

Soil Physical Conditions and Plant Growth, Japan

土 壌 の 物 理 性

第 25 号

昭和46年 9 月

卷 頭 言.....	横 井 肇.....	1
車輪の接地面における圧力分布.....	穂 波 信 雄.....	3
トラクタのけん引性能と土の力学性.....	田 中 孝.....	7
「モデルプレートによるスリップ沈下の研究」について.....	小 中 俊 雄.....	17
水稲不耕起直まき栽培と土壤物理性について.....	大 森 正.....	19
傾斜草地の土壤の物理性について.....	加甲 艶照, 豊田広三.....	24
水田土壤の構造.....	斉 藤 万之助.....	28
「新期火山性成層土における水分移動に関する研究」における土壤物理的内容.....	中 野 政 詩.....	33
ジャワ島の土壤の物理性とくに硬盤について.....	古 川 久 雄.....	37
土 粒 子.....	藤 沼 善 亮.....	47
会 務 報 告.....		49

第13回シンポジウム開催のお知らせ

(テーマ) 施設栽培における土壌物理性に関する諸問題

(日 時) 11月18日 (木) 9.30~17.00

(場 所) 農林省農業技術研究所講堂 (東京都北区西ヶ原2丁目1番地)

(講 演)	施設栽培における灌水点	中島田 誠 (東海近畿農試)
	そさい栽培土壌の適地判定と土壌水分管理	河 森 武 (静岡農試)
	温床々土の物理性と果菜類の生育	高 橋 和 彦 (東大農)
	施設栽培における土壌空気について	梅 林 正 直 (三重大農)
	ハウス内の温度環境と CO ₂ 環境	内 島 善兵衛 (農技研)

巻 頭 言

一 土 壤 研 究 者 の 感 想

横 井 肇

ある研究対象の分野が学として成立するためには、一般論として、その対象が他と区別され、同時に研究方法にユニークな方法論があるということが条件であろう。少なくともどちらか一つは不可欠である。この意味から土壌学が一つの学として成立しているということには、個人的見解の多少の差異はあっても、とりたてて異論はないと思われる。

L. D. BAVER の著書 Soil Physics を直訳すれば「土壌物理学」であり、一見、1940年には学として成立していたように思われるが、著者自身初版の緒言に「土壌物理学は土壌学の一つのフェーズである」と述べており、必ずしも土壌物理学の独立を明言していない。

最近本誌22号の巻頭言で須藤氏は「土壌物理学の成立へ」と題して、きわめてプラクティカルな見解を示され、恐らく多くの読者、筆者もその一人であるが、が共感を覚えられたことと思う。しかしその中でもなお学として独立したとは結論されていない。

土壌学はペドロロジーとエダホロジーとの結合によって確立したと思われるが、ここで塩入松三郎先生の土壌観、いわゆる塩入土壌学、から考えてみたい。すなわち、土壌とは地表の風化生産物が生物の影響を受け土壌化したものであり、一定の法則性に従って進展する自然物である。その平衡を支配し、物質変化を統御するのは常に対立する二因子であり、もし統御因子の交替が起これば、土壌は質的に変化する。この質的变化を捉えることが土壌進展の法則性を解明することである。このような立場からみると、土壌の物理性も土壌学の一側面にすぎないように考えられる。しかし土壌の物理性については、質的な変化とそれを統御する因子についてほとんど明らかにされていない。したがってこのような立場からも、土壌の物理性については研究すべき問題が山積しており、それらの解明は生産増強、生産性向上などに直接結びつくと同時に、最近とくに問題となっている自然環境の問題には非常に重要な役割を果たすにちがいない。

一方、実際の研究には、土壌学の考え方と土質工学の考え方が混然として一体化しつつあり、少なくとも研究方法については新しい方法論が誕生したように感じられる。新しい学問の誕生と発展にはそれを裏づける勇敢な議論が必要であり、土壌物理研究会はその場として誠にふさわしく、本誌の果すべき大きな役割の一つがそこにあると思われる。

本会も編集委員会が組織されて、筆者がお世話するよう推薦され、そんなわけで巻頭言をお引きうけしたものの、浅学非才の身にそれらしい構想の浮ぶはずもなく、締切りに迫られ、日頃の感想をとりとめもなく述べた次第です。きびしい御批判を頂ければ幸いです。

車輪の接地面における圧力分布

穂波 信雄*

1. はじめに

土壌面上を走行する車輪の走行機構は土と車輪の接地面における力の相互作用に関する問題であるから、接地圧の分布状態を知ることが重要になる。ところで、この分野における研究では、すでに解析的手法を試みたいいわゆる Bekker 理論¹⁾があり、また接地圧分布を測定した実験的研究の結果も数多く報告されている^{2),3),4)}。しかし、前者についてみれば、実測された接地圧分布なども考慮して、理論の修正と展開が引き続き試みられてきたが、その理論的基礎において、矩形板による土の「圧力—沈下特性」を、すべりの伴ったころがり運動をしている車輪の接地面モデルと関連させた点に基本的な不合理がみられ、また実測を中心とした研究においても、さまざまな実験条件における測定結果がみられるにもかかわらず、土と車輪との間の力学的状態をあらわす適切な方法は明確になっていない。

ここでは、乾燥砂と剛体車輪を使って、土—車輪系のモデルとし、走行機構を構成している問題のなかから、接地圧分布に関連した2, 3の問題を取り上げて考察を試みる。

2. 接地圧分布

車輪の接地圧分布はその測定技術の面からみれば、接地面に対して法線方向と接線方向の2つに分けて考えるのが適当であろう。実測された例からみられる接地圧分布はそれぞれ測定法やその条件が異なり、必ずしも一様ではないが、筆者が測定した1例を上げると図—1のような結果が得られた⁵⁾。ここで、法線圧力 P と接線圧力 S はリム面に設けた受圧面に対して、それぞれの方向に作用している土壌反力をその受圧面積で除して平均圧力としてあらわしたものである。

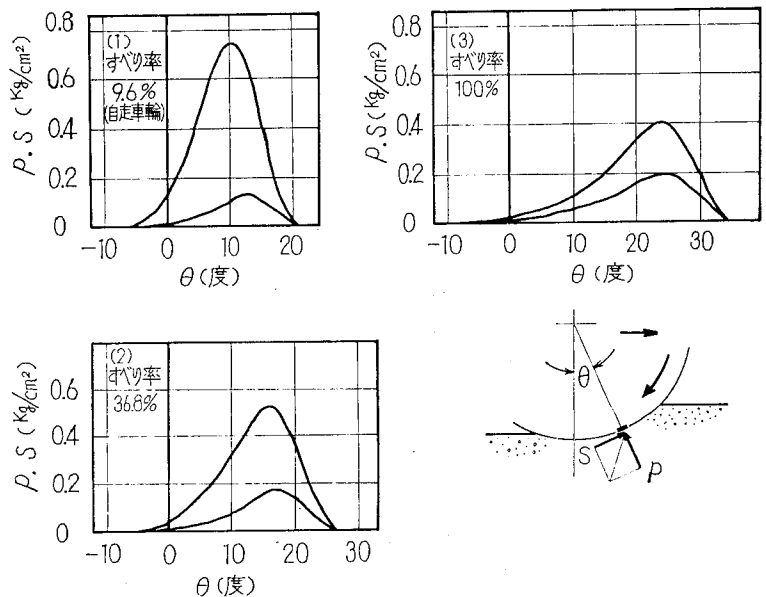
一般に接線成分は法線成分とともに

に変化するものと考えられ、この二つの成分の間の極限状態は摩擦条件によって規制されるものとみなされる。

したがって、法線成分は接地圧分布における第1次的成分であり、接線成分はその第2次的成分とみることができであろう。

1. 法線成分 P について

土壌条件を乾燥砂として摩擦性土壌に限定して考えるならば、法線圧力の分布状態は車輪の大きさ(直径と幅)、車輪荷重、すべり率などによって変化すると考えられるが⁵⁾、自走車輪(けん引負荷を伴わない駆動輪)を基準としてみると、分布の一般的な形は中央にピークを示す対称的な山形をなしている。車輪の大きさと荷重は沈下量を規制して、接地面積を変化させるので、接地圧分布における幅(接触角度)およびピークの絶対値を増減させるが、分布の基本的な形には変化がみられない。すべり率の増加はすべりによる沈下を促し、接地圧分布は荷重による作用と同様の影響を受けるが、基本的に異なる点はピークの相対的な位置が変化することである。したがって、各走行条件に対して分布の基本的な



図—1 接地圧分布の例

車輪：鉄車輪(22×2.5in) 荷重：22kg 土壌条件…乾燥砂

* 大阪府立大学農学部 1971.6.1 受理

形を決定している支配的要因はピークの相対的な位置の変化をもたらすすべり率として与えられるであろう。いずれにせよ、すべり率とは無関係に、ピークがつねに車軸の鉛直下に予想される「圧力-沈下特性」すなわち Stress-strain 関係に支配される力学的状態とは異なっていることが明らかである。

2. 接線成分 S について

接線成分 S は先にも触れたように、法線成分の 2 次的成分であり、さらにその極限状態は乾燥砂と車輪との間の摩擦条件に規制されると考えられるから、分布の基本的な形はほぼ法線成分の形に従うとみてよい。しかし、両成分におけるピークの相対的な位置はすべり率によって異なっている (図-1)。すべり率が小さい段階においては両者の位置関係が明らかに異なっているのに対して、すべり率の増加に伴ってその差は減少し、すべり率 100% ではほぼ完全に一致する。ところで、すべり率の変化に伴う接地面上の効果は、結局各接地面要素における運動状態、すなわち運動方向と速度の変化としてあたえられると考えられるから、すべり率の変化に対応した両者の関係は接地面の運動状態の変化に対応し、その極限状態が摩擦条件に規制されるとみることができよう。

すべり率 100% についてみれば、接地面の状態はすべり摩擦の状態とみなされるので、接地面全体が極限状態となり、したがって、両者の比 (s/p) は一定となり、ピークの位置が一致する (図-3)。一方、すべり率の影響が少ない自走車輪では、接地面における運動状態すなわち、幾何学的条件が主として両者の関係を支配していると考えられるが、図-2 において (s/p) が $\tan \theta$ に近いところにみられることは興味深い。

3. 接地面の摩擦

車輪の基本的性能がけん引性能によって評価され、そ

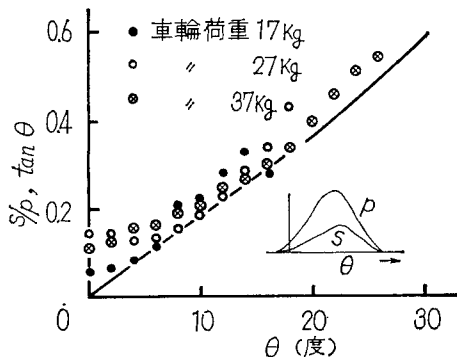


図-2 接地面における s/p の変化 (自走車輪)
車輪: 20 x 3 in 土壌条件: 乾燥砂

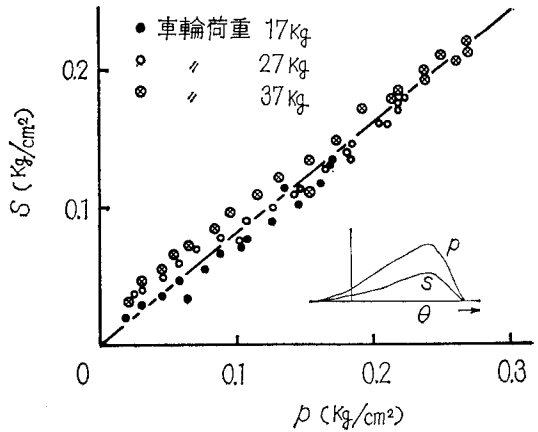


図-3 P と S の関係 (すべり率 100%)

のけん引性能が接地面の摩擦条件によって規制されるとするならば、土と接しているリム面上の各要素面がけん引性能に対して果たす機能について、そこに作用している接地圧の両成分がもっている摩擦条件から考えることが重要であろう。

ところで、この二つの成分の間には一般に次のような関係がなりたつ。

$$h = s \cos \theta - p \sin \theta = p \cos \theta (k - \tan \theta) \quad (1)$$

$$v = s \sin \theta + p \cos \theta = p \cos \theta (k \tan \theta + 1) \quad (2)$$

$$t = r \cdot s \quad (3)$$

ここで、 h 、 v 、 t は要素面上の水平、垂直、トルクに関する各成分、 r は車輪半径、 $k = s/p$

上式において、 k を要素面における摩擦条件に関する変数と考えて、けん引性能に対して要素面上の接地圧成分が与える効果をまとめてみると表-1 に示す結果となる。

上の表から明らかごとく、けん引性能に対して有効な p と s の関係は $k > \tan \theta$ の条件でなければならない。

表-1

	$K > 0$	$K = 0$	$0 < K < \tan \theta$	$k = \tan \theta$	$\tan \theta < k < K$
h	-	-	-	0	+
v	+	+	+	+	+
t	-	0	+	+	+

h : 正はけん引負荷に有効、負は走行抵抗の圧加

v : 正は車輪荷重の支持力成分

t : 正は駆動状態、負は制動状態

K : k の最大値、つまり接地面上における見かけの摩

摩擦係数

$k = \tan \theta$ の場合はけん引性能に有効な成分は存在せず、単に車輪荷重を支持する成分 v と、その成分が車輪に対して前方に作用しているために生じるころがり抵抗モーメント（走行抵抗に相当する）となる成分 t が存在することを意味する。図-2 において、自走車輪のようなすべり率が小さい場合—けん引荷が作用していない— s/p が $\tan \theta$ に近い関係にあるとして示される事実はこのような状態に対応しているものとみなされる。ただし、すべり率 = 0 の場合は $0 < k \tan \theta$ の領域に関する部分で、この問題は別の機会に取り上げる。いずれにしても、 $k \leq \tan \theta$ ではけん引性能に有効な成分は存在せず、単に走行抵抗の増加分が残るのみである。以上の結果から、接地面がけん引性能に有効に機能する条件は図-4 の斜線部分として示される。

4. 接地面下の土の挙動

前項では、接地圧の2つの成分の相対的關係から、車輪の走行性に対する接地圧成分の定性的な面について触れたが、接地圧、とくにその第1次的成分である法線成分 p の分布に関する定量的関係については何ら明らかになっていない。この問題に関して行なわれた1つの試みは、Jo-Yung Wong と A. R. Reece⁶⁾ が接地面下の土の挙動に注目したことである。図-5 に示されるような観測結果に対して、接地面下の土の挙動を塑性流動をずる領域とみなし、点Aによって示される transition point が法線成分 p のピークに対応すると判断した。塑性学の立場からみた厳密な解釈は別として、接地圧分布の測定結果とこの transition point の観察結果は、車輪の各走行条件（すべり率の変化）において現象的にはよく

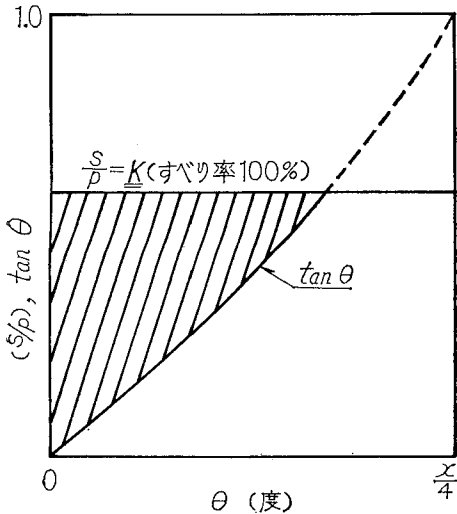


図-4

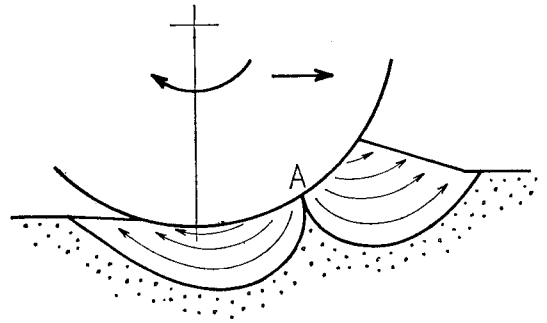


図-5 接地面下の土の挙動モデル

対応しているようであり、分布特性を明らかにするための重要な手がかりとなしう⁷⁾。

一方、E. J. Windisch と R. N. Yong⁷⁾ は同様に塑性流動とみなして、その領域の歪み速度分布の計算を試み、その結果から塑性すべり線場の問題として解析することが有効であると指摘している。筆者はこのような土の挙動に対して、よう壁問題のすべり線場モデルを仮定し、境界条件には実測結果から得られた接地圧分布を代入して、Sokolovskyの方法に従ったすべり線の計算を試みた⁸⁾。その結果では、モデルの設定や境界条件の与え方などに若干の問題はあるが、比較的単純な挙動を示すすべり率100%や固定車輪の場合など部分的にはかなりよく一致することが確かめられた。したがって、接地面下の土の挙動が土と車輪との間における力学的相互作用の総合された結果として与えられる現象であるとみなせば、その土の挙動に力学的な解釈を加えることが、接地圧分布の問題はもちろんのこと、さらに進んで走行機構それ自身の解析において有効であろうと判断される。このためには、接地面下の土の挙動に対して、その力学的状態をあらわす適切なモデル（例えば、よう壁問題のすべり線場のごとく）の設定とそのモデルに対する境界条件、とくにすべりを伴ったころがり運動をしている車輪の特殊な条件を考慮して、が走行条件との関連において塑性学の立場から吟味されることが望まれる。

5. むすび

乾燥砂のような摩擦性土壌を例として考えると、車輪の接地面における力の相互作用はすべり率の変化、すなわち接地面要素の幾何学的条件を与える運動状態と摩擦条件に規制されている点に特徴的な関係が認められる。車輪の走行機構はこれらの関係を基礎として、接地圧の第1次的成分である法線成分を定量的に把握することによって明らかにできるであろう。このためには接地面下の土の挙動に対する力学的状態モデルが明確にされるこ

とがまず第1に必要な。塑性流動におけるすべり線場の問題は比較的適応性があると考えられる一つの方法ではあるが、動的条件に対応したモデルとその境界条件の設定は必ずしも容易ではない。したがって、ころがり運動をしている車輪の下の特異な状態を考慮して、土の挙動に対する力学的状態モデルが塑性学の立場から検討される必要がある。

引用文献

- 1) M. G. Bekker : Theory of Land Locomotion., The University of Michigan Press (1962)
- 2) O. Onafeko and A. R. Reece : Soil Stresses and Deformations beneath Rigid Wheels., Journal of Terramechanics. (1967) Vol. 4 No. 1
- 3) E. T. Vincent : Pressure Distribution and Flow of Sand Past a Rigid Wheel., 1st International Conference on the Mechanics of Soil-Vehicle Systems. Preliminary Copy No. 46, 1961
- 4) F. L. Uffelmann : The Performance of Cylindrical Wheels on Clay Soil. Fighting Vehicles Research and Development Establishment, England. (1961)
- 5) 穂波, 土屋 : 車両系の力学的体系 (第1報), 農機誌30.2 (1968)
- 6) Jo-Yung Wong and A. R. Reece : Prediction of Rigid Wheel Stresses. (Part I, II).. Journal of Terramechanics Vol. 4 No. 1, No. 2 (1967)
- 7) E. J. Windisch and R. N. Yong : The Determination of Soil Strain-Rate Behaviour Beneath a Moving Wheel
- 8) 穂波 : 土一車両系の力学的体系 (第5報) 農機学会 (第40回) 講演要旨 (1971)

解説

トラクタのけん引性能と土の力学性

田 中 孝*

1. まえがき

トラクタのけん引性能に関する研究は非常に古くから行なわれ、多くの報告がある。しかし、トラクタのけん引性能の最終的な決定要因とも考えられるべき地表あるいは土壌条件との関係についてはほとんど研究されていない。土のもつ性質の複雑さ、不均一性、幅の大きい変化性などによるものであらうと考えられる。これはトラクタのけん引性能という問題だけに限らず、耕うん機械あるいは建設機械など土を対象とする機械すべてについて言えることである。

土木工学の分野においてはかなり古くから土を力学的な対象として取り扱ってきたが、この分野における土は機械と土との関係とちがってかなり大きな mass として取り扱われることが多く、土壌構造全体の動きとでもいえるような大きい範囲における非常に変化速度のおそい静荷重下での問題であり、時には土を弾性体と見なし得る場合があるが、機械の場合、そのようなことは考えられず、地表のごく浅い層における動的で早い作用速度による変形の大きい問題である。このようなちがいが、土木工学で発展してきた力学的概念を機械と土との関係に導入し得なかった大きな理由の一つと考えられる。もちろん、機械と土の間における作用や力の関係がはっきりしなかったことも大きな理由であるが、このような機械と土との関係についての研究が体系的に始められたのはごく最近であり、Soil Dynamics ともいわれ、また車両に関する分野では Terramechanics ともいわれている。

2. トラクタのけん引性能と土壌条件

トラクタのけん引性能はその重量、走行装置、タイヤ空気圧などのトラクタの構造や形状と同時に地表の状況によって大きく影響される。けん引力は一般に、トラクタの走行部が土に働きかけた力の反作用である前進力 H とそれを妨げようとするところがり抵抗 R の差として得られ、普通すべり率との関係で示される。

図-1³⁾ は一般的なけん引力-すべり率曲線で、けん引抵抗を増加するにしたがってすべり率は大きくなり、

最終的には前進不能になる。けん引力は図のようにトラクタ重量に影響されるため、単位重量当りのけん引力をもってけん引係数を用いるが、図-2²⁾ はけん引係数で

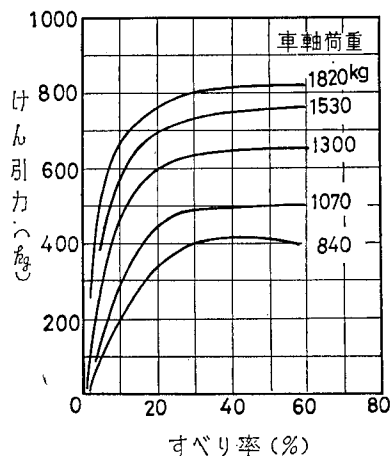


図-1 けん引力とすべり率の関係

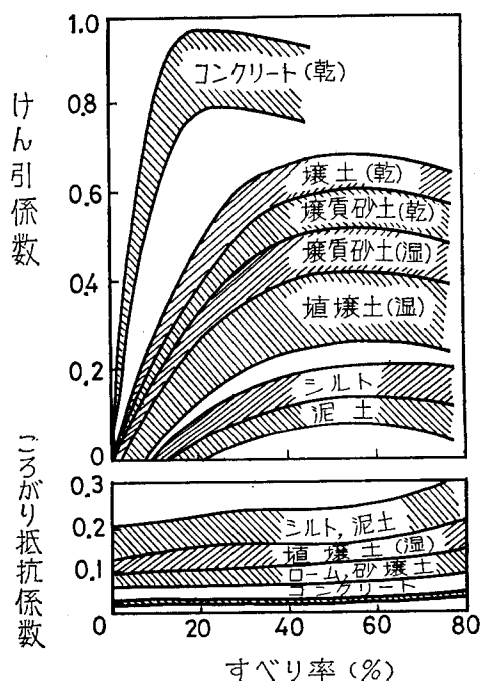


図-2 種々の土壌におけるけん引係数とところがり抵抗係数

* 鳥取大学農学部 1971.5.31 受理

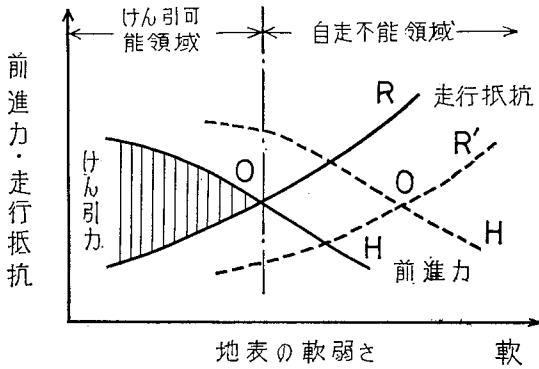


図-3 地表の軟弱さと前進力、走行抵抗の関係

示した土壌条件との関係である。最大値はコンクリート上で1.0に近い値が得られているが、水分が多くなり軟弱になるとけん引係数は小さくなり、一層軟弱な地表では自走さえ困難な状態になる。

このけん引力、走行抵抗、地表の軟弱さなどの関係を示すと図-3⁴⁾のようになる。すなわち、地表の軟弱さが増加するにしたがって一般に前進力は低下し、反対にころがり抵抗（走行抵抗）は増加する。図のO点より左の前進力と走行抵抗の差がけん引力となるが、両者の等しいO点は自走可能の限界で、それより右の領域では自走できない。無限軌道のようなものではこの限界がO'のようにさらに右へ移る。

この軟弱さという表現で示された地表の状況は図-2における土壌の種類と同じように非常に概念的なもので、このままの形では走行抵抗とかけん引力などを数量的に関係づけることはできない。ごく最近まで、このような表わし方だけが機械に対する土の性質の表示法であった。しかし、機械の性能、とくに土の状況によってそれが大きく影響を受ける場合、土の強さあるいは抵抗を何らかの形で数量的に表現する必要が生ずる。

Nichols¹⁾は土の性質を一次的なものとして二次的なものに分け、一次的なものに粒径、水分、比重、組成などの物理的要因をあげ、二次的な動的性質としてせん断性、圧縮性、付着力、凝集力などの力学的要因をあげている。機械との関係においては一次的な要因よりもむしろ力学的な動的要因が直接大きな相関をもつものと考えられる。Bekker⁵⁾はこれらの力学的要因のいくつかに土の特性を表わす係数を導入して数式化し、それらを用いて車両のけん引力、前進力、走行抵抗などの性能を関係づけた。すなわち、車両の土に対する作用を単純化した小さなModelを用いて荷重—変形曲線を得、それから土のもつ特性を係数として取り出し車両性能の式に導入したのである。

たとえば、前進力は走行装置が土をせん断することに

よって得られた土の反力であるとし、できるだけ車両のせん断作用に似た作用をもつ小さなせん断試験器を用いて応力—ひずみ曲線を得る。その応力—ひずみ曲線の形状から一連の係数を得て土の力学的特性とし、けん引力と土との関係を考察しようとするものである。同様な考え方によるいくつかの報告があるが、次に、土の強さ（力学的な特性）がどのような形で性能と関係づけられているかについてとりまとめた。

3. 変形係数 k_c, k_p, n ところがり抵抗

トラクタの走行抵抗のうちの大部分をしめるころがり抵抗は土を圧縮、排除するため、あるいは障害物をのりこえる際の抵抗などによるものであるが、Bernstein⁶⁾は車両のころがり抵抗は土中に“わだち”を作るためになされる仕事によるものであると考え、

$$Rl = bl \int_0^{z_0} p dz \quad (1)$$

R : ころがり抵抗, l : 前進距離

b : 車輪幅, p : 圧力, z : 沈下量

とし、小さな板を用いて圧縮試験を行ない、それから得られた荷重と沈下量の関係 $p = kz^{0.5}$ を用いてころがり抵抗を次のように表わした。

$$R = \frac{0.87}{\sqrt{bk}} \frac{W^{3/2}}{D^{3/4}} \quad (2)$$

k : 係数, W : 車輪荷重, D : 直径

その後、Goriatchkin⁷⁾ などによって荷重と沈下量の関係は次のように一般的な形に書きかえられた。すなわち、

$$p = kz^n \quad (3)$$

k : 変形係数, n : 変形指数

この関係は図-4のように、両対数グラフで直線関係になり、 k は p 軸の截片の長さ、 n は直線のこう配で示さ

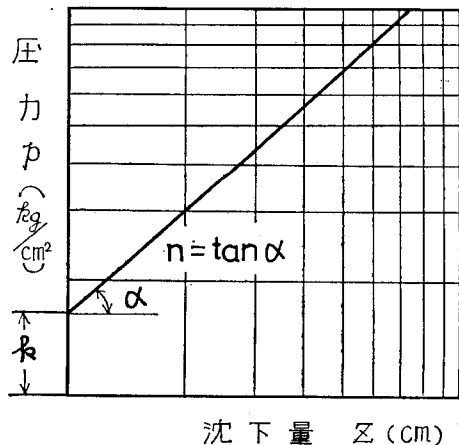


図-4 圧力—沈下量の関係

れる。 n は載荷板に無関係な土の性質による指数で、軟弱な土では $n < 1$ 、かたい土では $n > 1$ である。しかし、 k は載荷板の面積に影響を受けるため、土の特性を表わすものとするため、Bekker⁸⁾は k_c 、 k_ϕ の2個の係数を用いて次のような形で表わした。

$$p = \left(\frac{k_c}{b} + k_\phi \right) z^n \quad (4)$$

よく知られているように、 k_c 、 k_ϕ および n は soil Values (土質常数) と名付けられ、圧縮作用をうけたときの土の強さを示す値として種々の車両性能を示す式の中に導入された。

たとえば、次の式は Bekker によって導かれた剛性被けん引車輪のころがり抵抗で、(1)式と同じく土の圧縮抵抗がころがり抵抗であると考えて k_c 、 k_ϕ および n を用いて、車輪の直径 D および荷重 W の関数として示されている⁵⁾。

$$R = \frac{(3W)^{2n+2}}{(3-n)^{2n+1} (n+1) (k_c + bk_\phi)^{2n+1} D^{2n+1}} \quad (5)$$

また、変形の大きい空気タイヤでは⁵⁾

$$R = \frac{[b(p_i + p_c')]^{n+1}}{(k_c + bk_\phi)^n (n+1)} + \frac{Wu}{p_i^a} \quad (6)$$

p_i : 空気圧、 p_c' : タイヤ剛性による圧力、
 u, a : 係数

で示した。第1項が土の変形、第2項はタイヤの変形に必要な抵抗である。

また、Wills⁹⁾は k のみでなく n も載荷板の影響を受けることを指摘し、帯状フーチングに対する Meyerhof¹⁰⁾の支持力に関する考え方を用い、 n を z/b の指数として次の式を提案し、実際の関係を一層よく表わすことができると述べている。

$$p = \left\{ ck_c' + \frac{\gamma b}{2} k_\phi' \right\} \left(\frac{z}{b} \right)^n = k' \left(\frac{z}{b} \right)^n \quad (7)$$

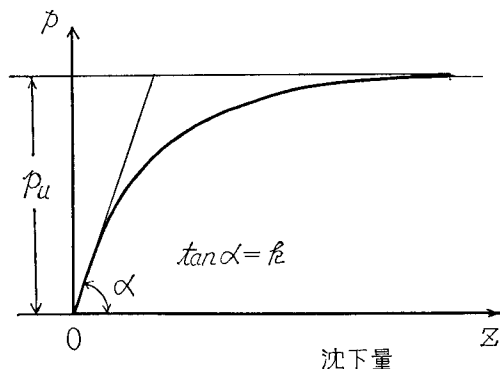
c : 粘着力、 γ : 比重量

また、Evans¹¹⁾は粘着性の上に対して荷重—沈下量の関係が次のような指数関数関係にあるとした。この場合の土の強さは極限破壊強さ p_u と係数 k で示される。

$$p = p_u (1 - e^{-kz/b}) \quad (8)$$

Reece¹²⁾は p と z との関係に直線関係が得られない場合が多いため、訂正項として p_0 を加えた。すなわち、

$$p = p_0 + \left(\frac{k_c}{b} + k_\phi \right) z^n \quad (9)$$



図—5 Kacigin の式における P_u と k

Kacigin や Guskov¹³⁾は同じくこれらの関係を双曲線関数を用いて表わす方法を提案した。すなわち、

$$p = p_u \tanh \frac{k}{p_u} z \quad (10)$$

p_u は極限破壊強さ、 k は図—5のように原点における接線の角度から求められる。これらの p_u および k を用いて無限軌道による土の圧縮のための抵抗 R を計算し、次のような式で表わした。すなわち、

$$R = \frac{2bp_u}{K_1} \left[\gamma_\delta' \ln \cosh \frac{qf}{p_u \gamma_\delta'} + \ln \cosh \left(\frac{q_e - q_f}{p_u} \right) \right] \quad (11)$$

K_1 : 土の変形係数、 γ_δ' : すべり係数

qf : 無限軌道前部の接地圧、 q_e : 後部接地圧

また、Janosi¹⁴⁾は垂直方向のみの圧縮でなく、水平方向も同時に考えて、被けん引車輪のころがり抵抗を

$$R = (k_c + bk_\phi) \left\{ [z_0^{n+1}/(n+1)] [1 - 2z_0(n+2)/D] + \int_{D/2-z}^{D/2} \frac{z^{n-1} [1 - (D+2z_0)/2z]^n [(D/2)^2 - z^2]^{1/2} dz}{z} \right\} \quad (12)$$

で示した。 $\{ \}$ の中の第1項は垂直方向の、第2項は水平方向に対する圧縮抵抗である。

Pope¹⁵⁾は圧力と沈下の関係が速度の影響を受け、速度の m 乗に比例するとして p と z との関係を

$$p = \left[(ck_c + \gamma bk_\phi) \left(\frac{z}{b} \right)^n \right] \left[\frac{V}{ru_0} \left\{ r^2 - (r + z - z_0)^2 \right\}^{1/2} \right]^m \quad (13)$$

とおき、ころがり抵抗を

$$R = \frac{1}{(n+1)(bK_2) \left[\frac{1}{(2^{n+1} + m)} \right]} \left[\frac{3W}{(3-n)\sqrt{D}} \right]^{2n+2+m} \quad (14)$$

ただし

$$K_2 = \left(\frac{ck_c + rbbk_g}{b^n} \right) \left(D^{m/2} u_0^m \right)$$

V: 前進速度, u_0 : 沈下速度, r: 車輪半径

このほか類似した式が二、三発表されている¹⁶⁾¹⁷⁾が、いずれもその考え方の基礎となっているものは、車輪、無限軌道などによる圧縮作用を Simulate した小さな板によって圧力—沈下曲線を得、それから k_c , k_g , k あるいは n などの変形係数を求めて土の強さとか力学的な性状を表示し、それをを用いてころがり抵抗を求めようとしている点である。

このような小さな板の圧力—沈下量曲線から係数を求めるには、前述の式に示されたような関係曲線がなめらかな曲線とか直線で示されることが前提である。しかし、実際には土が層をなしていたり、かたさに変化があるなど不均一なために smooth な関係が得られない。比較的均一な場合でさえ、これらの係数を求めにくいことが多い。

また、車輪の下の土はすべて垂直下向きに、あるいは車輪面に垂直に圧縮され、その圧縮抵抗は小さな平板が垂直に沈下した場合の抵抗に等しいと考えているため、沈下量が大きくなったり、車輪が小さいときなど、わん曲の割合が大きくなる精度が低下する。その上ころがり抵抗が土の圧縮抵抗だけでない場合が多いため問題が残る。

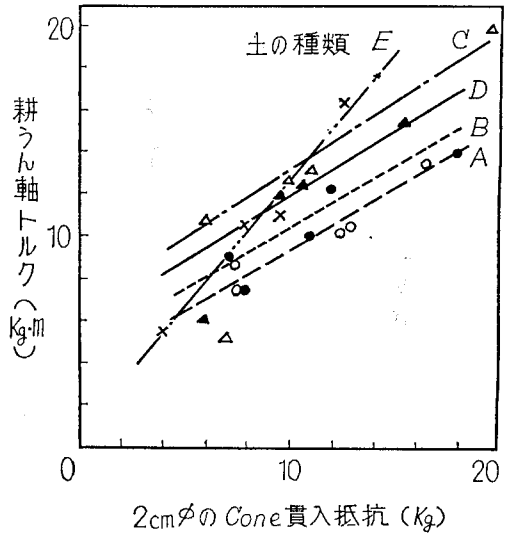
このような方法とは別に、土を粒状体とか小塊の集合体、また塑性流動体と考えて、応力—ひずみの関係を解析し、車両あるいは耕うん機械などの性能と関係づけようとする試みはまったくなかったというわけではないが、まだ利用できる段階にまで達していない^{18)-21), 59)}。それはやはり土が非常に複雑な変化性をもっているためと考えられる。乾いた砂のように、完全な粒状体の集合とみられるものから粘土を少し含んだ非常に圧縮性の大きい砂壤土、さらに水分で飽和した軟らかい粘土にいたるまで、非常に多くの種類、形態があって、その変化も連続的である。仮に、圧縮性のない塑性体と考えて塑性理論を応用して解析した結果、走行装置下の応力—ひずみの間に、あるいは破壊条件についての関係式が得られたとしても、それは非常に幅広い変化の中のごく一部にしか適用できない。しかも、そのために設けなければならない仮定も多く、得られた結果は非常に複雑である。

車両の性能の推測ということからすれば、また複雑な解析と計算のために払われる労力と得られた結果の精度を比較するならば、前述のような半実験的な係数を用いる方法でもよいかも知れないが、土の力学的な挙動との関係を理論的に考察するためには基礎的な解析もまた必要である。

4. Cone 貫入抵抗とトラクタ性能

上述のように、土の変形状態から土の力学的特性を求める方法とは異なって、種々の形状の貫入体によって土の強さを測定しようとする試みは古くからあった。これは手の届かない地表下の内部をさぐる簡易な手段として使用されてきており、目的によって多種多様の貫入体があるが、ここでは一般に用いられる cone 貫入計を対象にする。

貫入抵抗として示される土の強さは単純なものではなく、切削、せん断、圧縮、摩擦など種々の作用に対する抵抗のまじりあったものと考えられる。土木技術関係だけでなく、機械的な作用に対する土の強さを知る手段としても比較的容易な方法であるために多くの方面に利用されてきた。たとえば、Stone, Williams²²⁾ はプラウのけん引抵抗と土の貫入抵抗との間に密接な関係があると報告しているし、Zelenin²³⁾ はある深さまで貫入させるに必要な打撃回数と切削抵抗との間に比例関係があると述べている。また図—6 は Cone 貫入抵抗と耕うん軸トルクとの関係である²⁵⁾。



図—6 Cone 貫入抵抗と耕うん軸トルク

車輪の走行抵抗との関係については McKibben, Hull²⁶⁾ の報告があり、ころがり抵抗係数 f と貫入抵抗 Q との間に次のような一次関係を発表している。

$$f = 0.06Q + 0.021 \tag{5}$$

著者ら^{4), 27)}が軟弱地におけるトラクタの走行性について研究した際、車輪あるいは無限軌道が沈下した場合のころがり抵抗 R はその前面の土を排除するために必要なものであるとの考え方から、次式で示されるような沈下した深さまでの貫入抵抗の積算値 R_0 との間に相関があるものと考え、ほぼ直線関係を得た。

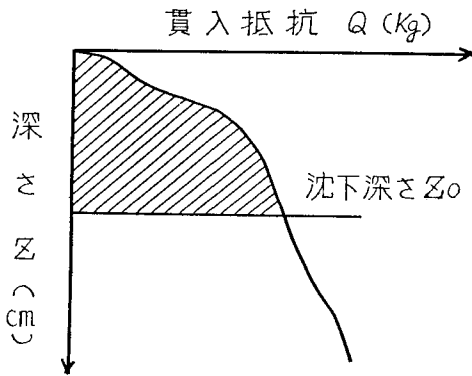


図-7 R_Q と円すい線図

$$R_Q = \int_0^{z_0} Q(z) dz \quad (16)$$

その後、中尾、田辺²⁸⁾らによってかなり詳細に研究され、土壌の状態によってそのこう配は異なるが、比例関係が得られた報告をしている。

(16)式は圧縮抵抗からころがり抵抗を求める場合の式

$\int_0^{z_0} p dz$ と同じ形であるが、上の場合は土の均一性、層のかたさの変化を考える要はなく、荷重と変形の関係をなめらかな曲線で示そうとするために生ずる不合理をさけることができる。

また機械の走行性の問題についてはよく知らされた W E S (Waterways Experiment Station) における研究がある²⁹⁾³⁰⁾²²⁾。すなわち、Cone 貫入計によって測定した貫入抵抗 “Cone Index” を Trafficability の尺度として、車両の軟弱地における “go” あるいは “no go” の判定に用いる。このことについてはすではほかで詳細に述べた³¹⁾ので省略する。

また、 k_c 、 k_ϕ および n による土の力学性の表示と Cone Index を比較した研究が二、三報告されている。図-8 は W E S によって行なわれた Cone Index と k_c 、 k_ϕ および n との関係である³²⁾。

また、Janosi³³⁾ はこれらの関係に次の式を与えた。

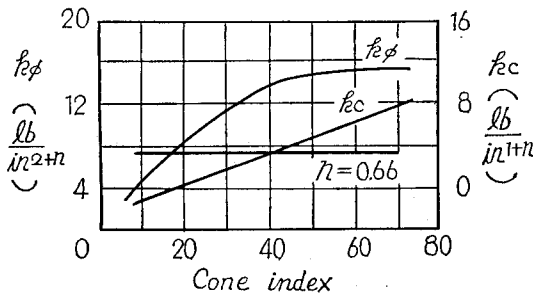


図-8 cone index と k_c 、 k_ϕ および n との関係

$$CI = 1.625 \left\{ \frac{k_c}{n+1} [(z+1.5)^{n+1} - z^{n+1}] + 0.517 k_\phi \left\{ \frac{(z+1.5)^{n+2}}{(n+1)(n+2)} + \frac{z^{n+2}}{(n+2)} - \frac{(z+1.5)z^{n+1}}{(n+1)} \right\} \right\} \quad (17)$$

CI: lb/in² で示した貫入抵抗値 (Cone Index)

Williford, Larson³⁴⁾ らは貫入抵抗と比重量 γ 、円環せん断試験によって得た粘着力 c および粘着力と内部摩擦係数 $\tan \phi$ との積などの関係について調査し、次の関係を発表している。

$$\left. \begin{aligned} CI &= a_1 + b_1 \gamma \\ CI &= a_2 + b_2 c \\ CI &= a_3 + b_3 c \tan \phi \end{aligned} \right\} \quad (18)$$

a, b : 係数

このほか、Freitag³⁵⁾、田中³⁶⁾、DeRoock および、Cooper³⁷⁾、あるいは Gupta, Pandya³⁸⁾ らは Cone 貫入抵抗と種々の土性との関係について考察した結果を報告している。とくに、DeRoock, Cooper らは鋼やコンクリートなどで衝撃波の伝達速度から弾性係数や密度あるいは圧縮強さを求めているのと同様に、土中における衝撃波の伝達速度と土の強さ、とくに貫入抵抗との関係を求め、Gupta, Pandya などはその速度から耕うんエネルギーを推定しようと試みている。

5. 粘着力 c 、内部摩擦角 ϕ と前進力

前進力と土との関係については、英国の Micklethwait⁵⁾ が装軌車両の最大前進力を推測するため Coulomb の式を導入したのに始まり、車両の前進力は走行部による土のせん断反力によるものであるとして、土質力学的な常数を始めて機械と土との関係に用いた。すなわち

$$H = Ac + W \tan \phi \quad (19)$$

H : 前進力 A : 接地面積 W : 重量

c : 粘着力 ϕ : 内部摩擦角

この Micklethwait によって与えられた関係はそれ以後の車両のけん引力あるいは前進力に関する考察の基礎となり、その後 Bekker に引き継がれ、最大前進力のみでなく、すべり率と前進力との関係にまでおよび、次のような形で表わされた。すなわち、

$$\tau = \frac{c + p \tan \phi}{y_{\max}} \{ \exp(-k_2 + \sqrt{K_2^2 - 1}) K_1 j - \exp(-K_2 - \sqrt{K_2^2 - 1}) K_1 j \} \quad (20)$$

K_1, K_2 : すべり変形係数, j : すべり変位量

この式中の y_{\max} は $\{ \}$ の内の最大値に等しく、100%すべり時には $\tau = c + p \tan \phi$ になる。この式は土壌がせん断される際の応力-ひずみ線図が図-9(a)のよう

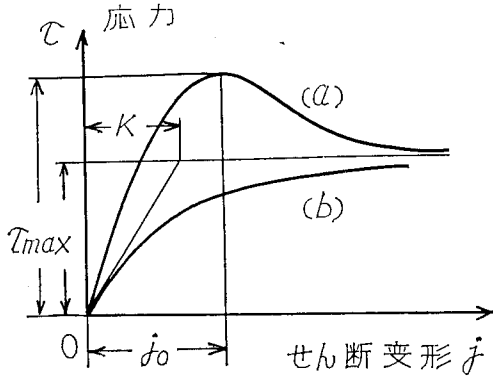


図-9 セン断応力-ひずみ線図

に、無周期減衰振動に似ていることから、その減衰係数およびばね定数を土の定数 K_1, K_2 におきかえて、走行装置のせん断抵抗をすべり変形の関数として与えたものであって、せん断時における応力-ひずみ曲線を数式化したものにほかならない。平らな載荷板による荷重-沈下量曲線を数式化して土の力学的な値をその曲線の形から得たのと同様、走行装置のせん断にできるだけ似た作用でのせん断応力-ひずみ曲線から K_1, K_2 および c, ϕ を求めるのである。このため、Bekker は走行装置によるせん断作用に似た作用をもたせたせん断装置を試作した⁵⁾。また、これらせん断試験に関する研究は最近非常に多く発表されている³⁹⁾⁻⁴⁴⁾。

②式を用いて Bekker は無限軌道の前進力とすべり率との関係を

$$H = \left\{ \frac{b(c + p \tan \phi)}{K_1 i_0 y_{max}} \right\} \left\{ 1 - \exp \left(\frac{-K_2 - \sqrt{K_2^2 - 1}}{-K_2 - \sqrt{K_2^2 - 1}} K_1 i_0 l \right) - 1 + \exp \left(\frac{-K_2 + \sqrt{K_2^2 - 1}}{-K_2 + \sqrt{K_2^2 - 1}} K_1 i_0 l \right) \right\} \quad (2)$$

i_0 : すべり率, l : 接地長

という形で表わした。

土木工学の分野では、せん断抵抗について古くから研究が行なわれ、その特性については充分知られており、また耕うん機械の抵抗やその性能向上のためにせん断抵抗とかせん断状況の観察が非常に役に立つと述べられているけれども⁴⁵⁾、せん断時の応力-ひずみ曲線を数式化して利用しようとする試みはなかった。

その後、Janosi, Hanamoto⁴⁶⁾ らは図-9(b)のように極大値をもたない応力-変形曲線に対して次の式を用いた。

$$\tau = (c + p \tan \phi) (1 - e^{-j/K}) \quad (2)$$

K は図に示したように、 τ_{max} の線と原点で曲線に引いた接線の交点として、あるいはまた τ_{max} の0.63とし

て求められるものである。これを用いて Janosi らは前進力 H をすべり変形 j の関数として

$$H = A \left\{ c \left(1 - \frac{1}{j} \right) (1 - e^{-j}) \right\} + p_{max} \tan \phi \left\{ \frac{1}{n+1} - \frac{1}{l^{n+1}} \int_0^l x^n e^{-i_0 x / K} dx \right\} \quad (2)$$

ただし $p_{max} = \left(\frac{k_c}{b} + k_\beta \right) z^n$, z_0 : 最大沈下量

l : 履帯長さ, x : 接地始めからの距離
 i : すべり率

のように表わした。図-10はこの式を用いた計算値と土壌槽内で行なった実測値との比較図である。

また、Kacigin, Guskov¹³⁾ からは荷重-沈下量曲線の場合と同様に双曲線関数を用いて

$$\tau = \sigma f_m \left[1 + \cosh \left(\frac{a}{K\tau} \right) \right] \tan h(j/K\tau) \quad (2)$$

のように、せん断時の曲線を数式化した。この式に用いられる土の力学性を示す値は $f_m, K\tau$, および a の3個であり、 f_m は極大値をすぎた後の定常せん断応力と垂直圧力の比であり、 $K\tau$ は図-11に示したような長さ

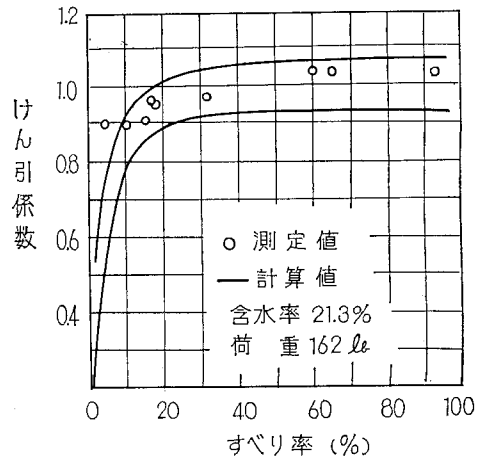


図-10 せん断係数とすべり率の関係

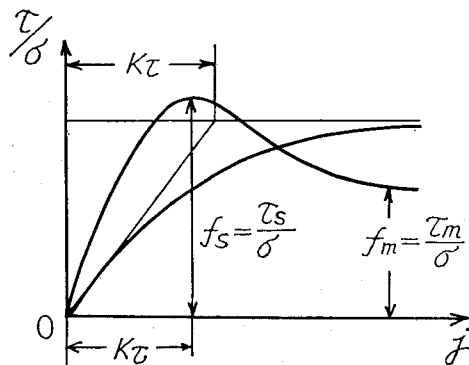


図-11 Kacigin の式における係数

を示す。また、 a は f_s と f_m の関数で

$$a = 2.55[(f_s - f_m)/f_m]^{0.825} \quad (26)$$

となる。また(b)図のように極大値をもたない場合、 $\tau_m = \tau_s$ で $a=0$ 、したがって、

$$\tau = \sigma f_m \tanh(j/K\tau) \quad (26)$$

となり、Janosi の式とよく似た形になる。

これらの式を用いて Kacigin, Guskov らは接地圧が均等に分布した場合の無限軌道の前進力を次の式で表わした。

$$H = \frac{f_m K \tau W}{il} \left\{ \ln \cosh(il/K\tau) - a \left[\frac{1}{\cosh(il/K\tau)} - 1 \right] \right\} \quad (27)$$

i : すべり率, l : 接地長

以上のように、土のせん断抵抗あるいはせん断時の特性を用いて前進力を推定する方法をいくつかの例をあげて説明したが、これはころがり抵抗を圧縮作用に対する抵抗と考え、小さな板による圧縮の際の力学的特性を用いて推定しようとした方法をまったく同じであって、非常に単純な仮定および考え方のもとに誘導されている。すなわち、接地圧は均一、沈下にとまもう接地面積の変化はなし、走行装置と土との摩擦は無視、重量転移の影響も考えないなど多くの単純化がある。したがって、実験室内で充分よく control された土壌で、不測の誤差をできるだけ除いた車輪や装置を用いての実験ではある程度の精度は得られるかも知れないが、実際のは場では非常に不規則な要素が多く困難なように考えられる²⁷⁾⁴⁷⁾⁴⁸⁾。

また、仮に小さな沈下板やせん断装置を車両の土に対するのとまったく同じように模形化したとしても、土と機械との関係における相似関係が成立しないかぎり、実際の車両の性能を推測することには不正確さが残るものと考えられる。

6. 応力分布とけん引力

図-12は車輪面に作用する垂直圧力および接線反力の分布である。このように、車輪の面には均等でない圧力が作用する。したがって車輪による制約がなければ土中のせん断面はこれらの応力によってきまる方向に生じ、それは車輪の面とは平行でないのが普通である。またこれらの分布は合力 ρ の方向と大きさによってきまり、 ρ の方向や大きさは車輪面の動きによって影響を受ける。したがって沈下板による垂直の、またせん断試験器による水平反力のようなまったく別の作用によって走行抵抗や前進力が生ずるとする考えは少し実際とは異なる。

Onafeko⁴⁹⁾⁵⁰⁾ や著者⁵¹⁾⁵²⁾ らはこのような車輪面への圧力分布から車輪の性能を解析しようとした。すなわち、

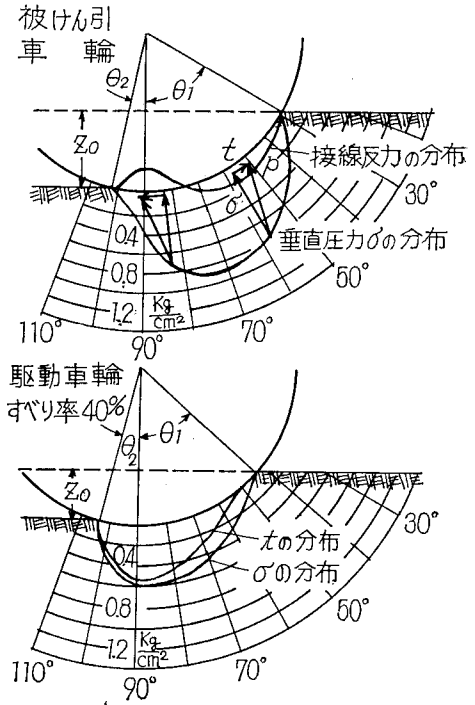


図-12 車輪下の応力分布

図-12における車輪面への垂直圧力 σ 、接線反力 t を用いて

$$\text{ころがり抵抗 } R = r b \int_{Q_1}^{Q_2} \sigma \sin \theta d\theta \quad (28)$$

$$\text{前進力 } H = r b \int_{Q_1}^{Q_2} t \cos \theta d\theta \quad (29)$$

とする。また、 σ 、 t の垂直成分は車輪への荷重と、また t による中心軸に関するモーメントはトルク T とつりあうと考える。

しかし、この式を解くに当っては、 σ および t の分布を知る必要があり、さらに一般化するためには、これらが土のもつ特性とどのような関係になるのかを数式化しなければならない。

Wong, Reece⁵⁰⁾ らは σ に荷重一沈下量についての Bekker の式、 t にせん断抵抗の関係を導入して解いた例を発表しているが、Onafeko⁴⁹⁾ らはこのような半径方向の圧力は沈下板による結果とは等しくない述べている。

また、応力分布については多くの報告があるけれども^{53)-58), 60)-62)}、土の特性との関係についてはほとんど述べられていない。今後の問題である。

7. その他、支持力係数などと走行性能

次の式は Bekker が泥土を排除しながら前進する際の

排土抵抗を Terzaghi の支持力係数を用いて表わしたものである⁵⁾。

$$R_b = \frac{b \sin(\alpha + \phi)}{2 \sin \alpha \cdot \cos \alpha} [2zcK_c + rz^2K_r] \\ + \frac{\pi t^3 \gamma (90 - \phi)}{540} + \frac{c \pi t^2}{180} + ct^2 \tan(45 + \phi/2) \quad (30)$$

$$K_c = (N_c - \tan \phi) \cos^2 \phi$$

$$K_r = \left[\frac{2N_r}{\tan \phi} + 1 \right] \cos^2 \phi$$

$$t = z \tan^2(45 - \phi/2)$$

α : 接近角, ϕ : 内部摩擦角, γ : 比重量

N_c, N_r : 支持力係数, c : 粘着力

また, すべり沈下について³³⁾,

$$z_j = \frac{j[p - c N_c - r(N_q z_s + 0.56 N_r)]}{c + p \tan \phi + r N_q j} \quad (31)$$

j : すべり変形, N_c, N_r, N_q : 支持力係数

のように, N_c, N_r, N_q などの Terzaghi の支持力係数を導入した式を用いている。また, Reece⁶³⁾, Onafeko⁴⁹⁾ らも同様に限界支持力の考え方を導入し, 接地圧と荷重の関係に応用しようとして試みている。

また, 受働土圧に関する Rankin の理論を無限軌道のラグの下に, あるいは車輪前部上面の上の移動に対する抵抗に応用して前進力, 走行抵抗を得ようとした例も多く見られる⁵⁾⁶⁴⁾⁶⁵⁾。

そのほか, 土の特性として粘性係数を用いて粘性泥土の排除抵抗について, Rowe, Hegedus は次の式を与えている³³⁾。

$$R_v = \rho_m v^2 A C d / 2 \quad (32)$$

Cd : 抵抗係数, レイノルズ数 $N_R = \rho_m v h / \mu$ の関数

ρ_m : 密度, μ : 粘度, v : 速度

A : 面積 h : 泥土の深さ

8. おわりに

以上のように, トラクタの性能を土の力学的諸性質と関連づけるための多くの研究があるが, 土の性質の複雑さのために, 適確にそれらの関係を表示し得るものはない。しかし, トラクタとか耕うん機などの土への作用を比較的単純な作用の集合と考え, 単純な作用下における土の応力-変形の関係式を求め, さらにそれらを組合せて全体の抵抗を推測するという考え方は, 上述のように, 現在の段階では完全とはいえないが, Systematic な Simulation 手法を用いて機械と土との関係を考察するためには優れた方法であると考えられる。したがって今後, 機械と土との作用関係をどのような形における単純作用の組合せであるかということとを解明すると同時に, それら単純な作用下における土の挙動を適当な model を用いたり, 数学的な表現を用いて表わす方法を見つけるための研究も必要と考えられる。

参 考 文 献

- 1) Nichols, M. L.: Methods of research in soil dynamics as applied to implement design. Agr. Engin. 13, 279-285, (1932)
- 2) Söhne, W.: Four wheel drive or rear wheel drive for high power farm tractors. Jour. Terrmech. 5(3), 9-28, (1968)
- 3) Zonbóri, J.: Drawbar pull tests of various traction devices on sandy soils. Jour. Terrmech. 4(1) 9-17, (1958)
- 4) 田中 孝: 軟湿土壌における機械の走行性の判定基準確立に関する研究, 農林省特別試験研究費報告書(1957)
- 5) Bekker, M. G.: Off-the-road locomotion. The University of Michigan Press, Ann Arbor. (1960)
- 6) Bernstein, R.: Probleme zur experimentellen Motor Pflugmechanik. Der Motorwagen (1936)
- 7) Goriatchkin, B. P. et al.: Theory and production of agricultural equipment. Moscow (1936)
- 8) Bekker, M. G.: Theory of land locomotion. The University of Michigan press. Ann Arbor (1956)
- 9) Wills, B. M. D.: The load sinkage equation in theory and practice. Proc. second Int. Conf. on Terrain-Vehicle Systems. Quebec, University of Tronto Press. Tronto Ont. 199-246 (1966)
- 10) Meyerhof, G. G.: The ultimate bearing capacity of foundations. Geotechnique 2 (1951)
- 11) Evans, I.: The sinkage of tracked vehicles on soft ground. Jour. Terramech. 1(2), 33-43, (1964)
- 13) Kacigin, V. V., Guskov, V. V.: The basis of tractor performance theory. Jour. Terrmech. 5(3), 43-66, (1968)
- 14) Janosi, Z.: An analysis of pneumatic tire performance on deformable soils. Proc. First Int. Conf. on Terrain-Vehicle Systems. Edizioni Minerva Tecnica Torino. (1961)
- 15) Pope, R. G.: The effect of sinkage rate on pressure sinkage relationships and rolling resistance in real and artificial clays. Jour. Terramech. 6(4), 31-38, (1969)
- 16) Poletayev, A. F.: Soil compaction under a rolling wheel. Traktory i sel'khoz mashiny No. 8. (1962)
- 17) Omelianov, A. E.: Wheel of Agricultural Machines. Traktory i Sel'khoz mashiny No. 5 (1948)
- 18) Drucker, D. C.: On stress-strain relations for soils and load carrying capacity. Proc. First Int. Conf. on Terrain-Vehicle Systems. (1961)
- 19) Haythornthwait, R. M.: Methods of plasticity in land locomotion studies. Proc. First Int. Conf. on

- Terrain-Vehicle Systems (1961)
- 20) Shiffman, R. L. : Analysis of displacement of the ground surface due to a moving vehicle. Proc. First Int. Conf. on Terrain-Vehicle Systems (1961)
 - 21) Kurtay, T., Reece, A. R. : Plasticity theory and critical state soil mechanics. Jour. Terramech. 7 (3,4), 23-56, (1970)
 - 22) Stone, A. A., Williams, I. L. : Measurement of soil hardness. Agr. Engin. 20, 25-26, (1939)
 - 23) Zelenin, A. N. : Basic physics of the theory of soil cutting. (1950), Gill, W. R., VandenBerg, G.E. : Soil Dynamics in Tillage and Traction より引用
 - 24) Gill, W. R., VandenBerg, G. E. : Soil Dynamics in Tillage and Traction (1967)
 - 25) 増田, 田中, 妻鹿 : ロータリ耕うんにおける土性の影響について (1970) 未発表
 - 26) McKibben, E. G., Hull, D.O. : Transport wheels for agricultural machines. VIII. Soil penetration tests as a means of predicting rolling resistance. Agr. Engin. 21, 231-234, (1940)
 - 27) 増田, 田中, 箕田 : トラクタのけん引性能と土の強さに関する研究 農機誌 29(3) 119-127 (1937)
 - 28) 中尾, 田辺 : 干陸ほ場におけるトラクタの走行性について (2), 島根大学農学部研究報告4号 164-168 (1970)
 - 29) Knight, S. J., Rula, A. A. : Measurement and estimation of the trafficability of fine grained soil. Proc. First Int. Conf. on Terrain-Vehicle Systems. (1961)
 - 30) Knight, S. J., Freitag, D. R. : Measurement of soil trafficability characteristic. Trans. ASAE 15 (2), 121-124, (1962)
 - 31) 田中 : 軟弱地でのトラクタ通行可否判断に対する基準の確立, 農機誌, 25 (2), 119-122, (1963)
 - 32) WES : Strength-Moisture-Density relations of fine grained soils. Waterways Experiment Station TR-3-639, Vicksburg, Miss. (1954)
 - 33) Bekker, M. G. : Introduction to Terrain-vehicle systems. The University of Michigan Press, Ann Arbor. (1969)
 - 34) Williford, J. R., Larson, L. W. : A study of soil strength values included in cone index readings. Paper No. 68-666 presented at the 1968 Winter meeting of ASAE (1968) Chicago
 - 35) Freitag, D. R. : Penetration test for soil measurement. Trans. ASAE. 11(6), 750-753, (1938)
 - 36) 田中, 西村, 東, 北川 : 水田におけるトラクタ性能判定に関する研究, 第2報, 農機誌, 26(3), 173-175, (1964)
 - 37) DeRoock, B., Cooper, A. W. : Relation between propagation velocity of mechanical waves through soil and soil strength. Trans. ASAE 10(4), 471-474 (1967)
 - 38) Gupta, G. G., Pandya, A. C. : Behavior of soil under dynamic loading-Its application to tillage implement. Trans. ASAE 10(3), 352, (1967)
 - 39) Taylor, J. H. : An Annular shear devices. Trans. ASAE 10(2), 164-164-165, (1967)
 - 40) Bailey, A. C., Weber, J. A. : Comparison of methods of measuring soil shear strength using artificial soils. Trans. ASAE 8(2), 153-156, (1965)
 - 41) Dunlop W. H., VandenBerg, G. E., Hendrick, J. G. : Comparison of soil shear values obtained with devices of different geometrical shapes. Trans. ASAE 9(6), 896-900, (1966)
 - 42) Osman, M. S. : The measurement of soil shear strength. Jour. Terramech. 1 (3), 54-60, (1964)
 - 43) Cohron, G. T., : Soil shear graph. Agr. Engin. 44 (10), 554-556, (1963)
 - 44) 田中 : 試作一面せん断兼単軸圧縮試験器について, 農機誌, 32(3), 232-236, (1970)
 - 45) Nichols, M. L. : The dynamic properties of soil, I-IV. Agr. Engin. 12, 13 (1931-1932)
 - 46) Janosi, Z., Hanamoto, B. : Analytical determination of the drawbar pull as a function of slip for tracked vehicles in deformable soils. Proc. First Int. Conf. on Terrain-Vehicle Systems. (1961).
 - 47) 田中, 西村, 東 : 水田におけるトラクタ性能判定に関する研究 (第6報) 農機誌, 28(1), 14-19, (1966)
 - 48) 増田, 田中, 西村, 山崎 : 軟弱地における装軌トラクタの性能, 農機誌, 28(3), 141-148, (1966)
 - 49) Onafeko, O., Reece, A. R. : Soil stresses and deformations beneath rigid wheels. Jour. Terramech. 4(1), 59-80. (1967)
 - 50) Wong, Jo-Yung, Reece, A. R. : Prediction of rigid wheel performance based on the analysis of soil-wheel stresses. Part I. Performance of driven wheels. Jour. Terramech. 4(1), 81-98, (1967)
 - 51) 田中 : 湿田への動力耕うん機の導入に関する研究, 第2報, 土壌の車輪面への圧縮反力について, 農機誌, 19 (1), 13-17 (1957)
 - 52) 増田, 田中 : トラクタのけん引性能に関する研究, 第5報, 第6報, 農機誌, 26(1), 8-13, (1964)
 - 53) Yong, R. N., Windish, E. : Determination of wheel contact stresses from measured instantaneous soil deformations. Jour. Terramech. 7(3), 57-67, (1970)
 - 54) Krick, G. : Radial and shear stress distribution under rigid wheels and pneumatic tires operating

- on yielding soils with consideration of tire deformation. Jour. Terramech. 6(3), 73-93, (1969)
- 55) VandenBerg, G. E., Gill, W. R. : Pressure distribution between a smooth tire and soil. Trans ASAE 5(2), 105, (1962)
- 56) Hegedus, E. : Pressure distribution under rigid wheels. Trans ASAE 8(3), 305, (1955)
- 57) Onafeko, O. : Instrumentation for measuring radial and tangential stresses beneath rigid wheels. Jour. Terramech. 1 (3) 61-68, (1964)
- 58) Vincent, E. T. : Pressure distribution on and flow of sand past a rigid wheel. Proc. First Int. Conf. on Terrain-Vehicle Systems. (1961)
- 59) Dagan, G., Tulin, M. P. : A study of the steady flow of a rigid plastic clay beneath a driven wheel. Jour. Terramech. 6(2), 9-27, (1969)
- 60) Uffelmann, F. L. : The performance of rigid cylindrical wheels on clay soil. Proc. First Int. Conf. on Terrain-Vehicle Systems. (1961)
- 61) 田中：湿田への動力耕うん機の導入に関する研究，第3～6報，農機誌，19(4)，20(3)，20(4)，(1957～1958)
- 62) 田中：農用車輪下の土中における応力分布について，農機誌 21(1) (1959)
- 63) Reece, A. R., : Principles of soil-vehicle mechanics. Proc. Vol. 180, 2a. The Institute of Mechanical Engineer, Automobile Division, London (1965-1966)
- 64) Reece, A. R., Wong, J. Y. : Soil failure beneath rigid wheels. Proc. second Int. Conf. on Terrain-Vehicle Systems. (1966)
- 65) Masuda, Tanaka, Oida : Soil deformation under model shoe and its reaction evaluated from shear stress-strain characteristics. Proc. third Int. Conf. on Terrain-Vehicle Systems. (1969)

解説

「モデルプレートによるスリップ沈下の研究*」について

小 中 俊 雄**

水田のような軟弱地盤では、トラクタの車輪の沈下とスリップによって、その走行性能は、いちじるしく低下することはよく知られていることである。また、車輪の沈下量は、スリップによって増加し、スリップ沈下現象とよばれている。本研究は、このスリップ沈下現象を明らかにするため、相似性理論にもとづく模型を用いた実験的研究である。

実際のトラクタを用いる代りに、トラクタ走行部の履帯に類似したラグつきプレートを用いるため、まず、スリップ沈下現象に関係する要因について次元解析を行なった結果、つぎのような無次元項関係式が得られた。

$$\frac{z}{y} = F\left(\frac{b}{l}, \frac{h}{l}, \frac{\lambda}{l}, \frac{y}{l}, \frac{v^2}{gl}, \alpha, \frac{c}{p}, \frac{c}{dl}, \phi\right) \quad (1)$$

ここで、各記号と次元は、図-1および表-2のとおりである。

(1)式では、土壤条件を示す要因として、土壤密度、粘着力、内部摩擦角をとりあげたが、トラクタ走行性と土壤との関係によく用いられるコーン指数を要因とした解析も試みられた。

相似性理論によると、(1)式から、(a), $\frac{b}{l} = \frac{b_m}{l_m}$, (b), $\frac{h}{l} = \frac{h_m}{l_m}$, (c), $\frac{\lambda}{l} = \frac{\lambda_m}{l_m}$, (d), $\frac{y}{l} = \frac{y_m}{l_m}$, (e), $\frac{v^2}{gl} = \frac{v_m^2}{g_m l_m}$, (f), $\alpha = \alpha_m$, (g), $\frac{c}{p} = \frac{c_m}{p_m}$, (h), $\frac{c}{dl} = \frac{c_m}{d_m l_m}$, (i), $\phi = \phi_m$ の設計条件が満足されれば、予報式 $\frac{z}{y} = \frac{z_m}{y_m}$ が得られる。

さて、設計条件(a)(b)(c)は、相似形のプレート、すなわち、 $\frac{l}{l_m} = \frac{b}{b_m} = \frac{h}{h_m} = \frac{\lambda}{\lambda_m} = n$ を満足するプレートを用い

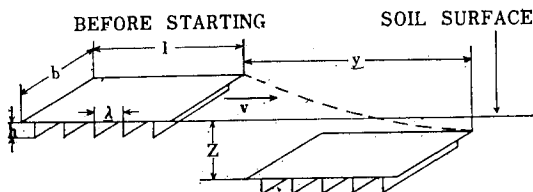


図-1 プレートのスリップ沈下の略図と記号

表-1 要因と次元

要因(変数)	Symbols	Basic Dimensions*
沈下量	Z	L
水平けん引抵抗	H	F
プレートの長さ	l	L
プレートの幅	b	L
ラグの高さ	h	L
その他の長さ	λ	L
土壤密度	d	FL ⁻³
粘着力	c	FL ⁻²
内部摩擦角	φ	F ⁰ L ⁰ T ⁰
垂直圧力	p	FL ⁻²
スリップ速度	v	LT ⁻¹
スリップ距離	y	L
重力の加速度	g	LT ⁻²
プレート傾斜角	α	F ⁰ L ⁰ T ⁰
コーン指数	q	FL ⁻²

*F=Force L=Length T=Time

れば成立する。ここで、nは線尺度、mはモデル系を意味する。n=2、または4を用いて、第2表のようなプレートを試作した。

設計条件(d)については、 $\frac{y}{y_m} = n$ とすればよく、(e)については、重力の加速度は一定であるので、 $\frac{v}{v_m} = \sqrt{n}$ なる速度を設定すればよい。(g)については、粘着力に比例する垂直圧力を加えればよい。ところが、(h)について

表-2 ラグつきプレートの諸元

Plate No.	Length: l (cm)	Width: b (cm)	Grouser height: h (cm)
S-I (Prototype)	25.4	5.1	0.6
S-II	12.7	2.5	0.3
S-III	6.4	1.3	0.15
W-0	25.4	2.5	0.6
W-II	25.4	10.2	0.6
H-0	25.4	5.1	0.0
H-II	25.4	5.1	1.2

* 農業機械学会誌 第30巻1号および第30巻3号

** 三重大学農学部 1971.6.3 受理

は、土壤条件を適当に調整することは困難であり、一般に $\frac{c}{dl} = \frac{c_m}{d_m l_m}$ は満足されない。したがって、ここでは、歪係数 β と予報係数 δ を導入し、次式の関係について解析した。

$$\delta = G \left(\beta, \frac{b}{l'}, \frac{h}{l'}, \frac{\lambda}{l'}, \frac{y}{l'}, \frac{v^2}{gl'}, \alpha, \frac{c}{p'}, \frac{c}{dl'} \right) \quad (2)$$

ここで、 $\beta = \frac{c_m - c}{d_m l_m - dl'}$ 、 $\delta = \frac{z}{y} \frac{z_m}{y_m}$

実験は、設計条件(a), (b), (e), (f), (g), (h)を変えて、多元配置計画で、各々2~3水準にとった。

その結果、スリップ距離 y と沈下量 z との関係は、 $z = k l^u y^{1-u}$ のような関係がみられ、 k は0~0.3の値で、土壤が軟かく接地圧が大きいほど大きく、 u は0.5~0.8の値で k と同じような傾向を示した。これから、静沈下は、土壤が軟かく接地圧が大きいほど大であるが、動的沈下(スリップによる沈下)は、その逆の傾向があることがわかる。

プレートの幅が大きくなると沈下量は減少するが、接地圧との交互作用があり、接地圧が大きい場合はプレートの幅の影響が大きく、接地圧が小さい場合は幅の影響は小さかった。

また、ラグの高さが大きくなると沈下量は増加し、スリップ速度が大きいきその影響は大きかった。

一方、歪係数 β と予報係数 δ との関係は、 $\frac{c}{p} = 0.35$ のとき、 $\delta = \beta^{0.5}$ で表わされ、これを線尺度 n で表わすと、 $Z = n^{1.5} Z_m$ となる ($y = n y_m$, $d c_m = d_m c$ とした)。すなわち、接地圧 p が粘着力 c の約3倍のとき、沈下量はモデルの大ききの1.5乗に比例するといえる。

なお、粘着力 c の代りに、コーン指数 q を用いると、接地圧が比較的大きい場合に、沈下量の予測に効果があることがわかり、一方、沈下量と平行して測定した水平抵抗の予測には、コーン指数より粘着力の方が最適であった。これは、コーン指数および粘着力の測定法が、それぞれ垂直方向の貫入抵抗と水平方向のせん断抵抗とに関連することからもうなずける。

実際のトラクタのスリップ沈下量を、本研究で得られた予測式を用いて推測したところ、実際の沈下量に近い値が得られた。

このように、土壤と機械との関係を明らかにする研究に、相似性理論を適用することによって、より効率のよい実験・解析が行なわれうることもみのがせない結果である。

解説

水稲不耕起直まき栽培と土壤物理性について

大 森 正*

労力不足・労賃上昇に伴い、省力化と労力配分の平均化を目的に水稲乾田直まきが全国的に関心を集め、各地で検討が始められたのは昭和36年ごろからであった。しかし、現在一般に行なわれている耕起直まき栽培は気象条件に支配されやすい弱点をもっている。ことに、は種時の不安定な天候は耕起碎土や整地の不整一、ひいては発芽苗立ちの不良を招き、さらに降雨が続けば直まき計画を放棄せざるを得ない事態に追いこまれることも少なくない。

岡山県の直まき栽培の普及経過にも図一1のように、昭和41年までは降水量が多い年にはその面積が停滞気味であった。

だが、昭和43年以降急速に増加しつつあるのは、麦作の急減とともに、水稲直まきの除草、防除、施肥などの体系確立に伴い安定した技術として南部の平坦水田にすっかりとけこんだ栽培として急速に普及したためである。しかし、一方ではこのように降雨条件に左右されやすい直まき栽培の弱点の改善・安定化をはかる有力な方策の一つとして不耕起直まきが注目されてきた。

本栽培法は、福岡⁹⁾により米麦連続および混ばというきわめて省力化された栽培法としての可能性が紹介さ

れ、若林ら¹⁵⁾により小麦多株穴まきおよびイタリアンライグラス跡地をねらった現地試験から、一応の見とおしを得たのが岡山県での端緒である。しかし、この栽培法は麦作の省力多収法としての多株穴まき跡や、イタリアンライグラス・ナタネの直まき跡とか休閑田が対象となり、いずれも不耕起状態が前提となる。すなわち、従来の耕起栽培と異なり年間を通じ全く耕起しないで、しかも生産諸資材が常に作土の表面に散布されるので、当然土壤の理化学性の推移、ひいては水稲の生育収量に及ぼす影響に特異な面が現われるであろう。

これらの点を明らかにするため、昭和37年小麦収穫跡から5カ年間、稲麦連続不耕起直まきを行ない、耕起直まき・移植を継続した場合と比較検討した結果のうち¹⁰⁾¹¹⁾、土壤物理性での特異点を主体に二三の知見を加えながら紹介する。

1. 不耕起直まき栽培の概要

水田や畑を耕起することの意義の一つは雑草の抑制にあるので、不耕起直まきが成立するには雑草対策の確立が前提条件であり、石灰窒素の殺草性を利用してこれを解決したのが出発点である⁷⁾。すなわち、二毛田では麦刈り後4~6 kg/aの石灰窒素を田面に散布するとともに、基肥施用をかねる。一毛田では稲収穫後2回ぐらい除草剤を使用して雑草をおさえ、は種の数日前に石灰窒素を散布する。は種は穴まきまたは条まきである。

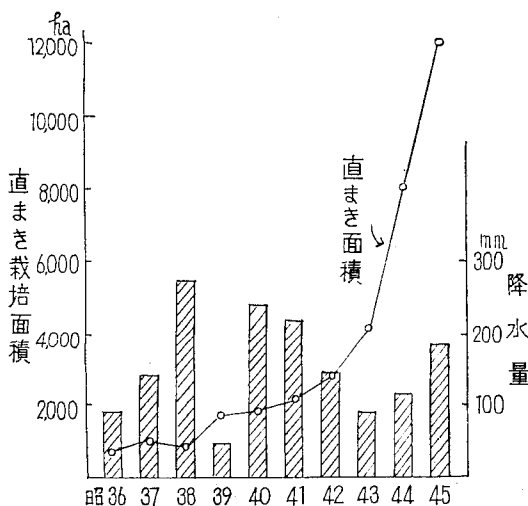
5カ年連続不耕起栽培を行なった岡山農試圃場——すき床層以下に柱状構造がよく発達した灰かつ色土壌粘土質構造マンガ型に属する減水深2~3 cm/日の乾田で、作土の土性はCL——での栽培概要と収量は表一1はのとおりである。5カ年不耕起栽培を継続しても、収量移植に劣らず耕起直まきよりまきった。

2. 土壤物理性の推移

耕起、不耕起のちがいににより明らかに影響を認めたのは、作土層が主体であったので、以下作土の物理性に焦点をしぼることとする。

(1) ち密度と根の分布について

不耕起を続けると、作土が硬くなるといわれるが、その指標として山中式硬度計のよみによりち密度を比較追



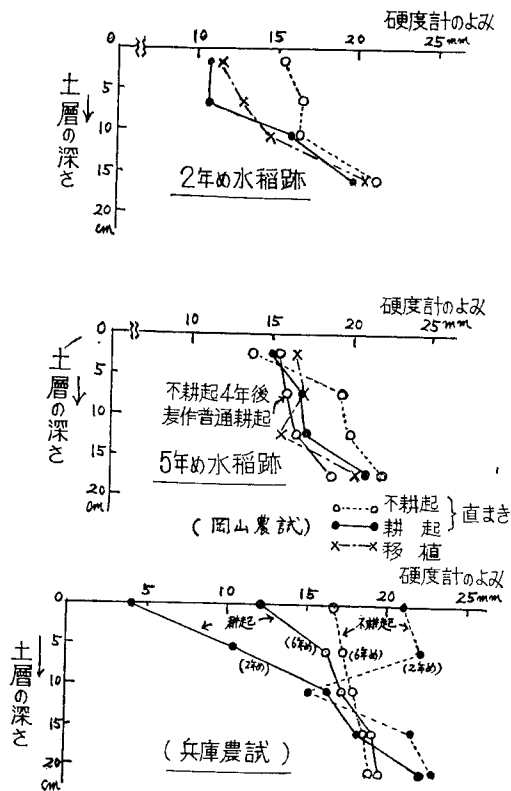
図一1 岡山県における直まき栽培面積と5月の降水量との関係

* 岡山県立農業試験場 1971.5.31 受理

表一 栽培概要と収量

区分	は種期	は種又は栽植密度株/m ²	施肥成分量 kg/a			肥料の種類		平均収量 kg/a		備 考
			N	P ₂ O ₅	K ₂ O	基 肥	追 肥	わら重	玄米重	
不耕起直まき	6月7日 ~10日	16.7 ~18.5	1.46 ~1.76	0.7	0.8 ~0.9	石灰窒素 ようりん 塩 加	単肥又は NK化成	77.3	49.2	供試品種キビヨシ 裏作はシラサギ コムギ不耕起は 多株穴まきを継 続し、他の区は 畦立栽培をした 年もある
耕起直まき	"	"	1.04 ~1.32	0.7	0.8 ~0.9	"	"	77.1	46.3	
移 植	6月28日	17.4 ~23.1	0.75 ~0.9	0.7	0.8 ~0.9	硫過 塩	安石 加	73.4 (74.6*)	44.8 (49.0*)	

注) * 移植区は当初から地力が劣っていたので隣接田の最高収量の平均を示す



図一 耕起の有無と土層のち密度

跡した結果を図一に示した。不耕起2年めの水稻跡ですでに表層から10cm以内が明らかにち密化している。しかし、10cm以下では他の栽培とほとんど差がない。

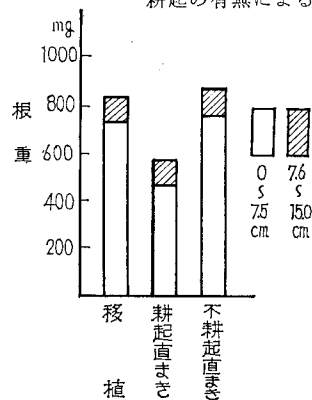
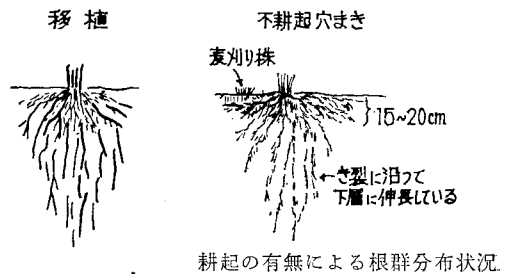
次に5年め水稻跡の状態では、作土表層5cm前後までは不耕起直まきの方がち密度は低く、5~10cm以下になると他の栽培にくらべ明らかにち密度が増大し、すき床近くなると差がほとんどない。ここで表層5cm前後までのち密化が他の栽培より増大していないのは、毎年表層

に施用された有機物(年間たい肥1.5トン/10a)と、後述の表層への根群密集の影響と考えられる。

各地の成績^{11), 9), 12), 13)}でも大なり小なり作土層のち密化を指摘しているが、兵庫農試⁶⁾のように有機物をほとんど補給していない場合でも、継続6年めの表層のちみつ化は2年め以上には増大していない。

作土のち密度増大は、根系の発達制限¹⁴⁾とか乾燥時の種作業などに若干の支障をきたす以外は、生育収量への直接影響はほとんど認められなかったし、4年継続後も普通の耕起で容易に他の栽培法なみのち密度に復元している。

なお、注目すべき現象は、移植に対比して根系発達の様相にきわめて特徴のあるちがいが認められたことであ



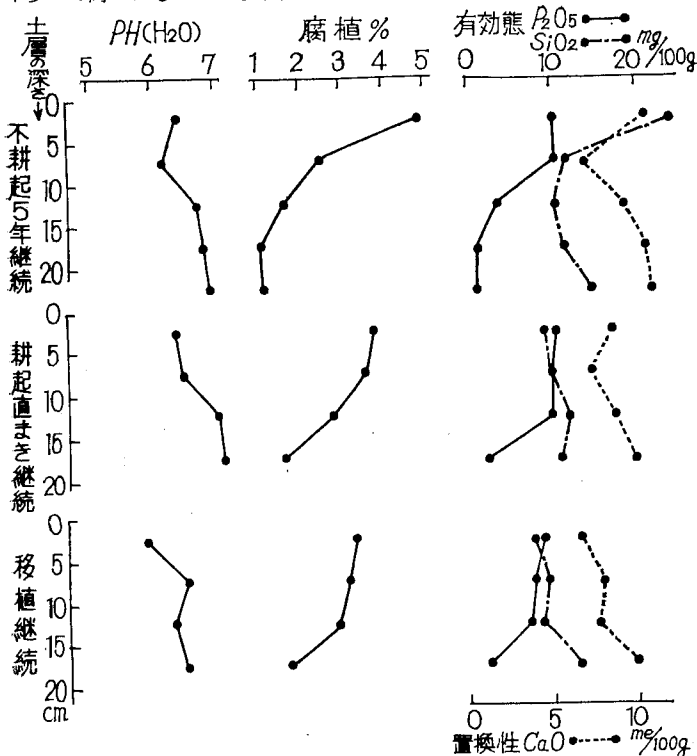
図三 作土層の深度別根量の比較(不耕起3年目)

表一 2 水稻作期間中の作土層中 Fe^{++} 生成量 (mg/乾土100g)

区分	層位 cm	不耕継続 3年目		4年目		5年目	
		7月 6日	7月 27日	7月 5日	7月 28日	7月 11日	8月 1日
不耕起	0~9	5.3	44.4	4.3	29.2	16.1	13.5
直まき	9~15	3.7	15.2	2.8	2.2	6.2	6.2
耕起	0~9	10.3	52.7	5.8	33.6	26.1	31.8
直まき	9~15	7.4	37.5	5.5	21.2	12.9	26.6
移植	0~9	—	—	68.2	—	35.5	68.9
	9~15	—	—	28.2	—	10.6	14.2

る。すなわち、継続3~4年めの収穫期の根群の分布状況を模式的に示し、作土層内の根量⁴⁾を比較すると図一3のとおりである。移植では比較的太く毛根の少ない根が多いのに対し、不耕起直まきでは地表面から15~20cm以内に根が密集し、特に細根・毛根が多く、単位容積中の根量にはほとんど差がない。20cm以下では、移植よりは細い根が構造のき裂面にのみ沿って伸長している。

前述のように、表層5~10cm以下のち密度が移植にくらべて高いにもかかわらず、このように不耕起直まき



図一 4 耕起の有無と作土層の化学性

の表層に新しい活性のある根が密集していた原因としては、次の点が考えられる。

1) 表一2の水稻作期間中 Fe^{++} 生成量からも明らかのように、土壌の還元化¹⁶⁾の進行が他の栽培にくらべ最も緩慢なため、有機酸・硫化水素などの急激な発生がなく、根腐れが少ない。したがって、不耕起直まきは概して秋まき期的生育をたどる場合が多い。

2) 図一4の化学性からも明らかのように、腐植・けい酸・りん酸・石灰などの養分が、継続とともに表層に富化される。これは生産諸資材の表面散布と根群の表層密生が相まった結果である。

(2) 三相分布について

三相分布の推移を図一5に示した。不耕起継続により作土層5~10cm以下の固相容積が若干増大し、前述のち密度と対応している傾向がうかがわれるが、気相容積では大差なく、4年継続後も耕起さえすれば容易にち密度同様に移植なみに還元している。

一方、前作の麦刈り株付近の表層ではきわめて固相容積が低く、孔隙率 ($V_L + A$) が70%にもなり、きわめて膨軟な状態となっているため、前図のようにこの部分に多量の細根・毛根が密生することとなる。

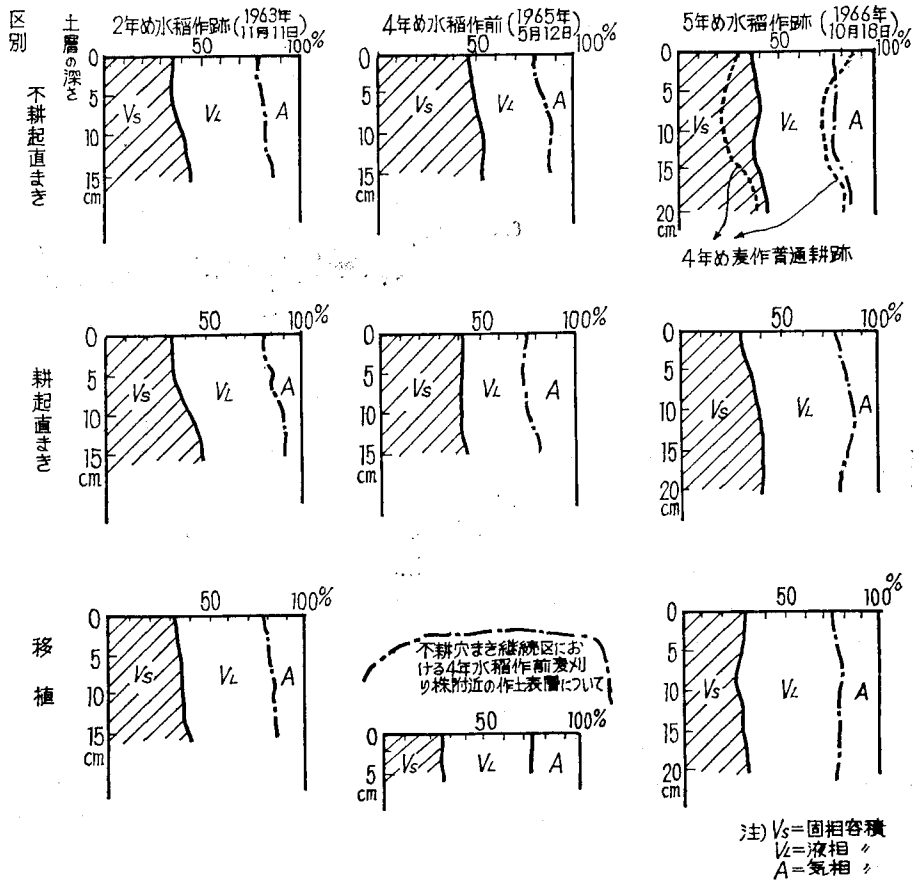
土壌類型別に現地ほ場での三相分布⁵⁾を表一3に示した。ち密度な増大に伴いいずれも固相容積が増大しているが、気相容積では粘土の多いグライ土壤や灰かつ色土

壤粘土質構造マンガン型では移植より増大し、逆に砂分の多い灰かつ色土壤壤土マンガン型では移植より減少している。すなわち、粘土が少なく砂の多い土壤ほど不耕起継続による作土のち密化に伴い孔げき量が減少する。しかも、このような土壤は養分の溶脱も起り易いので、概して継続による収量減が早く起るので、3~4年めには耕起する必要がある。

(3) 透水性と粒団量について

表一3で明らかなように、いずれの土壤型でも不耕起継続により透水係数 (DIK 透水測定装置による定水位) が増大している。これは移植や耕起直まきのように代がきや耕起碎土が行なわれないで、形成された団粒構造²⁾が年間を通じ破壊されないため、0.5mm以上の粒団量からも明らかである。

この点は、作土の還元化が緩慢で他の栽培にくらべ酸化的に推移することを裏書きし、粘土の多い土壤では有利



図—5 作土層三相分布の推移

表—3 土壤類型および栽培様式別の物理性比較

土 類 壤 型	栽 培 様 式	作土 の 上下	三 相 分 布 (PF 1, 5)%			ち 密 度 mm (硬度計 のよみ)	透 水 係 数 $K \times 10^{-3}$ (am/sec)	粒 団 量 0.5mm 以上 %
			V_s	V_L	A			
グ 粘 ラ イ 土 壤 型	移 植	上	39.6	47.5	12.9	11.5	9.6	24.7
		下	40.3	49.4	10.3	12.1	1.1	30.9
	耕 起 直 ま き	上	40.3	49.1	10.6	12.1	0.2	37.3
		下	42.8	50.2	7.0	14.7	0.2	41.0
不 耕 起 直 ま き*	上	41.7	45.4	12.9	14.6	4.7	61.6	
	下	41.9	44.6	13.5	15.7	5.7	54.5	
灰 粘 ン か 土 ガ ン つ 質 ン 色 構 型 土 造 壤 マ	移 植	上	44.8	46.5	8.7	19.1	1.6	23.7
		下	42.8	45.9	11.3	19.7	3.1	29.3
	耕 起 直 ま き	上	45.2	46.3	8.5	18.5	2.1	16.2
		下	42.9	42.1	15.0	18.8	4.0	28.2
不 耕 起 直 ま き**	上	41.8	41.8	16.4	17.1	5.2	34.2	
	下	44.0	39.8	16.2	23.4	3.6	38.2	
灰 壤 型 か 土 マ ン 色 ガ ン 土 ガ ン	移 植	⋮	48.5	40.7	10.8	11.7	1.9	9.7
		⋮	48.3	39.1	12.6	13.3	1.4	32.5
	耕 起 直 ま き	⋮	47.6	41.9	10.5	12.5	—	7.2
		⋮	48.0	38.5	13.5	17.6	—	17.5
不 耕 起 直 ま き**	⋮	53.0	38.7	8.3	18.7	2.4	38.2	
	⋮	51.5	38.4	10.1	17.1	3.2	41.7	

注) 不耕起は* 3年継続** 4年継続後

となるが、排水過多の砂質田ではむしろ不利となり易い。なお、このような作土構造の推移は、水稲跡への野菜などの導入に際し、移植田にくらべ耕起時に大塊が少なくきわめて容易に整地覆土ができ、かつ排水もよいので有利であることが認められつつある⁸⁾。

3. むすび

以上、水稲不耕起直まき栽培継続に伴う土壤物理性の推移について述べたが、栽培体系確立のための素材試験での調査できわめて不十分な点が多く、水田作土の構造の生産力的意義の一局面を明らかにしたに過ぎない。すなわち、不耕起栽培継続に伴ない作土のち密度、三相分布、透水性、粒団量などが、移植、耕起直まきとはかなり異なり、養分の表層富化と相まって根系の特異的な発達をもたらすことを明らかにした。土壤類型別には壤土ないしは埴壤土の排水過多でない灰かつ色土壤、灰色土壤、グライ土壤では不耕起栽培を数年間継続しても支障なく、耕起直まきより安定した多収技術と考えられる。

しかし、現段階ではこの栽培法の機械化体系確立が不十分で、限られた地域の普及にとどまっており、むしろ不耕起直まきと普通の耕起直まきの中間的性格をもつ浅耕直まき(作土表層3~5cm耕起)が急速に芽生えつつあるが、この場合の作土の物理性も浅耕部分以下は基本的には本報と同様の傾向をたどるものと考えられる。

本報告は「稲麦不耕起栽培における土壤肥料的研究」のなかで行なったものが主体であり、小野芳郎、川中弘二、坪井勇の各氏の協力によることを付記しておく。

参 考 文 献

- 1) 愛知農試(1964)水稲不耕起直播栽培における石灰窒素の肥効試験成績書
- 2) 出井嘉光(1967)水田作土の構造と水稲生育、土壤の物理性, No. 16
- 3) 福岡正信(1962)米麦直播栽培の実際、農及園, Vol. 37
- 4) 人見進他3名(1968)水稲の不耕起直播栽培に関する研究(第1報)、中国農業研究, No. 38
- 5) 平岡正夫他1名(1970)稲麦不耕起栽培における土壤肥料的研究(第3報)、岡山農試臨時報告, No. 65
- 6) 兵庫農試(1968)春夏作試験成績書
- 7) 池畑勇作他2名(1965)石灰窒素施用による水稲不耕起穴播栽培、農業技術, Vol. 20
- 8) 河本泰他(1971)不耕起水田が作物の生産力に及ぼす影響(第2報)、土肥学会関西支部会発表
- 9) 真鍋武夫他2名(1966)不耕起栽培が土地生産力に及ぼす影響、土肥誌要旨集, No. 13
- 10) 大森正他3名(1968)稲麦不耕起栽培における土壤肥料的研究(第1報)、中国農業研究, No. 38
- 11) 大森正他3名(1970)稲麦不耕起栽培における土壤肥料的研究(第1報)(第2報)、岡山農試臨時報告, No. 65
- 12) 佐賀農試(1965)不耕起栽培継続に関する試験成績書
- 13) 滋賀農試(1965)水稲不耕起直播栽培における石灰窒素の肥効試験成績書
- 14) 滝島康夫(1967)水田土壤の硬度と水稲生育、土壤の物理性, No. 16
- 15) 若林確他2名(1963)水稲穴播直播栽培について、中国農業研究, No. 26
- 16) 山中金次郎他3名(1957)土壤のグライ化に関する研究(第1報)、土肥誌 Vol. 28

傾斜草地の土壌の物理性について

加甲 艶照* 豊田 広三*

1. はじめに

わが国の最近の農業の方向として畜産振興が強く叫ばれ、その基盤として山林、原野を対象にした開発利用計画が進められている。新全国総合開発計画¹⁾によれば、畜産の将来的展望は、今後高度化する国民の食生活とその需要にこたえるため、昭和60年には、乳肉用牛あわせて約1,000万頭の飼養を目的に新しく140万haの草地を確保し、飼料基盤を整備する必要があるとしている。このため水田からの転作、あるいは既存耕地の高度利用は勿論ではあるが、山林、原野の農業的な開発利用も自然環境の保全を考慮した国土利用の一環として進められることが考えられる。

当山地支場でもこのような要請にこたえるため、浅間山南麓斜面において、創設以来全場的な規模で「山地傾斜地における草地農業の確立」という一つのプロジェクト研究にとりくんでいるが、山地傾斜地を草地として開発利用する場合に、その経済性の追求とともに土地環境の整備、保全の問題を重要な課題の一つとしこ考えてきた。とくに産業のめざましい進展と急速な都市化の反面、最近各地で公害問題が起り、環境の整備、保全が急務な問題として強調されている。これらに対処するためには今後の産業開発計画は、自然環境の整備、保全に対する科学技術であると同時に自然的要素を考慮した調和のとれた国土の土地利用として考える必要がある。このことは草地農業の今後の研究計画においてもとくに山地を草地として開発利用する場合においては当然の基本的な姿勢とも云える。これらの中で筆者らは上記プロジェクト研究の一環として「傾斜草地の土壌保全対策に関する研究」をとりあげ、草地の造成、整備、保全の問題がいずれも土壌の物理性との関連が深いことを痛感してきた。しかもこれらの問題はこれまでの対象に比し、広域を対象とする点が多くその中から問題点の解明を要することが特徴と云える。このような観点からその手がかりとして傾斜草地の土壌物理性についてきわめて巨視的な見方ではあるが、検討をすすめてきたので、その結果の一部をのべ諸先輩のご批判と今後のすすめ方についてご

指導を得たいと思う。

2. 試験地の条件

- 1) 位置：長野県北佐久郡御代田町塩野国有林（浅間山外輪山剣ヶ峯の南麓斜面）
- 2) 標高：1,000～1,260m
- 3) 気象：年平均気温7.5℃、最暖月（8月）平均20.1℃、最寒月（1月）平均-4.2℃、年降水量1,400mmで夏期（6月または9月）に多く。冬期に少ない。初霜10月13日、晩霜5月15日、降雪は12～2月で標高1,200m以下では根雪がない。
- 4) 植生：標高1,000～1,500mはアカマツ、カラマツとくに後者の人工林が主体で、林床植生はミヤコザサレンゲツツジ、ミヤコザサシモツケソウの群落が多い。
- 5) 地形：浅間山の外輪山剣ヶ峯の南麓斜面に数本の沢が縦断し、南への稜線斜面の傾斜は5～20度。沢への谷面斜面は20～40度。
- 6) 土壌：浅間山の火山活動に由来する黒色火山灰が表層を被い、下層には褐色火山灰（ローム質）がみられる。礫は少なく、塩基には富む。

3. 試験地の草地造成と利用経過

樹令30～40年のカラマツ、アカマツの人工林を昭和40年秋から造成を始め、傾斜度により、緩傾斜草地と急傾斜草地にわけ、前者は大型機械により採草、貯蔵粗飼料（サイレージ）の生産に、後者は夏期間の放牧に利用している。

1) 緩傾斜草地（耕起造成、採草利用 10ha）

造成法は、伐木一木材搬出一灌木刈払い一抜根一搬出一抜根跡穴うめ一改良資材半量散布一起土一改良資材半量散布一碎土の順には種床を造成し（昭和40年秋より初冬）、翌春に根の断片、枯枝などの障害物を除去し、基肥を施用した。草種はアカクロバ、ラジノクロバ、オーチャードグラス、チモシーの基本型とした。

2) 急傾斜草地（不耕起造成、放牧利用 9ha）

造成法は昭和42年春より、伐木、木材搬出跡地の障害物を刈払い、表層の攪拌はウニモクにロータリースラッ

* 農林省草地試験場山地支場 1971.6.5 受理

シヤを装備して行なう程度で改良資材を散布し、基肥の施肥、播種を行い、放牧を行いながら草地化を計った。また25度を越える急傾斜地の場合は人力によった。こうして翌年の夏には草地化がすすみ、夏の180日間には育成牛40~50頭の放牧利用が行なわれた。

以下に上記のように造成された条件の異なる傾斜草地を対象にした土壌の物理性について若干の調査、結果をのべることにする。

4. 傾斜草地の土壌水分

1) 耕地、草地、林地の土壌水分の比較²⁾

昭和44年7~8月に支場の周辺の耕地、草地、林地の土壌水分の変動を調査し、比較した。その結果を要約すると、耕地と草地(耕起造成)では0~5cmに比べて5~10cmの土壌水分が常に高く経過した。これに対し林地やササ地では地表堆積物を除いた0~5cmが5~10cmより常に高い状態で経過した。一方林地やササ地の地表堆積物の水分は非常に高く(含水率60~70%)、降雨により水分貯溜が大きいため土壌への移行に時間を要し、水分の動きは地表堆積物に比較して土壌部分での変化が小さい。このことは林地が草地化される場合、地表堆積物が耕起造成によって攪拌、稀釈されて、土壌の保水能や蒸発など水分の動きに対し大きな条件の変化を与えることになると考えられる。

2) 傾斜草地の土壌水分の季節的变化²⁾

傾斜草地では造成法や利用法、傾斜方向や角度、斜面の広がりや長さなどの諸条件のちがいでによって、土壌水分の動きに影響を及ぼすことが予測されるので、急傾斜草地(不耕起造成放牧利用)を中心に昭和44年4~10月に土壌水分の変化を継続的に調査した。その結果を要約すると、耕起造成草地(南向緩斜面、傾斜8度、プラウ耕)では0~5cmと5~10cmとで前者の土壌水分がやや低く、しかも斜面の上部と下部との差は少なかった。これに対し不耕起造成草地(南向緩斜面一傾斜10度、南向急斜面一傾斜23度、以上ロータリースラッシュ利用。東向急斜面一傾斜30度、西向急斜面一傾斜23度、以上人力利用)では0~5cmと5~10cmとでは前者の土壌水分が高く、斜面の上部と下部とでは傾斜度が大きい場合にのみ斜面下部の土壌水分が高くなる傾向を示した。また原植生地(南向緩斜面、傾斜10度、ササと雑灌木)では上記不耕起造成草地の南向緩斜面と同様の推移を示した。不耕起造成と耕起造成草地の土壌水分が0~5cmと5~10cmとの間の比較で逆の傾向であったのは、造成法の差によって水分の保水能など水分の動きに差の生じたものとみられる。すなわち不耕起造成草地では地表に堆積有機物層が残存し、0~5cmの土壌水分保持に影響があったものと考えられる。

5. 傾斜草地の土壌三相分布

1) 耕地、草地、林地の土壌三相分布の比較

耕地、草地、林地の土壌三相分布を同一時期に調査した結果を表一に示した。

表一 耕・草・林地土壌の三相分布(昭和44年4月)

耕草地 利用区分	採取 部位 cm	全重量 W g	固相率 Sv %	水分率 Mv %	空気率 A %	孔隙率 P %
耕地	0~5	100.1	30.4	24.0	45.6	69.6
	5~10	99.0	28.2	26.1	45.7	71.8
草地	0~5	105.3	23.0	42.3	34.7	77.0
	5~10	101.9	24.1	40.6	35.6	76.2
ササ地	0~5	82.0	13.2	45.6	41.2	86.8
	5~10	89.3	19.2	39.1	41.6	80.7
林 カラマツ	0~5	63.0	15.9	24.7	59.4	84.1
	5~10	83.9	22.3	28.5	49.2	77.7
アカマツ	0~5	81.6	17.4	35.1	47.5	82.6
	5~10	95.0	18.2	40.7	41.1	81.8
地 クスギ	0~5	74.6	15.8	32.9	51.3	84.2
	5~10	83.2	18.3	30.4	51.2	81.6

この結果から耕地と草地の土壌全重量は林地やササ地に比べて高い傾向がみられ、固相率も同様に耕地や草地で高く、孔隙率は逆に耕地や草地で低い傾向がみられた。このことは林地において伐採が行なわれ、ササ地となり、さらに草地に植生が変せんする過程で、土壌の三相分布も変化したものと考えられる。

2) 草地の利用と土壌三相分布の変化

急傾斜草地と緩傾斜草地とで、その造成法、利用法を

表二 草地利用と土壌三相分布の変化(昭和44年)

調査地	採取 月日	採取 部位 cm	全重量 W g	固相率 Sv %	水分率 Mv %	空気率 A %	孔隙率 P %	全重
								量変 異係 数 CV %
急傾斜草地(不耕起造成、放牧利用3年目)	4. 22	0~5	100.7	23.3	34.2	33.4	47.6	711.4
		5~10	103.9	24.4	39.5	36.1	75.6	7.5
緩傾斜草地(耕起造成、採草利用4年目)	10. 23	0~5	99.5	22.4	44.2	8.3	48.7	614.2
		5~10	99.9	22.4	43.8	13.9	57.7	6.5
原植生地(ササ地)	4. 22	0~5	106.0	25.7	39.5	5.3	48.7	6.3
		5~10	103.8	23.3	41.7	35.1	76.8	6.8
(ササ地)	10. 24	0~5	123.5	34.6	43.6	21.9	65.5	5.8
		5~10	99.7	25.8	37.9	36.3	74.2	3.4
原植生地	4. 22	0~5	77.7	16.6	35.2	48.2	83.4	11.8
		5~10	94.7	21.7	38.3	40.0	78.3	12.4
(ササ地)	10. 23	0~5	81.3	17.2	38.1	44.7	82.0	2.2
		5~10	94.7	20.2	38.8	41.0	79.8	6.5

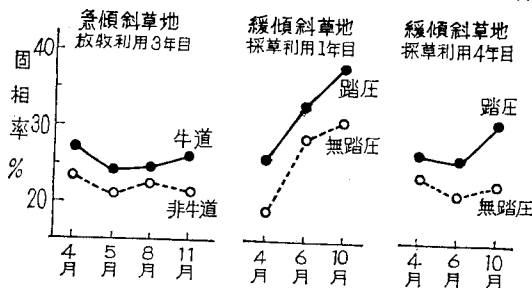
異にした場合、土壤の三相分布が年間の利用期間中にどのように変化するかを、原植生地と対比し調査した結果を表一に示した。

この結果急傾斜草地では放牧利用前の4月と最終放牧後10月とで、土壤三相分布の値に著しい変化がみられなかった。しかし原植生地との比較では、いずれの時期においても表層0~5cmの全重量、固相率、水分率が高く、空気率、孔隙率が低かった。したがって急傾斜草地では放牧利用年次の経過による土壤三相分布の変化が考えられる。これに対して緩傾斜草地では採草利用期間の前後で、土壤三相分布の値に著しい変化がみられた。すなわち刈取前の4月と最終刈取後の10月とでは、表層0~5cmの全重量が高くなり、固相率は約10%増加し、水分率も高まり、逆に空気率、孔隙率の低下が著しかった。このことは後述する大型機械の車輪踏圧の影響が一部加わったものと考えられる。なお急傾斜草地と緩傾斜草地の表層0~5cmの全重量の変異係数を比べると前者の方が高い。このことは草地の造成利用の差によると思われる。すなわち前者は不耕起造成で表層土壤の不均一性が草地化後も継続し、さらに放牧による蹄圧でその不均一性が助長されたものと考えられる。一方後者は耕起造成で表層土壤は均一化され、採草利用での車輪踏圧を強くうけたが、踏圧を受ける部分が走行上は意外と一定場所であったものとみられ、予測したほどの踏圧の差が生じなかった。

3) 草地の踏圧土壤の生成とその復元

先にのべたように草地では利用管理の過程で踏圧を受けた部分がかかり生成する。急傾斜草地では和牛放牧の場合、傾斜度が大きいと特徴的な牛道ができる。この牛道は牛の蹄圧、蹄傷の繰返して裸地化し、踏圧による土壤の物理性の変化が生ずる。また緩傾斜草地では大型機械による刈取、施肥など年間10回に及ぶ機械の導入があり、車輪により土壤が踏圧をうけ、圧密土層を生成し、土壤の物理性が変化する。そこでこれらの牛道や車輪踏圧地の土壤の三相分布を調べた。その結果のうち0~5cmの土壤固相率の変化を図一に示した²⁾。

急傾斜草地では牛道の0~5cmの土壤の固相率は、非



図一 草地の踏圧土壤の固相率の変化—0~5cm—(昭和44年)

牛道の0~5cmの固相率よりいずれの時期にも高い傾向を示した。また緩傾斜草地でも踏圧を受けた0~5cmの土壤の固相率は、無踏圧の0~5cmの固相率よりいずれの利用年次、時期とも高い傾向がみられた。なおこれらの5~10cmの固相率は牛道と非牛道、踏圧と無踏圧との間に0~5cmでみられたほどの差がなかった。したがって放牧草地や採草地で踏圧を受けた土壤は表層0~5cmの間に、最も影響がみられることがわかった。事実、草地土壤の硬さの変化をみると、牛道では0~6cmの部分で貫入抵抗が増し、車輪踏圧地では1~5cmの硬度が増大していた²⁾。

さらに前記の緩傾斜草地で車輪により生成された踏圧層は表層0~5cmのどの部分で最も変化が大きいかをみると、0~2.5cm、2.5~5cmに区分した場合の三相分布は、採草利用4年目の草地で、車輪踏圧が繰返された2.5~5cm部分が0~2.5cmの部分より土壤固相率、水分率が高く、空気率が低い傾向がみられた。このことから採草地での車輪圧の影響は表層0~5cmの部分でも車輪のラグが直接あたる最表層より、その直下2.5~5cmの部分で大きいことがわかる²⁾。

つぎにこれまでのべた草地の踏圧を受けた土壤の三相分布は冬期間を経過しどう変化するかを知るため、草地の越冬前後の土壤三相分布を調べた。その結果は、急傾斜草地では牛道の表層0~5cmの越冬前に高かった土壤の固相率が翌春の放牧前には固相率を減じ、非牛道との間に大差なくなることがみられた。また緩傾斜草地では土壤の固相率が表層0~5cmで越冬前には非常に高かったが、翌春の越冬後には約10%も減少する傾向がみられた。このように草地の表層0~5cmに放牧または採草利用により生成された踏圧土層は冬期間を経過することによって、凍上や春先の融凍の影響を受け、踏圧土層が復元され、夏期に形成された踏圧土層は年々それほど増加する傾向を示さないことがうかがわれた³⁾。

表一 耕・草・林地の土壤透水性の比較

(昭和45年9~10月)

区別	調査場所	採取部位 cm	透水係数 (定水位) Kcm/sec	孔隙率 P %
耕地	寺沢開拓畑地	0~5	4.8×10^{-3}	77.3
		5~10	4.6×10^{-3}	78.6
草地	急傾斜草地(不耕起造成放牧利用4年目)	0~5	1.0×10^{-2}	79.8
		5~10	2.2×10^{-2}	79.7
	緩傾斜草地(耕起造成採草利用5年目)	0~5	7.6×10^{-3}	74.8
		5~10	7.5×10^{-3}	78.2
林地	カラマツ老齡林	0~5	4.5×10^{-2}	86.9
		5~10	3.2×10^{-2}	82.3

6. 傾斜草地の土壌透水性

1) 耕地, 草地, 林地の土壌透水性の比較

草地と耕地, 林地の土壌透水性を対比して調査した結果を表一3に示した。

耕地と林地とでは, 0~10cmの範囲の透水係数は耕地が $\times 10^{-3}$ オーダー, 林地が $\times 10^{-2}$ オーダーで耕地の透水性が低い傾向がみられた。草地と林地の比較では0~10cmの透水係数は急傾斜草地では $\times 10^{-2}$ オーダーで林地と同程度であるのに対し, 緩傾斜草地は $\times 10^{-3}$ オーダーで林地より透水性が低い傾向がみられた。緩傾斜草地でこのように透水性が低いことは, 利用年次が経過することにより, 先にのべたように三相分布では越冬後かなりの復元がみられたことと反し透水性では差の生ずることがみられた。

2) 草地の利用と土壌透水性の変化

草地の利用条件のちがいと土壌透水性の変化を調査した。その結果急傾斜草地(放牧利用4年目)で牛道と非牛道の土壌の透水係数を比べたが, 0~10cmの範囲ではいずれも $\times 10^{-2}$ オーダーで明確な差がなかった。しかし緩傾斜草地では利用2年目, 5年目ともに, 大型機械の車輪踏圧直前の土壌で0~5cmでは $\times 10^{-3}$ オーダーで5~10cmでは $\times 10^{-2}$ オーダーであり, 表層の透水性が低い傾向がみられた。しかも踏圧直後には0~5cmでは $\times 10^{-3}$ オーダーではあったが, 踏圧直前より透水性が低下する傾向が認められた³⁾。

7. 傾斜草地の浸透, 流出

傾斜草地の浸透, 流出の関係を知るため, 農業土木試験場試作の測定器(面積20m², 人工散水)で調査した結果は表一4の通りであった。

その結果, 原植生地では流出率が0であるのに対し, 急傾斜草地では0.47, 緩傾斜草地Aは0.54, Bは0.57であった。また原植生地で散水前後の土壌水分をみたが, 散

表一4 傾斜草地の散水流出試験(昭和44年)

調査場所	散水時間 min	総散水量 mm	総流出量 mm	流出率	単位又は散水100はビー はビー ク散水 量 mm / min	散水100 はビー はビー ク散水 土壌水分 保留量 (0~10cm) mm *
原植生地(ササ地)	62	108.5	0	0	1.8	15.9
急傾斜草地 (放牧利用4年目)	42	59.6	28.2	0.47	1.4	8.6
緩傾斜草地A (採草利用1年目)	63	103.3	55.6	0.54	1.6	13.1
緩傾斜草地B (採草利用4年目)	50	89.0	50.5	0.57	1.8	15.6

* 散水前後の土壌水分率増加量から試算

水前より散水後には比較的深い70~80cmまで水分が増加していた。これに対して傾斜草地ではいずれもかなりの流出が認められ下層での水分増加が少なかった。このことは森林伐採後地表の植被や堆積有機物層など土壌に及ぼす変化が少ない場合には土壌の浸透能, 透水性が大きく流出が少ないことがうかがえる。しかし草地造成後, 放牧や採草利用により, 土壌に踏圧が加えられ表層に圧密層が生じた草地では土壌の浸透能, 透水性が低下し流出率が高まるものと考えられる。これまで草地の流出率は一般には小さいと考えられてきたが, ここで得た値は火山灰の草地のこれまでの値と比べて大きい値である。このことは実際の規模では草地を造成, 利用する場合にかなりの条件の差があることがうかがえる。

8. 広域における水収支の解明と土壌保全

山地を開発し草地化する場合, これまで森林として平衡が保たれていたものが, 一時的にせよ破壊されることになるのでわれわれは草地として機能的な平衡状態を再現する責任がある。このため山地を草地化した場合, どのような降雨条件でどのような流出をみ, 土壌の流亡が起るかを知り, その実態を調査し, 適確な土壌保全対策を策定することが必要と考える。当場では昭和43年より流動研究員制度により, 気象, 土木, 土壌の各分野が協力し, 同一場所で研究上の問題点を明らかにし, 研究手法の検討をおこなってきた²⁾。そして昭和45年より広域における水収支解明の一環として, 草地を中心に周辺の耕地, 林地に量水セキを設置し, 降雨と流出との関係を今後継続的に調査することにした³⁾。

9. おわりに

以上傾斜草地の土壌物理性について, 山地を開発し造成, 利用している傾斜草地を中心に土壌水分, 三相分布, 透水性, 浸透, 流出などについてのべた。今後はさらにこれらの結果についての点と点の結び方について研究をすすめたいと思っている。

参考文献

- 1) 経済企画庁: 新全国総合開発計画 23 (1969)
- 2) 農林省農事試験場山地支場: 傾斜草地の土壌保全対策に関する研究, 山地支場研究資料 No. 9 (1970)
- 3) 草地試験場山地支場: 昭和45年度試験成績概要, 山地支場研究資料 No. 10 (1971)

水田土壌の構造

齋藤 万之助*

還元状態にある土壌はどのような粒子の配列様式を示すであろうか。巨視的にはかべ状構造がその典型的な土壌構造であることが認められているが、湛水還元下で土壌は和水分潤し粒子間結合力が弱いため分散的であるとか、ゼリー状、水ようかん状あるいは豆腐のような構造であるなどとこれまで表現されている。ゼリー状などの表現は明らかに土壌が凝集状態にあることを意味しているようであるが、還元状態にある土壌はいかなる粒子の結合状態ないし微細構造においてかべ状構造を示すものか必ずしも明確ではない。

粒子の結合状態はそのかべ状構造の性状を規制し、土壌が酸化状態に変化したあとの土壌構造にも影響を及ぼしているであろう。

本報告は湛水還元下において水田土壌は凝集状態であることを明らかにし、その凝集の機作をさらにはそれが水田の土壌構造に及ぼす影響を考察した結果をまとめたものであり、その詳細は別に発表している¹⁻⁶⁾。

1. 水田作土の物理性の経時的変化

カオリン鉱物を主要粘土鉱物とする乾田の京都農試水田に堆肥、無堆肥二区を設けて、稲作期間中の団粒量、分散率、三相分布の変化を、酸化還元電位(Eh)との関係において追求した。

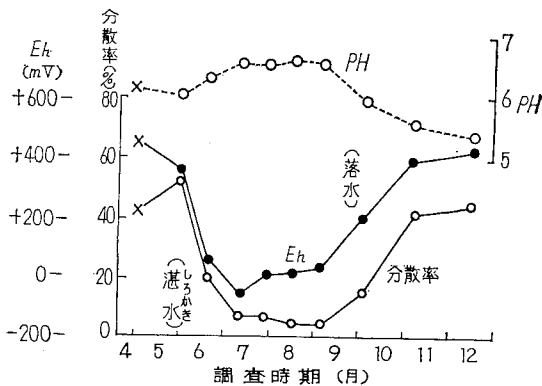


図-1 Eh, pHおよび分散率の経時変化 (京都農試堆肥区, 1936年)
分散率の測定…4%懸濁液 15分振とう

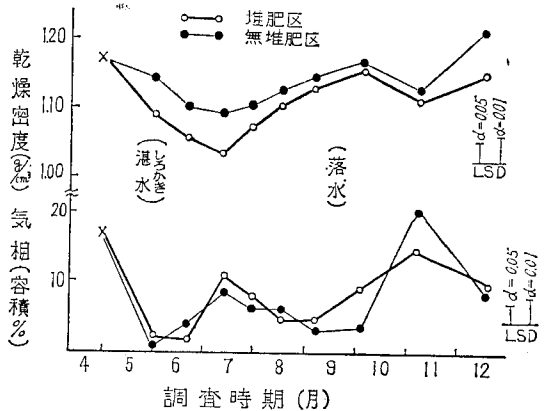


図-2 乾燥密度および気相の経時変化 (京都農試, 1966)

しろかきにより泥状化を促進された土壌は還元化が進むにつれてさらに粒子間結合力は弱化し、団粒は崩壊した。しろかきで分散性のよくなった土壌は還元下では水中振とうすると40~50μ程度の粒子に相当する速さで沈降するフロックが得られ凝集状態に変化したことを示した(図-1)。したがって落水期まで低い団粒量および分散率で経過した。

乾燥密度と気相の経時的変化は 図-2 のようであった。乾燥密度はしろかきにより、さらに還元化に伴い減少して7月上旬には極小値に達した。しろかき時に極小値を示した気相は、この時点には還元過程で発生したガスによって極大値を示した。乾燥密度の極小値は土壌の分散状態から凝集状態への移行、還元化に伴って発生したガスの土壌および水との置換、さらには湛水還元による土壌粒子の和水分潤による。

その後ガスの逸散、土壌自体の沈下によって乾燥密度は徐々に増加し、落水後田植前の値に回復した。極大値に達した後、気相は減少していったが、落水時においてもしろかき時の割合までには減少せず、内封されて残存している部分があった。

なおアロフェンを主要粘土鉱物とする火山灰水田土壌も還元下では凝集状態にあることが明らかになった。

2. 湿田土壌の構造

湿田土壌は排水不良で終始多少とも還元状態にあるか

* 北海道開発局土木試験所 1971.6.2 受理

ら凝集的であることが、上述の結果から予想される。

地下水位が高いことが湿田の原因と思われる琵琶湖東部の二沖積水田を夏冬二回調査研究し、上述の予想を検証し、その構造特性を考察した。

断面層序は APG/G₁/II G₂/III G₃ (近江八幡土壤) および APG/G₁ (能登川土壤) と全層グライ層であった。また遊離鉄は表層に富化していた。

両土壤とも凝集状態にあり、凝集性良好なものは比重計法で見掛けの粒径40~50 μ に鋭いピークが認められ、フロックはほぼ均一な径を示した(図-3)。したがっ

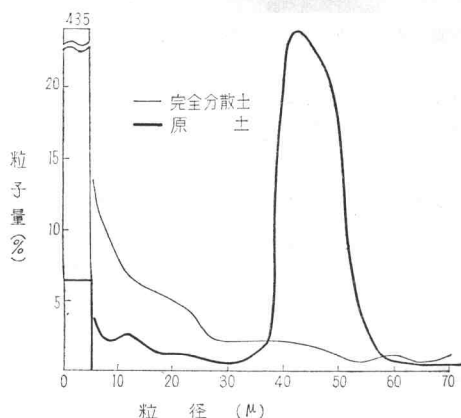


図-3 粒径分布 近江八幡土壤 G₁層

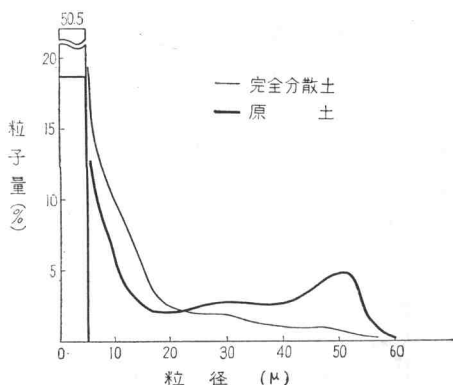


図-4 粒径分布 近江八幡土壤 II G₂層

表-1 供試湿田土壤の三相分布

土 壤	層 位	仮比重 (g/cm ³)	三相分布 (vol %)		
			固 相	液 相	気 相
近江八幡	ApG	0.86	31.9	64.0	4.1
	G ₁	1.01	37.9	55.1	7.0
	II G ₂	1.04	38.9	56.4	4.7
	III G ₃	—	—	—	—
能 登 川	ApG	0.78	28.2	67.7	4.1
	G ₁	1.07	38.2	57.2	4.1

て完全分散土と比較して微細粒子、特に5 μ 以下の粒子の減少が目立った。ただしこの図から完全分散土と原土の直接の比較はできないが、原土の凝集状態を検討することはできる。

凝集性の悪いもの(図-4)は水溶性ないし易分解性有機物が原因しているものと思われた(後述)。

三相分布の特性は表-1に示すように、固相率が低いことおよび気相率が低く二相系⁹⁾に近い状態にあったことである。固相率の低いことは基本的には土壤が凝集していることと粒子の和水の効果である。

3. フロックの形態

還元下で凝集状態にある水田土壤を水中振とうして得たフロックを光学顕微鏡および電子顕微鏡で観察した。

フロックは多孔質な網状構造(写真-1)を示し、砂

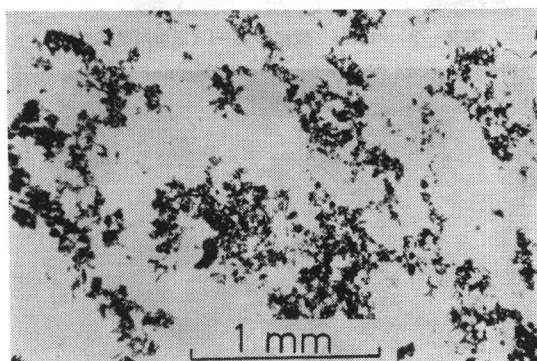


写真-1 フロックの形態 (京都農試土壤)

粒子もその構成員になっていた。0.1mm内外のフロックが相集って大きなフロックが生成されるものと思われた。この大きなフロック間は帯のように集合した小フロックが結合していた。

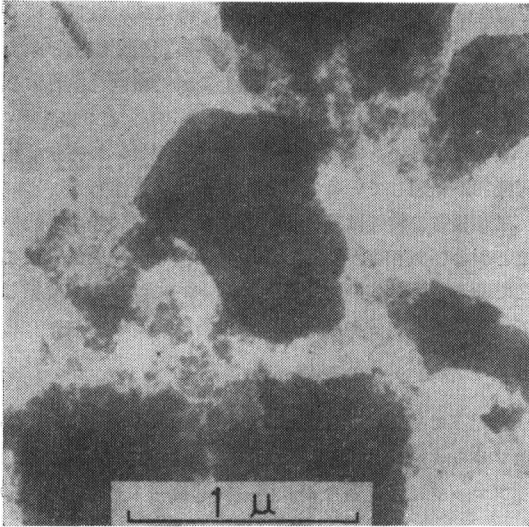
光学顕微鏡下ではフロックの形態には火山灰土壤であるか否かによる差異は認め難かった。

フロックにオルソ・フェナンスロリン、アルミノンあるいは混合還元剤を添加してそれぞれ鉄、アルミあるいはシリカの発色を試みたら、前二者でフロックは容易に赤く発色した。シリカの発色は不完全であった。

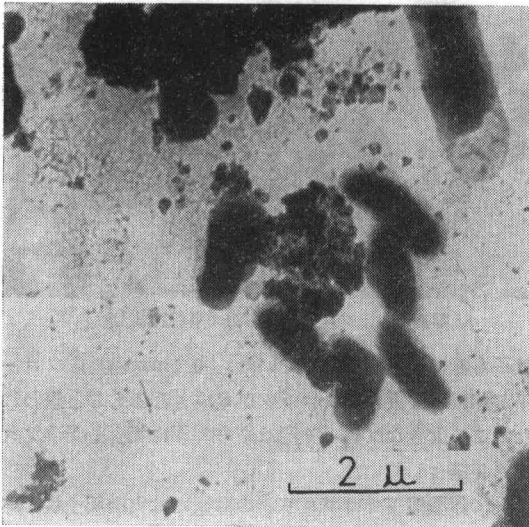
弘法ら⁸⁾は還元化に伴い土壤の無機有機成分が易溶化、水溶化し、水溶性カチオンはイオン置換反応に関与することを明らかにし、また置換容量の半分にも及ぶ置換性二価鉄の存在が報告されている⁹⁾¹⁰⁾。

したがって上述の処理によるフロックの発色は粒子に吸着した非晶質ゲルおよび粒子自体の無定形化した部分が還元過程でゾル化あるいはイオン化したためである。このようにして生成したゾルやイオンが凝集剤として作用するためフロックが生成するものと推察した。

電子顕微鏡観察により、無機質土壤では非晶質物は粘



写真—2 フロック微細形態—1 (滋賀県農試土壤)



写真—3 フロック微細形態—2 (北海道留寿郡土壤)

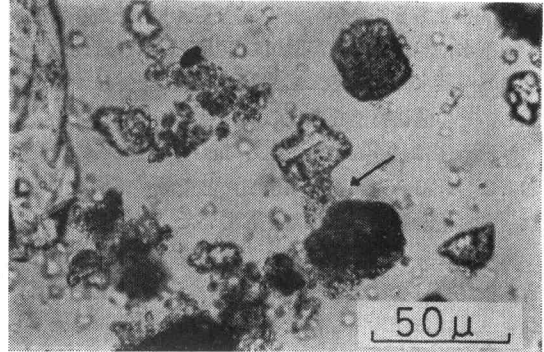
土粒子に吸着し濃淡を示し、網状構造あるいは糸状を呈することが認められた。

写真—2はその1例である。この写真では中央の粘土粒子（雲母系鉱物か）と多孔質な粘土粒子は網状構造の非晶質物によって結合されている。多孔質な粘土粒子は非晶質物とほとんど区別できず、無定形化しているものと思われた。

火山灰土壤では糸状およびマイクログリゲート状のアロフェンの存在が観察された（写真—3）。

なおこれらの土壤を脱鉄処理すると、無機質土壤では粒子表面はなめらかになり、火山灰土壤では糸状アロフェンの消失が観察された。

写真—3 のマイクログリゲート状のアロフェンを取り



写真—4 細砂粒子間を結合するフロック (能登川土壤)

まいてるのは細菌であるが、微生物自体およびその代謝するガム状物質も還元下での土壤の凝集性の一端を担っていると推定された。

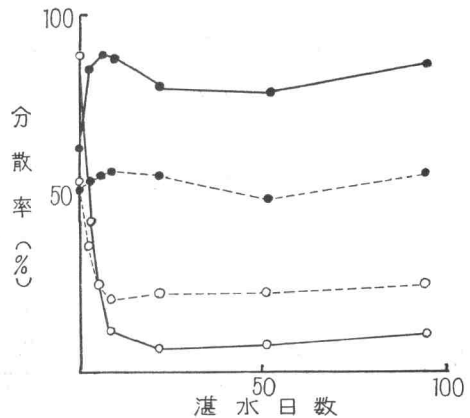
オルソ・フェナンスロリンあるいはアルミニウム処理で粗粒子は局部的に赤く発色した。このような局所的な活性部位が微細粒子あるいはそのフロックと反応して、粗粒子もフロックの構成員になるものと考えられる（写真—4）。

写真—4 に示したような粒子の結合形態は落水後の作土の微細構造にも観察され、その結合形態は還元下の凝集性を基本骨格としていることが示唆された。

4. 還元土壤の凝集性に及ぼす風乾の影響

還元土壤の凝集性を風乾土と新鮮土を用いて室内で確認実験を行なった。

図—5 に示すように湛水還元した場合、新鮮土は凝集状態になるが、風乾土はかなり良好な分散状態になることが明らかになった。風乾土について丸田¹¹⁾も同様の結果を得ている。



図—5 分散率の経時的变化 (4%懸濁液, 15分振とう)

— 京都農試土壤 --- 栃木農試土壤
● 風乾土 ○ 新鮮土

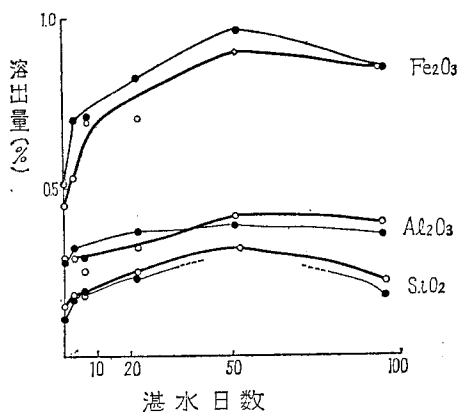


図-6 0.2N塩酸可溶性鉄、アルミおよびシリカの経時の変化(京都農試土壤)

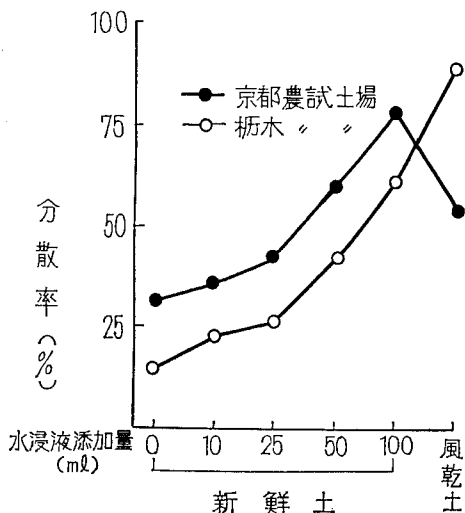


図-7 オーチャードグラス水浸液が湛水新鮮土の凝集性に及ぼす影響

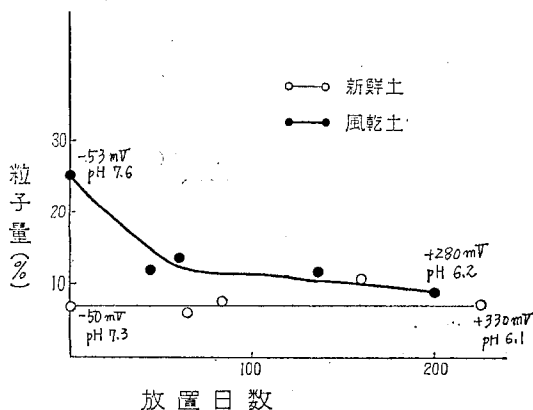


図-8 45日湛水土壤の水中放置日数と20 μ 以下の粒子量(ピペット法)、pHおよびEhの変化(北海道奈井江土壤)

したがって風乾土を用いて還元化に伴い透水性が低下するという考察¹²⁾は結果の類似性として説明される。

湛水還元化に伴い0.2N塩酸可溶性の鉄、アルミ、シリカの含量は経時的に増加し、これらの成分が易溶化、水溶化することを示している(図-6)が、新鮮土と風乾土の間に本質的な差異はなかった。よって風乾土では凝集剤が何らかの因子によってその働きを妨害されていると考えられる。

沈定容積の測定では、風乾脱水の影響は有機物に強く現われた(表-2)。またこれまでの多くの研究と同様

表-2 有機物分解による沈定容積の変化

土 壤	有機物処理	沈定容積(ml/g)		A / F 比
		新鮮土(F)	風乾土(A)	
京 都	未分解	2.03	1.57	0.77
	分 解	3.23	3.03	0.94
栃 木	未分解	4.30	3.10	0.72
	分 解	3.33	0.96	0.96

に、風乾、湛水還元は易分解性あるいは水溶性有機物の増大をもたらした。これらの有機物のキレート作用あるいは保護コロイド作用により、風乾土は湛水還元した場合分散的になると推定した。稲わら、オーチャードグラスの2%水浸液が還元下で凝集状態にある新鮮土を分散させることから上記の推定の可能性を検証した(図-7)。

弱酸化状態になると、有機物の分解が盛んになり、風乾土を湛水還元した場合でも凝集状態に移行した(図-8)。

以上より、還元下の水田土壤の凝集性は結合物質の凝集剤への転化に基因するが、多量に存在する易分解性ないし水溶性有機物はその凝集性を妨害すると結論される。

5. 水田作土の構造、団粒

土壌物理学では、団粒(aggregate)は、生成論の立場からの crumb と観念的に同義とみなしてしまっている場合が多い。しかしこの団粒はまったく実用的な概念であり、分析によって得られる団粒は高次の構造のものもあれば、一次粒子の集合した破片であるかもしれない。すなわち現実の aggregate と観念上のそれは必ずしも一致しない。

したがって団粒分析では団粒の量は知ることはできるが、団粒内、団粒間の性状は知ることはできない。

このように団粒は実用的な概念であり、目的に応じた

分析法を選ぶ必要がある。

Crumb の発達した土壌とかべ状構造の土壌では、分析によって得られた団粒の持つ意味はおのずと異なるであろう。したがって土壌の構造性を論ずる場合、まず圃場での土壌構造の形態的特徴を把握せねばならない。このことなしでは自然体としての土壌の存在様式とは無関係に土壌物質の団粒分析で得られた値から自然の土壌の構造性を論ずるといふ安易な操作主義に陥る危険性がある。

ところで一般にしろかき田では、周年的な酸化還元のくりかえしにより土壌構造の発達は微弱であり、かべ状構造を基調としていられると思われ⁴⁾、団粒分析で得られた団粒はおそらく低次の構造体と推定される。このことおよび還元下で土壌は凝集していることから、寺沢¹³⁾の提出した施肥改善事業の土壌分類体系における各土壌群の構造モデルは結果の類似性にすぎないといえよう。

ところで水田土壌の団粒はその径が小さいほど内部孔げきが増すといわれ⁴⁾、結合物質の局部化が生じているという報告¹⁵⁾もあるので、団粒についてはさらに考察を進める必要がある。

湛水下の水田土壌の団粒分析は多くの困難を伴うことが、松尾・佐藤¹⁶⁾によって報告されている。著者ら²⁾もそれについて検討を加えた。

一方湛水土壌の微細形態観察から、そこに土塊の存在を認めた(写真-5)。このような土塊の存在は水稲の

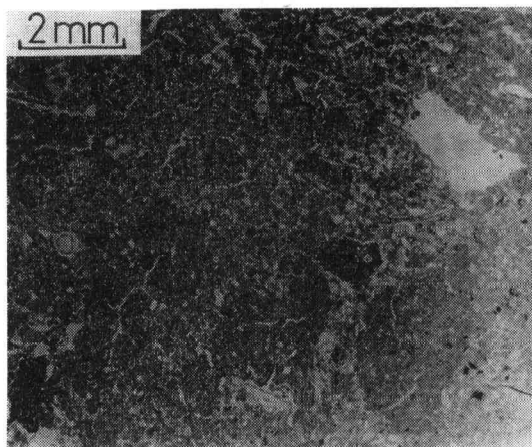


写真-5 湛水期の作土上部の微細構造
(京都農試水田, 1966年8月15日採取)

生育と密接な関係のあることが、多くの研究者によって明らかにされている¹⁷⁾。なおこれは試料を凍結乾燥させ、固化薄片とし観察したものである。土壌の全収縮はほとんど認められないが、この方法の欠点は凍結の際の微小なレンズ状の氷層のためと思われる層状の孔隙が生成することである。湛水下の土壌の微細形態観察法に箱石¹⁸⁾は水溶性樹脂を用いて1つの前進をもたらした。

この土塊は単粒状構造¹⁹⁾中の微細粒子が少ないことにより、識別されるものである。作土下部は均一なかべ状構造を呈していたが、このような土塊の存在は十分考えることである。またこのような土塊は団粒分析によっては識別できないであろう。

写真右の孔隙は還元によって発生したガスによるものであろう。湛水中の作土の孔隙は、この種の孔隙以外ほとんど観察されず、かべ状構造であり、落水後の土層にみられる孔隙の生成、弱団粒化などの構造の再編成⁴⁾は主に落水後の現象と推察された。

水田土壌の構造性把握には微細構造の観察が有力な方法と思われ、BREWER²⁰⁾のFabric Analysisがその際意義を持つであろう。

6. む す び

水田土壌は還元下で凝集状態にあることを示し、落水後酸化状態になっても、この凝集性の影響が強く残っていることを明らかにした、また水田土壌の構造性に関して多少の論議を試みた。

還元下の水田土壌の凝集性と、保水性、透水性あるいはコンシステンシーなどの水田土壌の物理性ととの関連は今後の問題として残されている。

また風乾土と新鮮土の問題あるいは界面現象と密接な関係をもつ非晶質物の性状など不明な点が多い。

参 考 文 献

- 1) 斎藤・川口：土肥誌, 42, 1 (1971)
- 2) 斎藤・川口：土肥誌, 42, 58 (1971)
- 3) 斎藤・川口：土肥誌, 42, 61 (1971)
- 4) 斎藤, 川口：土肥誌, 42, (1971)
- 5) 斎藤・川口：土肥誌, 42, (1971)
- 6) 斎藤・川口：土肥誌, 投稿中 (1971)
- 7) 美園・川尻：土肥誌, 35, 422 (1964)
- 8) 弘法・高井・和田・香川：透水条件下に於ける水田土壌地力の変遷に関する基礎的研究, p. 29 (1968)
- 9) 川口・川地：土肥誌, 40, 89 (1969)
- 10) 本村：農技研報, B21, 1 (1969)
- 11) 丸田：土壌の物理性, 21, 11 (1970)
- 12) 富士岡・五十崎：農土研, 23, 368 (1956)
- 13) 寺沢：農技研報, B22, 85 (1971)
- 14) 川口・虎谷：土肥誌, 30, 417 (1959)
- 15) 喜田：土壌構造と結合物質の作用および改良剤の利用に関する研究 p. 29 (1961)
- 16) 松尾・佐藤：土肥誌, 33, 295 (1950)
- 17) 出井：土壌の物理性, 16, 27 (1967)
- 18) 箱石：農業技術, 25, 376 (1970)
- 19) 青峰：農業技術, 10, 297 (1955)
- 20) BREWER, R.: Fabric and Mineral Analysis of Soils, p. 129, John Wiley & Sons Inc., New York (1964)

「新期火山性成層土における水分移動に関する研究」¹⁾²⁾³⁾ における土壤物理的内容

中 野 政 詩*

I はじめに

北海道八雲町落部字浜中に典型的な新期火山性成層がみられる。成層のようすは、表一1、各層の物理性は表一2に示した通りである。

農業土木学会論文集第31号に掲載されている「新期火山性成層土における水分移動に関する研究」(第1報~第3報)は、このうちの第1層から第3層までの土層を対象とし、浸潤から浸透・排水・蒸発までそれぞれの場合の水分分布の変化の仕方を明らかにし、降雨特性との関連で生育期間にわたる土壌水分の消長をこのサイクルの循環としてのべているものである。以下に、そのうちの土壤物理的内容をひろってみよう。

II 浸潤・浸透・排水における水分分布について

土壌表面の湛水による浸潤・浸透・排水それぞれの過程での水分分布の変化は、模式的に図一1のように説明される。

密一粗の表面の2成層での浸潤では、いまの場合浸潤の始めに土壌が乾燥状態ではないにもかかわらず、田淵の研究⁴⁾⁵⁾の教えるところそのままに、前線が第2層の粗粒子層に入ると浸潤強度が一定になり各深さで均一な含水量で浸潤がすすむ。古く Bodman and Colman⁶⁾が明らかにしたように、その際の第1層の含水量は飽和ではない。

前線が第3層の下端に到達した後の浸透では、第3層が密な層であるために第2層下部に滞水するという意味の湿潤層があらわれその高さが成長する。

次いで、表面の湛水が消失すると排水がおこなわれる。排水終了後の水分分布は、単層の場合排水による毛管水分曲線としてすでに理解されているところそのままに、密一粗の2層の場合でもロージ

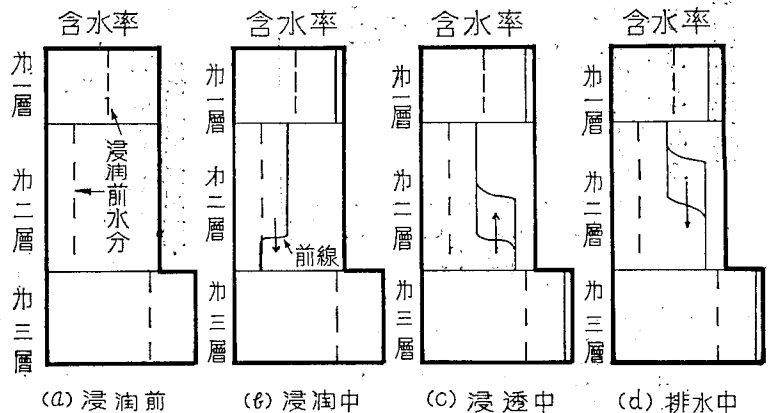
エ「土壌と水」⁷⁾のなかで教科書的に解明されているとおりにあらわれる。3層の場合、第1層では第1層個有の排水による毛管水分曲線の毛管水帯最下部の水分分布をしめし、第2層では排水48時間後でも毛管水帯の水を下部に残す。しかし、第2層個有の毛管上昇の最大値が第3層の厚さ20cmより小さいために、現実にはありえ

表一1 土 壤 断 面

深 さ	層位	土 性	土 色	構 造	堅 密 度
第1層 0~16cm	Ap	HSC	黒褐75 Y R ^{2/3}	単	粗
第2層 16~25cm	B	S	明黄褐10 Y R ^{6/6}	単	粗
25~50cm	C		淡黄灰褐10 Y R ^{8/2}		
第3層 50~75cm	II A	H(CL)	黒 2.5 Y R ^{1/0}	細型角塊	粗
第4層 75~83cm	II B	HSL	黒赤褐 5 Y R ^{3/6}	粗角塊	密
第5層 83~140cm	II C	HSC	褐10 Y R ^{4/4}	ナシ	密

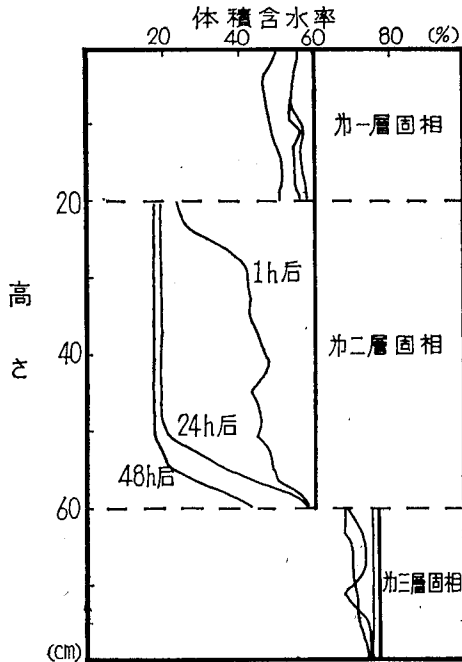
表一2 各層土壌の物理性

	固相間隙率 (%)	間隙率 (%)	湿潤密度	乾燥密度	間隙率に対する水分飽和度 (P F 2 以上)	飽和透水係数 (cm/sec)	真比重
第1層	39.4	60.6	1.42	1.04	65.0	4.6×10 ⁻³	2.55
第2層	39.2	60.8	1.26	1.05	24.3	120×10 ⁻³	2.75
第3層	22.0	78.0	0.21	0.54	90.8	5.0×10 ⁻³	2.40



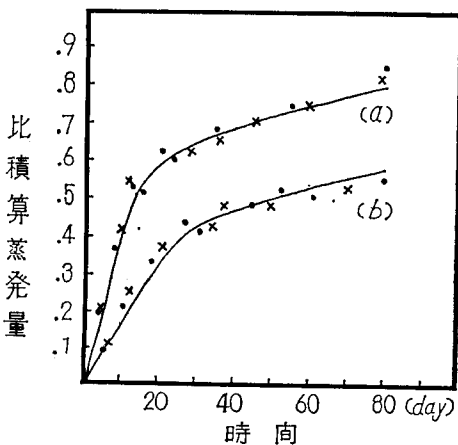
図一1 浸潤・浸透・排水各過程の水分分布の変化模式図

* 東京大学農学部



図—2 排水中の水分分布の変化

ないことであろうけれども無限時間後には第2層は毛管水帯の水を残しえず最小容水量状態に全層がおちつのである。第3層では第1層でいえたことがそのままあてはまる。結論的に、実験室的な意味でも蒸発の初期水分状態は特に第2層でわれわれの時間尺度では恒定的なものとしてはありえない、ことが改めて理解される。(図—2)



図—3 比積算蒸発量の時間変化

- (注) 1. 実線は第1層単層の場合
 2. ●印は第1, 2層の2成層の場合で20°C, 65%相対湿度下にあるときのもの
 3. ×印は第1, 2, 3層の3成層の場合で20°C, 65%相対湿度下にあるときのもの
 4. (a)は第1層の長さか14cmの場合で (b)は第1層の長さか32cmの場合である。

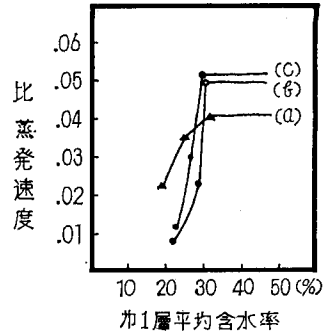
Ⅲ 土壌面蒸発の特性と下層からの水分移動について

積算蒸発量の時間変化は、図—3にみるように蒸発条件が同じで第1層の長さが同じなら、第1層単層でも第1層と第2層の2成層でも第1, 2, 3層が3層をなす場合でも、ほぼ同じ一つの曲線であらわせる。

蒸発速度の第1層平均含水率による変化(図—4)をみると、

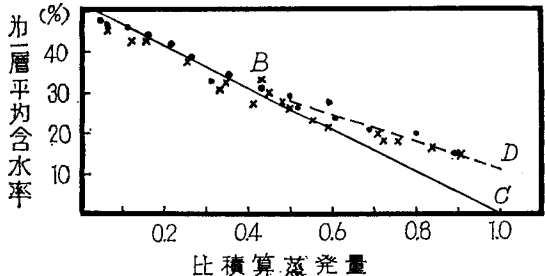
2成層あるいは3成層では減率乾燥が2段に分かれませんが、第1層単層では第1段と第2段の2つに分かれる。これは、蒸発量が温度・風速等外部蒸発条件にすぐれて左右される量であるのに対して、第1層平均含水率は蒸発量他に下層をもつ場合には下層からの水分移動の量にも、左右される量だからである。このことから、下層からの水分移動があれば第1層平均含水率が大きくなっていくので、すくなくとも減率乾燥期間には下層からの水分移動がおこなわれていることがうかがわれる。

恒率乾燥期間では下層からの水分移動はどうなっているのか、また水分移動の量そのものはどの程度の大きさなのか、これを知るためには第1層での水収支計算が適当である。すなわち、図—5にみるように、第1層平均含水率が30%以上にある間は、下層があってもなくても、第1層全体がもつ全水分量と積算蒸発量の和が初期に第



図—4 比蒸発速度と第一層平均含水率

- (注) 1. (a)は第1層単層の場合であり (b)は第1, 2層の2成層の場合であり (c)は第1, 2, 3層の3成層の場合である
 2. いずれも、20°C 65%相対湿度下にある。
 3. いずれも第1層の長さは14cmである。



図—5 第1層平均含水率と比積算蒸発量

- (注) 1. 実線は第1層単層の場合
 2. ●印は第1, 2層の2成層のもの
 3. ×印は第1, 2, 3層の3成層のもの
 4. いずれも20°C 65%相対湿度下にある

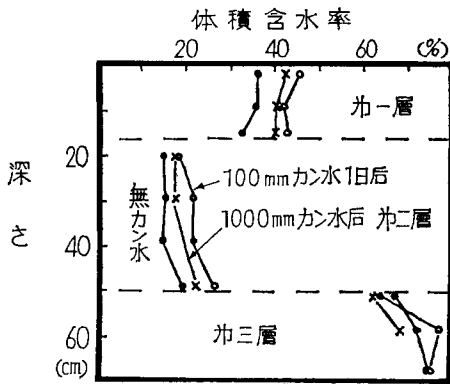


図-6 圃場の水分分布と圃場カン水試験による排水中の水分分布

1層全体がもつ水分量に等しくなっていて、すなわち下層から第1層への水分移動がないことをしめしている。第1層平均含水率が30%以下になると、下層がある場合には第一層のもつ全水分量と積算蒸発量の和は第1層が始めに持っていた全水分量より大きな値になり、すなわち下層から第1層への水分移動があることを示めている。その移動量は図-5の直線 BD と直線 BC の差を与える。詳しい計算の結果は、下層から第1層への水分移動の量は単位時間でみると蒸発量の1/2であることをしめた。第1層平均含水率の30%という値は、図-6 からみて恒率乾燥が減率乾燥にかわるとき境界の値である。いいかえて、恒率乾燥期間では下層から第1層への水分移動はないのである。

IV 圃場での水分分布と水分減少について

100mmのタン水浸潤を圃場でおこし、24時間後の水分分布をみると図-6のようになっている。第1層では40%に近い水分状態をしめし、第2層では毛管水帯の水は下部にあまりみられず全体として最小容水量より大きい水分量を示めている。これは、試験が1m×1mの区画でのものでありかつ圃場が平均 3°30' の傾斜地であるために、横流れがあるためと考えられている。この理由づけは、又、実際の降雨のもとでは、第1層では50%ぐらいの室内実験がしめた水分状態がみられ、第2層ではその透水性が第3層にくらべて25倍も大きいから横流れの影響が大きくなり圃場試験がしめた水分状態が実現するという予測をうみ出している。3日後の水分分布からは、第1層はまだ40%近くの水分状態にあるから、蒸発に関する室内実験結果とあいまって、第2層はまだ排水段階にあってしかも第2層から第1層への水分移動がおこっていないことが考えられる。

第2層から第1層への水分移動が始まるときの第1層平均含水率は、圃場では35%位である。それは、第1層

平均含水率が35%のときに第2層上端の含水率が15%という最小容水量よりわずかに小さい値になっている事があったことに依っている。室内実験の結果とちがっているわけであるが、その理由として問題提起的に根の吸水力の影響があげられる。根の吸水力の影響が端的にあらわれるところは、第1層の水分分布の形である。(図-7, 8) すなわち、土壌面蒸発だけによるときには恒率乾燥段階ではほぼ均一に、減率段階では表面に近くなるほど急激に水分が減少するように、水分分布がかわってくるのたいして、圃場ではシオレ含水量近くになるまで水分分布はいつもほぼ均一である。このことは、仮設的に、第1層での水分減少は、圃場では根によって場所的に均一におこなわれる、として説明される。

圃場での水分分布の変化の仕方から根の吸水量を計算してみると、第1層の平均含水率の値にかかわらずいつも 2~3mm/day である。すなわち、圃場での水分消費特性はほとんど恒率でおこなわれる。

下層から第1層への水分移動の量は、圃場でも、室内実験結果と同じように単位時間当りで第1層の水分減少

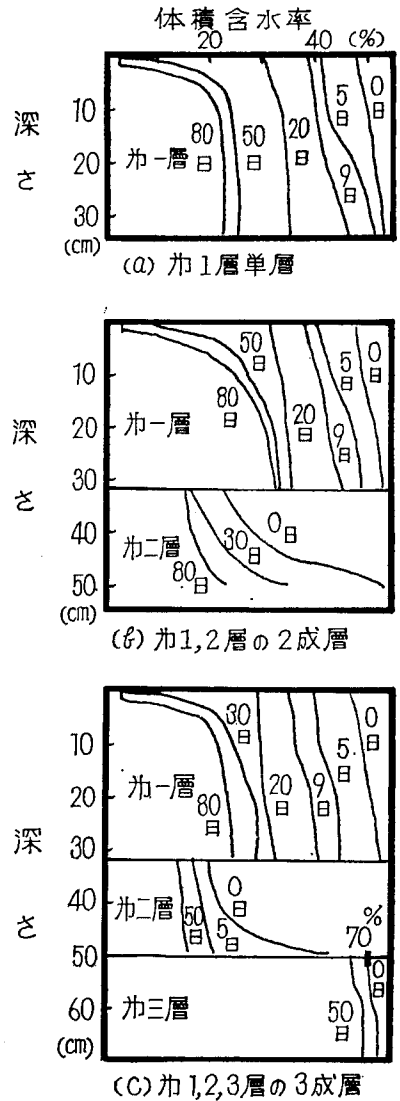


図-7 土壌面蒸発下の水分分布の変化、(注)20°C, 65%相対湿度下にある場合

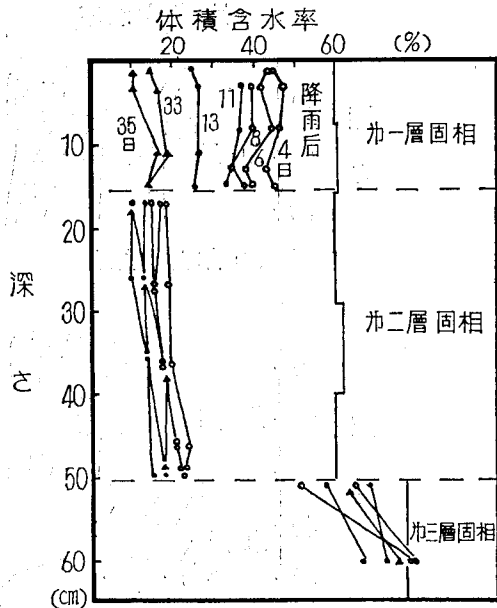


図-8 圃場の水分分布

量のほぼ $\frac{1}{3}$ 程度はある。

V おわりに

以上、「新期火山成層土における水分移動に関する研究」にみられる土壌物理に関する記述の部分だけを抜き出してまとめてみた。本研究のとりつきかたは、一言でいって、作土層として第1層しか機能せず、第2層があるために植物に利用される水が非常に少ない。雨量も少ない。従って土層改善あるいは灌漑をすることでこの点を解決し収量をあげることが出来ないか、という現地耕作者の問いかけに対する答を出すために、その実態を調べてみようというところであった。著者等は、土壌生成、土壌肥料、土質改善、地水学を総合する研究として研究をすすめる努力をして、それはそれなりの答を出したつもりである。研究の中では、従って、すでにメカニズムが明らかになっている土壌物理学的知見は問いかけに対して答えが出るようなかたちで積極的に使い、メカニズムが明らかではないが問いかけに対する答を出す

ために必要と考えられた土壌物理学的知見については答えが出せるようなかたちで新たに理論ないし実験をおこしその結果をまとめる、というように土壌物理が位置づけられている。

本報告は、その結論を推論した実験条件や圃場条件あるいは推論過程が省略されて結論だけが記述されている。

こんなことも手伝って、本記述の限りでは理解に苦しむところが多々あると思われるが原報告にまかせたい。

尚、この研究は、北海道大学農業工学科土質改善研究室員と東京大学農業工学科農業地水学研究室員の共同研究でおこなわれたものである。

引用文献

- 1) 田淵俊雄他：新期火山性成層土における水分移動に関する研究(第1報)，農土論集，第31号，pp 1~9, 1970.
- 2) 中野政詩：同上(第2報)，農土論集，第31号，pp 9~16, 1970.
- 3) 中野政詩他：同上(第3報)，農土論集，第31号，pp 17~24, 1970.
- 4) 田淵俊雄：浸潤とそれに続く浸透1，農土研別冊1，pp 13~19, 1960.
- 5) 田淵俊雄：同上2，同上2，pp 27~36, 1961.
- 6) G. B. Bodman & E. A. Colman: Moisture and energy conditions during downward entry of water into soils. Soil. Sci. Soc. Amr. Proc, 8. pp 116~122. 1943.
- 7) ローゼ：土壌と水，東大出版会，1963.
- 8) 田淵俊雄：三層の粒子層における降下浸潤，浸透および排水，43年農土学会大会講演要旨，pp198~199, 1968.
- 9) 田淵俊雄：粒子層における「浸潤と毛管力」，研究の資料と記録，第19集，東大農地工学，1971.
- 10) 桐柴良三他：詳論「化学工学」単位操作II，(21)乾燥 pp 581~658，朝倉書店，1962.
- 11) O. T. Denmcad & R. H. Shaw: Availability of soil water to plants as affected by soil moisture content and meteorological conditions. Agronomy journal 34, (5), pp 385~390, 1962.

報 文

ジャワ島の土壤の物理性とくに硬盤について

吉 川 久 雄*

I はじめに

編集幹事から海外の土壤の調査研究の経験を紹介するようとの御注文をうけましたが物理的な性質については殆んど手をつけておらず、大変困りました。然し責をはたす意味で全く不十分な報告にはなりますが、皆様の興味をひくやもしれぬと思われることから、単に一つの資料として見て頂くつもりで、上記の標題でまとめてみました。

なお、筆者は川口桂三郎、久馬一剛両氏らとともに田中明氏を代表者とする文部省海外学術研究「南アジア稲作地帯における特殊土壤とそれによる水稻生育障害調査」の共同研究者として、ジャワ島に1970年1月から3月まで滞在し、主として水田土壤の調査に従事した。本調査を計画、実現しこの機会を与えて下さった石塚北大教授（現名誉教授）に厚くお礼申しあげます。

II 調査土壤と三相分布

調査土壤の土壤型、コア試料による容積重、三相分布を第1表に示した。

土壤型は Dudal & Soeprapto-hardjo (1957) の分類法による。この方法によるジャワ島の Exploratory Soil Map (1:1,000,000) が1960年に発行されている。また松井 (1958) はその抄録を報告している。

各土壤型毎にまとめた容積重および間隙比の平均値と標準偏差を

第1表 調査土壤の土壤型、容積重、孔隙比及び三相分布

Soil type	Region	Soil No.	Horizon	rd g/100cc	e	Vs %	Vw %	Va %	rs			
Alluvial	West	+	9-1 Apg	67.5								
			-2 A12g	97.5	1.83	35.3	61.5	3.2	2.76			
			-3 C1g	117.5	1.26	44.2	52.0	3.8	2.66			
			-4 C2g	120.0	1.25	44.5	47.5	8.0	2.70			
			-5 C3g	123.7	1.15	46.5	43.5	10.0	2.66			
			11-1 Apg	66.7	3.02	24.9	66.5	8.6	2.68			
			-2 C1g	109.9	1.44	41.0	54.0	5.0	2.68			
			-3 C2g	110.1	1.50	40.0	55.0	5.0	2.75			
			-4 C3g	111.0	1.44	41.0	53.0	6.0	2.71			
			+12-1 Apg	93.6								
			-2 C1g	116.3								
			-3 C2g	114.4								
	-4 C3g											
	Middle			22-1 Apg	114.6	1.30	43.5	49.5	7.0	2.63		
				-2 C1g	119.6	1.22	45.0	46.5	8.5	2.66		
				-3 C2	116.8	1.29	43.7	55.5	0.8	2.67		
				-4 IIC3	106.9	1.60	38.4	56.5	5.1	2.78		
				23-1 Apg	94.3	1.90	34.5	51.0	14.5	2.73		
				-2 C1g	115.4	1.37	42.2	54.0	3.8	2.73		
-3 C2g				100.0	1.75	36.3	56.5	7.2	2.75			
+25-1 Apg				76.4	2.50	28.5	60.0	11.5	2.68			
-2 A12g												
-3 C1g				111.7	1.43	41.2	54.5	4.3	2.71			
East		+	43-1 Apg	95.5	1.71	36.9	57.5	5.6	2.59			
			-2 C1g	106.3	1.45	40.9	53.5	5.6	2.59			
			-3 C2	103.5	2.34	30.0	62.5	7.5	3.45			
			-4 C3	96.2	1.75	36.3	57.5	6.2	2.66			
			-5 C4	92.7	1.85	35.1	58.0	6.9	2.64			
			Grumusol	Middle	+	20-1 Apg	83.7	2.17	31.5	59.5	9.0	2.66
						-2 C1g	106.2	1.54	39.3	56.5	4.2	2.70
						-3 C2g	108.1	1.56	39.0	55.0	6.0	2.77
						-4 C3g	110.2	1.56	39.0	54.0	7.0	2.83

* 京都大学農学部 1971.4.5 受理

Soil type	Region	Soil No.	Horizon	rd	e	Vs	Vw	Vs	rs	
Latosol	East	31-1	Ap	92.7	1.78	36.0	60.0	4.0	2.58	
		-2	AC	93.7	1.78	36.0	60.5	3.5	2.60	
		-3	C1	85.7	2.03	33.0	62.0	5.0	2.60	
		-4	C2	84.2	2.14	31.9	64.5	3.6	2.64	
		+35-1	Apg	80.2	2.33	30.1	59.0	10.9	2.66	
		-2	C1g	99.1	1.67	37.5	60.5	2.0	2.64	
		-3	C2	98.2	1.72	36.8	60.0	3.2	2.67	
		-4	C3	101.6	1.70	37.0	61.0	2.0	2.75	
		+46-1	Apg	76.9	2.22	31.0	53.5	15.5	2.48	
		-2	C1	115.2	1.17	46.1	50.5	3.4	2.50	
	-3	C2	104.3	1.45	40.8	51.5	7.7	2.56		
	-4	C3	94.3	1.69	37.2	56.5	6.3	2.53		
	-5	C4	95.9	1.64	37.9	58.0	4.1	2.53		
	West	1-1	Apg	99.9						
		-2	ABg	105.4						
		-3	B1g	98.0						
		-4	B2g	85.5						
		-5	BCg	84.8						
		2-1	Apg	104.4	1.67	37.5	40.5	22.0	2.78	
		-2	ABg	119.2	1.24	44.7	46.0	9.3	2.67	
-3		B1g	106.6	1.65	37.7	43.0	19.3	2.83		
-4		B2g	100.5	1.77	36.1	47.5	16.4	2.78		
-5		BC1g	105.5	1.61	38.3	54.5	7.2	2.75		
+3	3-1	Apg	70.3							
	-2	A12g	101.0	1.73	36.6	58.0	5.4	2.76		
	-3	B1g	100.9	1.73	36.6	54.0	9.4	2.76		
	-4	IIB2g	100.2	1.87	34.8	55.5	9.7	2.88		
	-5	IIBC1g	79.6	2.66	27.3	57.5	15.2	2.92		
	5-1	Apg	120.1	1.22	45.0	45.0	10.0	2.67		
	-2	C1g	116.1	1.39	41.8	49.5	8.7	2.78		
	-3	C2g	110.1	1.49	40.2	48.5	11.3	2.74		
	-4	C3g								
	Middle	28-1	Apg	125.2	1.11	47.3	47.5	5.2	2.65	
-2		C1g	144.7	0.86	53.9	46.5	0	2.68		
-3		IIC2g	139.2	0.93	51.9	47.0	1.1	2.68		
-4		IIC3g	126.7	1.16	46.2	51.0	2.8	2.74		
East	+44-1	Apg	78.1	2.28	30.5	49.5	20.0	2.56		
	-2	B1g	128.1	1.01	49.7	47.0	3.3	2.58		
	-3	B2g	120.7	1.19	45.6	48.1	6.3	2.65		
	-4	C1	99.0	1.60	38.5	53.0	8.5	2.57		
	-5	IIC2								
	-6	IIIC3	97.1	1.75	36.4	49.0	14.6	2.67		

表-2 に示した。

Andosol は小さな容積重と大きな間隙比により明らかに他の土壌型と区別される。

Alluvial, Grumusol, Latosol の間には差を見出し難い。しかし現場での構造には明らかな差があり、Grumusol では写真1のような、また Latosol ではより丸味をおびた粒状構造が表面に発達する。また Grumusol の場合、くさび型構造 (Wedge), 鏡肌 (Slickenside) の発達が著しい。

Regosol, Mediterranean は前者よりやや密な充填を示し、Planosol, Red yellow podzolic は非常に密な充填と液相の減少を示す。

少数例ではあるが、これらの土壌の三相分布を三角図表にプロットした (図-1)。

土壌型による差については前述のとおりだが、Regosol は砂質なものとならないものに分類される。また Reddish Latosol は Brown Latosol より多孔質である。

母材的にみると、Aは沖積、扇状地、山麓崩積物、Bは火山灰、Cは洪積段丘ないし侵蝕段丘、Dは砂となる。この結果は美園ら (文献参照) が日本において土壌母材と三相分布について示した関係に類似している。

III 硬盤について

インドネシアの土壌中の硬盤については、Mohr & van Baren (1954), Dudal & Soeprapto-hardjo (1960) により (1)ラテライト殻、(2)火山噴出物に由来する珪酸質の硬盤、(3)炭酸石灰コンクリーションの集積層、が報告されている。

われわれは水田土壌を見て歩いた関係上、ごく少数の硬盤を見たにすぎない。また硬盤の詳細な論

議に立ち入る資料もないので、ここではジャワの農民が硬い（インドネシア語で *padas*）層と呼んでいるものの性状について若干の報告をする。

われわれの見た範囲ではそれらは次の三つに分けられる。

(1)火山山麓の緩傾斜地にみられる *padas* 層、これは(a)うすい多孔質な非ラテライト性硬盤と (b)厚い固結泥流ないし角礫岩等の火山噴出物の風化層、の二つに分けられる。

(2)段丘上の土壌にみられる密充填による *padas* 層。

(3)珪酸質ないし石灰質の結合物質で固結された微化石の集積した *padas* 層。

以下にそれらの例を述べる。

(1)火山山麓の緩傾斜地にみられる ***padas* 層**

a-(i) IN 44-5 (インドネシア土壌44番目の試坑第5層の意味、以下も同様)

位置: Ardjasa, Djember, East Java

地形と母材: Argopuro 火山の開析の進んだ南西山麓緩傾斜地、新第四紀火山噴出物、海拔140m

土壌図上の土壌型: 塩基性~中性火成岩に由来する傾斜地~山地上の Latosol, Andosol, この試坑は Brown Latosol,

断面形態:

Apg 0~13cm 7.5YR4/1(潤) Liⁱ C.

Blg 13~20 10YR 5/2 (湿) Li C. 5YR3/6膜状、糸根状斑含む、中-強中角塊のまわりに粘土被膜,

B2g 20~30 7.5YR 4/2(湿) Li C, 膜状、糸根状、結塊状Mn斑含む、5 YR 3/6, 膜状、点状斑含む、強中

Soil type	Region	Soil No.	Horizon	rd	e	Vs	Vw	Vs	rs		
Andosol	West	+	4-1 Apg	61.7	2.73	23.5	58.5	18.0	2.63		
			-2 Bg								
			-3 IIBCg								
				15-1	A1	52.7	4.00	20.0	40.0	40.0	2.64
				-2	A B	57.2	3.27	23.4	56.5	20.1	2.44
				-3	IIABb	49.3	4.05	19.8	61.5	18.7	2.49
				-4	IIIAb	35.5	5.75	14.8	58.5	26.7	2.40
		-5	IIIBb	41.4	5.66	15.0	61.0	24.0	2.76		
		-6	IVAb								
		-7	IVB								
Mediterranean	East	41-1	Apg	117.2	1.36	42.3	50.5	7.2	2.77		
		-2	A12	123.6	1.09	47.9	48.0	4.1	2.58		
		-3	C1g	110.6	1.43	41.2	52.0	6.8	2.68		
		-4	C2g	110.3	1.32	43.1	53.5	3.4	2.56		
Regosol	Middle	27-1	Apg	117.7	1.14	46.6	53.0	0.4	2.53		
		-2	C1g	133.9	0.95	51.4	46.5	2.1	2.61		
		-3	C2g	117.1	1.13	46.9	51.0	2.1	2.50		
		-4	C3g	95.7	1.68	37.3	59.5	3.2	2.57		
	East	37-1	Apg	135.5	1.04	49.0	35.5	15.5	2.72		
		-2	Bg	150.2	0.87	53.5	34.0	12.5	2.81		
		-3	C1								
		-4	IIC2	137.3	1.20	45.5	19.0	35.5	3.02		
		-5	IIIC3	120.4	1.50	40.0	23.0	37.0	3.01		
		-6	IIIC4	130.7	1.27	44.4	34.0	22.0	2.97		
			39-1	Apg	117.5	1.11	47.3	48.5	4.2	2.48	
			-2	C1g	137.5	0.82	55.0	42.5	2.5	2.50	
			-3	C2g	139.5	0.81	53.4	40.0	4.6	2.52	
			-4	C3							
			42-1	Apg	97.5	1.72	36.7	54.5	8.8	2.66	
			-2	A12g	112.4	1.35	42.5	51.0	6.5	2.54	
		-3	Bg	108.8	1.44	41.0	52.5	6.5	2.65		
		-4	BC1g	111.5	1.39	41.9	53.0	5.1	2.66		
		-5	IIBC2g	108.4	1.40	41.6	51.0	7.4	2.61		
Planosol	West	7-1	Apg	149.7	0.57	63.6	29.5	6.9	2.35		
		-2	B1g	176.2	0.42	70.3	23.5	6.2	2.51		
		-3	BC1g	163.4	0.50	66.7	22.0	11.3	2.45		
		-4	BC2g	139.0	0.79	56.0	38.0	6.0	2.48		
		-5	Cg	112.6	1.22	45.0	29.0	26.0	2.50		
Red Yellow Podzolic	West	8-1	Apg	156.0	0.63	61.5	34.5	4.0	2.54		
		-2	A12g	161.9	0.63	61.5	34.5	4.0	2.63		
		-3	C1g	147.4	0.80	55.5	37.5	7.0	2.66		
		-4	C2g	134.3	0.96	51.1	37.5	11.4	2.63		
		-5	C3g	146.0	0.84	54.3	38.5	7.2	2.69		

注: +印は調査時に湛水状態もしくはそれに近い状態にあった土壌を示す。

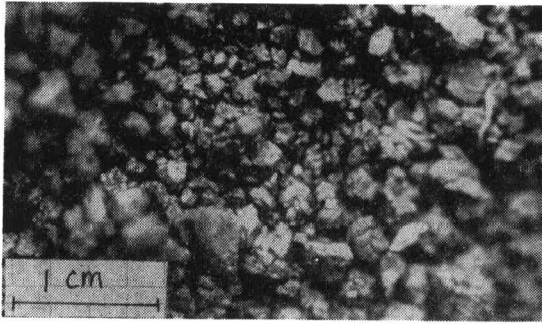


写真-1 Grumusol (IN 31) の表面にみられる粒状構造

表-2 容積重, 孔隙比の土壌型毎の平均値と標準偏差

	$\bar{r} \pm \sigma$	$\bar{e} \pm \sigma$
Andosol	49.6 ± 9.8 n=6	4.24 ± 1.23 n=6
Grumusol	95.9 ± 11.1 n=17	1.77 ± 0.31 n=17
Alluvial	103.8 ± 15.1 n=27	1.65 ± 0.45 n=27
Latosol	106.2 ± 19.6 n=27	1.52 ± 0.44 n=21
Mediterranean	115.4 ± 6.3 n=4	1.30 ± 0.15 n=4
Regosol	121.9 ± 15.6 n=17	1.23 ± 0.28 n=17
Planosol	148.2 ± 24.3 n=5	0.70 ± 0.32 n=5
Red Yellow Podzolic	149.1 ± 12.2 n=5	0.77 ± 0.14 n=5

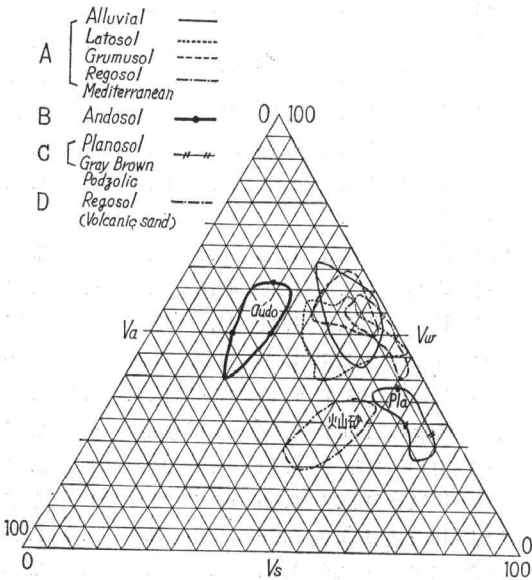


図-1 土壌型と三相分佈

角塊のまわりに10YR 5/1 粘土被膜, 堅密,
 C₁ 30~70 7.5YR 3/3(湿) LiC, 中小一中塊のまわり
 に粘土被膜, 粗鬆,
 II C₂ 70~77 10YR 4/3 (乾), 多孔質ですこぶる堅
 (硬度計の読み>30mm) padas 層

III C₃ 77~110+ 5YR 3/3 (潤) LiC, 弱一中小塊の
 まわりに粘土被膜, 粗鬆,
 試掘水田の畦は約70cmの高さで, 隣接する下位の水田
 にはこの盤層はない。ききとりでは, より高位置の水田
 にはより深い部分にこの盤層が現われる由, したがって
 この盤層は現在の地表面の形成される前に作られ, その
 後の侵蝕過程で低い位置のものは削り去られたと推定さ
 れる。

細砂中の一次鉱物組成からみて各層の母材は類似して
 いる。また各層に植物起源と思われるオパール(写真-2)

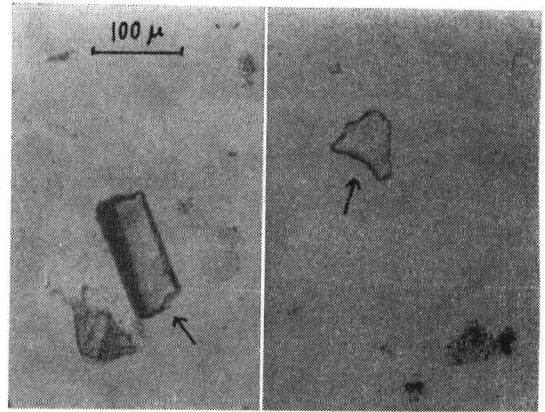


写真-2 IN44-5 細砂中のプラチンオパール

が多量に存在し, その量はむしろ下層で増加する。pa-
 das 層の土壤薄片を観察すると, 軽石, 少量のスコリア
 もあり, 多孔質で, 孔隙を埋めて, または孔隙の内壁に
 黄褐色の粘土被膜が存在し, クロソニコルでなでるよう
 に消光する(写真-3)。他の層に比べて骨格粒子の
 質, 量に差はないが padas 層以外の層では sesquan の
 発達が著しい。

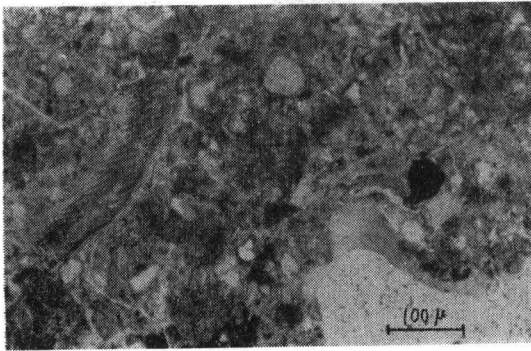
この盤層の生成について推察すると, 未固結の母材が
 地表風化をうけ, その上に新しい母材が堆積するサイ
 クルの中で, 結合物質の濃縮をもたらす環境時に次表層
 にあった層位に盤層が生成したものと考えられる。

a-(ii) IN 26-4

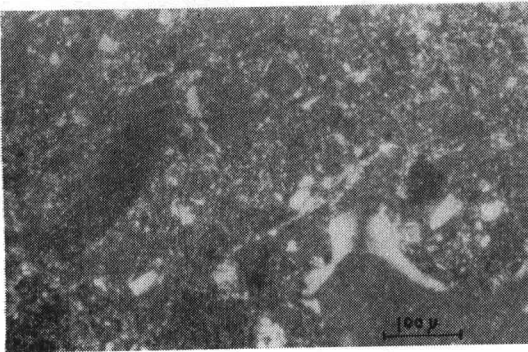
位置: Kotagede, Bantul, Daerah Istimewa, Jogjakarta.
 地形と母材: Merapi 火山の南側山麓崩積斜面, 新第
 四紀火山噴出物, 海拔160m.
 土壤図上の土壌型: 塩基性~中性火成岩に由来する傾
 斜地~山地上の Regosol.

断面形態:

- Apg 0~12cm 2.5Y4/1 (潤) SCL.
- ABg 12~15 2.5Y5/1 (湿~潤) SCL, 5YR4/8 糸
根状斑富む。粗鬆,
- Bg 15~24 7.5YR4/1 (湿~潤) LiC, 小一大風



写真—3 厚い粘土被膜と小動物遺体
(a) IN44-5 土壌薄片11ニコル



(b) 同 ニコル (100×)

- 化岩片含む、糸根状、膜状 Mn 斑富む、細孔富む、粗鬆。
- C1g 24~56 7.5YR6/6SL と 10YR4/1 (湿) SLのモザイク、風化岩片包入、橙色の部分がすこぶる堅、padas 層
- C2g 56~74 7.5Y4/4 LiC と 7.5YR5/1 (湿~潤) LiC のモザイク、小斑点状、糸根状 Mn 斑富む。弱~中小角塊のまわりに厚い粘土被膜、多孔質、堅、
- C3g 74~90 7.5YR3/4 (湿~潤) CL、小斑点状、膜状 Mn 斑富む。Mn コンクリーション富む。強中~大角塊のまわりに粘土被膜、多孔質、すこぶる堅。
- C4g 90~100+ 7.5YR4/4 (湿~潤) LiC、Mn コンクリーションおよび結塊あり、中中塊のまわりに粘土被膜、粘鬆。

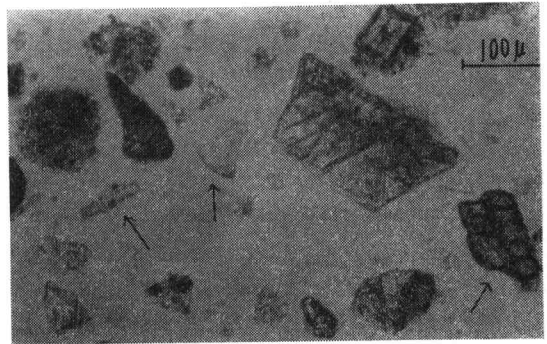
第4層の padas 層が、この地点より高所では浅い所に、低所ではより深いところに出現するそうだが、ほぼ現在の地表面に沿って分布し、地形も IN 44 の場合程は開析されていない。鉱物組成は斜長石、輝石を主とし、それにここでも植物珪酸体(写真—4)がかなり含まれている。母材の Merapi 火山噴出物は普通輝石型 (Mohr

& van Baren, 1954) である。

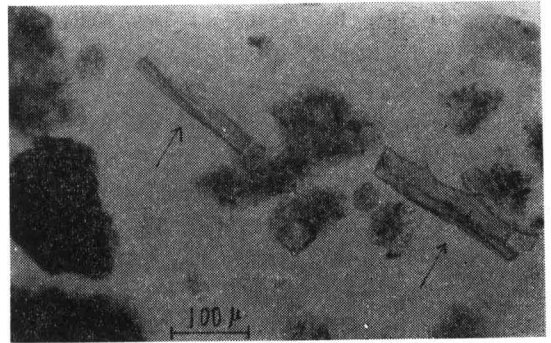
Padas 層の土壌薄片を観察すると、新鮮な斜長石、輝石、少量のスコリアなどの骨格粒子が intertextic fabric を示し、凝集的暗褐色の基地中に円形~長方形の複屈折の低い argisesquan が多く見られる。これらは一次粒子の *in situ* の粘土化を示すものと思う。孔隙壁面には sesquan の発達が見られる。(写真—4)これらの諸特徴は IN44 padas 層に比べて若いものであることを示す。

b-(i) IN29-3

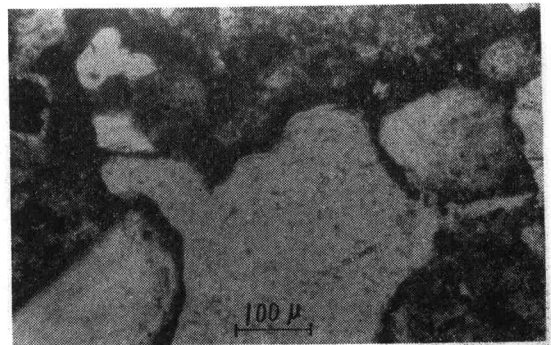
位置 : Sasik Madu, Karanganyar, Central Java.



写真—4 (a) IN26-4 細砂中のプラントオパール



(b) //



(c) IN26-4 土壌薄片11ニコル
厚い sesquan (100×)

地形と母材：Lawu 火山の南側山麓崩積性緩傾斜地，
新期～旧期第四紀火山噴出物，
土壤図上の土壤型：塩基性～中性火成岩に由来する山
地上の Mediterranean, Grumusol. この試坑は
Reddish Brown Mediterranean.

断面形態：

- Apg 0～17cm 10YR4/2.5 (湿～潤) LiC,
7.5YR4/6～5YR4/8 の糸根状，膜状
斑含む。
- C1g 17～37 7.5YR4/3 (湿) LiC, Mn 斑富む。
Fe-Mn コンクリーション含む，堅
密，
- II C2g 37～80 + 7.5Y4/1 (湿) HC, 5YR4/6～7.5YR
5/1の風化岩片含むないし富む。中中
角塊のまわりに粘土被膜，粗鬆でや
や堅， padas 層

b-(ii) IN39-4

位置：Modjosari, Modjosari, Modjokerto, East Java.
地形と母材：Ardjuno 火山の北側山麓緩傾斜地，未詳
ないし新第四紀火山噴出物，海拔約100m
土壤図上の土壤型：塩基性～中性火成岩に由来する傾
斜地～山地上の Regosol.

断面形態：

- Apg 0～13cm 10YR5/1 (潤) LiC, 7.5YR4/6 糸
根状，膜状斑含む，Mn コンクリ
ーションあり。
- C1g 13～33 10YR4/1 (湿～潤) LiC, 糸根状，膜
状 Mn 斑含む，Mn コンクリーショ
ンあり～含む，弱一中中一大塊のま
わりに粘土被膜，粗鬆，
- C2g 33～55 10YR4/1 (湿) LiC, 風化礫あり～含
む，その他同上。
- C3 55～80+ 7.5YR4/4, 固結泥流ないし角礫岩の
風化層，すこぶる堅密， padas 層。

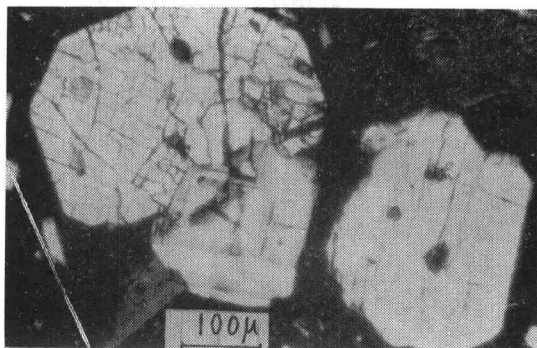
Kendeng 丘陵地帯の南側，Surakarta～Madiun～Ked-



写真—5 IN29 付近にみられる安山岩質角レキ岩の基盤



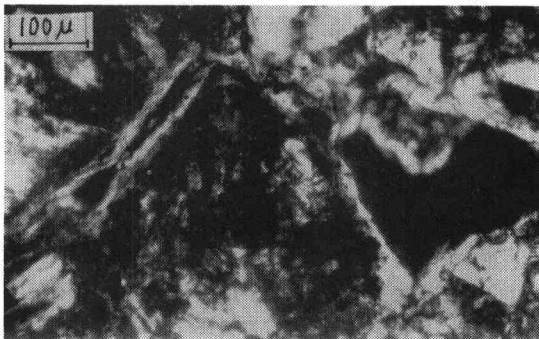
写真—6 (a) IN39-4 土壤薄片11ニコル



(b) 同、ニコル (100×)



写真—7 (a) IN29-3 土壤薄片11ニコル



(b) 同 ニコル孔隙周辺の ferri-
ragillan と R_2O_3 の集積 (100×)

iri~Malang 周辺には lahars (固結泥流堆積物ないし安山岩質角礫岩) が厚く層状をなして現在の地形の基盤を形成している。それらの地層の形成期はこの地域では洪積世下部、洪積世上部の 2 回が報告されている (The Geological Survey of Indonesia, 1961) が、1919年の Kelud 火山の爆発について Kemmerling (1921) が述べているような最近のものも山麓近くでは含まれてこよう。この lahars あるいはその風化層はもちろん非常に硬く、その出現深度が農耕地の範囲、肥沃度を限定するだろう。

写真-5 は IN29 付近に見られる開析地形で、この地域の基盤をなしている lahars が深い谷によって開析されている。

Lahars の組織は IN39-4 の新鮮な部分にみられる組織 (写真-6) に似ていよう。主として繊維状ガラスおよび微小な拍子木状斜長石から成る基地中に普通輝石、斜長石、角閃石などの斑晶が存在する。

IN29-3 (写真-7) は IN39-4 に比べて風化が進み、 10μ 位の glaebules が多数あり、孔隙や ped 表面には ferri-argillan, sesquan が発達している。

(2) 段丘上の密充填による padas 層

(i) IN 7-2

位置 : Kradilan, Serang, West Java.

地形と母材 : やや開析された侵蝕段丘上の平坦地、鮮新世堆積相、海拔15m

土壌図上の土壌型 : 砂岩、酸性火成岩に由来する傾斜地~山地上の Red-Yellow Podzolic. この試坑は Planosol.

断面形態 :

- Apg 0~11cm 2.5Y5.5/1 (湿~潤) SCL, 7.5YR5/8 糸根状斑含む, Feコンクリーション含む。
- B1g 11~17 10YR4/1(湿) SCL, 5YR4/6雲状斑含む, 雲状 Mn 斑含む。すこぶる堅密, padas 層
- BC1g 17~36 10YR4/1(湿) HC, 7.5YR5/8 雲状斑含む, Fe コンクリーションあり, すこぶる堅密。
- BC2g 36~55 10YR5/1(半乾) HC, 10YR4/6雲状斑含む, Fe コンクリーションあり, 堅密。
- Cg 55~80+ 5Y8/2と 2.5YR6/6(半乾) SCLないし SiL, 亀裂表面に5YR4/8 膜状斑, すこぶる堅密, padas 層。

(ii) IN 8

位置 : Lamahabang, Bekasi, West Java.

地形と母材 : 洪積段丘上の平坦面, 洪積期火山噴出物, 海拔20m

土壌図上の土壌型 : 酸性堆積岩に由来する波状地の Red-Yellow Podzolic.

断面形態 :

- Apg 0~12cm 2.5Y5/2 (湿) SiCL, 7.5YR6/8膜状, 糸根状斑含む, 粗鬆。
- A12g 12~19 2.5Y5/2(湿) SiC, 5YR4/8 糸根状斑富む, 弱大塊, 粗鬆でやや堅密。
- C1g 19~43 2.5Y6/2と 7.5YR4/6 (湿) SiC の粗いモザイク, Fe コンクリーション

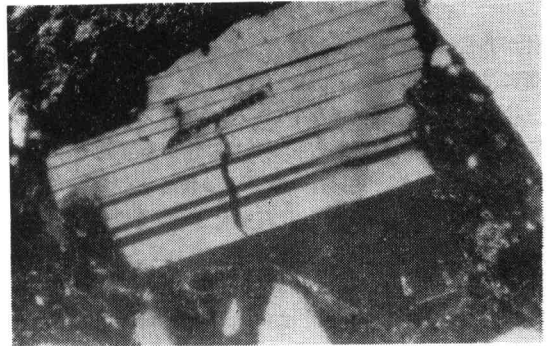
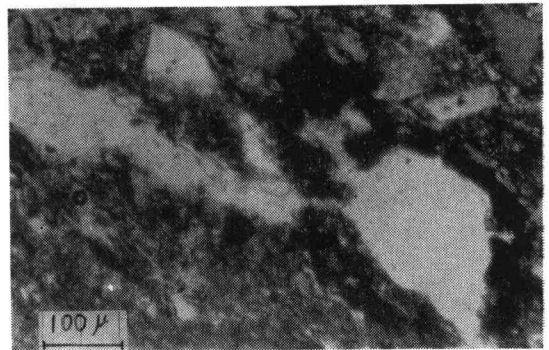
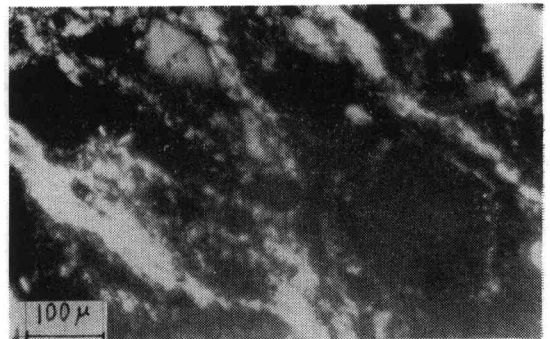


写真-3 (a) IN7-2 土壌薄片+ニコル
ガラス質の基地と新鮮な斜長石粒子



(b) 同 ニコル



(c) ニコル基地中の argillan と孔隙
周辺の sesquan(100x)

あり、弱一中中塊のまわりに粘土被膜、粗鬆でやや堅密。

C2g 43~65 2.5Y6/2 と 7.5YR4/6~5YR4/8(湿)
HC のモザイク、Fe コンクリー
ションあり、弱一中中塊のまわりに粘
土被膜、粗鬆でやや堅密。

C3g 65~100+ 2.5Y6/2 と 2.5YR4/8(湿)HC のモ
ザイク、Feコンクリーションあり、
中小塊のまわりに粘土被膜、すこぶ
る粗鬆。

IN-7, 8, はともに容積重150前後で非常に硬い。IN 8
の場合は特別に padas 層があるわけではないが土層全
体が非常に堅密である。またこれらの土壤の分布する地
帯には瓦を焼く小工場が多い。

IN 7-2 の土壤薄片を観察すると(写真-8), 微小なガ
ラス質粒子と斜長石から成る非常に密な解膠的基地の中
に、新鮮な大きい斜長石の斑晶が多数あり、大きい glae-
bules (max. ϕ 3mm), 植物珪酸体が含まれる。孔隙周
辺には argillan, argi-sesquan が見られる。大きい鉄コ
ンクリーションの内部には斜長石粒子が包入されている
場合がある。全体としては aseptic plasmic fabric を示
す。

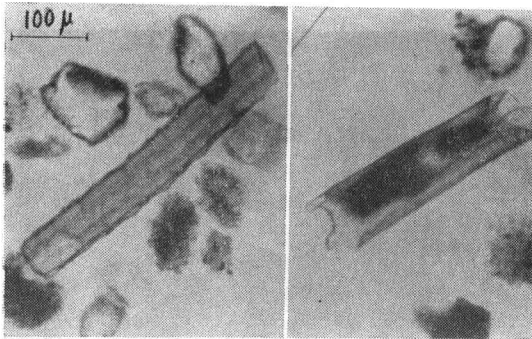
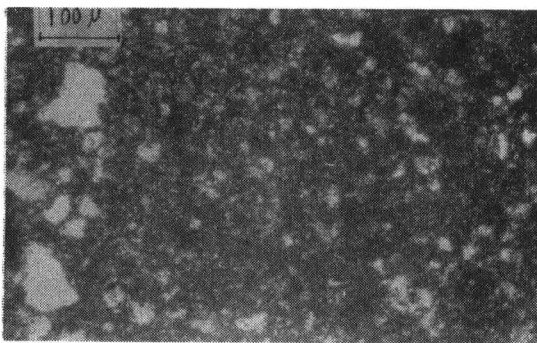


写真-9 (a) IN8-4 細砂中の珪化木破片(右)と
プラントオパール(左)



(b) 8-2 土壤薄片+ニコル aseptic
plasmic fabric(100 \times)

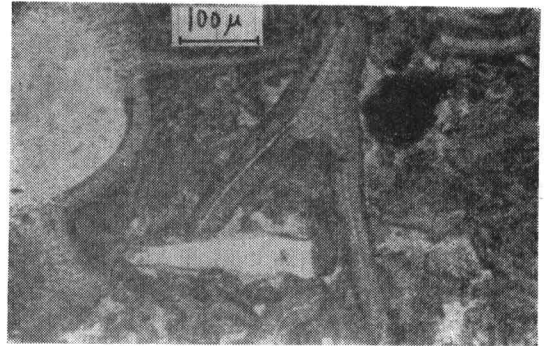
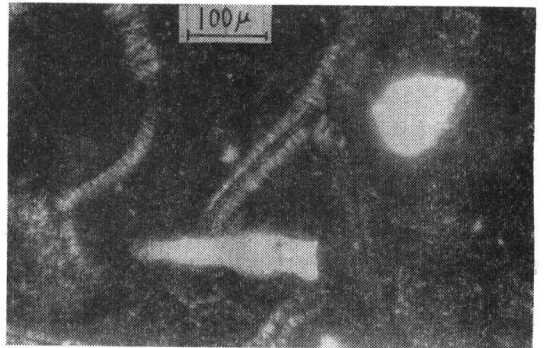
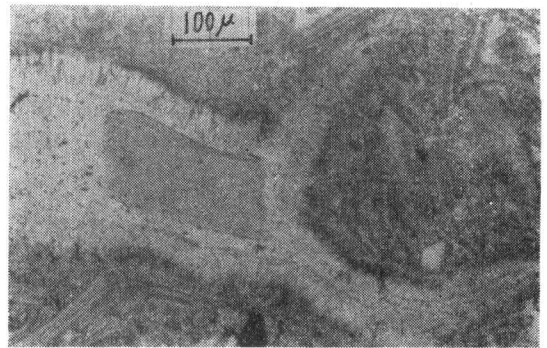


写真-10 IN7-padas 土壤薄片
(a) 11ニコル



(b) 同上+ニコル



(c) 同11ニコル 微化石の集積(100 \times)

IN 8 の土壤薄片(写真-9)はシルトの密に充填した解
膠的基地を示し、aseptic である。孔隙周辺には遊離酸化
物の集積がみられるが複雑折は非常に低い。細砂中には
全層に植物珪酸体と珪化木の破片の如きもの(写真-9)
がみとめられる。

微細構造上のこれらの諸特徴は、これらの土層が水中
で厚く堆積し隆起後侵蝕をうけ、現在の土層は比較的最近
になって地表風化をうけることとなったものと推察せしめる。

(3)珪酸質ないし石灰質微化石集合層

IN 7-5 の容積重は比較的小さいが硬い、またこの試

表-3 細砂中の一次鉱物組成

Soil No.	Qu	Or	Pl	Bi	Mu	VG	PO	Weathered	Au	Hy	Am	Ol	OM	UD		
44-1	5	4	21	4	4	6	5	41	89	3	1	2	+	4	1	11
-3	1	4	21		1	6	18	39	90	3	+	1	+	4	1	10
-5			17				2	19	95	1	+	1	+	2	1	5
-6	1	2	22	4	1	4	23	24	81	3	1	3	+	10	2	19
26-1		10	47				3	2	20	82	11	2	2	1	1	18
-2									86	7	1	2	1	2	1	14
-4		13	45					5	17	80	10	2	2	1	3	20
-5									84	10	2	2	+	1	2	16
-6		3	43					21	21	88	6	1	2	+	2	12
29-1	3	1	38	2	1	4	5	16	70	7	4	10	1	6	2	30
-3	8	1	25	4	1	4	7	29	80	7	5	3	1	3	1	20
39-1	1	34	29		1	+	2	28	95	1	1	1	+	1	+	5
-3	1	13	37				1	1	92	2	2	3		1		8
-4		17	13						90	5	2	1		2	+	10
7-1	3		73		1	13	8		98	+	+			2	+	2
-5									98	+	+	1		1	+	2

Notes : Qu-Quartz Or-Alkali feldspar Bi-Biotite Mu-Muscovite
 VG-Volcanic glass PO-Plant opal
 Au-Augite Hy-Hypersthebe Am-Amphibole
 Ol-Olivine OM-Opaque minerals UD-Undetermined

* 印を附したものは非晶質石基が附着して固定でもないものを指し、必ずしも風化してはいない。

坑の近くの切りわりに第5層の下部に連続していると思われる非常に硬い padas 層がある。IN 7-5 および下部の padas 層の土壌薄片を観察すると写真10に示す微化石がびっしりとつまっている。両層とも微化石とガラス質火山灰の混合したものの如くである。

Stratigraphic Lexicon of Indonesia (1961) によると、この試坑地点の南には海緑石と砂を含む泥灰岩、ときとして凝灰質で厚さ 200mの鮮新世の地層がひろがっており、それには軟体動物、うに、さんご、小有孔虫の化石を大量に含むことが報告されている。またこの地層の下には珪化木を多量に含む中新世の地層が報告されている。

薄片にみられる微化石を同定するには至っていないが、報告されている化石群の一部と考えていいようである。

したがって、勿論表層には最近の堆積物をかぶっているだろうが、少なくとも第2層以下は鮮新世の地層の侵蝕面の可能性が高い。地表面での風化の年代そのものは比較的短いために古さを示す微細構造上の特徴が現われて

いないと推定される。こう考える場合、これらの土壌にある鉄コンクリションは現在の条件下での生成物でなく、地質的な堆積遺物と考えられよう。

IV おわりに

以上に述べた盤層のうちで最も興味があるのは IN44-5, IN26-4 のような、Latosol, Regosol の断面中に見られるうすい盤層であろう。これに類似していると思われる盤層を Dudal & Soepraptohardjo (1960) が報告しているが、それは Andosol の断面中 40cm~1m の深さに 20cm程の厚さを持ち、ほぼ地表面に沿っている。これらの接着剤は遊離の珪酸や珪酸塩であろうと想定されるが、現在の中部、東部ジャワの気候条件下で接着剤の濃縮をもたらすことが可能か問題である。このような盤層の分布をあきらかにすることがその生成を知る上でも、また地形発達史をたどる上でも重要であろう。

また、IN7のような鮮新世堆積物の侵蝕面は西部ジャワではかなり広い面積を占めると推定される。

文 献

Dudal, R. & Soepraptohardjo, M. 1957 : Soil classification in Indonesia. Pemb. Balai Besar Penj. Pert. No. 147. 10.

————— & —————. 1960 : Some considerations on the genetic relationships between Lato soils and Andossols in Java (Indonesia). Trans. 7th Int. Congr. Soil Sci., vol. IV, 229.

The Geological Survey of Indonesia. 1931 : The stratigraphic Lexcon of Indonesia. Tex Tand Atlas.

—————. 1963 : Geological Map of Djawa and Madura. 1 : 500,000

Kemmerling, G. L. L. 1921 : De uitbarsting van den G.Kelset in den nacht van den 19 den op den 20 sten

Mei 1919. Vulk. Meded. Dienst Mijnw., Nr. 2, 120. cited in Mohr & van Baren, 1954 : Tropical Soils, pp 223~228.

松井 健, 1958 : インドネシアの土壤調査と土壤分類, ペドロジスト 2, No. 1, 21.

美園 繁, 1962 : 容積法と土壤の物理性, 土肥誌 33, 48.

Mohr, E. C. J. & van Baren, F. A. 1954 : Tropical Soils pp. 301~342, pp. 212~254.

Les Editions A Manteau S. A.—Bruxelles.

Suprptohardjo, M., Sahertian, D. Z., Dudal, R. (compiled by) & Jahja, H (supervised by). 1950 : Exploratory Soil Map of Java and Madura. 1 : 1,000,000.

土 粒 子

肥料の効果と土壤の物理性

肥料の効果に関連する土壤の物理性について日頃感じていること、経験したことなど、2, 3, 書いてみたいと思います。散漫な点をご容赦ねがいます。

土壤中の養分の根の表面への移動を考える場合、土壤の物理性は極めて大きい意味をもちます。養分の移動の機構には次の三つがあります。第一は水の動きによる可溶性養分の移動です。重力水による移動もありますが、作物の養分吸収の点からは、作物の蒸散に応ずる根の吸水によって土壤水分が根の方向へ移動する作用が重要だと思われれます。第二には水の動きのない状態でもおこる拡散移動、第三は作物根の伸長による養分への接近、接触です。この場合には可動性の小さいりん酸などや難溶性成分でも吸収されるわけです。実際の養分吸収においてこれら三つの機構がそれぞれ、どの程度の役割をはたすかは条件により異なりますし、必ずしも明らかにされているわけではありません。とうもろこしについてのある試算によりますと、根の占める容積は作土の3%程度だそうです。施肥位置や土壤肥沃度、あるいは作物の根系によってことなりますから一概にはいえませんが、根と養分の直接の接触は限られた範囲でしか期待できないでしょう。養分の移動に大きい意味をもつ土壤溶液の根への移動にしても養分の拡散にしても、移動する養分量は土壤中の水分量と密接な関係をもちます。また、その移動経路は土壤粒子の表面形態に大きく支配されます。耕起あるいは土壤の圧縮、客土などの処理は、土壤の水分量と共に土壤粒子の表面形状を変えることから、養分の移動性さらに肥効の発現にも大きい影響をおよぼすことになります。ある土壤(SiL)についての測定によりますと大豆に対するCa、Mgの供給は根の吸水にともなう土壤溶液の根への移動が最も大きな役割を占めていましたが、これに砂を混ぜると砂の割合が増すにつれて拡散の役割が大きくなったということです。一方、Kの供給は水による動きより拡散の役割が大きいことが示されています。多くの作物はCaよりKを多く吸収しますが、土壤溶液中の濃度はCaがKより高いのが普通ですから、土壤溶液の移動だけでは供給のバランスがとれないおそれもあり、拡散への依存度は高くなります。

微量元素でも移動性は大きい問題ですが、畑状態では、Fe、Mn、Znの移動には拡散作用が重要であり、B、Cu、Alなどでは水の動きの役割が大きいと報告されています。拡散や土壤水分にともなう養分の動きについては今後に残された問題がありそうです。特に根に近い小範囲での土壤の物理性、根圏の物理性といったものの追求が必要だと思われれます。

多量に施した肥料の周辺の水の動きも興味ある問題でしょう。肥料の溶解や和水分などの性質によるのでしょうか、肥料の近くの水の状態は肥料の種類によっても違うようです。硝安と硫酸を当量で添加して比較した場合、同一水分でも土壤の流動性に大きい差の出た経験があります。液性限界の水分値にはかなりの差がありました。

雨や灌水の下層への浸透は肥料の流亡問題が中心に考えられます。溶脱抵抗性のある肥料が肥料の品質改良の一つの目標になり、難溶化や溶出速度のコントロールが考えられていますが、以前、火山灰畑での試験で液肥の方がそれと同一形態の粒状肥料より溶脱が少なかった経験があります。冬でしたが、表層土壤の無機態Nには3か月にもわたって大きい差がありました。肥料成分の土壤粒子との反応の速さの差、団粒内外の肥料養分の動きの不均一性とでも考えればよいのでしょうか。

肥料の施用が土壤の物理性を変えることもあります。ただし、多くの場合、微生物、小動物その他生物相の働きを介した現象と考えられます。ある緩効性肥料の連用で土壤の透水性が増してきた例を見せてもらったことがあります。ハウス条件ですが、他の区で土壤表面に一ぱいに生えた緑藻がその区では全く見られませんでした。この場合、土壤微生物相にも変化が見られたということです。

現在では、すでに過去の肥料になっているはずの油かす、魚肥など有機質肥料が、どういふわけか最近、需要をまわっています。堆肥や生糞などいわゆる粗大有機物が併用されているのが普通ですから、昔からいわれているような土壤物理性への効果はそれ程大きく評価することはできませんが、有機質肥料を施すと土壤中の小動物の増加や肥料周囲のカビが目立つ場合があり、これ

らの結果として水の動きや土壌中の空気の状態が変わってくることはありそうです。
肥効の発現については、肥料—微生物—物理性の関連

が大きい意味をもっているといえそうです。

(農技研・肥料化学科・藤沼善亮)

<前号の土粒子に紹介した本の原名>

- (1) A. A. Роде : Основнѣ учениѣ о почвенной вѣпарѣ. 露文。
A. A. Roge : Theory of soil moisture vol. 1. 英訳。
Israel Program for Scientific Translations, Kiryat Moshe, P. O. Box 7145, Jerusalem, Israel,
- (2) С. В. Нерпин и А. Ф. Чудновский : Физика поувл. 露文。
S. V. Nerpin and A. F. Chudnovskii : Physics

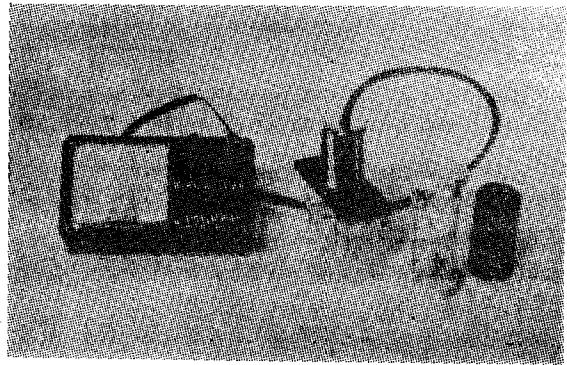
- of the soil. 英訳, 出版社は(1)と同じ
- (3) Н. А. Качинский : Физика почвл. 2 露文 (英訳なし)
- (4) E. C. Childs : The physical basis of soil water phenomena. John Wiley & Sons LTD. New York
- (5) D. Hillel : Soil and Water. Academic press, New York and London.
(5)は前回原稿提出後出版されました。

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

東京都足立区伊興町前沼1254

電話 (899) 4874

会 務 報 告

第2回事務局会議

46.4.30 農技研

〔出席〕 国分, 横井, 増島, 久保田, 長野間, 根本

1. 庶務, 会計関係
賛助会員の件検討。
会費値上げにともないバックナンバーは一冊 600円と決定。
2. 編集関係
 - i) No. 24号は発送を5月中旬に予定。No. 25号の原稿はすでに7編揃っているがさらに5月末までに原稿を集める予定。
 - ii) 編集幹事の交代について
編集幹事寺沢四郎氏のクウェイト出張にともない農技研仲谷紀男氏を後任に委嘱
3. 第13回シンポジウムについて
田淵副会長と増島幹事長で案を作成し, 5月下旬の幹事会でシンポジウム案を最終決定することになった。

第3回事務局会議

46.5.20 農技研

〔出席〕 国分, 田淵, 横井, 増島, 久保田, 仲谷, 長野間, 根本

1. 庶務, 会計関係
賛助会員の退会が目立つので掲載広告等の取扱を検討する必要がある。
2. 第13回シンポジウムについて
(1)仮題(案) 施設栽培における土壌の物理性に関する諸問題
内容 i) 土壌水分, ii) 土壌空気, iii) 熱, iv) 環境工学, v) 機械について講演者5~6名選ぶ。
(2)期日は第1案11月18日, 第2案11月19日。
(3)場所 西ヶ原 農技研 講堂。
(4)座長3名, 候補者について交渉する。次回事務局会議(6月18日)までにシンポジウム関係は原案をつくり, 評議員会に提案する。
3. 編集関係
No. 25号, 7月上旬印刷へ回し, 9月刊行の予定。

第4回事務局会議

46.6.18 農技研

〔出席〕 国分, 田淵, 横井, 増島, 久保田, 仲谷, 長野間, 根本

評議員会に提案する議題の検討

1. 経過報告 (45.12.11~46.6.18)
 - (i)庶務, 会計関係
 - (ii)編集委員会関係
2. 第13回シンポジウムテーマについて
3. その他

第1回評議員会

46.6.18 午後3時~農技研新館会議室

〔出席〕 国分, 田淵, 横井, 湯村, 岩田, 各評議員, 増島, 久保田, 仲谷, 長野間, 根本各幹事

- 議題1. 庶務, 会計, 編集関係経過報告 (45.12.11~46.6.18)を承認された。
2. 第13回シンポジウム課題を承認。
期日は11月18日(木), 場所は農技研講堂, シンポジウム終了後の懇親会はとりやめる, なお11月17日(水)に評議員会を開催する等が決まった。
3. その他
(i)賛助会員のとりあつかいは「会費1万円で広告半頁1回会誌に掲載」を現行に加えることが承認された。
(ii)法人会員の会費納入上の手続きについて審議の結果, 購読会員を新しく設けるよう秋の総会に提案することになった。

新入会員

- | | | | |
|-----------|-------------------|-----------------|-------------------|
| 海老原洋司 | 北大農 | ☎060 | 札幌市北9条西9丁目 |
| 長沢 徹明 | 北大農 | 同上 | |
| 田村 俊和 | 都立大理 | ☎158 | 東京都世田谷区深沢2-1-1 |
| 小松鋭太郎 | 茨城園試 | ☎300-03 | 茨城県稲敷郡阿見町阿見 |
| 徳富 雅博 | ☎790 | 愛媛県松山市木屋4丁目35の1 | 亀井娘司方 |
| 乙部 逸夫 | 県農業技術センター | ☎879-71 | 大分県大野郡三重町大字赤嶺2355 |
| 高橋 英夫 | 県農林部 | ☎999-31 | 山形県上山市泉川15 |
| 藤森 博美 | ☎181 | 東京都三鷹市大沢3-2-7 | |
| 江崎 要 | 農士試 | ☎254 | 平塚市中原下宿1519 |
| 本橋 明夫 | 北海道開発コンサルタント農業開発部 | ☎062 | 札幌市月寒東4条9丁目 |
| 陽 捷行 | 東海近畿農試 | ☎470-23 | 愛知県知多郡武豊町南中根45 |
| 瀬川書店 | ☎930 | 富山市総曲輪3丁目7-1 | |
| 北海道立林業試験場 | ☎079-01 | 美唄市光珠内 | |
| 九州農試畑作部 | ☎885 | 都城市横市6644 | |

退 会 者

宇都宮正治 岐阜大学農学部
 山本 保 北越製紙
 翠川 通夫 長野県農試
 本谷 耕一 秋田県農試
 海田 能宏 京都大学農学部
 西牧 政己 福島県農試
 天北化学KK 賛助会員
 北炭化成工業 同上
 会員の住所変更
 鈴木 信治 ☎470-35愛知県愛知郡長久手村岩作 愛
 知県農総試
 新田 伸三 ☎810 福岡市大字塩原226九州芸術工科大

木内 一己 ☎390 松本市筑摩2419 松本工高校
 渡辺 和夫 ☎999-76東田川郡藤島町大字藤島字山の
 前25 山形農試庄内分場
 山田 忍 ☎060 札幌市南7条西26丁目17
 村岡 鹿次 ☎885 都城市下長飯町 九州農政局総合
 開発調査事務所
 桜井 俊武 ☎891-01鹿児島市上福元町 鹿児島農試
 内専技室
 松本 猛 ☎440 豊橋市植田町字小鍋谷2-24
 岡 晃 ☎840 佐賀市日の出2丁目1-3
 山根 義敏 ☎680 鳥取市立川町2丁目205
 中林 茂男 ☎930-01富山市北代新300

編 集 だ よ り

編集委員会が発足して最初の責任号25号は、会員諸兄姉の絶大な協力のもとに多くの原稿を寄せて頂き、原稿、刊行期日とも余裕を残しつつ刊行することができました。寄稿者の方々、執筆依頼を快諾して下さいました本

号著者の方々には厚く御礼申し上げます。編集委員会も大いに自信をもち、編集子一同も刊行遅れの言い訳もなくなって張り切っております。今後ともどしどし御寄稿下さいませようお願い致します。

なお、寺田四郎編集幹事はクエートに長期出張されましたので、代って農技研化学部の仲谷紀男が幹事に委嘱されました。よろしくお願ひします。(久保田、仲谷)

堆肥不足に

テンボロン®

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

メモ

テンボ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



製造元



三菱商事株式会社

本社/東京・丸の内 電(211)0211(代表)

天北化学株式会社

本社/東京・神田・工場/北海道・幌延

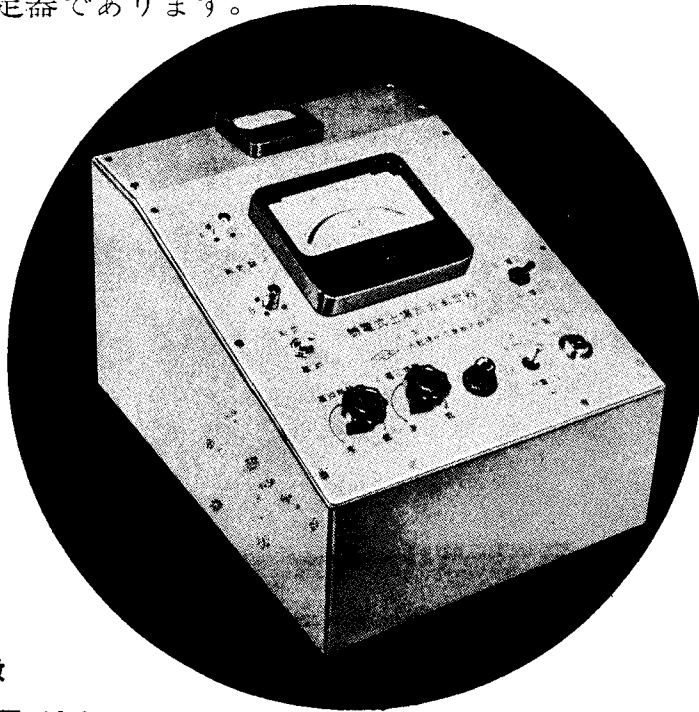
電話東京(252)4304

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。

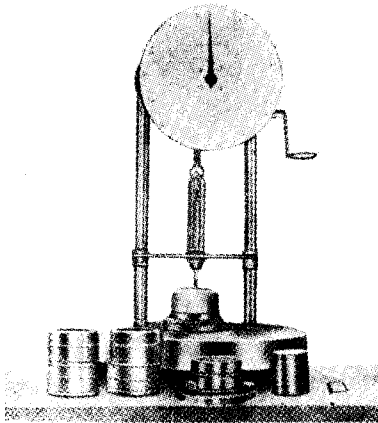


大起理化工業株式会社

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)

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、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・総説> 土壌の物理性に主眼をおき、広い視野に立って記述したもの。
 - <資料> 既に発表した報文または発表予定の内容を各分野の参考資料となるよう書き改めたもの。
 - <解説> 物理性に関する諸事項の理解を計るための平易な解説ならびに研究技術の普及交換を進めるための紹介を含む。
- (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	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
(担当幹事 久保田徹)

東京都北区西ヶ原(〒114) 農業技術研究所
土壌第二科内土壌物理研究会編集委員会

土壤の物理性 第25号

(会 員 配 布)

1971年9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