圃場整備事業の目的は，労働および土地の生産力の積極的向上をはかるものであるから，各種の技術的施策とともに，畑土壌そのものの生産力的制限，阻害因子を最大限に消去した高位生産圃場を造成することが重要である。すなわち土壌物理性が生産力の阻害因子となっているような畑地帯では，大型工事機械が入る圃場整備工事

時に，改良を行なうことが経済的にも有利になるわけである。そこで，どの程度の土壌物理性が畑作生産にとっこ制限因子となるかが重要な研究課題であるが，〝土壌肥料分野における試験研究上の問題点〟で，山本氏は東北地方における多収穫地の解析データから，その最低条件を次のように定めている。

「火山性，非火山性土壌とも，表層 30cm 以内の物理的条件として，pF1.6 以下の大間ゲキ5％以上，土壌三相分布のうち，気相18％以上，pF2.6～pF3.0 相当水分量 50mm以上，硬度24以下(山中式硬度計)」

これらは主として土壌間ゲキの存在型態に着目した基準であり，この条件以下の場合には，改良が必要とされるとしている。

これに対する筆者の意見は次のとおりである。

(1) 圃場整備事業において，とりあげるべき土層改良は，当然大規模改良工事であるから，普通大型機械の深耕と，改良資材の投入などでは，目的を達し得ないものをまず目標にすべきである。このような観点からは，少くとも1m程度の土層深について，改良目標を設定すべきであろう。すなわち，30cm 以下の不良下層土の生産力に与える影響を明らかにし，これらの改良対策をはかることが大切である。

(2) この場合改良目標基準として採用すべき，物理的諸性質は，通気性，透水性，硬度などが，主要なものとなるであろう。

(3) 30cm までの改良目標としては，前記のもので大体よいと考えられるが，筆者の経験からいうと，有効水分量の50mmはやや大きすぎるきらいがあると同時に，有効水分量を増大させるような土壌改良はなかなか困難な場合が多く，むしろ有効土層を深くすることが大切で，カンガイ計画とあいまって，下層土の改良の必要性が高くなるものと思われる。

4. 土地生産力向上対策と土壌物理性

畑地帯の圃場整備においては，労働生産性と同時に土地生産力を向上させなければ，その目的を達することはできないが，特に水田と異なり，この面での公共投資がいままで，ほとんど行なわれていないので計画すべき技術的施策は多いが，それを土壌物理性との関連から区別すると，侵食対策，干湿害対策の二つになる。

1. 侵食対策

土壌侵食と土壌物理性との関連については，土壌，土木の分野でいままで多くの研究が行なわれているが，圃場整備との関係では次のような，諸課題の究明が大切である。

(1) **区画拡大に伴う侵食対策** 従来の狭小な区画が数 ha の規模の圃区に拡大された場合，圃区内における，水の流下距離は当然長くなり，侵食は加速されることになる。

特に作物団地を形成したような場合には輪作体系に伴なって，地被のない期間がある程度存在するケースが多く，この時期がたまたま豪雨時期に重なったりすると，100m近い裸地を水が流下することになり，相当のガリーが発生する場合なども見受けられる。このような侵食の対策としては，流下距離を短かくすることが大切で，圃区内にグリーンベルトを設けるとか，アゼ型，溝型テラスとするとかの案が考えられる。これらのいずれの方法を採用するとしても，土壌物理の面からは，畑地における降雨の浸潤，流下のメカニズム，一時的タン水とその浸透機構，作物生育への影響などの課題が究明されることが必要であろう。

(2) **ウネ方向と侵食対策** 傾斜地においてウネは等高線に平行に設けることは，常識であるが，圃場整備後においては，いろいろな理由から，必ずしもウネは等高線に平行に設けられるとは限らない。例えば次のような場合である。

① 道路侵食を小さくするため，等高線に平行に主要道路を配置した場合を考える。キャベツ，カンランなどのソ菜類の防除では道路に加圧装置をおき，これらホースで農薬を散布してゆくか，このときはウネ間を歩かなければ，作物を傷めて大きな損失をこうむる。したがって，道路に対して直角にウネを設けることが必要で，ウネは等高線に直角とならざるを得ない。また収穫物の道路までの運搬にしても，上記ソ菜類などでは，一斉に収穫することはなく，市場価格とにらみ合せながら部分的に収穫してゆくので，ウネは道路に直角に設けないと，搬出の労力は極めて多くなる。

② 冬期栽培されるソ菜類では，その地方でほぼ定まる風方向が生長に大きな影響を与える場合がある。すなわちウネは風向に対して直角に設けなければならず，このため等高線に平行にならない場合がある。

③ 中，大型機械の運転に熟練しない農家では，5～6° 以上の傾斜で等高線ぞいの耕うん整けい作業を行なうことが出来ない場合がある。

これらの理由はいずれも，圃場整備計画において修正することが可能な場合もあるが，また不可能な場合もある。不可能な場合には，傾斜方向の長いウネの侵食対策を樹立しなければならないが，その主要な内容は土壌物理性とくに透水性の改良と，改良剤の利用による侵食対策などであろう。

(3) **機械利用と侵食対策**　大型機械を利用すると，車輪の踏王により土壌が圧縮され，透水性が不良になる場合がある。これに関しての土壌物理的研究は，土壌分野で，2・3の知見が得られているが，この土壌圧縮と土壌侵食加速との関係については，あまり試験研究が，行なわれておらず，今後の課題であろう。

機械利用との関係で，いま一つの重要なことは，機械の作業効率を，高める上から，できるだけ道路を枕地として，利用することが大切で，この場合，道路側溝は，放物線形土水路，または草生水路とするとよい。このような，草生水路，土水路の土壌物理的研究は，ほとんどなく，草種別の土壌構造変化，透水性変化などについての研究が，進められる必要がある。

2.　干湿害対策

(1) **畑地排水の問題点**　わが国の畑地帯の多くは，地下水が低く，また透水性の良い土層から構成されており，湿害をうけることは少ない。しかし一部の畑地帯では，湿害が問題となるところもある。

例えば，北海道十勝平野の畑作地帯では，地下水位が高いため，北見付近の畑作地帯では，春先凍土の上に融雪水がたまるため，また東海地方の鉱質土壌では，地表面下20〜30cmに極めて不透水性な土層が存在するために，湿害がおきている。また波状地形の所などで，圃場整備のため，谷をうめて整地を行なうとか，同じく侵食谷をうめて整地を行なうとかした場合，従来の地表流去水の自然排除の水みちが断たれるため，一時的湿害が問題となることもある。

このような場合の対策としては次のようなことがあげられる。

① 地表水の排除　地表水が，圃場内にいつまで停滞することは，湿害の大きな原因となるから，これは，速かに排除されなければならない。このためには，圃区内の傾斜をうまく利用して，道路ぞいの排水路に，水を導くのがよいが，溝型テラスなどに整地しておくと，非常に便利である。特に大きな整地を行なう場合には，前述の造成整地と，土壌物理性の項で述べたような調査試験を，地表排水系統の調査と併せ行うことが必要である。

② 地中過剰水の排除　畑地の湿害には，二つのタイプがある。1つは地下水面が高いことに原因するものと，1つは表層から1m内に不透水性の土層が存在し，この上に豪雨時に一時的滞水をすることによるものである。前者については，原則として暗キヨと明キヨによって地下水面を下げてやる必要がある。

このための一般的基準は，水田の暗キヨ排水に準じればよいが，乾燥が進み過ぎても，作物の生育に障害となるので，地下水面は普通作物で60〜100cm，果樹類では80〜150cm程度の深さまで下げるように計画してやればよい。北海道開発局の調査によれば，畑地暗キヨの埋設深さは，泥炭地，火山土とも，従来の基準より，やや浅く0.6m程度，間隔は最低泥炭地では，18mで良いとし，このように埋設深を浅くすることにより，工事費が大幅に軽減されるとしている。この場合土壌物理的観点からは，地下水位と作物生育，特に地下水面上の毛管上昇と，蒸発散の関係などについて，さらに研究が進められることが望ましい。

また畑地では，土壌構造が前述のような，改良目標より悪い場合には暗キヨでいくら排水しても，湿害をそれほど軽減することのできないことがあるから，この場合には，暗キヨ排水と同時に，土層改良を行なうことが必要である。この方法としては，客土，深耕，心土破砕，草生による改良などが考えられる。後者の不透性土層が存在するときには，原則としてこの不透水性土層を破壊することが必要である。この場合，圃場全面を破壊しなくても，ある間隔で破砕してやり，停滞水の横流動を起させて，不透水層以下の透水層への水を導くこともできる

不透水性土層の破砕が困難な場合には，この土層部分で暗キヨ排水を行なう。

また耕土が浅い場合には，一時的明キヨによる排水でも十分効果のある場合も多い。

以上の諸対策は一応の技術的目安であり，土壌物理的研究課題としては，不飽和土壌中の浸透，土壌構造と水の浸透機構などについて，研究が進められなければならない。

(2) **畑地カンガイの諸問題**　圃場整備にあたって，干害の被害が多く予想される地帯について，畑地カンガイを行なうことは当然であるが，畑地帯の総合的生産力を高めるためにも，新たな観点からの水利用の開発が重要である。

乾燥地帯の畑地カンガイでは，カンガイ水はそれなしには，作物生産が行なわれないという意味をもっているが，わが国のような，湿潤地帯の畑作では，そのような意味はもたず，肥料，農薬などと同じく，土地生産力を高めるための役割をになっている。このことは，乾燥地帯では，作物の生育保証をカンガイの直接目標とすれば良いのに対して，湿潤地帯では，生産力を高めることを直接の目標にしなければ，経済的に成立しないことを示している。

したがって，畑地カンガイの目的は，生産力を高めうるあらゆる効果をねらうべきもので，一時期の水分補給のみに限る必要はない。わが国の水田カンガイにおける

水利用は，非常にすぐれたものとして，世界の注目をあびているが，この場合でも，水利用の目的は単に水稲の生理上の必要性だけでなく，水温，雑草防除，栽培管理作業，肥効促進など，多目的でむしろ植物性生理上の水分補給より他の目的の効果の方が，高いといっても過言ではない。畑作の場合のみ，植物生理上必要な水量の補給だけを，カンガイの目標としなければならない理由は存在しない，例えば，北海道から九州にわたる畑作地帯で，従来の水分補給だけの目的では，経済的に成立しない地域でも，次のような他の目的でのカン水と防除，飲雑用水などを併用すれば，用水事業としては，十分採算の合う場所も多数あるはずである。そしてこのためには，土壌物理的面から，研究を進め技術的体系を確立しなければならない課題も多く，その主なものを，あげると次のようである。

① 栄養管理のためのカンガイ・カンガイ水自体が含む栄養分の土壌への補給，土壌水分をコントロールすることによって肥効を促進させる効果，液肥として散布し土層全体の肥効を高める効を高める効果，大型散水器を使用してタイ肥，尿などを散布することによる効果などをねらってカンガイを行なうものである。土壌物理的観点からは，水と養分の浸透，保持，消失の関係を明らかにすることが重要である。

② 栽培管理のためのカンガイ　播運，定植時期に散水してやり，発芽，生長を促進させる効果，これは特に春播，夏播野菜などでは，その生育収量に与える影響は大きい。

また機械化作業体系における土壌水分コントロールの効果，例えば大土塊の散水による破砕，乾燥によって固くなる土壌で，散水によって耕うん整地を容易にし，機械作業効率を高める効果，砂地などで，乾燥によってスリップするのを防止する効果などである。

土壌物理的研究課題としては，主として土壌水分状態と機械作業の関係について，多くの知見が集積されることが大切である。

③ 災害防止のためのカンガイ　用意された水量での干バツ防止，散水による潮風害，塩害，風食，凍霜害の防止などのためのカンガイである。

土壌物理の面からの研究課題としては，土壌水分変動と作物生育との関係，特に水分変動範囲と作物収量との相関関係を作物別に定量化することが大切である。

④ 管理作業の省力化　散水カンガイ施設においては，流水エネルギーを利用して，防除，施肥をまったく省力化して行なうことが可能である。土壌物理的研究課題は少ないが，土壌構造と液肥の浸入保留の関係は解明されなければならない。

以上畑地用水の多目的利用については，未解決の問題が多く，土壌物理のみならず，作物，機械，土木など多くの研究者の参加が必要であり，この協力によって生みだされるであろう技術体系は，非常におくれているわが国の畑地生産力を高めるための基幹技術となるであろうことは間違いない。

6. あとがき

編集者から〝圃場整備をめぐる土壌物理の諸問題〟という題を与えられたとき，簡単にひきうけてしまったが，圃場整備を，筆者の専門である畑地に限って考えてみても，まったくバク然とした対象であり，いままでの調査，試験もほとんどなく，筆者の関係している2，3の調査地区についても，まだ結論は得られていないため，まったくまとまったことを書くことができず，単に経験の集積と問題点の羅列に終ってしまったことを，おわびしたい。

今後畑地帯の圃場整備はますます盛んになってゆき，土壌物理学の知識の必要性が，高まってゆくものと思わるが，そのときの研究のあしがかり共なれば幸いである

土粒子

野外で緻密度と構造を調べ，実験室で粒径組成を測る――自分の領分に関係のある土壌の物理性とはそんな程度のものと思いこんできた私にとって，これではいかんと思い知らされた経験がさいきんあった。

その一つは，水田の表層から溶脱した鉄，マンガンが下層で定量的に沈殿しているのか，あるいは一部が沈殿し他は逃げているのかに関心をもって私は，水田各層の鉄，マンガン含量に層位の厚さを掛けて，その値で溶脱量と集積量を定量的に比較した積りでいた。しかしあとで冷汗が出たことには容積量を計っていなかったのだった！　鉄，マンガン含量を重量%で出しておきながら，容積重をぬきにして，溶脱と集積の〝定量的〟検討と銘うつことはできない。気がついたのは学会に発表したあとだった。

二つめは水田（乾田）において作土の還元が波及する深さ，鉄，マンガンが沈殿する部位と程度。要するに水田土壌の断面形式は，土層の構造性にきわめて大きく支配されることがさいきんしみじみ解ってきた。従来土性や透水性で説明されてきたが，これは間接的で，直接的には土層の空ゲキの量と分布パターンが酸化還元，鉄，マンガンの沈殿を規制する主因子としてとらえられねばならない。

〝化学屋〟の物理性への無理解はもはやお愛嬌ではすまされず，せめて物笑いにならない程度には勉強しなければと痛感している。（農技研　三上正則）

粉体の物理学

素　木　洋　一*

1. 粉体の定義

ここで粉体を液体と固体との中間の性質をもった一つの物質系と定義する。すなわち粉体は静止の状態においては固体と類似の性質を有し，流動状態では液体と類似の性質を示すものである。静止状態ではある大きさまでの荷重を支えることが可能であり，さらに大きな荷重が与えられれば細化現象がおこる。流動状態の下では，粉体は浮力をもつ。この性質があるためにフルイによる分級が可能になる。また細管から流出させたときには脈理に似た現象を示す。

このような現象を示すためには粉体を形成する粒子群はある大きさ（バク然とした用語であるが）をもつ。しかも一般にわれわれが概念的に粉体といっているばあいは比較的小さな粒子から成る，ある分布をもった系をさしている。一個の粒子の大きさは，小さい方の限界は原子の構成部分まで考えられ，大きい方の限界は規定できないが 1000μ くらいまでを限界とみている。

従ってこの範囲にわたる粒子群は，粒子が微細になれば表面の状態が著るしく変ってくるし，形態上の要素とからみ合って粒子群が形成する組織は想像以上の性質の変化を示すものである。

粒子についての概念

一般に使用されている粒子という用語は，極めてバク然としたものであることは他の学術用語と同じである。一例を，与えられた土壌試料に例をとってみよう。試料はおそらく大部分が比較的大きな凝集体から成立っているであろう。これらの凝集体は，ある意味では粒子であり，土壌のいろいろな性質はそれらの大きさに左右される。いわゆる有機土壌形成体といわれているものの効力は，殆んどがこれらの凝集体を安定させる能力に支配される。すなわち凝集体は多くの「粒」から成立っている「粒子」である。土壌を構成する粒子の最小の大きさは常識的にいわれている極限の大きさではない。

結晶学的にみれば，土壌粒子は１個の結晶または結晶の破砕物である。あるいは岩石の破砕物とみてよい。

* 東京工業大学工学部無機材料工学科

一般に，無機物質を対象として粉体の物理性を論ずるばあいに，普通に用いられている用語を次のように定義する。

（a）**粒子**（particle）　天然あるいは合成鉱物の１個の任意の破片をいう。この大きさは一般に 1μ～1000μ からの間にある。これが団粒の基礎単位となる。

（b）**団粒または顆粒**（granule）　２個以上の粒子からなる多孔性集合体で，粒子は種々の粘結剤あるいは力で結合されている。団粒の大きさはそれを用いる状態によっていろいろ変ってくる。

（c）**粉体**（powder）粒子と団粒との混合物をいうが，主として団粒から成る系をいう。

いま，１個の団粒内に含まれる種々の直径の粒子数を算出してみると**表－1**のようになる。

表－1　種々の直径の団粒に含まれる粒子数の計算値

団粒の大きさ (mesh)	団粒の直径 (η)	団粒の容積 (η^3)	仮定した粒子直径 (η)	仮定した粒子容積 (η^3)	１個の団粒に含まれる粒子数	
					最　高	気孔率を30%とみたとき
20	860	333,000,000	10	524	636,000	445,000
			50	65,400	5,090	3,560
			100	524,000	636	445
60	240	7,240,000	10	524	138,000	9,670
			50	65,400	111	78
			100	524,000	14	10
100	150	1,770,000	10	524	3,370	2,360
			50	65,400	27	19

（d）**真の密度**（true density）固体鉱物片の単位容積当りの重量（g/cm^3）。

（e）**見掛団粒密度**（apparent granule density）単位嵩容積当りの重量（g/cm^3）。カサ容積というのは固体と内部空隙を含んだ容積である。

（f）**内部空隙**（internal void）　個々の団粒の中に入っている気孔の空隙。

（g）**外部空隙**（external void）　個々の団粒間の気孔の体積あるいは空隙。

（h）**粉体カサ密度**（pawder bulk density）団粒の一定容積の重量，すなわち固体，内部空隙，および外部空隙を含んだ単位容積当りの重量（g/cm^3）

2.　充てん密度

真の粉体密度は気孔率がゼロに達したときに得られるが，この状態にすることは粒子が不規則な形状である以上は不可能である。粉体の真密度のときには粉体カサ密度は団粒密度に等しいときである。個々の団粒が静止した空気中でかろうじて接触したときに実際上は値の小さい方の極限にくる。この状態は不安定なもので，再現性を与える実験を行なうことは困難である。何となればごくわづかな不調和がおこっても，ある数の団粒はさらに緻密に詰まりうる間ゲキに入りこんでしまうからである。従って実験室におけるカサ密度の測定結果はある範囲のばらつきをもつ。

石英や長石などの硬い粒子では，一定容積のシリンダーの中に一定重量の粉末を入れて一定の重さのプランジャーを一定回数落してそのときの充てん物の容積を測定すればカサ密度が求められるが，団粒のばあいにはこわれやすいのでこの方法でカサ密度を求めることはできない。従って団粒のばあいには，いわゆる型充てん法または振動充てん法で求めなければならない。

外部間ゲキの生成されるひん度と大きさとは団粒自体の密度には無関係で，団粒の形態と大きさの分布とに関係する。

外部空隙容積は団粒の大きさがそろっているときに最も大きい。しかし粒子径の因子である内部空隙の生成されるひん度と粒子の平均真密度とは団粒の見掛け密度を決定する。

真密度，内部空隙，外部空隙および充てん分布の4項目が一般的にみて粉体のカサ密度を決定するものである。もし団粒密度が規定されれば，粉体のカサ密度は充てんの効果のみによって変化する。カサ密度をさらに著るしく増加させるには内部気孔率を減少させなければならない。

粉体の加圧性状

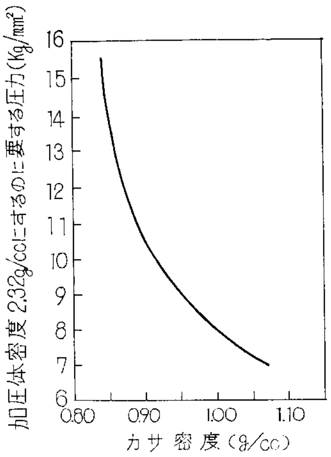
一定の容量に粉体を入れ加圧したばあい，粉体のカサ密度および団粒密度がどのような影響を与えるだろうか。カサ密度の異なる2種類の粉体を用い，型充てん高さを 1.83cm に規定し，型の面積を6.45cm² とし，加圧体の密度すなわち加圧密度を 2.32h/cm³と規定すると次のような実験結果が得られる。

	粉体 I	粉体 II
粗カサ密度 (g/cm³)	0.933	0.753
重　量 (g)	11.0	8.9
加圧体の高さ (cm)	0.736	0.594
加圧体の容積 (cm³)	4.75	3.83
加圧密度2.32g/cm³を得るに必要な成形圧 (kg/mm²)	14.06	17.57
圧縮比 (充てん体の容積/加圧体の容積)	2.49	3.08

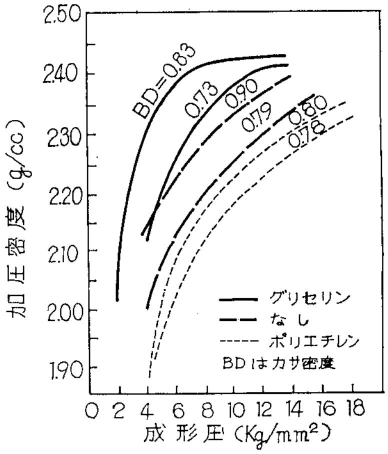
粉体Iは粉体IIに比較して，与えられた重量では容積が小さく，型充てんが浅くてよいことになる。すなわち加圧密度を同一にするには高カサ密度の粉体は低カサ密度の粉体よりも圧縮比は小さくてよい。この密度の差異が団粒密度の差，あるいは充てん効果によるがどうかということは重要ではない。

粉体カサ密度は目的とする加圧密度を得るために必要な圧力に影響する。図―1から理解できるように，高カサ密度粉体では低カサ密度粉体よりも団粒のかたさ（粘着性）に関係なく圧力は少なくてすむ。カサ密度が大きいということは団粒の硬さとは必ずして同意義であるとは限らない。反対に実際上はカサ密度がどんな値の所でも硬い団粒と軟らかい団粒とは用いる減摩剤と結合剤の種類および量に支配される。この一例を図―2に示す。

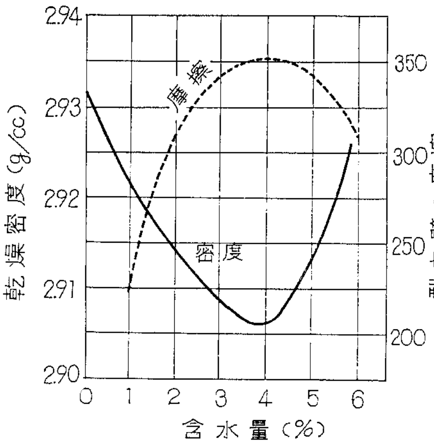
型に入れて成形するばあいには粉体ならびに粉体に含まれている液体の量が型壁面に対する摩察抵抗に変化をきたし，そのために成形体の密度が変ってくる。典型的な一例を図―3に示す。



図―1　粉体カサ密度と圧力との関係



図―2　成形圧におよぼす減摩剤の効果



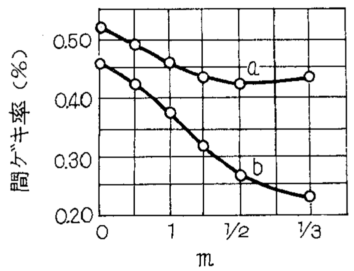
図—3 加圧密度と型内壁の摩擦におよぼす含水量の影響

最密充てんを得るための粒度分布

種々の大きさの粒子を組合わせると，粒径のえらびかたに関係なく最密充てんをとる粒度組成というものが存在する。古く Fuller ら[1] はコンクリートの最密充てんが得られる粒度分布を研究し，**図—4** に示す結果を報告している。その後 Andreasen[2] は，ある粒子径 x 以下の含有量 P をとし，D を存在する最大粒子径とし

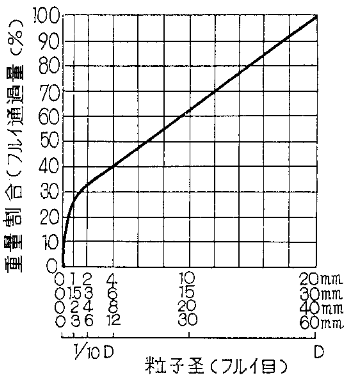
$$P=\left(\frac{x}{D}\right)^m$$

で示される曲線の m が 0.5 と 0.33 の間にあるばあいに加圧によって最大密度が得られることを明らかにした。このばあいはまた粗粒子あるいは微粒子の分離をおこすこともない。上記の m の値が 0.5～0.33 の間ということは，たとえば試料の最大粒子径が 10μであったとすると，その 1/10～1/15 の大きさの粒子すなわち 1～0.7μ 以下の粒子が約30～50%あればよいことになる。m の値の異なる珪砂を用いて実験してみると**図—5** に示す結果が得られ，Andreasen の式の有用性が実証される。

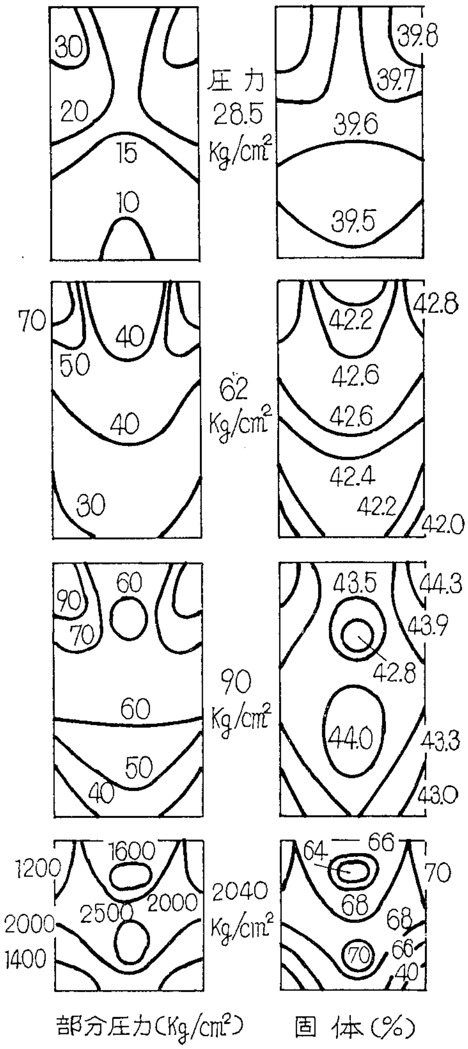


図—4
m値の異なる珪砂による間ゲキ率の変化
a：容器に落した場合
b：振動を与えて詰めた場合

粉体を加圧するばあいに，表面に与えられた力の分布状態は液体と異なり極めて複雑な状態を示すものである。たとえば D. Train[3] が $MgCO_3$ で行なった研究では**図—6** のようになる。すなわち圧力分布と密度分布とは関係がないという重要な結論を提出している。



図—5 Fuller 曲線



図—6 $MgCO_3$ 粉体の圧縮体内の圧力（左）と密度（右）分布

液体のばあいにはパスカルの原理が応用できるわけであるが，粉体の中に液体がどの程度入ってくれば圧力の分布あるいは密度の分布が比較的均一になるかということは現在の所解明されていない。しかし粉体が液体と類似の性質を示すことを利用して振動を与えながらつきかためる方法は実際に古くから用いられている。このばあいは粉体中の粗い粒子が浮力をもち，表面に浮上ってくる（すなわち分離をおこす）ことがあるのでAndreasenの分布を考えておかなければならない。

型内で加圧するばあい，粉体内部の圧力分布を考慮せず底面に伝達される割合だけをみると，内壁との摩擦の他に粉体の安息角が問題になることが明かにされている[4]。すなわち，いま P_2 と P_1 をそれぞれ加圧面における圧力と底面に伝達された圧力とし，粉体が自然堆積するときの安息角の1/2を α，粉体の型内壁との摩擦係数を μ とすると

$$\frac{P_2}{P_1}=e^{-\frac{4H}{D}\cdot tg\alpha\cdot\mu}$$

で示される。このことは加圧力の減少は粒子相互の摩擦や変形には関係せず，主として粉体と型内壁との摩擦抵抗にもとづくことになる。

また，粉体を一定断面積の円壔型に入れて圧縮すると，圧力 P と圧縮体の最後の高さ h_∞ との間には実験的に次の関係があることがわかる。

$$\log P=-l\frac{h}{h_\infty}+C$$

ここに h は型に入れたときの粉体の高さ，C は実験当初の条件や圧力などによってきまる定数で，l は粉体の圧縮について重要な量で変形係数と呼ぶことのできる値である。

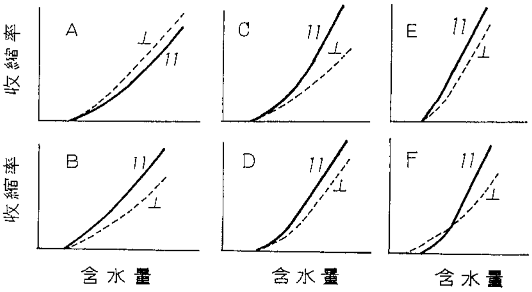
3. 成形体内の粒子の配向性

偏平，あるいは板状の粒子は圧縮すると配向性を示すものである。この現象は圧縮体の物理的性質に方向性を与える。

一例として粘土を試料とし，水を加えて可塑性状態にし，型に圧力を加えて押し込んで成形体をつくり，乾燥途上における収縮率をとると図―7に示すような結果が得られる。

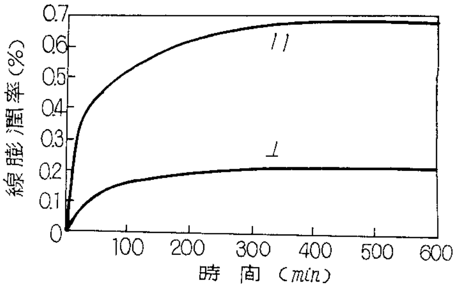
さらに，乾燥試料を水に浸し，膨潤の状態を追跡すると図―8のようになり，成形方向による膨潤の状態が大きく変化することが理解できる。

このような現象は粒子と水との間に形成される水膜と，水膜と自由水との状態に左右される。水膜の厚さ，



図―7 練上の乾燥収縮の方向性

A：朝鮮カオリン（ハロイサイトを主成分とする）
B：香港カオリン（ 〃 ）
C：原蛙目粘土 （カオリサイトを主成分とする）
D：土岐口蛙目粘土（ 〃 ）
E：大畑木節粘土（ 〃 ）
F：赤津木節粘土（ 〃 ）
//：成形方向に平向（ 〃 ）
⊥：成形方向に直角（ 〃 ）



図―8 カオリナイトの膨潤の方向性

およびその摩擦係数と表面張力は粒子に吸着されているイオンの種類に影響される。カオリンをイオン置換し単イオンカオリンをつくと，練土として押出し，乾燥して収縮率を測定すると表―2のようになる。

表―2 イオン飽和カオリンの押出し成形による性質の変化

試料	乾燥収縮率(%)		単位容積中に含まれるカリオンの容積 (%)	乾燥曲げ強度 (kg/cm)
	長さ	直径		
Na—カリオン	4.4	10.2	61.4	44.2
K—カリオン	5.8	7.6	57.8	22.4
Mg—カリオン	6.2	6.2	58.3	16.4
Ca—カリオン	6.2	6.2	58.8	18.8

このばあい単位容積中に含まれるカオリンの容積が1価カチオンと2価カチオンで異なってくるのは水膜の厚さの差が大きな影響を与えるからである。水膜が厚いばあいには摩擦抵抗が小さく，従ってわづかな外力で辷りを生じ最密充てんに落着くからである。この結果として乾燥強度は大きくなる。

4.　堆積局内の水の通過

いま球状の粒子がランダムに並んで，深さ L，面積の A のベッドをつくっており，それに粘度 η の液体を圧力差 P で流したときの容積流出割合を dQ/dT とすると，ベッドの透水率 K は次のように定義される。

$$K=\frac{\eta\frac{dQ}{dT}L}{AP}\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(1)$$

また，ベッドを形成している粒子の比表面を Sp とするとCarmanの実験から

$$Sp^2=\frac{gE^3}{5K(1-E)^2}\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(2)$$

Sp……粒子の単位容積の表面積（cm^2/cm^3）
g……重力の加速度（$980cm/sec^2$）
E……ベッドの気孔率
K……透水率

（1）と（2）とから K を消去すると

$$\frac{gE^3}{5S_p^2(1-E)^2}=\frac{\eta\frac{dQ}{dT}L}{AP}\cdots\cdots\cdots(3)$$

粉体が水中で沈降していくときには泥ショウのきわめてうすい層がつみ重なって層ができてゆき，圧力差は泥ショウから余分の水を既に形成された層を通して圧し出すと考えてよい。

ベッドの容積 V は粒子の容積 $V(1-E)$ と液体の容積 VE との和になる。粒子 $V(1-E)$ を含む泥ショウの容積を X とすると，形成された容積 V のベッドを通って流れる液体の容積は $(X-V)$ となる。このようにベッドを通って流れる液体の容積 dQ に対して $VdQ/(X-V)$ のベッドが形成されていく。

この増加によって生ずるベッドの厚さの増加を dL とすると

$$\frac{VdQ}{X-V}=AdL\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(4)$$

または $y=X/V$ とすると上式は

$$dQ=AdL(y-1)\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(5)$$

y＝粒子（$1-E$）の容積を含む泥ショウの容積

（3）式を dQ で置換えると

$$LdL=\frac{PgE^3}{5S_p^2\eta(y-1)(1-E)^2}DT\cdots(6)$$

時間0におけるベッドの厚さが無限に小さいと考えると（すなわち最初の水の流出に対する抵抗を無視すると）上式を積分して T 時間後のベッドの厚さ L を求めることができる。

すなわち

$$\frac{L^2}{T}=\frac{2PgE^3}{5S_p^2\eta(y-1)(1-E)^2}\cdots\cdots\cdots(7)$$

この式はすなわち泥ショウ中の粒子が圧力を受けて層を形成していくときに，η が一定のときには時間の成層の厚さの2乗とは直線になることを示している。この式は実験によって容易に確認することができる。

いま，多孔体がら成る，たとえば土壌などの吸引力を計算で求めようと試みるならば，（7）式を変形した次式を用いればよい。

$$P=\frac{L^2}{T}\cdot\frac{5S_p^2\eta(y-1)(1-E)^2}{2gE^3}$$

もちろんこのばあいには次の仮定をおくことが必要である。

（a）沈殿層が厚くなっても気孔率は変化しない
（b）粒子が水を吸着しても気孔率は変らない
（c）イオン置換による透水率の変化を無視する

5.　むすび

粉体に関する成書[5)6)]も出版されているが，この小文ではこれらに殆んど盛られていない事項のうち，筆者の研究過程で疑問を生じた種々の問題のごく一部を説明した。なお引用した筆者の実験結果は殆んどが未発表であり，詳しい説明がなければ理解しにくい点もあるが了承して頂きたい。

参考文献

1）W. B. Fuller and S. E. Thompson: Proc. Amer. Soc. Civil Engr., 33, 222 (1907)
2）A. H. M. Audreasen: Kolloid-Z., 50, 217 (1930)
3）D. Train：J. Pharm., London, 8, 745 (1956)
4）C. Ballhausen：Archiv Eisenhiitt., 22, 185 (1951)
5）粉体：丸善，昭37
6）粉体工学ハンドブック：朝倉，昭40

会 務 報 告

（昭和42年4月1日～10月31日）

(1) **幹事会**

42年5月22日（月）東大農学部

〔出席〕 国分，岩田，増島，竹中，土井，中野，多田

1. 会誌16号の編集進捗状況 2. 春季他学会での会誌の販売ならびに会員獲得状況 3. 17号の編集内容について 4. シンポジウムについて 5. 評議員会開催について 6. 新規加入の促進について 7. 規約改正について

(2) **在京評議員会**

42年6月12日（月）東大農学部

〔出席〕 山崎，美園，山中，田原，吉良各評議員
（役員側）八幡，国分，竹中，中野，増島，土井，岩田

1. 会務執行状況 2. 会則の一部改正について 3. 第9回シンポジウム開備について 4. 会誌の内容について

(3) **幹事会**

42年7月3日（月），東大農学部

〔出席〕 八幡，国分，竹中，中野，岩田，増島，福桜，土井

1. シンポジウムのプログラムについて 2. 会誌第17号の編集進捗状況について

(4) **幹事会**

42年9月19日（火）東大農学部

〔出席〕 八幡，国分，竹中，中野，岩田，増島，福桜

1. シンポジウムの準備について 2. 会誌第17号の内容決定

昭和41年度 会計報告

（41年4月1日～42年3月31日）

1. 収入の部

費目	金額	備考
(1) 繰越金	236,094	
(2) 会費	281,260	
(3) 賛助会費	65,000	
(4) 出版物売上	41,300	バックナンバー売上とシンポジウム要旨の売上
(5) 会誌広告	110,000	
(6) 雑収入	39,151	展示料，預金利子，郵送料
(7) 合計	772,805	

2. 支出の部

費目	金額	備考
(1) 通信費	39,372	切手等連絡用郵送費，会誌郵送費，会誌発送アルバイト費，ポスター郵送費
(2) 会誌製作費	366,200	会誌印刷製本費，編集会議費 編集アルバイト費
(3) 謝金	7,000	
(4) 文具費	10,620	
(5) 交通費	5,910	
(6) 会議費並びに討論会費	95,080	会議費 25,750 討論会費 69,330
(7) 雑費	700	
(8) 次年度繰越金	247,923	
(9) 合計	772,805	

編 集 後 記

涼しい秋風と共に17号をお送りします。

従来はシンポジウム開催後の会誌はもちろん開催前の会誌もシンポジウムのテーマを中心に編集されてきたのですが，本号ではそれにとらわれずに編集してみました。そのかわり，シンポジウムの報告者の方々をわずらわして，要旨を掲載させていただきました。

新しい編集方針の確立まではよかったのですが，幹事の不手際や投稿をお願いした方が急に病気になられたりで論文を三つしか掲載出来ず最低の頁数という有難くない記録を作ってしまいました。しかし，それぞれの論文はいずれも特色ある力作なので私達は喜こびを新らたにかみしめています。

（編集幹事 増島，土井，多田，福桜，岩田）

第9回シンポジウムについて

題　目　火山灰土壌の物理性をめぐる諸問題

日　時　11月21日（火）9：30～17：00

場　所　東京大学農学部3号館

プログラム

開会あいさつ	副会長	国分欣一	9.30～9.40
講　演	司会（午前）	石井和夫（農事試）	
火山灰土壌の生成と物理性		松井　健（資源研）	9.40～10.30
火山灰土壌の物理性と生産力		増島　博（農事試）	10.30～11.20
火山灰土壌の水分		岩田進午（農技研）	11.20～12.10
昼食（休憩）			12.10～13.00
総　会	議長	木下　彰（北農試）	13.00～14.00
講　演	司会（午後）	東山　勇（山形大）	
火山灰土壌の耕耘の諸問題		藍　房和（農工大）	14.00～14.50
火山灰土壌の土工の諸問題		安富六郎（東京大）	14.50～15.40
総合討論	司会	石井和夫（農事試）	15.40～16.50
		東山　勇（山形大）	
		多田　敦（農土試）	
閉会あいさつ	会長	八幡敏雄	16.50～17.00

講演要旨

火山灰土壌の生成と物理性

松井　健（資源研）

土壌の生成，分類を目的とするわれわれフィールドマンが，野外で火山灰土壌を同定する場合，第一に着目するのはその特異な物理性である。通常厚い黒色の表層と明褐色の下層からなるこの土壌の断面をみると，表層はきわめて粗しょうで，細かい団粒で構成されており，一見大陸のチェルノジョームやプレイリーの表層と似ているが，下層も多孔質で乾くときわめて軽く，しばしば[illegible]ができやすい。大陸のレスとは色，コンシステンシー，脱水後の復水の難易等で明瞭に区別できる。ところが，土壌調査のさいのこれらの物理性のしらべ方はきわめて大まかな定性的なもので，土壌物理や工学のセンスからはほど遠いものであった。さいきん重粘地グループによってまとめられた労作「北海道北部の土壌」は，この距離をせばめる意欲的な試みとして注目される。

いっぽう，土壌物理や工学の側も，自然体としての土壌の不均一性を正しく把握する面が弱く，均質な力学的素材として扱う側面が強かったことも否定できない。

一口に火山灰土といっても，降灰後数100年ていどのきわめて未熟なものから，一万年以上もたち，同化がすすみ50%以上の粘土をふくむものまであり，これらを一律に扱うわけにはいかない。前者は砂丘や海浜の砂土と大差なく，火山灰土としての特異性を，ほとんどもっていないが，後者は風化生成物としてのアロフェンの構造化学的な特性が，この土壌の大半の性質を左右しているといっても過言ではない。著しい腐植の蓄積，それによ

って累加される著しい保水能，透水性，間ゲキ率，小さな容積重，非可逆的な脱水特性やそれに伴う力学的性質の非可逆的変化，機械分析の場合の特異な分散特性（アルカリで凝固し酸で解膠する）や，強固なミクロアグリゲート（二次粒子）の生成等々……，すべてアロフェンのしわざといえよう。このようなアロフェンができるのは細粒で透水性が大きく，火山ガラスのような易風化鉱物にとんだ火山灰という母材と，温暖湿潤な日本の気候とが決定的な要因になっている。同じ鉱物組成でも固結した安山岩からはアロフェンはできないし，湿潤熱帯のハワイでは珪酸の流亡が著しく，R_2O_3 鉱物が火山灰の主成分となっている。また，もっと年代の古い火山灰土ではアロフェンのハロイサイト化がすすみ，土の諸性質は非火山灰土壌に近くなる。

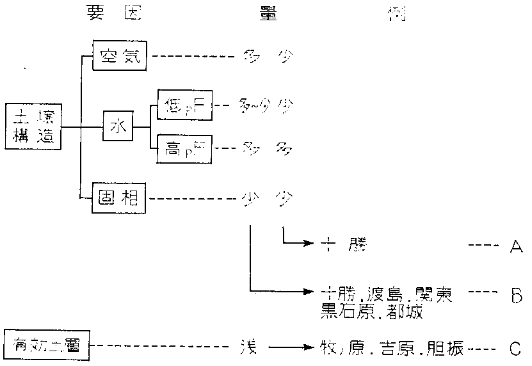
火山灰土の生成と物理性の研究の距離をうめるためには，上述のような相互理解と，さらに一歩をすすめた共同研究が必要である。

火山灰土の物理性と生産力

増島　博（農事試）

わが国の畑面積240万 ha 中，約60%の 140万 ha は火山灰とされている。わが国をおおう火山灰土の性質はけっして一様なものではないが，その物理的性質は多くの共通点をもっている。すなわち，容積重が小さく，孔ゲキ率が大きい。多量の膨潤水を含むが，有効水領域の保水力は必ずしも高くない。土粒子間の結持力は弱く乾燥によってマクロの構造単位は容易にくだける。このような性格は火山灰土の主体をなすアロフェンによってもたらされるが，火山灰土特有の多量の有機物の集積がその傾向を一層助長している。また，冲積期以後火山活動のさかんな地域では，わずかの深さの間に性状の異なる噴質物を不連続にタイ積して有効土層を制限している場合が多い。

これらの火山灰土の物理的性質は，それ自体，あるいは土の化学的性質を通してそこに栽培される作物の生育を規制する。ここでは耕耘作業に関係ある火山灰土の動的挙動をのぞいて，その static な性格が作物生産を規制することについて論議する。



この static な性格を模式的に表わせば上のようになる。このうちのA例は立地条件としては湿地の黒ボクに見られる。また最も生産力への影響が視覚的に顕著なのはC例で南九州のボラ，コラ等特殊土壌として古くから注目された。B例は最も普遍的であるが，その作物への影響はむしろ潜在的である。しかしわが国の主要畑作地帯には主としてB例が見られ問題は大きい。

火山灰土壌の水分について

岩田進午（農技研）

ここでは，火山灰土壌として関東ロームを非火山性土壌として磐田ケ原，高師ケ原洪積土壌を対象にとり，両者の水分に関連する諸性質の比較を中心にして，火山灰土壌の水分的特性を明らかにすることを試みる。

われわれが土壌水分を取り扱おうとするとき，現象的に2つの立場が存在する。一つは土粒子および大気との相互作用のなかで平衡している水，つまり静的な状態の水をとりあつかい，他は動的状態にある水を対象とする。

両者は，自身の内部にそれぞれ独自の法則を有してはいるが，それらが具体的な土壌を通じてあらわれる場合，粒度組成，粘土鉱物の種類，土壌の構造などを通じて，密接な関連をもっている。

火山灰土壌は，固相率が20%前後で極めて小さく，アロフェンを主体とする粘土鉱物によって形成される極めて多孔質の構造を有する。

一方洪積土壌は，固有率が大きく，粘土鉱物としてはカオリンを主とし，massiveな構造を形成している。

これらの諸性質を反映して，火山灰土壌の水分量は，すべてのpFにおいて洪積土壌より大きい値をしめす。とくに，pF4.2以上の水分量およびpF0～2.0の水分量に，この傾向が顕著に認められる。

一方，火山灰土壌でも，洪積土壌でも深さが増加するにつれて，pF0～2.0に対応する間ゲキ量（水分量）は減少するが，その傾向は洪積土壌の心土においてとくに著しい。

両土壌におけるにpF0～2.0対応する間ゲキ量およびその分布の相違は，飽和透水係数および不飽和透水係数の大きさおよび分布に差をもたらし，それを通じて，それぞれの土壌の圃場容水量，排水過程など低張力の水分状態における水分運動の特質に大きく影響する。

また，pF2.0～2.5に対応する間隙量の差は，下層からの水分供給の大小に影響を与える。

火山灰土壌の耕うんの諸問題

藍　　房　　和（農工大）

火山灰土壌における耕うん作業技術上の重要な問題としては，つぎの二つの課題が上げられる。すなわち，一つは耕うん時における犂体への土壌付着の問題であり，他の一つは耕盤形成の問題である。この二つは，いづれも，水田の場合よりも，むしろ技術的には容易であるはずの畑作における耕うん作業の機械化を，いちじるしくさまたげてきたものである。

耕盤形成の問題については，すでに本研究会でも，山田氏や佐藤氏らの詳細な報告（会誌第10号）があるので，ここでは犂体付着の問題に限って述べたい。

1. り体付着の様相

犂体面へ付着する土壌は畑作地帯に広く分布している軽しょう土と呼ばれる土壌で，付着の甚しいところでは犂耕後数mで付着が始まり，犂耕距離の増加とともに付着土は，付着と脱落を繰り返しながらその量を増す。しかし，付着土量には一定の限界があって，限界量を越せば犂耕距離を増してもそれ以上は増えない。付着土量が，その限界量に達したときは，犂体曲面はすでに本来の曲面を失い，サクションはなくなり，切断力も少さくなって，その結果，犂の安定は悪くなり，けん引抵抗は増大し，反転，放てき，溝開きが不良になるなど，作業にいちじるしく支障をきたす。

付着土量は，土壌水分が少なく乾燥しているとき，また土が緊まっているときは少ない。

2, 付着と土壌の物理性

付着性の強い土とそうでないものとの間の特徴が，必

第1表　付着と土壌の物理性

項　　目	付着性からみた特徴
1. 凝集力	火山灰土壌の凝集力は小さいことが知られているがこれは静的条件下における特徴で，動荷重により圧結したような場合は，必ずしも小さくはない。
2. 粘着力	粘着力の大小と付着性の大小とは直接的な関係はみられないが，凝集力と組合せて考えると特徴が出てくる。
3. 圧縮性	付着の大きい土壌は，圧縮による容積変化が大である。
4. 土性	付着性の強い火山灰土壌は壌土から植土の間であるが，その間での土性と付着性の大小とはあまり関係がない。
5. 土壌組織	付着性の強い土壌ほど団粒で構成された多孔のセル組織をもっており，土塊を形成しない。また，この組織は比較的弱い力で破壊されやすい。
6. 団粒の強さ	機械的力に対する強さは，火山灰土壌は他の種の土壌よりは強い。しかし，付着性の強い軽しょう土の団粒は，そうでないものより弱い。
7. 腐植含有量	多いものほど付着性弱く少ないものほど付着が大。
8. 含水量	付着性の強いものほど，最大容水量が大きい。

ずしも明瞭ではないが，付着性に関係深い事項について，その特徴を整理しみると第1表のようである。

3，り体付着の対策

犁体に対する土壌の付着を軽減するため種々の研究が行なわれ，第2表に示すような対策がとられた。土のつかない犁の研究は戦前から続けられ，現在表記のような特徴をもつ犁が軽しょう土用として使われている。しこ

第2表　犁体付着の対策

犁体の改良	土壌の物理性の改良
1. へらを小さくする。 2. 犁先，へらの曲率を小さくする。 3. フォーク型へらの採用。 4. サイションを大きくとる。	1. 土壌改良剤，石灰等の添加

かし，の犁はあくまでも土のつかないことを第一に考えたもので，本来，犁が有すべき性能を犠牲にしており，完全なものとは云えない。

4. 付着研究の今後の方向

最近，合成樹脂を用いた特殊面材の犁が発表され，ほとんど土がつかないことで注目されている。しかし，耐摩耗性に問題があり，犁体材料として最も効果的な材料の選択の意味でも，なぜ土がつくのかという本質的な問題を一層究明しなければならない。

今後の研究の方向としては，土自体については，これまで行れてきた研究に動的条件下における土の挙行の研究を加えること，さらに土と土以外の物質の界面現象を静的，動的条件下において解明することが必要と思われる。

火山灰土の工学上の諸問題

(関東ロームを中心として)

安　富　六　郎（東大農）

I　工学上の諸問題

われわれの研究室ではここ数年，主に関東ロームの物理性をしらべ，これが工学的にどのような問題に直結しているかを検討してきた。ここでは主に関東ロームを地層別に区分し，ねりかえしによる軟化・硬化の物理性をしらべ，工学的な性質と対比させた。

II　関東ロームの物理性

関東ロームは表層からいわゆる立川層，武蔵野層，多摩層に分類される。立川層は主にアロフェンから成立つ。武蔵野層はアロフェンが結晶化し，構造が発達した加水ハロイサイトからなる。多摩層はさらに加水ハロイサイトの脱水化の進んだものといわれている。これらの層の物理性の異りはアフターベルク限界，仮比重，沈降体積などの測定から知ることができる。

III　関東ロームの力学的挙動

関東ロームの生土は自然状態で多量な水を含むが，風にさせると，水分保持力が著しく低下する。ねりかえしによる水分保持力変化も大きい。

関東ロームは多量の水と和水したアロフェンとさらにこれを骨格とする「はちのす構造」をもつ。この構造は多量の拘束水をもちうるが，風乾やねりかえしで親水的な骨格構造は変化し，疎水的になる。

IV　関東ロームの工学的性質

関東ロームの風乾土と生土は工学的に大きな差がある。これらはクリープ試験や圧縮強度試験などから容易にとらえられる。

風乾土ではねりかえしによる硬化現象（ダイラタンシを含む）を示し，また生土では逆に軟化現象（チクソトロピ）を含む示す。水分保持力の変化もこれらの挙動変化に対応する。

神奈川県生田の関東ロームでは大型機械による均平作業で，ブルドーザのスリップ，沈下，施工機械への土の付着などによって通常予定される能率の半分程度であったといわれている。

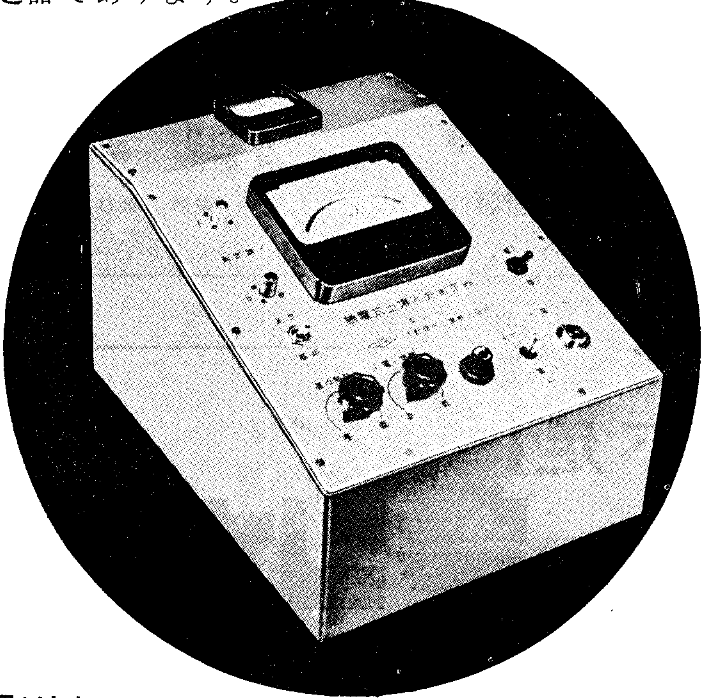
火山灰土とくに関東ロームの物理性も従来の物理性の外にねりかえしによる工学的性質も同時にとらえることが農地工学の立場から強調される。

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充分に保証されている。

DIK

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) 2191 (代表)

自記マノメーター

硝子ゲーヂ管の水柱又は水銀柱の高さを
自動的に自記します。

主要製品

土壌溶液採取装置(リチャード型)
精密自記蒸発計
簡易自記水位計
自記蒸発散位計
森式風向風速自画器
農業用微気象測定器各種
其の他各種測定器設計製作

主な納入先

農業技術研究所・東海近畿農業試験場
関東東山農業試験場・九州農業試験場
各地農業試験場・各大学農学部

東京都世田ヶ谷区玉川用賀町1－22
合資会社 ウイジン工業社
代表社員 技術士 森 武保
電話 (701)0531

堆肥不足に

テンポロン®

タバコ・蔬菜の苗床の土作りに
果樹園の土壌を若返らせ、樹勢を快復させる地力の素

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お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）

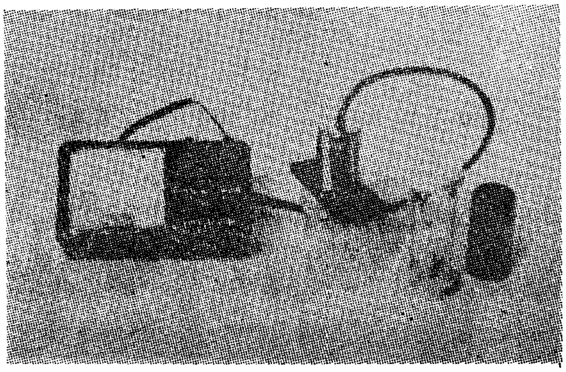
発売元 **三菱商事株式会社**
本社／東京・丸の内 電(211)0211(代表)

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（252）4304

理研式酸度計

PHメーター

農産加工用、醸造用、
土壌調査用、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

東京都台東区東上野4の14の9
電話 (844) 4307・4925

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）

アヅミン
（ニトロフミン酸苦土珪酸塩）
東化工株式会社
東京都中央区日本橋小網町2－14（洋糖ビル）

フミゾール
（ニトロフミン酸アンモニウム塩）
北海道炭礦汽船株式会社
東京都中央区日本橋室町2－1（三井三号館）

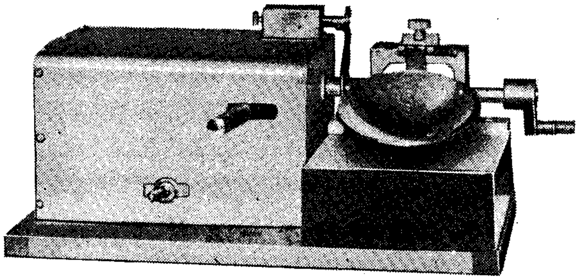
エスコン
（ニトロフミン酸アンモニウム塩）
日本水素工業株式会社
東京都千代田区有楽町1－10（三信ビル）

テルナイトアンモン
（ニトロフミン酸アンモニウム塩）
帝石テルナイト工業株式会社
東京都千代田区平河町1－2（中政連ビル）

丸東の土壌物理試験器

電動式液性限界測定装置　S02B

本器はＪＩＳ A1205に準拠する液性限界試験を電動によって行なえるようにした装置です。人為的な落下速度の変動などの誤差を除去し、機械的な正確さで簡単に試験が行なえます。電動クラッチを切れば普通の手動装置としても使用できます。



営業品目
土質試験機
コンクリート・アスファルト試験機
万能圧縮材料試験機

株式会社 丸東製作所
本　社／東京都江東区深川白河町2の7　TEL 東京(642)5121(代表)
京都出張所／京都市中京区壬生西土居の内町3の1　TEL 京都(84)7992
北海道出張所／札幌市南十条西十三丁目970　TEL 札幌(23)-0409

定評ある *marusan* の研究用 遠心分離機

55R
土壌水分測定用遠心分離機

土壌水分測定用遠心分離機

55　R（PF値 3.3以上）　回転数：16,500R.P.M
遠心力：26,400×G

90AR（PF値 3.3以下）　回転数：4,000R.P.M
遠心力：2,600×G

特長
- 操作簡単
- モーターは弊社特製にて耐久力大
- 正確なＰＦ値の測定

株式会社 佐久間製作所
本社・工場　東京都大田区南六郷3の16番地　電話（731）1257・3170（732）0847
神田出張所　東京都千代田区神田多町１の９番地　電話（251）４９１７・６０５９
大阪アフターサービス出張所　大阪市北区絹笠町13-2　神光ビル一階　電話（361）７７６３

土壌の物理性　　第17号
（会 員 配 布）
１９６７年１０月２５日 発行
発 行 土 壌 物 理 研 究 会
東京都文京区弥生１の１の１
東京大学農学部農業地水学研究室内
電話東京（812） 2111 内線 4590
振替口座 東京 １７，７９４