

# 土壌の物理性

第69号

1994年5月

---

巻頭言	菊地 晃二	1
報文		
現地試験による石膏の代掻き濁水浄化効果の検討 一代掻き濁水のカルシウム塩添加による凝集沈降浄化法(3)	赤江 剛夫	3
地域、深さによる鹿沼土の物理的構成と各種物理性の差異について	富田平四郎・中野 政詩・鈴木 敬	11
Concentration and uptake of nutrients by rice roots and quality of rice grains as influenced of gypsum, Zn and different saline environments	H. R. Khan・S. M. A. Faiz・T. Adachi・I. U. Ahmedn	23
春播コムギの根雪前播種栽培におけるチゼル耕の効果	渡辺 治郎・高屋 武彦・高橋 幹	31
山地流域における林地の草地化による土壌と流出の特性変化	渋谷勤治郎	39
シンポジウム		
「土地生産性評価に土壌物理はどのように貢献するか」		
農耕地の土地評価における土壌物理性および物理的手法の重要性	佐久間敏雄	49
作物の水・酸素要求に対する土壌の供給力	長谷川周一	55
作物の養分要求に対する土壌の供給能	伊藤 純雄	67
圃場の作業性と排水性—圃場の作業性評価の問題点—	井上 久義	75
総合討論		83
会務報告		90
編集後記		

---

土壌物理研究会

## 土壤物理研究会会則

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

広告料 賛助会員 実費  
賛助会員以外 実費の5割増

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

## 「土壤の物理性」投稿規定

### 1. 投稿要領

- 1) 投稿は本会会員に限る。ただし共著者の場合また編集委員会が依頼した場合はこの限りではない。
- 2) 投稿原稿の採否は, 編集委員会において別途定める閲読基準により決定する。なお, 「報文」は2名, その他は1名の閲読者を編集委員会において決定し, 閲読を依頼する。
- 3) 投稿は以下に示す種別にしたがい, その内容は土壤の物理性に主体をおくもとする。

「報文」一編ごとに報文としての体裁を整え, 独創性があり, 土壤の物理性に関する研究および技術に寄与するとみなされるもの。他誌に未発表のものに限る。「ノート」新しい事実や, 研究方法の改良などを含む短い報告。

「論説・総説」土壤の物理性に主眼をおき, 広い視野に立って記述したもの。

「資料」既に発表した報文または発表予定の内容を各

分野の参考資料となるように書き改めたもの。

「解説」土壤の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など。

「その他」土粒子, 書評など。

- 4) 投稿には下記形式の送り状を付け, 正原稿1部, コピー2部の計3部を送付する。初校のみ著者校正とし, 印刷ずみの原稿は返さない。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。
- 5) 本誌に掲載された論文の著作権は, 土壤物理研究会に帰属する。

発表年月日		受付年月日	
種別		原稿枚数	
表題		図表数	表枚 図枚
著者名		写真数	葉
所属		別刷	30部+部
キーワード(和文・英文)			

付記: 投稿は下記宛のこと

「土壤物理研究会編集幹事」

## 土壌物理研究会第36回シンポジウム

### 「異常気象下の作物生育と土壌物理」

日 時：1994年8月30日（火）9：30～16：30

場 所：北海道大学農学部大講堂 札幌市北区北9条西9丁目

連絡先：北海道大学農学部土壌学講座 波多野隆介

(Tel 011-706-2427 : Fax 011-706-4960)

昨年の大冷害は、作物生育が気象条件に強く依存しており気象は重要な土地属性であることを改めて認識させた。土壌が気象、植生、地形に依存して生成した自然物であることも同時に強く意識させた。平年時にはほとんど問題が生じない火山性土でさえ、去年は傾斜地下部では湿害を受け、内部排水の悪い重粘土圃場では、パッチ状に湿害が発生した。浅い停滞水が作物根系の発達を抑制し、たまたに訪れた平年並の高温に蒸散が追従できず、しおれを生じる様子も観察された。これらのことは、気象条件に対応した土壌中の水分動態を予測するために、水分物理性を個々の土壌の属性としてきちんと整理しておくことが極めて重要であることを示している。

上記の観点から、本シンポジウムを開催することを計画した。

堀口氏には、資源としての気象・作物生育を確保する気象の保全について話題提供いただく。安積氏には、いくつかのベドンを含む広い範囲の土壌条件による生育の安定性評価法について、平沢氏には、湿害が生じるメカニズムを根系と土壌水分の関係から解析的にお話しいただく。中辻氏にはさまざまな土壌タイプの水分レジムと水分動態をかんがいへの対応も含めて述べていただく。最後に冷湿害には病気も混在するが、野菜の病害の発現が土壌水分状態とどのような関係にあるかについて、赤司氏にお話しいただく。

会員諸氏のご参加と活発な討論を通して、土地属性の整理が一步でも進むことを切に期待する。

- |                                |                   |
|--------------------------------|-------------------|
| 1. 冷害気象と微気象調節                  | 堀口 郁夫氏 (北海道大学農学部) |
| 2. ランドサットを利用したビートの冷湿害解析        | 安積 大治氏 (北海道立中央農試) |
| 3. 水環境が作物の生理・生態に及ぼす影響          | 平沢 正氏 (東京農工大農学部)  |
| 4. 草地をとりまく水分環境<br>一大きな水循環のなかで一 | 中辻 敏朗氏 (北海道立天北農試) |
| 5. 圃場の水分環境と土壌病害の発生             | 赤司 和隆氏 (北海道立北見農試) |

(シンポジウムのあとに懇親会を開きます)



---

## 巻 頭 言

---

### 異常気象、自然災害と土壌物理研究

菊 地 晃 二\*

平成5年、北海道では低温による水稲、豆類の冷害に加え、十勝地方では多雨による畑作物の湿害が、また道南地方では北海道南西沖地震による台地造成圃場の決壊など、異常気象や自然災害によって大きな農業被害が発生した。これらの被害は、土壌学、とりわけ土壌物理研究が、現場の土壌管理、圃場造成の中に十分生かされておれば、これまで大きくはならなかったものと考えられる。

すなわち、北海道における平成5年の水稲の作況指数は40であったが、全道的には0~90と、地域によってその幅が大きかった。また、同じ地域でも防風林の有無などで作況指数に大きな差がみられ、立地環境が土壌温度、作物生育に影響を及ぼしており、これらの要因解明と広域的視野からの研究が望まれる。

また、低温年における畑作物の収量は初期生育の確保が重要とされ、土づくり、輪作等の必要性が上げられている。事実、平成5年にも土壌肥沃度が高く輪作体系が適正に守られている圃場では、初期生育が優り安定した収量が得られた。しかし、地温、根活性、微生物性などと土壌物理環境との関係については明かにされておらず、具体的な土壌管理対策を示すまでには至っていない。

また、十勝地方の平成5年のてん菜の平均収量は平年比の80であったが、集落別にみた場合は50~100と大きな幅がみられ、これは土壌分布との関係がみられた。湿性土壌では排水改良が土壌型別の水分動態（排水不良要因）に基づいて施行されていないため、効果の低い土壌のあることが想定された。また、乾性土壌では降雨により肥料養分が流亡され、肥料切れが想定された。これは平成5年における追肥効果が著しく高かったことから実証済みである。降雨量と土壌別透水性との関係から、流亡養分量を推定し、それを補うのに必要な施肥量が示されてあれば、減収は軽減できたはずである。

なお、土壌水分は土壌ごとに、年間降水量との関係で停滞、浸透を明らかにしておくことが、排水改良、施肥管理の基本として活用できる。しかし、それは黒ボク土の場合は腐植含量や火山灰の積層状況で異なるであろうし、台地土壌では断面形態に加えて、地形条件との関係で、また、低地土では季節的に変動する地下水が大きく影響を及ぼし、土壌の種類で異なるものと思われる。

また、北海道南西沖地震の発生で、台地造成の決壊を招いた。この崩壊の様相および程度は、造成地の表層地質や水系と密接な関係がみられている。大規模な農地造成にあたっては、土壌侵食の引き金になっている水の動きと、対象土壌の水分子物理性を考慮した排水組織を配置することにより、被害の軽減は図られたものと考えられる。

以上、平成5年に発生した農業被害は、土壌学、土壌物理研究が、現場に生かされておれば、その被害は軽減され、農業現場に大きく貢献できたのではないかと考えている。なお、これらの問題解決にあたっては、普段から現場の農業で今、何が起り、何が求められているのかを認識しておくことが先ず必要であろう。そして、そのための手法開発や迅速に対応するための研究スピードが要求される。さらに、表層地質、地形の導入、気象変化に伴う土壌物理性の研究蓄積など、研究内容は高度化、広域化が求められている。

---

\*北海道立天北農業試験場



報 文

現地試験による石膏の代掻き濁水浄化効果の検討  
—代掻き濁水のカルシウム塩添加による凝集沈降浄化法(3)—

赤 江 剛 夫\*

Field Test of Gypsum Application Effect on Clarification of Puddled Water  
—Clarification Method of Puddled Suspension by Ca Salt Addition(3)—

Takeo Akae

Faculty of Agriculture, Okayama University

Summary

In previous papers, the author determined the flocculation conditions of the puddled water of Kotoh area by Ca application on the basis of the hetero coagulation theory. The results were examined by a laboratory test using 8 flocculation aids. The agreement of the theoretical and experimental results was good and the puddled water was found to flocculate at conditions of Ca concentration  $> 1 - 2 \text{ mmol/dm}^3$  or below  $\text{pH} < 5$ . To realize the condition, gypsum application of  $1 \text{ g/dm}^3$  was considered to be the most effective among the aids tested. However, those results were confirmed only in  $1 \text{ dm}^3$  volume of the suspensions and it is still unknown that the treatment is effective on the actual conditions of a puddled paddy field.

In this paper, gypsum application was examined in the test plots made on the two paddy fields of the area. The effect of basal fertilizer of usual rate on the flocculation was also tested. In addition, the effect of this treatment on the whole effluent load out of the paddy field was estimated. The findings were as follows; (1) gypsum application rate of  $30 \text{ kg/10a}$  was sufficient to decrease the suspended solid (SS) concentration under  $0.1\%$  in 12 hours. The criterion Ca concentration in the puddled water at rapid flocculation was  $1 - 2 \text{ mmol/dm}^3$  in the field test, which coincides well with the results of the laboratory test. (2) Basal fertilizer promoted flocculation to some extent and did not hinder the flocculation by gypsum. (3) The rate of  $30 \text{ kg/10a}$  gypsum was estimated to reduce  $70 - 80\%$  of the whole effluent of SS of the puddled water.

Key words : paddy field, puddled water, flocculation, gypsum, suspended solid

(Soil Phys. Cond. Plant Growth, Jpn, 69, 3-10, 1994)

I. はじめに

滋賀県では毎年の代掻き時に田面で発生する濁水が、河川や琵琶湖に流入するために生じる富栄養化、生態系への汚染問題が重大な問題となっている。過去10年以上にわたり、さまざまな方法でその解決が図られているが、未だに決定的な方法は得られていない。特に湖東の宇曾川流域では、濁水の発生が顕著であることが県の調査により報告され<sup>1)</sup>、早急に効果的な対策の確立が求められ

ている。

これまでの検討の結果、宇曾川流域のうち湖東町土壌は中島土壌統に分類され、主要な粘土鉱物はハロイサイロであることが判明し、これをCaイオンにより凝集浄化する条件をヘテロ凝集理論より推定した。ついで、室内実験で凝集条件を確かめた。その結果、平衡外液中のCaイオン濃度を、 $0.001 \text{ mol/dm}^3$ 以上にすればよいことが明らかになった<sup>2)</sup>。そこで、Caを多く含む土壌改良資

\*岡山大学農学部 〒700 岡山市津島中1-1

キーワード：水田、代掻き水、凝集、石膏、懸濁物質

材と肥料のうちから、凝集剤として最も適当なものを検索したところ、石膏 $1g/dm^3$ を濁水上に散布すれば十分な凝集効果が得られることが分かった<sup>3)</sup>。

しかしながら、この結果は $1dm^3$ 程度の量のピーカー中の懸濁液における結果であり、実際の水田での代掻き作業における混合条件、表土や肥料などの多様な物質の存在する複雑な条件においても同様な結果が得られるかどうかは不明である。そこで、石膏散布の凝集浄化効果を実際の条件において確かめるために、湖東町水田の2カ所に試験区を設け現地代掻き試験を行なった。その際、通常の使用料の元肥施用が石膏の凝集効果に与える影響も調べた。さらに現地試験で得られた懸濁物質濃度の時間変化に基づいて、石膏処理が懸濁物質の全排出負荷量をどの程度削減するかを推定した。

## II. 現地試験の方法

宇曾川水系中でも濁水濃度が高最も高い五の谷川、洲川流域の湖東町内水田に試験区を設けることにした。すでに室内試験を行っている中島統土壌に含まれた中一色地区、大沢地区において、試験代掻き用の用水が得られる水田を試験用に借用した (Fig.1)。大沢地区水田においては1991年10月26日～10月28日、中一色地区水田においては11月16日～11月20日にかけて、現地試験を実施した。

現地の慣用的な代掻き実施手順に従って代掻き作業を実施した。荒起こしを行った後、用水を約5cm水深まで導入した。畦畔板 (塩化ビニル製波板) で水田の一部約 $20m \times 40m$ を畦畔に沿って仕切って試験区とし、その内部を念入りに代掻きした。代掻き終了後ただちに、試

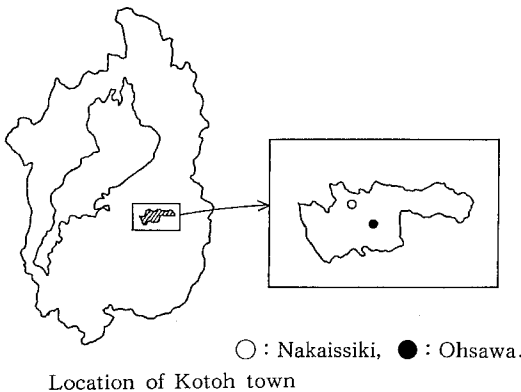


Fig. 1 Location of Kotoh town and the field test plots.

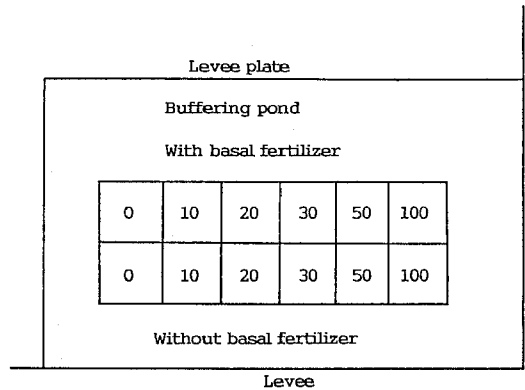


Fig. 2 Diagram of the test plot established in the paddy field.

Numbers in the section denote the rate of applied gypsum in  $kg/10a$ .

験区内に6連2列合計12区の $5m \times 5m$ の試験枠を設けた (Fig.2)。各区の仕切りには塩ビ波板の畦畔板を用いた。仕切畦畔板には畦塗りをして相互に田面水の移動が生じないように配慮した。

仕切りを行なった後ただちに石膏 ( $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ ) を  $CaSO_4$ 相当量として0, 10, 20, 30, 50, 100 $kg/10a$ 代掻きをした水面上に様に散布した。半分の6区には、元肥として合成肥料「8-8-8」(N,P,Kの含有量各8%)を、当地区での通常施用量である20 $kg/10a$ 、石膏と併せて施用した。石膏を散布してから、1, 2, 3, 6, 12, 24, 48時間後に、表層2~3cmの田面水を水面を乱さないように気をつけながら柄杓で約500ml採水容器に採取した。採取後ただちに携帯用pHメーターでpHを測定した。

採水した田面水を実験室へ持ち帰って、懸濁物質濃度 (SS), Caイオン濃度, 電気伝導度 (EC) を測定した。イオン濃度は、原子吸光法で測定した。

## III. 実験結果と考察

### 1. 代掻き水中懸濁物質濃度の時間的変化

#### (1) 中一色試験地

代掻き水の懸濁物質濃度と石膏散布後の時間の関係を Fig.3に示す。中一色では、代掻き直後の対照区の懸濁物質濃度は約4%と非常に濃厚であった。その後時間の経過とともに懸濁物質濃度は徐々に減少するものの、元肥無しの対照区の懸濁物質濃度は24時間後で0.7%, 48時間後でも0.3%と長時間にわたって高い濃度が続いた。肉眼による観察でかなり透明に近いと見えるのは懸濁物質濃度で0.1% (=1000ppm) 以下となった状態である。



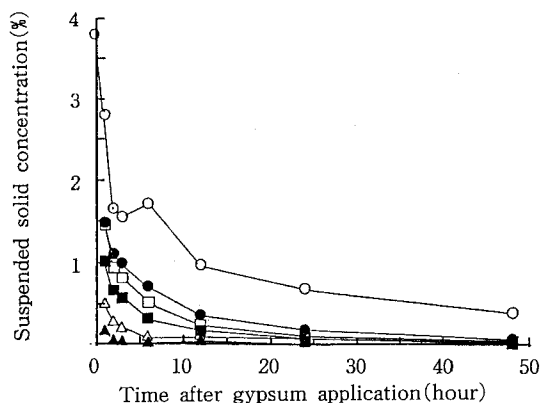


Fig. 3a Change of suspended solid concentration in the puddled water after gypsum application. (Nakaissiki without basal dressing)  
Gypsum application rates are; ○:0, ●:10, □:20, ■:30, △:50, ▲:100kg/10a, respectively.

対照区の懸濁物質濃度は、代掻き後1週間経過しても田面水の濁りが持続する当地区代掻き水の実態を裏付ける結果となった。

一方、石膏を添加した場合に特徴的なことは、懸濁物質濃度の低下が散布直後の比較的短い時間帯に集中的に生じたことである。例えば懸濁物質濃度が1%以下まで低下する時間を見ると、対照では12時間要したのに対し、10kg/10a添加では3時間、20kg/10a添加で2時間、30kg/10a以上の添加では1時間以内で1%以下となっている。さらに0.1%の低懸濁物質濃度に達する時間については、100kg/10aで3時間、50kg/10aで6時間、30kg/10aで12時間、20kg/10a以下でも24時間後であった。このように対照区と比べ高濃度の濁水を速やかに0.1%程度の濃度までに落とす顕著な浄化効果が認められた (Fig. 3a)。しかし、懸濁濃度曲線の勾配は時間とともに低下しており、0.1%程度の濁水をさらに低濃度まで落とすのはかなり困難で、100kg/10a以上の多量の添加が必要となる。

元肥を同時に施用した場合 (Fig. 3b)、石膏0kg/10aでは元肥を施用しない場合と比べ20~30%低い懸濁物質濃度を示した。石膏を少量 (10kg/10a, 20kg/10a) 添加した場合にも元肥なしの場合より幾分低い値を示した。30kg/10a以上では、元肥施用による差は見られない。元肥は懸濁物質濃度の減少に幾分有効ではあるものの、元肥だけでは不十分であり、石膏の施用が不可欠である。

## (2) 大沢試験地

大沢試験地で対照区の元肥無しの懸濁物質濃度は、代掻き直後1.05%であり、中一色試験地の3.8%よりもかなり小さい値を示した。その後の時間の経過に従う減少

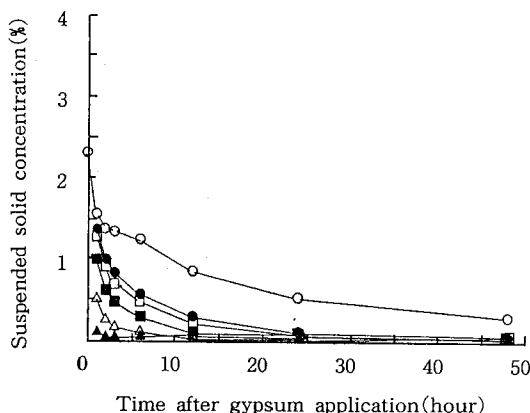


Fig. 3b Change of suspended solid concentration in the puddled water after gypsum application. (Nakaissiki with basal dressing)  
Gypsum application rates are; ○:0, ●:10, □:20, ■:30, △:50, ▲:100kg/10a, respectively.

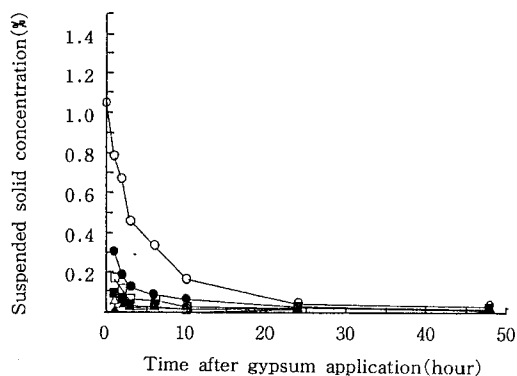


Fig. 3c Change of suspended solid concentration in the puddled water after gypsum application. (Ohsawa without basal dressing)  
Gypsum application rates are; ○:0, ●:10, □:20, ■:30, △:50, ▲:100kg/10a, respectively.

も速やかに進み、24時間で0.1%以下となった (Fig. 3c)。石膏添加の効果は、中一色試験地よりも顕著であった。10kg/10aの添加物でも対照区の懸濁物質濃度の25%程度の値をとり、6時間後に0.1%以下となった。添加量の増加に伴う凝集効果の増大は著しく、30kg/10aでは1時間後に0.1%以下となった。この添加量で凝集効果はほぼ最大限発揮されており、それ以上に添加量を増大させても凝集効果の増大はほとんどみられなかった。

大沢試験地に元肥を施用した場合 (Fig. 3d)、石膏無添加時においても元肥なしの場合の約1/2程度に懸

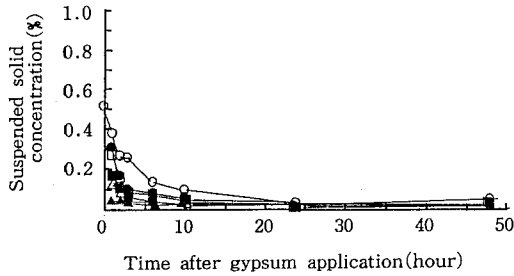


Fig. 3d Change of suspended solid concentration in the puddled water after gypsum application. (Ohsawa with basal dressing)  
Gypsum application rates are: ○:0, ●:10, □:20, ■:30, △:50, ▲:100kg/10a, respectively.

濁物質濃度が減少し、10時間後には0.1%を下回った。大沢試験地では、中一色よりも元肥の効果はかなり大きいことが認められた。石膏添加の効果は10kg/10aの少量でも著しく、元肥無しの場合よりもさらにやや小さい値を示した。この場合も30kg/10aの石膏添加で凝集効果は最大限発揮され、2時間で0.1%以下となった。

以上のように中一色、大沢試験地とも、石膏の凝集効果は顕著であった。添加量としては30kg/10aで十分な効果が得られた。元肥を施した場合には、懸濁物質濃度が無添加よりもやや低くなる傾向が、中一色、大沢ともに認められた。これは、溶解した肥料成分により代掻き

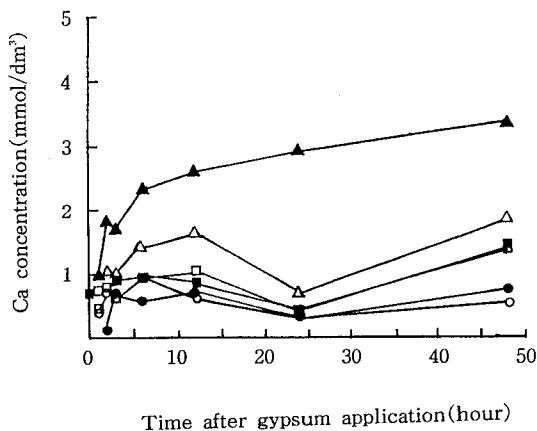


Fig. 4a Change of Ca concentration of the puddled water after gypsum application. (Nakaissiki without basal dressing)  
Gypsum application rates are: ○:0, ●:10, □:20, ■:30, △:50, ▲:100kg/10a, respectively.

水中塩濃度が幾分上昇したためであると考えられる。またこの効果は、相対的に細粒分の少ない大沢試験地で大きく現れた。

## 2. 代掻き水中のCaイオン濃度と凝集効果

### (1) Caイオン濃度の時間変化

代掻き水中のCaイオン濃度は経時的に増大し、Caイオン濃度の増大とともに凝集も進行する。このときの増加速度と到達濃度は石膏添加量に依存する。

Fig. 4aは、中一色の元肥無し区の代掻き水中Caイオン濃度の時間的変化をプロットしたものである。対照区のCaイオン濃度は、終始1mmol/dm<sup>3</sup>以下の濃度である。10kg/10a添加をしても代掻き水中に検出されるCaイオン濃度は、無添加とほぼ同程度の濃度である。20kg/10a, 30kg/10aでは散布後12時間以降になって対照区よりもCaイオン濃度の増大が顕在化した。その程度は対照区と比べ20-30%高い程度である。48時間後は対照区よりも2倍程度高い値を示した。50kg/10a, 100kg/10aでは散布後6時間までCaイオン濃度の急速な増大が認められ、その後も増加傾向は継続した。24時間後の値を除き、100kg/10aは50kg/10aの約2倍のCaイオン濃度となった。なお、24時間後の測定値が小さく出た理由については不明である。

元肥施用した場合も全体的な変化の傾向は元肥無しの場合に良く類似していた。0kg/10aでは0.7mmol/dm<sup>3</sup>程度で推移し、10kg/10a, 20kg/10aではこれより30%ほど高い1mmol/dm<sup>3</sup>でほぼ一定であった。30kg/10a以上

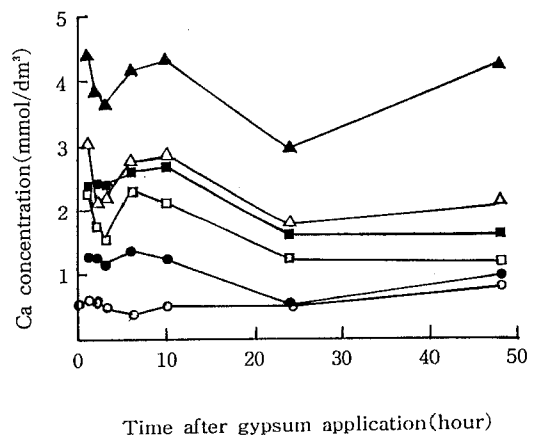


Fig. 4b Change of Ca concentration of the puddled water after gypsum application. (Ohsawa without basal dressing)  
Gypsum application rates are: ○:0, ●:10, □:20, ■:30, △:50, ▲:100kg/10a, respectively.

の添加ではかなり明確にCaイオン濃度の増加が生じた。

一方、大沢試験地では、元肥無添加の場合、10kg/10aの添加量でもCaイオン濃度の増大が明らかに生じており、添加量の増大にはほぼ比例してCaイオン濃度の増大が見られた (Fig. 4b)。またCaイオン濃度の絶対値も中一色に比べ、かなり高く10kg/10aで $1\text{mmol}/\text{dm}^3$ を越えている。元肥を添加した場合、添加しない場合と比べややCaイオン濃度が高く、0kg/10a石膏添加でも5分後以降 $1\text{mmol}/\text{dm}^3$ を示した。また、10kg/10a以上の石膏の添加にともない、石膏添加量にはほぼ比例してCaイオン濃度が増大した。石膏添加時のCaイオン濃度は元肥無添加の場合とほぼ同じ値であった。

以上に見たように、相対的に凝集傾向の強い大沢試験地土壌では、代掻き水中のCaイオン濃度も高く、添加した石膏量に対するCaイオン濃度増大のレスポンスも敏感であった。これに対し、中一色試験地では30kg/10a以下の石膏添加で凝集効果は現れたが、代掻き水中のCaイオン濃度の顕著な増大はみられなかった。電気伝導度 (EC) は、石膏添加量に応じて増大していることから (Fig. 5)、溶解イオンの総量は低添加量でも増大していることが分かる。したがって、石膏20~30kg/10a添加でCaイオン濃度が増大しなかった原因は、添加したCaのはほぼ全量が選択的に吸着されたためであろう。濃度4%, 深さ10cmの濁水中粒子量に対し、石膏20kg/10aは約7 me/100gに相当する。CEC (11me/100g) を考えると、起こり得ないことではない。一方、凝集そのものは、外液中のCaイオン濃度上昇に先だって、粒子表面吸着イオンがCa化されることで進行するものと考

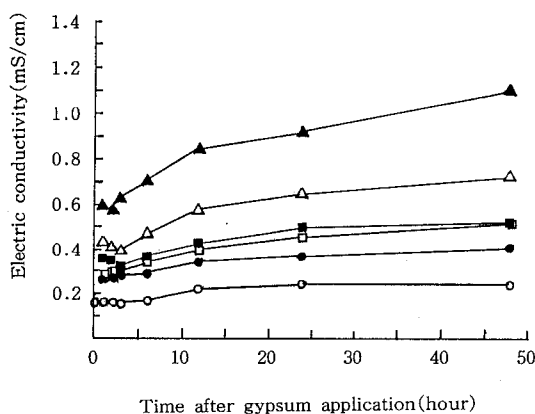


Fig. 5 Change of Electric conductivity (EC) of the puddled water after gypsum application. (Nakai without basal dressing) Gypsum application rates are: ○: 0, ●: 10, □: 20, ■: 30, △: 50, ▲: 100kg/10a, respectively.

えられる。

## (2) 懸濁物質濃度とCaイオン濃度

Fig. 6aは中一色試験地で採水した代掻き水について、石膏処理量、採水時間にかかわらず、その懸濁物質濃度をCaイオン濃度に対しすべてプロットしたものである。この図で特徴的なことは、Caイオン濃度が $1.3\text{mmol}/\text{l}$ 以上では、全てのサンプルの懸濁物質濃度が非常に低い値を示したことである。すなわち、1時間以上経過すれば0.1%以上の濁水はほとんど発生しない事実上限界のCaイオン濃度が存在し、その濃度が中一色試験地では $1.3\text{mmol}/\text{dm}^3$ なのである。このことは、元肥を加えた場合についても成り立つことがFig. 6aより読み取れる。

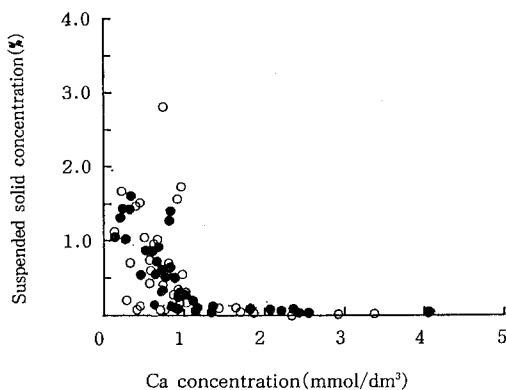


Fig. 6a Suspended solid concentration and Ca concentration in the puddled water of Nakai ssiki. ○: Without basal dressing, ●: With basal dressing.

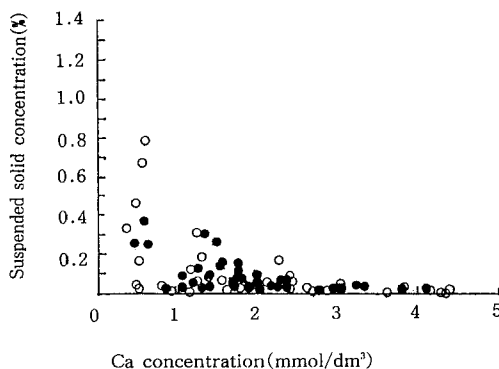


Fig. 6b Suspended solid concentration and Ca concentration in the puddled water of Ohsawa. ○: Without basal dressing, ●: With basal dressing.

大沢試験地については、全体的に懸濁物質濃度が低く、中一色ほど懸濁物質濃度の分布範囲は大きくないが同様の現象が起こっている (Fig.6b)。大沢試験地では1時間後の1点を除いて、 $2\text{mmol/l/dm}^3$ 以上のCaイオン濃度では、懸濁物質濃度は0.1%を示した。以上に述べたような懸濁物質濃度とCaイオン濃度の関係は、理論的に推定された中一色試験地土壌の主要粘土鉱物であるメタハロイサイトのCaイオンによる急速凝集限界濃度 $2\text{mmol/dm}^3$ にはほとんど一致しているし、Ca添加実験による凝集濃度 $1\text{mmol/dm}^3$ ともほぼ等しい<sup>2)</sup>。さらに、各種凝集剤を用いた時の限界凝集Caイオン濃度 $2\text{mmol/dm}^3$ ともほぼ一致している<sup>3)</sup>。すなわち、当地区での実際の代掻きにおいても、理論的推定で仮定された室内実験で確かめられた凝集機構が、基本的にはそのまま機能していると考えて良いと思われる。

### (3) 代掻き水のpHの時間変化

石膏散布が土壌のpHに与える影響が心配される場所であるが、凝集剤の検索試験では石膏添加によって懸濁水のpHがわずかに低下する結果が得られている。現地水田においては室内試験にない多くの因子が関わりと考えられるので、実際の代掻き水のpHを追跡調査し、影響を確かめる必要がある。

Fig.7には中一色試験地の元肥無し区のpHの時間的変化を示している。代掻き水のpHは6.3であったものが最初の2時間にわずかな低下を示し、最も低いもので5.7の値を示した。その後時間の経過とともにpHは徐々に少しずつ上昇し、24時間、48時間後にはほぼ6.5の値に達した。こうした傾向は対照区でも、また添加量の多少

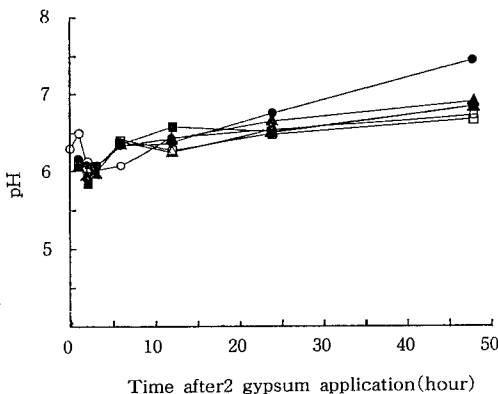


Fig. 7 Change of pH of the puddled water after gypsum application. (Nakaissiki without basal dressing)

Gypsum application rates are; ○:0, ●:10, □:20, △:30, ▲:50, ■:100 kg/10a, respectively.

にかかわらず同じであった。元肥施用の場合にも、ほとんど同じ動きを示し、しかも添加量の多少による差も認められなかった。

大沢試験地の元肥無しの場合は中一色よりもややpHの分布範囲が広く、やや低い5.5~6.5の間にほとんどすべてのデータが収まった。時間の経過とともに幾分上昇し、48時間後には6.2~6.5の値を示した。石膏添加量とpHの間には特別な傾向は認められなかった。元肥施用した場合は、pH分布範囲がさらに広がったが時間とともにやや増大し、石膏添加量による差が認められないという全般的な傾向は同じであった。

### 3. 濁水排出負荷量の削減効果

排水路や河川の濁水が問題になるのは、圃場で濁水が発生し、しかもその濁水が圃場外へ流出するからである。特に中一色試験地土壌は乾燥したときに収縮が大きく、大きな亀裂を発生しやすい。荒起こしや代掻きによって鉛直方向の浸透はある程度抑える効果はあると思われるが、かなりの量が浸透している。畦畔浸透についても畦畔板をはじめコンクリート畦畔、ビニールシート、畦塗りなどで抑制を図ってはいるが、落水口を閉じていても排水路に濁水が流出するのが代掻き時の調査で認められた。漏水量が大きく抑止しにくいのがこの地域の土壌の特徴である。現地試験における代掻き時にも、試験区に導入した用水が畦畔を浸透して下流側の水田へ流出し、また農道を隔てた側方の水田にもかなり多量に流入し、周囲の水田を灌水させた。漏水をなくすことができれば排出はなくなるのだが、それが困難である現状を考えると、排出濁水濃度の低下が頼るべき有効な手段となる。

排水路に接する単位長さの畦畔から、排水路へ流出する懸濁物質の総排出負荷量 $Q_{\text{出}}$ は、排出される濁水の濃度 $C_{\text{出}}(t)$ と濁水量 $q(t)$ の積を流出時間について積分して求められる

$$Q_{\text{出}} = \int_0^t q(t) \cdot C_{\text{出}}(t) \cdot dt \quad \dots\dots(1)$$

ここで、 $Q_{\text{出}}$ : 懸濁物質の総排出負荷量、 $q(t)$ : 単位長さの畦畔より流出する濁水の流量、 $C_{\text{出}}(t)$ : 濁水の懸濁物質濃度、 $t$ : 流出時間である。

圃場の下層土や畦畔の浸透特性 ( $q(t)$ ) は、代掻き水表面への石膏散布によって大きく変化するとは考えられないので、懸濁物質の排出負荷量は実際上排出される濁水の懸濁物質濃度 $C_{\text{出}}(t)$ に支配される。濁水の懸濁物質濃度を実測した懸濁物質濃度を用いて、石膏散布による懸濁物質排出負荷の削減率 $R(\%)$ を、次式で計算することができる。

$$R(\%) = (Q_{\text{出},0} - Q_{\text{出}}) / Q_{\text{出},0} \times 100 \quad \dots\dots(2)$$

ただし、 $Q_{\text{出},0}$ : 無添加の時の総排出負荷量である。

Fig. 8aは、中一色試験地元肥無添加における懸濁物質排出負荷量の削減率と石膏添加量の関係を示したものである。石膏添加量の増大とともに削減率は急激に増大する。石膏添加量が50kg/10a以上になると排出負荷削減率の増大はほとんどみられなくなり、このときの最大削減率は約90%である。削減率は散布後の経過時間にも依存する。当然経過時間が増大すると代掻き水の浄化が進み、削減率は増大する。Fig. 8aには12, 24, 48時間後の削減率を示しているが、凝集は散布直後に集中的に進行するのでこれぐらい時間が経過すると削減率の差はわずかである。具体的に48時間での削減率を見てみると、10kg/10aで63%、20kg/10aの添加で73%、30kg/10aで81%懸濁物質の排出量を削減できることが分かる。元肥施用の場合、短時間後の削減率が幾分多いが、その後はほぼ同じ削減率を示した。

大沢試験地の元肥無し区の場合をFig. 8bに示す。大沢では中一色より曲線の立ち上がりが急なことから、石膏添加量の増大に対する反応が早く、しかも経過時間による差も小さいことが読み取れる。例えば、10kg/10aの添加ですでに69%が削減でき、20kg/10aで83%、30kg/10aで87%が削減できるものと推定された。元肥施用区では、散布後短時間での削減率が高いが、その後はやや高い程度で推移した。

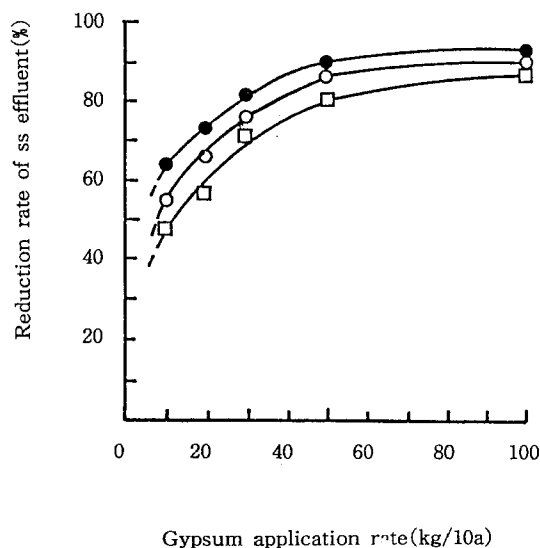


Fig. 8a Reduction rate of suspended solid effluent load and the rates of gypsum application. (Nakaissiki without basal dressing)  
The symbols denote elapsed time after gypsum application; □: 12, ○: 24, ●: 48 hours, respectively.

#### IV. おわりに

滋賀県湖東町水田の代掻き時濁水を石膏散布による凝集浄化の可能性を確かめるために、現地水田での代掻き試験を2つの地区で行った。その結果、以下に述べるような知見が得られた。

- (1) 石膏の添加により代掻き水の懸濁物質濃度は著しく減少した。場所により差はあるが12時間以内に0.1%とするに必要な添加量は30kg/10aであった。
- (2) 元肥の施用は代掻き濁水の浄化に幾分有効であるが、それのみでは十分な浄化効果は得られない。
- (3) 凝集効果が顕著になる限りCaイオン濃度は、1.3~2mmol/dm<sup>3</sup>であり、これは理論的推定結果および室内実験結果とも一致した。
- (4) 石膏処理が代掻き水のpHに与える影響はわずかであった。
- (6) 20~30kg/10aの添加で、懸濁物質の総排出負荷量の約70%~80%以上が削減できるものと推定された。

#### 謝辞

現地試験で圃場を提供し、代掻きを行っていただいた大沢区の福田金佐衛門氏、中一色の平居英二郎氏、圃場の選定、畦畔板の提供等、現地試験にあたって便宜をはかっていただいた湖東町役場の関係者の方々に感謝致します。現地試験、試料の分析、結果の整理に協力してし

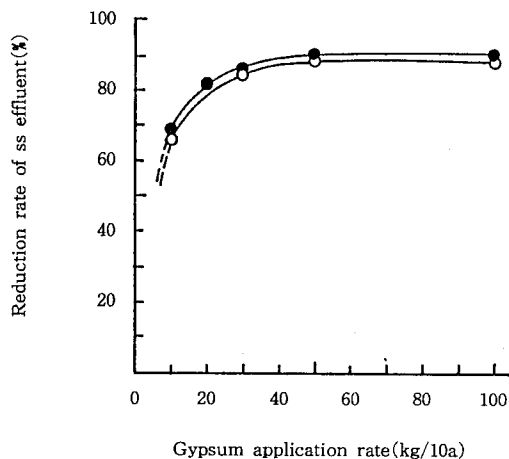


Fig. 8b Reduction rate of suspended solid effluent load and the rates of gypsum application. (Ohsawa without basal dressing)  
The symbols denote elapsed time after gypsum application; ○: 24, ●: 48 hours, respectively.

ただいた滋賀県立短期大学学生，平野重久君（現農水省近畿農政局），岩崎昌之君（現滋賀県庁），鶴田泰伸君（現愛媛大学学生）に感謝致します。

#### 引用文献

- 1) 滋賀県農林部：平成2年度農業排水対策事業実績書（1991）
- 2) 赤江剛夫：代掻き濁水の塩添加による凝集条件—代掻き濁水のカルシウム塩添加による凝集沈降浄化法(1)—，土壌の物理性64，pp. 37-44(1992)
- 3) 赤江剛夫：代掻き濁水の凝集沈降剤の検索と施用法の検討—代掻き濁水のカルシウム塩添加による凝集沈降浄化法(2)—，土壌の物理性64，pp. 45-52（1992）

（受稿年月日 1993年9月29日）

報 文

地域、深さによる鹿沼土の物理的構成と  
各種物理性の差異について

富田 平四郎\*<sup>1</sup>・中野 政詩\*<sup>2</sup>・鈴木 敬\*<sup>1</sup>

Variation of the physical properties  
of Kanumatsuchi for depths and regions

Heishiro Tomita\*<sup>1</sup>・Masashi Nakano\*<sup>2</sup>・Takashi Suzuki\*<sup>1</sup>

\*<sup>1</sup>: Faculty of Agriculture, Utunomiya University

\*<sup>2</sup>: Faculty of Agriculture, Tokyo University

Summary

It is recently found that Kanumatsuchi is problem soil due to increment of earthwork with the advance of agricultural use. We investigated the properties of Kanuma pumice stratum and the physical organization of Kanumatsuchi from a view point of agricultural use.

Kanumatsuchi consists of pyroclastics originated from Akagi volcano(Gunma prefecture), and its main component is weathered pumice grain of which the diameter is about 2~20mm.

Taking Kanumatsuchi to pieces, they are classified into four components: (1)Weathered pumice, (2)Small grained pumice, (3)Imogolite, (4)Volcanic gravel. After natural moisture ratio  $\omega_i$ , dry weight ratio  $\alpha_i$  and specific gravity  $G_i$  of each component are determined, moisture ratio ( $\omega_i'$ ), void ratio ( $e_i'$ ) and porosity ( $n_i'$ ) for the whole Kanumatsuchi are calculated by the following equations.

$$\begin{aligned} \omega_i' &= \alpha_i \omega_i & \omega'' &= \omega_n - \sum \omega_i' \\ e_i' &= G_i (\alpha_i / G_i) e_i & e'' &= e_n - \sum e_i' \\ n_i' &= e_i' / (1 + e_n) & n'' &= n_n - \sum n_i' \end{aligned}$$

Where the mark(') and('') represents respectively inside value and outside one of pumice grains (Weathered pumice and small grained pumice) for the whole Kanumatsuchi.

Degree of saturation of pumice grain  $S_i$  and one among pumice grains  $S_o$  are calculated by the following equations.

$$S_i = \omega_i G_i / e_i \quad S_o = \omega'' G_o / e''$$

As the result, the following facts become clear.

- (1) Value of solid phase, liquid phase and gaseous phase are respectively 11.8~13.5%, 61.4~74.5%, 12.5~26.5%.
- (2) On natural condition, quantity of moisture ( $\omega_i' / \omega_n$ ) and quantity of void ( $n_i' / n_n$ ) in weathered pumice is respectively 85.3~95.9% and 71.9~90.1% to the whole quantity.
- (3) Degree of saturation in weathered pumice grain ( $S_i$ ) is respectively high value (80.6~97.9%).
- (4) Degree of saturation among pumice grains is 16.6~60.5% and quantity of moisture among pumice grains to the whole quantity is relatively low value (2.2~9.7%)

Key words: Kanumatuchi, Weathered pumice, Imogolite, Three phases of soil.

(Soil Phys. Cond. Plant Growth, Jpn, 69, 11-21, 1994)

\*<sup>1</sup>: 宇都宮大学農学部

\*<sup>2</sup>: 東京大学農学部

キーワード: 鹿沼土、風化軽石、イモゴライト、土壌の三相

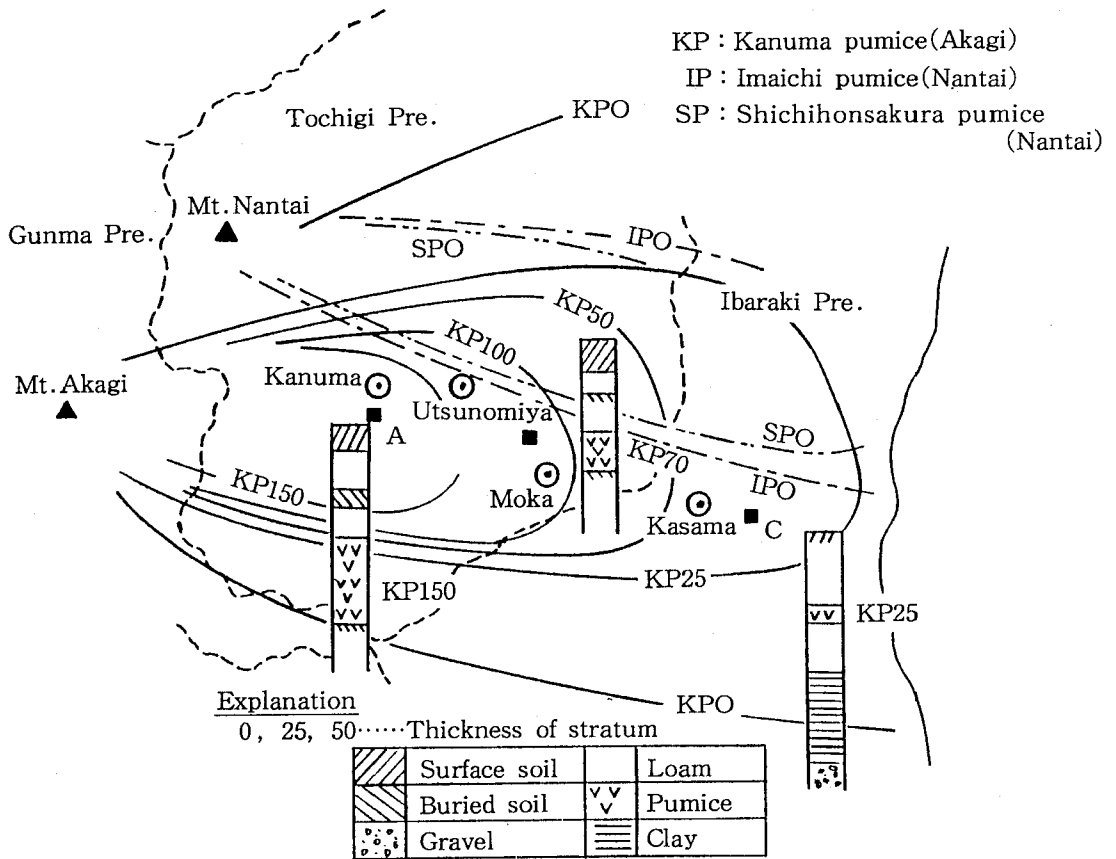


Fig. 1 栃木県における軽石層の分布  
Distribution chart of the volcanic pumice strata in Tochigi prefecture

Table 1 関東地方の軽石層の体積(\*)  
Volume of pumice strata in Kanto district

軽石層の名称	火山名	体積(Km <sup>3</sup> )
鹿沼軽石層	赤城山	6.6
東京軽石層	箱根火山	2.4
今市軽石層	男体山	1.2
天明軽石層	浅間山	0.1

I. はじめに

鹿沼軽石層は、約3万年前の赤城山中央火口丘(群馬県)の噴火による降下軽石層で、栃木県鹿沼市を中心とする扇型に、茨城県の太平洋岸までの面積約9,900km<sup>2</sup>に分布している (Fig-1<sup>1)</sup>)。

Table-1<sup>2)</sup>に関東地方の代表的軽石層の堆積量を示したが、鹿沼軽石層の降下土量は関東地方で最大規模の軽石層である。層の厚さは、鹿沼市付近で約1.5m(最

大1.7m)で粒径も最大20~30mmであるが、東へ距離を隔てるに従い層厚を減じ、かつ粒径も小さくなる。茨城県笠間市付近(赤城山からの距離約90km)では、層厚が約20cmで粒径も均一な粟粒大となる。つまり地域的、堆積構造的に、その物理性は異なっているものと予想できる。

第四紀の火山活動に由来する北関東地方の火山灰源の地層群、いわゆる関東ローム層については、従来から種々の分野で多くの調査研究がなされている。しかし、地質学的層序識別上の基準となる軽石層については、土壤物理的に大変に興味ある土層であるにもかかわらず、それほど研究が進んでいるとは思えない現状である。また、これまで農地工学的に問題の対象となった場合でも、その性状が明らかでないため土工上の不適切土として捨土され、省みられることがなかった。



Table 2 鹿沼土の物理的性質  
Physical properties of Kanumatsuchi

項 目	鹿 沼 地 区			真 岡 地 区		笠 間 地 区	関 東 ローム	
	上 層	中 層	下 層	上 層	下 層			
採取深さ (m)	0.390 0.765	0.765 1.290	1.290 1.845	0.760 1.135	1.135 1.480	0.500 0.700		
自然含水比 $\omega_n(\%)$	213.2	191.5	220.0	175.6	194.0	167.8	109.7	
湿潤密度 $\rho_w(\text{g}/\text{cm}^3)$	1.062	1.051	1.006	1.039	0.937	0.994	1.301	
乾燥密度 $\rho_d(\text{g}/\text{cm}^3)$	0.339	0.361	0.315	0.378	0.318	0.367	0.620	
比 重 $G_s$	2.674	2.650	2.653	2.718	2.701	2.776	2.794	
間 隙 比 $e_n$	6.902	6.362	7.442	6.212	7.488	6.730	3.507	
間 隙 率 $n_n(\%)$	87.3	86.4	88.15	86.13	88.21	87.06	77.81	
飽 和 度 $S_r(\%)$	82.7	79.8	78.4	76.7	70.0	69.2	87.4	
三 相 比	固 相 (%)	12.70	13.60	11.85	13.83	11.81	13.29	22.19
	液 相 (%)	72.37	68.98	69.12	66.10	61.73	62.50	68.07
	気 相 (%)	14.93	17.42	19.03	20.07	26.46	24.21	9.74
液性限界 $\omega_l(\%)$	95~120	82.0	87.0	99.0	80.0	118.4	130.0	
塑性限界 $\omega_p(\%)$	85	67.0	70.0	79.0	68.0	89.8	88.0	

近年，軽石層の農業的利用が進み土工の大規模化，迅速化が進む中で，捨土場所の確保の難しさ，工費節約の観点から，土質改良を含めた原土の現場的取扱を地域的問題の対象として，地域毎に対策を立てる方向で対処することが良いと考えるようになった。ここでは，土工上あるいは農業的利用上の指針を得ることを目的として，鹿沼軽石層の性状の把握と鹿沼土の物理的・土質的定数の測定を行った。さらに，この結果に基づいた鹿沼土の構成及び物理定数の分析も行った。

## II. 実験試料の概要

### 1. 試料採取地及び採取方法

試料は，噴出源からの距離による物理性の違いを考慮して，栃木県内の2地点および茨城県内1地点から採取した。栃木県の採取点は，赤城山から約50kmの距離にある鹿沼市南部の農業高校敷地内と，同じく約70kmの距離にある真岡市北部の宇都宮大学附属農場内である。茨城県の採取点は，赤城山から約90kmの距離にある笠間市内である。試料の採取は，軽石層の深さによる違いを考慮して鹿沼地区を上，中，下の3層に，真岡地区を上，下の2層に分けて不攪乱及び攪乱の2条件で採取した。以降，試料は鹿沼上層（K上），鹿沼中層（K中），鹿沼下層（K下），真岡上層（M上），真岡下層（M下），笠間（KA）と呼ぶことにする。なお，採取深度はTable-2に示した。

### 2. 採取地点の地層の概観 (Fig-2 参照)

#### (1) 鹿沼地区

採取地は，表土とその直下のローム層を合わせて約2m剥土しているため，現状の表土の厚さは約40~50cmである。表土の直下には厚さ7~10cmの硬い砂質粘土

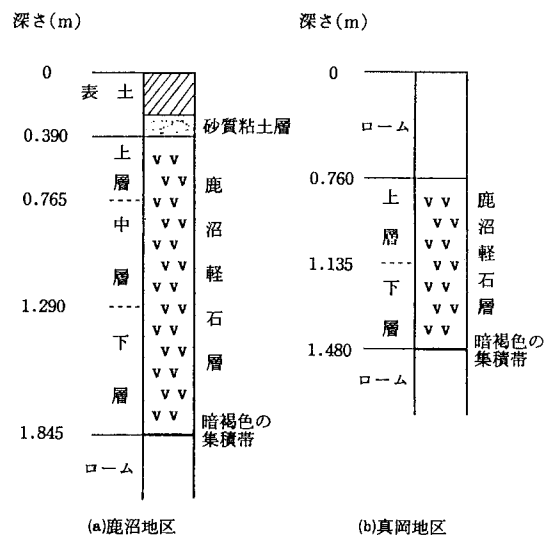


Fig. 2 試料採取地点の土層断面  
Soil Profile of sampling spot

層があり，その下部に約1.5m厚さの鹿沼軽石層がある。

軽石層の上部は，茶褐色で軟質な風化軽石を主体に構成されており，風化軽石間にはイモゴライトが他層に比して多く含まれている。土層は全体的に軟らか目であるが，固結度が高く安定している。中層部は，上層に比べ少し白味があった比較的硬い風化軽石を主体に構成されている。他の層に比べて硬く支持力はあるがやや脆い。なお，イモゴライトの量はかなり少ない。下層部はイモゴライトが全く無く，風化軽石は上層部に比べ硬いが固結度が極端に低く，特に層下部では弱い衝撃でも崩れる

ほどである。

なお、軽石層とその下位の関東ローム層との境界部には、厚さ約5mmの暗褐色の層が狭在する。これは軽石層から洗脱された物質が、透水係数の低いローム層上端に集積したもので、難溶性の $Fe_2O_3$  (褐色) 及び $MnO$  (暗褐色～黒色) からなる。

(2) 真岡地区

採取地は、農場造成時に表土及び上部ロームの一部を剝土しているため、軽石層の深さは地表下約70cmである。上層部は、K上と同様に軟質な風化軽石を主体に構成されているが、固結度は比較的良好。イモゴライトがかすかに認められる。下層部は、粒径が小さく比較的硬い風化軽石が主体で、K下と同様固結度が小さく脆い。

なお、真岡地区においても軽石層下端に暗褐色の集積帯 (厚さ約5mm) がある。

3. 各試料の物理的諸性質

Table-2は、各試料の物理性 (平均値) を示したものである。物理性は、各層深さ7.5cm毎に3個、層全体で15個 (K上の場合) 採取したものを平均したものである。但し、軽石層上端部は、上部のロームが混入しているので平均値からは除外した。

(1) 自然含水比 ( $\omega_n$ )

鹿沼土の含水比は、粒径の大小、イモゴライトの有無、風化の程度、深さにより異なる。定性的には、Table-2に示すように噴出源である赤城山に近いほど高い値を示し、また、イモゴライトのある上層部と透水係数の低いローム層に接する下層部で高い値である。

(2) 湿潤密度 ( $\rho_w$ )、乾燥密度 ( $\rho_d$ )

鹿沼土の $\rho_w$ 及び $\rho_d$ の値は、非常に小さく最大でも各々 $1.09g/cm^3$ 、 $0.38g/cm^3$ である。特にルーズな下層部の $\rho_w$ は $1.0g/cm^3$ を下回る値である。これを関東ロームと比較すると $\rho_w$ が約 $0.30g/cm^3$ 小さく、 $\rho_d$ は約半分である。

(3) 比重 ( $G_s$ )

地域、深さの違いによる比重の差はごく僅かであるが、深い層ほど小さく、距離が遠くなるほど大きくなる傾向がある。鹿沼地区は平均で2.665、同じく真岡地区は2.702、笠間地区は2.776である。

(4) 間隙比 ( $e$ )

間隙比は、 $e=6\sim 8$ と非常に大きく関東ロームの2倍以上である。深さ方向では少しずつ異なり、鹿沼、真岡両地区とも、含水比の高い下層部で $e=7$ 以上の値を示す。

(5) 粒度分布

Fig-3は、各試料の粒径過積曲線を示したものであ

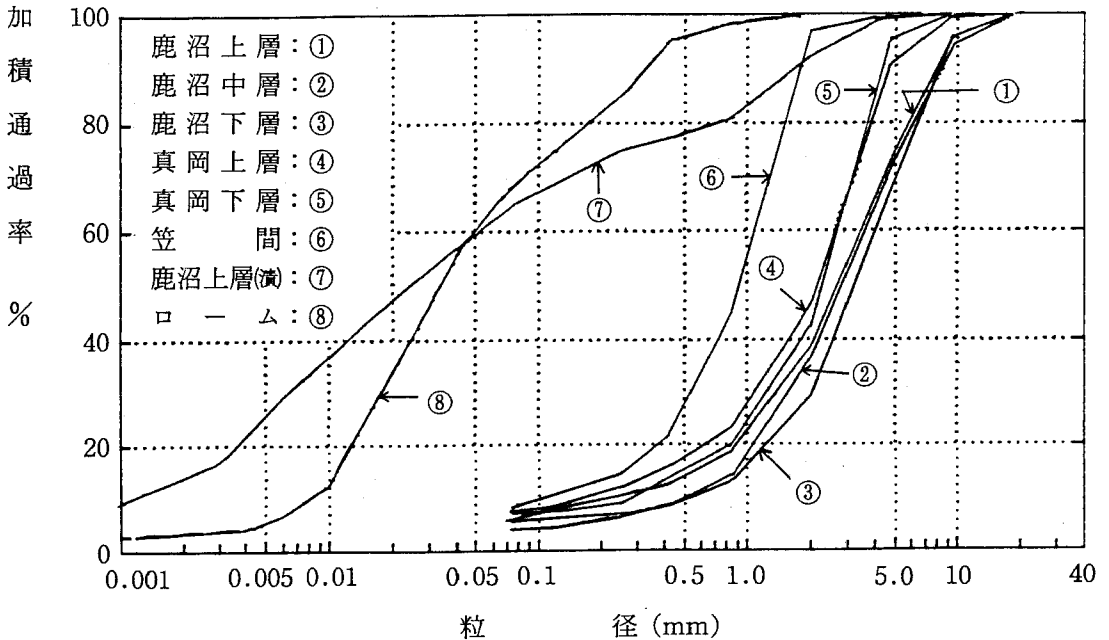


Fig. 3 粒径過積曲線  
Grain size accumulation curve of Kanumatsuchi

Table 3 鹿沼土の土質分類（日本統一土質分類）  
Classification of Kanumatsuchi (Japanese unified soil classification system)

試料名	細粒分 d < 0.075 (%)	砂分 0.075 < d < 2.0 (%)	礫分 d > 2.0 (%)	D <sub>10</sub> (mm)	D <sub>30</sub> (mm)	D <sub>60</sub> (mm)	均等 係数 U <sub>c</sub>	曲率 係数 U <sub>c</sub> '	土質 分類
鹿沼上層	5.9	32.9	61.2	0.25	1.40	3.5	14.0	2.24	G-F
鹿沼中層	4.0	32.7	63.3	0.51	1.70	3.6	7.1	1.57	G
鹿沼下層	5.4	23.7	70.9	0.52	2.05	4.1	7.9	1.97	G-F
真岡上層	7.3	44.4	48.3	0.18	1.05	2.3	12.8	2.66	G-F
真岡下層	6.9	48.7	44.4	0.38	1.10	2.2	5.8	1.45	S-F
笠間	8.3	88.8	2.9	0.11	0.52	1.1	10.0	2.23	S-F

る。粒度は、噴出源である赤城山からの距離に比例して細粒化し、しかも僅かであるが曲線の勾配が急になり均一化する傾向が窺われる。なお、鹿沼地区では深い層ほど粗粒となる。

これを細粒分、砂分、礫分に分けて土質分類を試みた結果がTable-3である。K上、K下は「細粒分混じり礫」、K中は「きれいな礫」に、M上は「細粒分混じり礫」、M下及びKAは「細粒分混じり砂」に分類される。

#### (6) アッターベルグ限界

液性限界は、粘土化の進んでいるK上、M上で各々95%、99%と他の試料が80~87%であるのに対し大きく、塑性限界についても同様の傾向である。何れの試料も自然含水比に比べ液性限界がかなり低く、練り返しなどにより簡単に液状化することを示している。なお、K上については練り返し時間を変えて実験を行ったが、関東ロームと同様時間が増すと液性限界値が大きくなる。

### III. 鹿沼土の物理性の測定・計算法

#### 1. 鹿沼土の構成

鹿沼土は大小の風化軽石を主体として構成されている。その他の要素としては、直径約2mmの軽石粒、長径約5mmの岩片及びイモゴライトが風化軽石間の空隙にあり、これら4要素がランダムに噛み合って構成されている。さらに、これら4要素間にも空隙（大空隙）があり、従って、通常測定される含水比や空隙比などの物理定数は、これら4要素が示す定数が複合した結果として得られることになる。

しかし、空隙一つを取り上げても風化軽石内部と風化軽石間の二重の空隙構造を有し、さらに量的には少ないが他の要素にも空隙があり、複合的な空隙構造であると言える。従って、これらは鹿沼土の物理的、力学的取扱上、質的に同一視し難く、また、鹿沼土の構造決定上からも各構成要素の内部と外部に分けて物理量を把握する必要がある。

#### 2. 鹿沼土の物理定数

##### (1) 要素の乾燥質量比、含水比、比重の測定

各要素の含水比( $\omega$ )、炉乾燥質量比( $\alpha$ )及び真比重( $G$ )は、一定量の原土を質量測定後解きほぐして、篩分け及びピンセットによる選別を行い4要素に分けて求めた。但し、軽石粒、イモゴライト、岩片の $\omega$ 、 $G$ は、これらの量が少なく、測定誤差も大きくなる可能性があるので鹿沼上層の値を求め、これを他層の値と共通なものとして他層に適用した。

炉乾燥質量比は、鹿沼土の全炉乾燥質量に対する各要素の炉乾燥質量として与えた( $\alpha_1$ :風化軽石、 $\alpha_2$ :軽石粒、 $\alpha_3$ :イモゴライト、 $\alpha_4$ :岩片)。

##### (2) 各物理定数の算定式（記号の説明は文末に掲載）

###### ① 各要素が保持する水分質量の全炉乾燥質量に対する比率(%)

###### a. 風化軽石内部

$$\omega_1' = \alpha_1 \cdot \omega_1 \quad (1)$$

###### b. 軽石粒内部

$$\omega_2' = \alpha_2 \cdot \omega_2 \quad (2)$$

###### c. 軽石粒子間（イモゴライト、岩片、大空隙）に保持されている水分の全炉乾燥質量に対する比率

$$\omega'' = \omega_n - (\omega_1' + \omega_2') \quad (3)$$

###### ② 各要素内部の空隙量の全要素実質部の体積に対する比率（空隙比に相当）

###### a. 風化軽石

$$e_1' = \frac{V_{v1}}{\sum V_{s1}} = \frac{e_1 \cdot V_{s1}}{\sum V_{s1}} \\ = G_s \cdot \frac{\alpha_1}{G_1} \cdot e_1 \quad (4)$$

###### b. 軽石粒

$$e_2' = \frac{V_{v2}}{\sum V_{s1}} = \frac{e_2 \cdot V_{s2}}{\sum V_{s1}} \\ = G_s \cdot \frac{\alpha_2}{G_2} \cdot e_2 \quad (5)$$

c. 軽石粒子間

$$e'' = \frac{V_v}{\sum V_{s_i}} = \frac{(V - \sum V_{s_i}) - V_{v_1} - V_{v_2}}{\sum V_{s_i}} = e_n - e_1' - e_2' \quad (6)$$

③ 各要素の間隙量の全体積に対する比率

a. 風化軽石

$$n_1' = \frac{V_{v_1}}{V} = \frac{e_1 \cdot V_{s_1}}{V} = \frac{e_1 \cdot V_{s_1}}{(1 + e_n) \sum V_{s_i}} = \frac{e_1'}{1 + e_n} \quad (7)$$

b. 軽石粒

$$n_2' = \frac{V_{v_2}}{V} = \frac{e_2 \cdot V_{s_2}}{V} = \frac{e_2'}{1 + e_n} \quad (8)$$

c. 軽石粒子間

$$n'' = \frac{V_v'}{V} = \frac{(V - \sum V_{s_i}) - V_{v_1} - V_{v_2}}{V} = n_n - n_1' - n_2' \quad (9)$$

④ 各要素の飽和度

a. 風化軽石

$$S_1 = \frac{V_{w_1}}{V_{v_1}} = \frac{\omega_1 \cdot G_1}{e_1} \quad (10)$$

b. 軽石粒

$$S_2 = \frac{V_{w_2}}{V_{v_2}} = \frac{\omega_2 \cdot G_2}{e_2} \quad (11)$$

c. 軽石粒子間

$$S_0 = \frac{(m - \sum m_{s_i}) - m_{w_1} - m_{w_2}}{\{(V - \sum V_{s_i}) - e_1 \cdot V_{s_1} - e_2 \cdot V_{s_2}\} \rho_w} = \frac{\omega'' \cdot \sum m_{s_i}}{e'' \cdot \sum V_{s_i} \cdot \rho_w} = \frac{\omega''}{e''} \cdot G_0 \quad (12)$$

(3) 風化軽石, 軽石粒の密度, 間隙比, 飽和度の算定

① 風化軽石の密度測定

風化軽石は, 多孔質でかつ不定形であるので, 密度の測定はパラフィン塗布法によった。この方法は, 粒子自体が極めて軽量なので風化軽石の表面をパラフィンで覆った後, 重りを付けて風化軽石と一体とした塊を作成して試験を行なうものである。密度は(13)式で求めた。また, 試験装置の概略をFig-4に示す。

$$\rho_1 = \frac{m_1}{V_1} \quad (13)$$

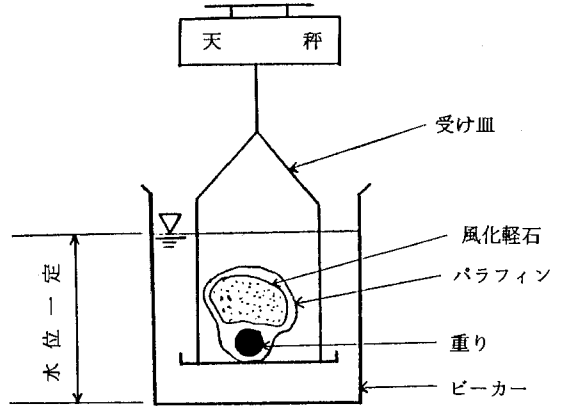


Fig. 4 風化軽石の密度測定の概略図  
Density measuring apparatus of weathered pumice

$$V_1 = \frac{(M+t) - (M'+t') - K(b+t-b'-t')}{\rho_{WT}} - \frac{(M-b-m_1)}{\rho_P} \quad (14)$$

(14)式中のパラフィンの密度  $\rho_P$  は, 次の様にして測定した。パラフィンは, 取り扱いの都合を考慮して, MP. 60~62℃のものを使用した。試料は重りとパラフィンのみの塊とする。(14)式において  $m_1 = 0$ ,  $V_1 = 0$  とすると,  $\rho_P$  は(15)の様に表わされる。

$$\rho_P = \frac{\rho_{WT}(M-b)}{(M+t) - (M'+t') - K(b+t-b'-t')} \quad (15)$$

今回は, (15)式より求めた  $\rho_P = 0.914 \text{g/cm}^3$  を用いて風化軽石の密度を求めた。

② 軽石粒の密度測定

軽石粒は, 細かな石粒 (直径 1~2 mm) であるので, ある程度の量をまとめて試料とした。試料体積を静かに水置換して(17)式でその量 ( $V_2$ ) を求め, (16)式で軽石粒の密度  $\rho_2$  を算定する。

$$\rho_2 = \frac{m_2}{V_2} \quad (16)$$

$$V_2 = \frac{K \cdot (M_s - M_c) - (M_b - M_d)}{\rho_{WT}} \quad (17)$$

③ 風化軽石及び軽石粒の間隙比, 飽和度

(13)式及び(16)式によって密度を求め, さらにこれを基にして間隙比 ( $e_i$ ), 飽和度 ( $S_i$ ) を次式で算定した。

$$e_i = \frac{\rho_w}{\rho_{s_i}} \cdot G_i - 1 = \frac{G_i \cdot \rho_w (1 + \omega_i/100)}{\rho_i} - 1 \quad (18)$$

報文：地域、深さによる鹿沼土の物理的構成と各種物理性の差異について

Table 4 要素の乾燥質量比、含水比、比重  
Ratio of dry weight, moisture ratio, specific gravity

試料名	項目	全体	要素名			
			風化軽石	軽石粒	イモゴライト	岩片
鹿沼上層	含水比 $\omega$ (%)	216.2	254.9	97.5	306.3	10.3
	乾燥質量比 $\alpha$ (%)	100.0	72.3	11.2	3.4	13.1
	比重 G	2.679	2.640	2.580	2.700	2.830
鹿沼中層	含水比 $\omega$ (%)	200.1	233.7	97.5	306.3	10.3
	乾燥質量比 $\alpha$ (%)	100.0	74.5	14.8	0.8	9.9
	比重 G	2.652	2.612	2.580	2.700	2.830
鹿沼下層	含水比 $\omega$ (%)	220.0	266.0	97.5	0	10.3
	乾燥質量比 $\alpha$ (%)	100.0	73.3	15.2	0	11.5
	比重 G	2.649	2.659	2.580	0	2.830
真岡上層	含水比 $\omega$ (%)	182.3	197.2	97.5	trace	10.3
	乾燥質量比 $\alpha$ (%)	100.0	87.1	6.6	trace	6.3
	比重 G	2.699	2.677	2.580	trace	2.830
真岡下層	含水比 $\omega$ (%)	189.9	200.7	97.5	0	10.3
	乾燥質量比 $\alpha$ (%)	100.0	90.8	3.6	0	5.6
	比重 G	2.701	2.658	2.580	0	2.830

$$S_i = \frac{G_i \cdot \omega_i}{e_i} \quad (19)$$

IV. 実験結果及び考察

実験は、K上、K中、K下及びM上、M下の5試料について行った。笠間試料については、粒度的にかなり細かであり各要素に分離することが難しく実験が行えなかった。

1. 各構成要素の乾燥質量比、含水比、比重

Table-4は、各構成要素の乾燥質量比、含水比及び比重を示したものである。

乾燥質量比は、風化軽石の割合 ( $\alpha_1$ ) が非常に大きく何れも70%以上である。これを地域毎にみると、K上<K下<K中<M上<M下と真岡地区の方が風化軽石の比率が大きい。その分、軽石粒及び岩片の割合 ( $\alpha_2, \alpha_3$ ) が10%以下で鹿沼地区より少ない。イモゴライトの割合 ( $\alpha_4$ ) は非常に少ない。

風化軽石の自然含水比は、鹿沼土の自然含水比と同様下層部で高い。粘土化の進んでいない軽石粒の含水比は、97.5%と風化軽石に比べてかなり低く、そのため鹿沼土の自然含水比は風化軽石の自然含水比より低い。また、寒天状のイモゴライトの含水比は、306%と最も高い値である。

比重の大きさは、岩片>イモゴライト>風化軽石>軽石粒の順で、全体の比重は、4要素の構成比の違いにより左右される。比重値が最も小さい軽石粒の割合が大きい鹿沼地区は、岩片の量が多いにもかかわらず真岡地区より小さい。また、鹿沼地区では、岩片及びイモゴライトを多く含むK上で大きい。

Table 5 風化軽石及び軽石粒の密度、間隙比、飽和度  
Wet density, void ratio, degree of saturation

試料名	湿潤密度 (g/cm <sup>3</sup> )	間隙比	飽和度 (%)
風土軽石	鹿沼上層 $\rho_1=1.098$	$e_1=7.54$	$S_1=89.3$
	鹿沼中層 $\rho_1=1.150$	$e_1=6.58$	$S_1=92.7$
	鹿沼下層 $\rho_1=1.183$	$e_1=7.23$	$S_1=97.9$
	真岡上層 $\rho_1=1.052$	$e_1=6.52$	$S_1=80.6$
	真岡下層 $\rho_1=1.080$	$e_1=6.40$	$S_1=83.5$
軽石粒	鹿沼上層 $\rho_2=1.317$	$e_2=2.87$	$S_2=87.7$

2. 風化軽石、軽石粒の密度、間隙比、飽和度

Table-5は、風化軽石、軽石粒の湿潤密度、間隙比、飽和度の測定結果を示したものである。湿潤密度  $\rho_i$  は、K上<K中<K下、M上<M下と鹿沼地区でまた層下部で大きい。また、飽和度の高い層で大きい。なお、飽和度  $S_i$  は、K下の97.9%をはじめどの試料も鹿沼土全体の飽和度  $S_i$  に比べかなり高い。

次に間隙比  $e_i$  は、K下、M下を除き鹿沼土全体の間隙比  $e$  より大きく、全体の間隙比が殆ど風化軽石によって決まることが分かる。

また、軽石粒の値はK上の値であるが、密度は風化軽石より大きく、同じく間隙比はかなり小さい。

3. 各要素の内部・外部の物理定数

Table-6は、物理定数の算定式(1)~(4)及びTable-5の値を用いて求めた各要素の内部及び外部の物理定数である。各物理定数値は、何れの値も炉乾燥質量比 ( $\alpha$ ) にはほぼ比例しており、風化軽石の占める割合が高い。特に、風化軽石内の水分の割合は、K上<K中<K下<M上<M下の順であるが、どの試料も  $\alpha_i$  値を大きく上回っ

Table 6 各要素の物理定数  
Physical properties of each components ( )は構成比(%)

状態定数			試料名				
			鹿沼上層	鹿沼中層	鹿沼下層	真岡上層	真岡下層
全水分 乾質量 要素の比 質素内の 比 対水 %	全体	$\omega_n$	216.2 (100.0)	200.1 (100.0)	220.0 (100.0)	182.3 (100.0)	189.9 (100.0)
	風化軽石	$\omega_1'$	184.3 (85.3)	174.1 (87.0)	195.0 (88.7)	171.8 (94.2)	182.2 (95.9)
	軽石粒	$\omega_2'$	10.9 (5.0)	14.4 (7.2)	14.8 (6.7)	6.4 (3.5)	3.5 (1.8)
	軽石粒 子間	$\omega''$	21.0 (9.7)	11.6 (5.8)	10.2 (4.6)	4.1 (2.3)	4.2 (2.2)
全要素の 比 内部 対 の間隙 %	全体	$n_n$	87.1 (100.0)	86.5 (100.0)	88.0 (100.0)	86.4 (100.0)	88.2 (100.0)
	風化軽石	$n_1'$	71.0 (81.5)	67.1 (77.6)	63.2 (71.9)	77.9 (90.1)	69.6 (78.9)
	軽石粒	$n_2'$	4.2 (4.8)	5.9 (6.8)	5.4 (6.1)	2.7 (3.1)	1.3 (1.5)
	軽石粒 子間	$n''$	11.9 (13.7)	13.5 (15.6)	19.4 (22.2)	5.8 (6.8)	17.3 (19.6)
要飽 和 の 度 %	全体	$S_n$	85.6	82.6	79.1	77.4	68.5
	風化軽石	$S_1$	89.3	92.7	97.9	80.6	83.5
	軽石粒	$S_2$	87.6	87.6	87.6	87.6	87.6
	軽石粒 子間	$S_0$	60.5	30.8	16.6	25.7	20.0

ており、全水分量の殆どを風化軽石が保持していることになる。これは、軽石粒が $\alpha_2$ 値の半分程度の保水能力でしかなく、また、軽石粒子間の保水量も極端に少ない分風化軽石の割合が高くなる。なお、軽石粒子間の水分量の割合は、 $K上 > K中 > K下 > M下 > M上$ の順であり、イモゴライトが殆どない真岡地区で少ない。

間隙についても水分の場合と同様で、全間隙量の70%以上が風化軽石中の間隙である。しかし、 $K下$ 、 $M下$ の場合、軽石粒子間の間隙量の割合が各々22.2%、19.6%と高く、ルーズな地盤であることを示している。

風化軽石、軽石粒の飽和度は、何れも90%前後と高い値を示すが、軽石粒子間の飽和度は、イモゴライトを含む $K上$ で高いが、他の層は全て30%以下と低い。

地域的には、給源火山である赤城山からの距離が増すに従い風化軽石の割合が大きくなり、軽石粒、岩片の割合は減少する。風化軽石の湿潤密度と飽和度も、距離が増す程含水比の低下に伴い減少するが、炉乾燥質量比が増加するため風化軽石内の水分量の割合は増加する。また、軽石粒子間の間隙量及び保水量は、距離が増すと減少する。

4. 要素毎の三相分布の算定

鹿沼土全体の三相分布は、Table-2に示すように固相が少なく液相が非常に多いのが特徴である。

ここでは前項までの結果を用いて、鹿沼土の三相分布

を、風化軽石、軽石粒、イモゴライト、岩片及び以上の4要素間にある大間隙の5要素に分けて計算により求めた。計算を簡単にするため、炉乾燥質量を1.0( $\sum \alpha_i = 1.0$ )として各要素の三相分布を求めた。なお、求まる値は体積であり、これを鹿沼土の体積  $\{(1 + \omega_n/100) \sum \alpha_i\} / \rho_i$  で除した全体に対する体積比を( )内に示した。以下は $K上$ についての計算例である。

(1) 計算例 ( $K上$ )

① 風化軽石部分 2.340cm<sup>3</sup> (80.65%)

a. 実質部

$$V_{s1} = \alpha_1 / G_1 \rho_w = 0.723 / 2.64 \times 1.0 = 0.274 \text{cm}^3 \text{ (9.44\%)}$$

b. 水分

$$V_{w1} = \alpha_1 \omega_1 / 100 \rho_w = 0.723 \times 254.9 / 100 \times 1.0 = 1.843 \text{cm}^3 \text{ (63.52\%)}$$

c. ガス

$$V_{a1} = e_1 V_{s1} - V_{w1} = 7.54 \times 0.274 - 1.843 = 0.223 \text{cm}^3 \text{ (7.69\%)}$$

② 軽石粒部分 0.166cm<sup>3</sup> (5.72%)

a. 実質部

$$V_{s2} = \alpha_2 / G_2 \rho_w = 0.112 / 2.58 \times 1.0 = 0.043 \text{cm}^3 \text{ (1.48\%)}$$

報文：地域，深さによる鹿沼土の物理的構成と各種物理性の差異について

Table 7 各要素の三相分布  
Three phases of each components

試料名	要素名	三 相 比					合 計 ( 全 体 ) %
		固 相 各要素の 構成比%	液 相 全体に対 する比%	気 相 各要素の 構成比%	液 相 全体に対 する比%	気 相 各要素の 構成比%	
鹿沼上層	風化軽石	72.84	9.44	85.25	63.52	61.47	80.65
	軽石粒	11.42	1.48	5.04	3.76	3.84	5.72
	イモゴライト	3.47	0.45	4.81	3.59	0	4.04
	岩片	12.27	1.59	0.60	0.45	0	2.04
	大間隙	0	0	4.30	3.21	34.69	7.55
	計	100	12.96	100	74.53	100	12.51
鹿沼中層	風化軽石	75.00	10.04	87.00	61.32	29.25	76.08
	軽石粒	15.00	2.01	7.20	5.07	4.37	7.78
	イモゴライト	0.79	0.11	1.25	0.88	0	0.99
	岩片	9.21	1.24	0.50	0.35	0	1.59
	大間隙	0	0	4.05	2.85	66.38	13.56
	計	100	13.40	100	70.47	100	16.13
鹿沼下層	風化軽石	73.41	8.69	88.64	61.36	7.47	71.46
	軽石粒	15.69	1.85	6.73	4.66	3.49	7.17
	イモゴライト	0	0	0	0	0	0
	岩片	10.90	1.29	0.54	0.38	0	1.67
	大間隙	0	0	4.09	2.83	89.04	19.79
	計	100	11.83	100	69.23	100	18.94
真岡上層	風化軽石	87.13	11.80	94.24	62.38	71.86	88.74
	軽石粒	6.97	0.94	3.51	2.33	1.97	3.67
	イモゴライト	0	0	0	0	0	0
	岩片	5.90	0.80	0.33	0.22	0	1.02
	大間隙	0	0	1.92	1.27	26.17	6.57
	計	100	13.54	100	66.20	100	20.26
真岡下層	風化軽石	90.95	11.05	95.94	58.89	44.81	81.80
	軽石粒	3.70	0.45	1.84	1.13	0.60	1.74
	イモゴライト	0	0	0	0	0	0
	岩片	5.35	0.65	0.32	0.19	0	0.84
	大間隙	0	0	1.90	1.17	54.59	15.62
	計	100	12.15	100	61.38	100	26.47

b. 水分

$$V_{w2} = \alpha_2 \omega_2 / 100 \rho_w$$

$$= 0.112 \times 97.5 / 100 \times 1.0$$

$$= 0.109 \text{cm}^3 \text{ (3.76\%)}$$

c. ガス

$$V_{g2} = e_2 V_{s2} - V_{w2}$$

$$= 2.87 \times 0.043 - 0.109$$

$$= 0.014 \text{cm}^3 \text{ (0.48\%)}$$

③ イモゴライト部分 0.117cm<sup>3</sup> (4.04%)

a. 実質部

$$V_{s3} = \alpha_3 / G_3 \rho_w = 0.034 / 2.70 \times 1.0$$

$$= 0.013 \text{cm}^3 \text{ (0.45\%)}$$

b. 水分

$$V_{w3} = \alpha_3 \omega_3 / 100 \rho_w$$

$$= 0.034 \times 306.3 / 100 \times 1.0$$

$$= 0.104 \text{cm}^3 \text{ (3.59\%)}$$

④ 岩片部分 0.059cm<sup>3</sup> (2.04%)

a. 実質部

$$V_{s4} = \alpha_4 / G_4 \rho_w = 0.131 / 2.83 \times 1.0$$

$$= 0.046 \text{cm}^3 \text{ (1.59\%)}$$

b. 水分

$$V_{w4} = \alpha_4 \omega_4 / 100 \rho_w$$

$$= 0.131 \times 10.3 / 100 \times 1.0$$

$$= 0.013 \text{cm}^3 \text{ (0.45\%)}$$

⑤ 大間隙部分 0.219cm<sup>3</sup> (7.55%)

a. 水分

$$V_{w5} = \omega_n \sum \alpha_i / 100 \rho_w - \sum V_{wi}$$

$$= 216.2 \times 1.0 / 100 \times 1.0$$

$$- (1.843 + 0.109 + 0.104 + 0.013)$$

$$= 0.093 \text{cm}^3 \text{ (3.21\%)}$$

b. ガス

$$V_{g5} = (1 + \omega_n / 100) \cdot \sum \alpha_i / \rho_i$$

$$\begin{aligned} & -(\Sigma V_{s1} + \Sigma V_{w1} + \Sigma V_{a1}) \\ & = (1 + 216.2/100) \times 1.0 / 1.068 \\ & - (0.376 + 2.162 + 0.237) \\ & = 0.126 \text{cm}^3 \quad (4.34\%) \end{aligned}$$

## (2) 各構成要素の三相分布

Table-7は、上述の計算と同様にして求めた、各試料の要素毎の三相分布である。

固相の構成割合は、鹿沼地区では全固相の72.9~75.0%を風化軽石が占め、軽石粒、岩片は各々11.4~15.7%, 9.2~12.2%と少ない。一方、真岡地区では87.1~90.9%が風化軽石で占められ、軽石粒、岩片は各々3.7~7.0%, 5.3~5.9%とかなり少ない。

次に液相は、鹿沼地区では85.3~88.6%が、真岡地区では94.2~95.9%が風化軽石で占められる。なお、K上のイモゴライトは、量的に少ないが高含水比であるため4.8%になる。

以上のように固相及び液相の場合、風化軽石の占める割合が非常に大きく、しかも赤城山からの距離が遠くなる程風化軽石中の水分量の割合が多くなることが分かる。なお、固相、液相ともに深さ方向の違いは小さい。

これに対し、気相は地域、深さによる差が明確である。鹿沼地区の場合、K上では全気相の34.7%が大間隙で占められるが、K中では66.4%, K下では89.0%と深い層ほど大間隙内の気相の割合が増える。

真岡地区における大間隙の気相の割合は、M上26.2%, M下54.6%と鹿沼地区に比べて小さい値である。

K下、M下の気相の割合が上層に比べて大きいのは、両層とも比較的ルーズな地盤を形成しており、大間隙の体積比も各々19.7%, 15.6%と大きいにもかかわらず飽和度が20%以下と低いためである。

## 5. 摘 要

鹿沼軽石層は、無機質の種々の構成要素からなり、その特殊な性質と各要素の集合体としての複合的構造を有しているなど土質工学上の取扱が難しい。また、粒度、含水比等の物理性や土層の締め程度、固さ等の力学性も地域、深さにより異なり、鹿沼土の特性を総体的に表現することは難しい。

本稿は、主として各要素に分けた場合の物理定数の分析を試み、その表示法を示すと同時に、今後の力学性や保水性の解明のための指針を得ることを目的に検討を進めた。その結果は概ね以下に示すとおりであるが、圧縮性や保水性の解明に必要な指針を得たこと等、当初の目的はほぼ満足された。

(1) 鹿沼土を風化軽石、軽石粒、イモゴライト、岩片の4要素に分けて、その炉乾燥質量比を求めた。鹿沼地区

では全体の72~75%が、真岡地区では87~91%が風化軽石で、赤城山からの距離が遠くなるほど風化軽石の割合が増す。密度の大きい軽石粒、岩片の割合は、飛散距離の関係で徐々に少なくなる。

(2) 軽石粒子間の飽和度は、イモゴライトの多いK上で60.5%であるが、その他は16.6~30.8%と非常に低い。この部分の水分量もK上の9.7% (全水分量に対する比) 以外はどれも5%に満たない。

(3) 鹿沼土の三相分布の特徴は、固相が少なく液相が非常に多いことである。特に液相の割合は大きく、鹿沼地区が69~75%, 真岡地区が61~66%である。一方、気相の割合は、鹿沼地区13~19%, 真岡地区20~26%と真岡地区が鹿沼地区より若干大きい。

(4) 要素毎にみた場合、液相の73~91%は風化軽石によって占められ、しかも、風化軽石の飽和度が81~98%と高い。このことは風化軽石の保水性の良さ、ひいては軽石層としての保水性の良さを示すものである。

本稿をまとめるに当たって、多量の鹿沼土の採取に御協力頂いた鹿沼農業高校の佐藤清衛先生を始め教職員の皆様に厚く御礼申し上げます。

備考：計算に用いた記号 (式番号順)

$$\begin{aligned} \Sigma V_{s1} &: \text{全要素実質部の体積} \\ e_1 &: \text{風化軽石の間隙比} \\ V_{v1} &: \text{風化軽石内部の間隙量} \\ G_1 &: \text{風化軽石の比重} \end{aligned} \quad (4) \text{式}$$

$$\begin{aligned} V_{s1} &: \text{風化軽石実質部の体積} \\ G_s &: \text{鹿沼土の比重} \\ V_{v2} &: \text{軽石粒内部の間隙量} \\ G_2 &: \text{軽石粒の比重} \\ V_{s2} &: \text{軽石粒実質部の体積} \\ e_2 &: \text{軽石粒の間隙比} \end{aligned} \quad (5) \text{式}$$

$$V_v' : \text{軽石粒子間の体積} \quad (6) \text{式}$$

$$\Sigma V_{v1} : \text{鹿沼土の全間隙量} \quad (7) \text{式}$$

$$V_{w1} : \text{風化軽石内部の水の体積} \quad (10) \text{式}$$

$$V_{w2} : \text{軽石粒内部の水の体積} \quad (11) \text{式}$$

$$\Sigma m_{s1} : \text{全炉乾燥質量} \quad (12) \text{式}$$

$$m_{w1} : \text{風化軽石内部の水分質量}$$

$$m_{w2} : \text{軽石粒内部の水分質}$$

$$M : \text{(試料+パラフィン+重り)の空气中質量}$$

$$M' : \text{(試料+パラフィン+重り)の水中質量}$$

$$t : \text{受け皿の空气中質量}$$

$$t' : \text{受け皿の水中質量}$$

$$b : \text{重りの空气中質量}$$

$$b' : \text{重りの水中質量}$$



報文：地域，深さによる鹿沼土の物理的構成と各種物理性の差異について

K：補正係数 ( $\rho_{WT} / \rho_{WT}'$ )

$\rho_{WT}'$ ：( $b' + t'$ )測定時の水の密度

$\rho_{WT}$ ：( $M' + t'$ )測定時の水の密度

$\rho_P$ ：パラフィンの密度

$m_1$ ：風化軽石の質量  $V_1$ ：風化軽石の体積

以上，(14)式

$m_2$ ：軽石粒の質量 (16)式

$V_2$ ：軽石粒の体積

$M_a$ ：(蒸留水+ピクノメーター)の質量( $T'$ ℃)

$M_b$ ：(蒸留水+試料+ピクノメーター)の質量( $T$ ℃)

$M_c$ ：ピクノメーターの質量

$M_d$ ：(試料+ピクノメーター)の質量

$\rho_{WT}$ ： $T$ ℃の水の密度

以上，(17)式

$\rho_d$ ：試料の乾燥密度

$\rho_i$ ：試料の湿潤密度

$\omega_i$ ：試料の含水比  $G_i$ ：試料の比重

以上，(18)式

#### 参考文献

1. 関東ローム研究グループ：関東ローム，その起源と性状，pp.143～169 j 築地書館 (1964)
2. 関東ローム研究グループ：関東ローム，その起源と性状 付図5 (柱状図集)及び 付図6 (関東ロームの等厚線と柱状図の位置)，j 築地書館 (1964)
3. 阿久津 純：宇都宮付近の関東ローム (火山灰層) 地球科学33, pp.1～11, (1957)
4. 木村俊雄，竹内 均，他編集：地学辞典 第3巻，pp.101 古今書院，(1976)
5. 鈴木 敬，富田平四郎 他：鹿沼土の物理的構成とその性質について，宇都宮大学 農学部学術報告12巻1号，pp.1～10, (1983)
6. 鈴木敬，富田平四郎 他：鹿沼軽石層の状態定数の取扱についての基礎的考察，農業土木学会大会講演要旨集，pp.357～358, 農業土木学会，(1982)
7. 土質工学会編：土質試験の方法と解説，土質工学会，(1990)

(受稿年月日 1993年10月12日)



Original

## CONCENTRATION AND UPTAKE OF NUTRIENTS BY RICE ROOTS AND QUALITY OF RICE GRAINS AS INFLUENCED OF GYPSUM, Zn AND DIFFERENT SALINE ENVIRONMENTS.

Khan, H.R., Faiz, S.M.A., Adachi, T\* and Ahmed, I.U.

Department of Soil Science, University of Dhaka, Dhaka-1000, Bangladesh.

\* Faculty of Agriculture, Okayama University, Okayama-700, Japan.

### ABSTRACT

The effects of different levels ( $EC_{iw}=0.60, 8, 16 \text{ dSm}^{-1}$ ) of water salinity, gypsum ( $G=0, 160 \text{ kg ha}^{-1}$ ) and Zinc ( $Zn=0, 5 \text{ kg ha}^{-1}$ ) on the concentration and uptake of nutrients by rice roots and quality of rice grains were studied in greenhouse. Highly significant ( $P \leq 0.01$ ) effect of salinity on the concentration and uptake of nutrients by roots and quality of rice grains was found, the adverse effect being more pronounced on BR 6 rice while the exotic CSR 4 appeared more salt tolerant. The concentration and uptake of Ca, Mg and Zn in roots decreased with an increase in salinity. The concentration of Na, Cl and S increased with an increase in water salinity but the uptake of S and Cl was slightly decreased at  $8 \text{ dSm}^{-1}$  while 50 per cent yield reduction was at  $16 \text{ dSm}^{-1}$ . Maximum amount of uptake of Na was at  $8 \text{ dSm}^{-1}$  followed by that at  $16$  and  $0.60 \text{ dSm}^{-1}$  for both the cultivars. Application of gypsum and Zn at the rates of  $160$  and  $5 \text{ kg ha}^{-1}$  increased the concentration and uptake of Ca, Mg and S, and were effective to decrease the concentration of Na and Cl in rice roots. Salinity significantly reduced the grains and root yields of the rices but  $G_{160}$  and  $Zn_5$  had favorable effects on these parameters. Protein contents of the rices varied significantly with the treatments and ranged from  $68.8$  to  $87.5 \text{ g kg}^{-1}$  for CSR 4 and  $67.5$  to  $82.5 \text{ g kg}^{-1}$  for BR 6. Application of  $G_{160}$  and  $Zn_5$  separately or in combination improved the protein contents of rice grains, regardless of salinity.

**Key words :** concentration of nutrients, gypsum, quality of rice grains, salinity, zinc.

### INTRODUCTION

One-fifth of the total area ( $26,000 \text{ km}^2$ ) of Bangladesh which lies around the northern apex of the Bay of Bengal is seriously affected by saline water intrusion<sup>4</sup>. Electrical conductivity of Betna river (Feni : near northern apex of the Bay of Bengal) waters fluctuated from  $2.6$  to  $29.4 \text{ dSm}^{-1}$  with a coefficient of variation 76 per cent<sup>12</sup>. Such saline irrigation has a marked effect on the nutrients availability as well as their translocation in plant. It is well known that salinity lowers the water potential in the soil, consequently lowering the water potential gradient from the soil to the plant cell. Besides, salinity sometimes causes nutrient imbalance due to more  $\text{Na}^+$  and  $\text{Cl}^-$  in soil solution<sup>9</sup> which may also adversely affect the mineral nutrition of the plant<sup>3</sup>. Salt tolerant varieties can be grown in the

coastal areas with fresh water irrigation, but as the cost-benefit ratio of irrigation becomes low, farmers are not interested in such an uncertain venture. Hence, for the optimum growth of plants under saline conditions, reclamation and management practices should be done to maintain a balance between the concentration of ions in the immediate environment of root and their uptake.

Plant growth and yield of rice increased by gypsum and it acted as an amending material in saline soil<sup>15</sup>. Application of gypsum along with irrigation suppressed the absorption of sodium ions by soil particles and plants from diluted solutions<sup>24</sup>. It was suggested that application of water with intermediate salinity, gypsum or other amendments with irrigation water would be effective to reclaim saline soil but further research is still

needed<sup>5)</sup>. Application of Zn enhanced the yield and decreased the adverse effects of salinity and sodicity<sup>23)</sup>. The coastal saline soils of Bangladesh are slightly to moderately alkaline in reaction where Zn deficiency is becoming an acute problem<sup>17)</sup>. Salinity has a negative effect on the assimilation of N, P and K by rice but the application of gypsum and zinc at the rates of 160 and 5 kg ha<sup>-1</sup>, respectively was significantly effective for the uptake of N, P and K, irrespective of salinity<sup>11)</sup>. Based on these backgrounds, we studied the influences of gypsum, zinc and intermittent saline irrigation on the quality of rice grains and uptake of Na, Ca, Mg, S, Cl and Zn by two rice cultivars.

#### MATERIALS AND METHODS

The experiment was conducted with high yielding BR 6 and exotic CSR 4 rices in the greenhouse at the Department of Soil Science, University of Dhaka, Bangladesh. The soil used for this experiment was Hatiya silty clay loam (fine silty, isohyperthermic Aeric Fluvaquent) was collected from coastal saline zone (Table 1). Initially 300 g of 1M HCl washed coarse sand was added to the bottom of each earthen pot and then 8kg of air-dried, ground and 5mm-sieved composite soil was filled in a pot (28/24 cm). Thirty five-day old seedlings at the rate of two per hill and three hills in a pot were transplanted in each pot. The experiment was set up in a factorial randomized design using 3 levels (0.6, 8.0, 16.0 dSm<sup>-1</sup>) of saline water (ECiw), 2 levels (0, 160 kg ha<sup>-1</sup>) of gypsum (G) and 2 levels (0, 5 kg ha<sup>-1</sup>) of zinc (Zn), arranged in three replications with the following treatment combinations;

- T<sub>1</sub> EC<sub>0.6</sub>G<sub>0</sub>Zn<sub>0</sub> fresh water (locally available tap water : ECiw 0.6 dSm<sup>-1</sup>, pH 6.7, SAR 2.08, Na 2.98, K 0.22, Ca 0.83, Mg 1.13, Cl 2.19, SO<sub>4</sub> 0.02, HCO<sub>3</sub> 1.30 and CO<sub>3</sub> 0.0 mmol L<sup>-1</sup>) irrigation (6cm/week) without G and Zn.
- T<sub>2</sub> EC<sub>0.6</sub>G<sub>160</sub>Zn<sub>0</sub> fresh water irrigation (6 cm/week) with G at the rate of 160 kg ha<sup>-1</sup>.
- T<sub>3</sub> EC<sub>0.6</sub>G<sub>0</sub>Zn<sub>5</sub> fresh water irrigation (6 cm/

Table 1 Physio-chemical properties of the original soil (0-15cm depth) on oven dry basis.

Properties	Values
Sand <sup>19)</sup>	9.0 %
Silt <sup>19)</sup>	61.0 "
Clay <sup>19)</sup>	30.0 "
Textural class	Silty clay loam
Water holding capacity <sup>2)</sup>	7.1mm cm <sup>-1</sup>
pH (1:2.5) <sup>9)</sup>	7.9
Organic carbon <sup>2)</sup>	8.8 g kg <sup>-1</sup>
Total Nitrogen <sup>9)</sup>	0.8 "
Available phosphorus <sup>16)</sup>	19.7mg kg <sup>-1</sup>
Available zinc <sup>10)</sup>	1.4 "
Electrical conductivity (ECe) <sup>22)</sup>	3.6dSm <sup>-1</sup>
<u>Exchangeable cations</u>	
Potassium <sup>2)</sup>	0.52cmol kg <sup>-1</sup>
Sodium <sup>2)</sup>	3.76 "
Calcium <sup>7)</sup>	1.73 "
Magnesium <sup>7)</sup>	2.60 "
<u>Water soluble anions</u>	
Chloride <sup>9)</sup>	2.66 "
Sulfate <sup>9)</sup>	1.25 "
Bicarbonate <sup>22)</sup>	0.37 "
Carbonate <sup>22)</sup>	0.05 "
Cation exchange capacity <sup>2)</sup>	16.87cmol kg <sup>-1</sup>
Sodium adsorption ratio (SAR) <sup>22)</sup>	8.08
Exchangeable sodium percentage (ESP) <sup>22)</sup>	23.40

- week) with Zn at the rate of 5 kg ha<sup>-1</sup>.
- T<sub>4</sub> EC<sub>0.6</sub>G<sub>160</sub>Zn<sub>5</sub> fresh water irrigation (6 cm/week) with G and Zn at the rates of 160 and 5 kg ha<sup>-1</sup>.
- T<sub>5</sub> EC<sub>8</sub>G<sub>0</sub>Zn<sub>0</sub> alternate fresh and saline water (ECiw 8 dSm<sup>-1</sup>) irrigation (6 cm/week) without G and Zn.
- T<sub>6</sub> EC<sub>8</sub>G<sub>160</sub>Zn<sub>0</sub> alternate fresh and saline water irrigation (6 cm/week) with G at the rate of 160 kg ha<sup>-1</sup>.
- T<sub>7</sub> EC<sub>8</sub>G<sub>0</sub>Zn<sub>5</sub> alternate fresh and saline water irrigation (6 cm/week) with Zn at the rate of 5 kg ha<sup>-1</sup>.
- T<sub>8</sub> EC<sub>8</sub>G<sub>160</sub>Zn<sub>5</sub> alternate fresh and saline water irrigation (6 cm/week) with G and Zn at the rates of 160 and 5 kg ha<sup>-1</sup>.
- T<sub>9</sub> EC<sub>16</sub>G<sub>0</sub>Zn<sub>0</sub> alternate fresh and saline water (ECiw 16 dSm<sup>-1</sup>) irrigation (6 cm/week) without G and Zn.
- T<sub>10</sub> EC<sub>16</sub>G<sub>160</sub>Zn<sub>0</sub> alternate fresh and saline water irrigation (6 cm/week) with G at

## 報文 : NUTRITION OF RICE ROOTS

- the rate of 160 kg ha<sup>-1</sup>.
- T<sub>11</sub> EC<sub>16</sub>G<sub>0</sub>Zn<sub>5</sub> alternate fresh and saline water irrigation(6 cm/week)with Zn at the rate of 5 kg ha<sup>-1</sup>.
- T<sub>12</sub> EC<sub>16</sub>G<sub>160</sub>Zn<sub>5</sub> alternate fresh and saline water irrigation(6 cm/week)with G and Zn at the rates of 160 and 5 kg ha<sup>-1</sup>.

Recommended basal doses of N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, and K<sub>2</sub>O were applied at the rate of 80, 60 and 40 kg ha<sup>-1</sup> as urea, triple superphosphate(TSP)and muriate of potash(MP), respectively. The whole amounts of TSP, gypsum and zinc oxide were applied at the time of pot preparation. The whole of MP and half of urea were applied before transplantation, followed by top dressings of the remaining urea in two equal splits, at the active tillering and the panicle initiation stages of rice. Initially all pots were irrigated with tap water(Table 2)to bring the soil at complete submergence for 7 days after transplanting(DAT). On the 8th DAT, the desired concentrations of saline water in relation to the Betna river(coastal river that affects the soil under investigation)water were prepared by adding the required amounts of salts, viz. NaCl, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>,

Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, CaCl<sub>2</sub> and MgCl<sub>2</sub> in the ratio of 3:2:1:4:1 dissolved in tap water. The solutions were then applied at the rate of 1 liter per pot per week, in addition to tap water and a level of 6 cm of water above the soil surface was maintained. Intercultural operations were performed as required. The soil solutions were collected anaerobically at different growth stages of rice. The soil solutions were drawn through a sampling tube fitted at the bottom of each pot and allowed to flow by gravity to fill a 150 ml Erlenmeyer flasks which was previously flushed with nitrogen gas. Soil solutions were analyzed for their pH<sup>9</sup>,EC and SAR<sup>20</sup>(Table 2). The grain yields and plant roots (oven dried at 65°C)were measured after harvesting the crops at maturity. The roots were separated by soaking the soil of each pot with tap water and then spraying with a stream of tap water over fine mesh screen and finally washed with distilled water<sup>10</sup>.

## Protein content and composition of rice roots :

Protein content of the rice grains was determined from per cent N<sup>9</sup>concentration in the grains multiplied by 6.25. The contents of Na, K(flame photometry<sup>21</sup>), S(Spectrophotometrically at 420 mμ wave length after developing turbidity with

Table 2 Characteristics of tap water used,soil solution (leachate) after 90 days of submergence (CSR 4), protein contents of rice grains,grain and root yields as influenced by gypsum,Zn and different EC waters.

No.	Treatment Combination	EC (dSm <sup>-1</sup> )	pH	SAR	Grain(g/pot)		Root wt. (g/pot)		Protein(g/kg)	
					CSR 4	BR 6	CSR 4	BR 6	CSR 4	BR 6
T <sub>1</sub>	EC <sub>0.6</sub> G <sub>0</sub> Zn <sub>0</sub>	2.7	7.70	4.6	16.61	11.60	4.47	2.38	85.0	80.6
T <sub>2</sub>	EC <sub>0.6</sub> G <sub>160</sub> Zn <sub>0</sub>	2.7	7.50	4.2	18.29	13.40	5.30	2.74	86.3	81.9
T <sub>3</sub>	EC <sub>0.6</sub> G <sub>0</sub> Zn <sub>5</sub>	2.7	7.70	4.5	18.53	13.65	5.10	2.60	85.6	81.3
T <sub>4</sub>	EC <sub>0.6</sub> G <sub>160</sub> Zn <sub>5</sub>	2.6	7.50	4.0	22.00	17.35	6.13	3.12	87.5	82.8
T <sub>5</sub>	EC <sub>3</sub> G <sub>0</sub> Zn <sub>0</sub>	3.9	7.90	6.2	4.18	2.30	3.15	1.24	76.3	73.1
T <sub>6</sub>	EC <sub>3</sub> G <sub>160</sub> Zn <sub>0</sub>	3.7	7.60	5.9	4.20	2.35	3.62	1.40	77.5	73.8
T <sub>7</sub>	EC <sub>3</sub> G <sub>0</sub> Zn <sub>5</sub>	3.8	7.85	6.1	4.29	2.41	3.48	1.34	76.9	73.3
T <sub>8</sub>	EC <sub>3</sub> G <sub>160</sub> Zn <sub>5</sub>	3.7	7.60	5.8	4.49	3.35	3.96	1.57	78.8	74.4
T <sub>9</sub>	EC <sub>16</sub> G <sub>0</sub> Zn <sub>0</sub>	5.2	8.05	9.1	0.42	0.22	1.36	0.55	68.8	67.5
T <sub>10</sub>	EC <sub>16</sub> G <sub>160</sub> Zn <sub>0</sub>	4.9	7.70	8.4	0.48	0.24	1.52	0.60	70.6	68.8
T <sub>11</sub>	EC <sub>16</sub> G <sub>0</sub> Zn <sub>5</sub>	5.0	7.85	8.8	0.45	0.26	1.44	0.58	70.0	68.1
T <sub>12</sub>	EC <sub>16</sub> G <sub>160</sub> Zn <sub>5</sub>	4.7	7.75	8.3	0.51	0.31	1.70	0.69	72.5	70.0
Tap water		0.6	6.70	2.1						

<sup>9</sup>EC=Electrical conductivity of soil solution (leachate).

BaCl<sub>2</sub> and gum accacia<sup>9)</sup>, Cl<sup>9)</sup>, Ca, Mg and Zn(atomic absorption spectrophotometry<sup>7)</sup>) were determined after HNO<sub>3</sub>-HClO<sub>4</sub> acid (2:1) digestion.

## RESULTS AND DISCUSSION

**Yield of rice :** Root dry matter and grain yields were reduced significantly ( $p \leq 0.01$ ) with the increase in EC<sub>iw</sub> but the application of gypsum and Zn increased the yields of both the varieties (Table 2). The root dry matter and grain yield of CSR 4 rice cultivar remained higher than those of the BR 6 rice, irrespective of salinity and the increased yields by different treatments were more pronounced for CSR 4 rice which is presumably due to the genetic properties of CSR 4 rice grown under different saline environments. Reduction in yields were 30(root) and 75(grain) per cent for CSR 4; 48(root) and 80(grain) per cent for BR 6 at 8 dSm<sup>-1</sup>, and 70(root) and 97(grain) per cent for CSR 4; 77(root) and 98(grain) per cent for BR 6 at 16 dSm<sup>-1</sup> level compared to the treatments with non-saline (0.6 dSm<sup>-1</sup>) irrigation.

**Protein contents of rice grains :** Protein contents of the rice grains varied significantly ( $p \leq 0.05$ ) with the treatments and ranged from 68.8 to 87.5 g kg<sup>-1</sup> for CSR 4, and 67.5 to 82.5 g kg<sup>-1</sup> for BR 6 (Table 2). Protein contents of the rice grains decreased with each increment of salinity and the marked reductions were observed at the highest salinity level for both the cultivars. Application of gypsum at the rate of 160 kg ha<sup>-1</sup> was ranked second in order of protein contents in rice grains of both the varieties, regardless of salinity. But the combined application of G<sub>160</sub> and Zn<sub>5</sub> was more effective to improve protein contents of the rice grains. The results of the present investigation are similar to the findings reported by Rahman et al.<sup>21)</sup>. They reported that protein contents of BR 3 rice grains ranged between 68 and 84 g kg<sup>-1</sup> in saline-acid sulfate soils and can be improved by the application of liming materials (CaCO<sub>3</sub> and basic slag). Protein contents of IR 8 rice grains under saline environment varied<sup>9)</sup> from 76 to 86 g kg<sup>-1</sup> with an average of 82 g kg<sup>-1</sup>.

**Na, Ca, Mg, S, Cl and Zn in rice roots :** Sodium concentration increased with each increment of

salinity and followed the sequence : EC<sub>16</sub> > EC<sub>8</sub> > EC<sub>0.6</sub>. This increase of Na concentration in roots might be due to the increase of Na ions in the soil as well as in the applied irrigation water. The Na concentration was the highest for T<sub>9</sub> and the lowest with T<sub>4</sub> while the control (T<sub>1</sub>) treatment obtained the fourth lowest value of Na concentration (Table 3). Gypsum was effective to decrease Na concentration which might have been due to the supply of excess Ca from gypsum that hindered the absorption of Na ions<sup>24)</sup>. Similar results had also been reported<sup>15)</sup>. The single effect of Zn to reduce Na concentration in rice roots which might be due to the counter-effects of Zn on sodium<sup>23)</sup>. The present investigation revealed that the combined application of G<sub>160</sub> and Zn<sub>5</sub> was more effective than their separate application though the uptake of Na increased with gypsum and Zn for both the cultivars regardless of salinity. The maximum amount of uptake of Na was obtained in 8 dSm<sup>-1</sup> level, followed by 16 and 0.60 dSm<sup>-1</sup> saline phases for both the varieties (Fig. 1).

Calcium status of the original soil was low in comparison to Na and Mg concentrations (Table 1), which might be due to ion competition between Na and Ca in saline environment<sup>6)</sup>. The application of G<sub>160</sub> and Zn<sub>5</sub> separately or in combination increased the concentration (Table 3) and uptake (Fig. 1) of Ca in the rice roots. This results agreed well with the earlier findings<sup>13)</sup>. Calcium concentration and uptake decreased with increasing salinity and the results can be supported by the observation of Patil et al.<sup>18)</sup>. They observed that the uptake of Ca and Mg by rice roots decreased with an increase of salinity.

The concentration (Table 3) and uptake (Fig. 1) of Mg decreased with each increment of salinity. The concentration and uptake of Mg was the highest with T<sub>4</sub> and the lowest with T<sub>9</sub> treatments for both the cultivars. The separate application of G<sub>160</sub> and Zn<sub>5</sub> was better but their combined application had significant ( $p \leq 0.05$ ) effects to increase the concentration and uptake of Ca and Mg regardless of salinity.

The peak value of S concentration was found at

## 報文 : NUTRITION OF RICE ROOTS

Table 3 Comparison of nutrient contents(g kg<sup>-1</sup>)in rice roots at maturity as influenced by gypsum, Zn and different EC waters.

## Cultivar CSR 4

a) Sodium : G X Zn X ECiw				b) Calcium : G X Zn X ECiw				c) Magnesium : G X Zn X ECiw			
G/ECiw	Zn <sub>0</sub>	Zn <sub>5</sub>	G-mean	G/ECiw	Zn <sub>0</sub>	Zn <sub>5</sub>	G-mean	G/ECiw	Zn <sub>0</sub>	Zn <sub>5</sub>	G-mean
0 kg gypsum(G) ha <sup>-1</sup>			9.0 a	0 kg gypsum ha <sup>-1</sup>			3.9 b	0 kg gypsum ha <sup>-1</sup>			2.3 a
0.6	3.5 c	3.3 c		0.6	4.8 a	4.9 a		0.6	2.9 a	3.0 a	
8	9.9 b	9.2 b		8	3.8 b	3.9 b		8	2.2 b	2.3 b	
16	14.2 a	13.7 a		16	2.8 c	2.9 c		16	1.8 c	1.8 c	
160 kg gypsum ha <sup>-1</sup>			8.3 b	160 kg gypsum ha <sup>-1</sup>			4.2 a	160 kg gypsum ha <sup>-1</sup>			2.5 a
0.6	3.4 c	3.1 c		0.6	5.1 a	5.4 a		0.6	3.0 a	3.3 a	
8	8.8 b	8.2 b		8	4.0 b	4.2 b		8	2.4 b	2.6 b	
16	13.6 a	12.8 a		16	3.1 c	3.3 c		16	1.9 c	2.0 c	
Zn—mean 8.9 A			8.4 B	Zn—mean 3.9 A			4.1 A	Zn—mean 2.4 A			2.5 A
L.S.D. (5%)=0.32				L.S.D. (5%)=0.24 (5%)				L.S.D. (5%)=0.31			
d) Sulfur : G X Zn X ECiw				e) Chloride : G X Zn X ECiw				f) Zinc : G X Zn X ECiw			
G/ECiw	Zn <sub>0</sub>	Zn <sub>5</sub>	G-mean	G/ECiw	Zn <sub>0</sub>	Zn <sub>5</sub>	G-mean	G/ECiw	Zn <sub>0</sub>	Zn <sub>5</sub>	G-mean
0 kg gypsum ha <sup>-1</sup>			0.35 b	0 kg gypsum ha <sup>-1</sup>			4.3 a	0 kg gypsum ha <sup>-1</sup>			0.010B
0.6	0.25 a	0.28 a		0.6	3.3 c	3.2 c		0.6	0.010a	0.014a	
8	0.34 b	0.37 b		8	4.5 b	4.3 b		8	0.009b	0.012b	
16	0.43 c	0.45 c		16	5.6 a	5.1 a		16	0.008c	0.010c	
160 kg gypsum ha <sup>-1</sup>			0.42 a	160 kg gypsum ha <sup>-1</sup>			4.0 b	160 kg gypsum ha <sup>-1</sup>			0.012A
0.6	0.31 a	0.35 a		0.6	3.1 c	2.9 c		0.6	0.011a	0.017a	
8	0.40 b	0.46 b		8	4.2 b	4.0 b		8	0.010b	0.014b	
16	0.48 c	0.52 c		16	5.3 a	4.7 a		16	0.009c	0.012c	
Zn—mean 0.37 B			0.41 A	Zn—mean 0.43 A			0.40 B	Zn—mean 0.009B			0.013A
L.S.D. (5%)=0.02				L.S.D. (5%)=0.30				L.S.D. (5%)=0.002			

continued.....

Table 3(continued)

## Cultivar BR 6

a) Sodium : G X Zn X ECiw				b) Calcium : G X Zn X ECiw				c) Magnesium : G X Zn X ECiw			
G/ECiw	Zn <sub>0</sub>	Zn <sub>5</sub>	G-mean	G/ECiw	Zn <sub>0</sub>	Zn <sub>5</sub>	G-mean	G/ECiw	Zn <sub>0</sub>	Zn <sub>5</sub>	G-mean
0 kg gypsum ha <sup>-1</sup>			7.5 a	0 kg gypsum ha <sup>-1</sup>			3.4 b	0 kg gypsum ha <sup>-1</sup>			2.1 b
0.6	2.6 c	2.3 c		0.6	4.4 a	4.5 a		0.6	2.7 a	2.8 a	
8	7.9 b	7.3 b		8	3.4 b	3.4 b		8	2.0 b	2.1 b	
16	13.0 a	11.8 a		16	2.4 c	2.4 c		16	1.6 c	1.7 c	
160 kg gypsum ha <sup>-1</sup>			7.0 b	160 kg gypsum ha <sup>-1</sup>			3.7 a	160 kg gypsum ha <sup>-1</sup>			2.4 a
0.6	2.4 c	2.2 c		0.6	4.6 a	5.1 a		0.6	2.9 a	3.1 a	
8	7.5 b	6.7 b		8	3.5 b	3.7 b		8	2.2 b	2.4 b	
16	12.3 a	10.9 a		16	2.6 c	2.9 c		16	1.8 c	2.0 c	
Zn-mean 7.6 A			6.9 B	Zn-mean 3.5 A			3.6 A	Zn-mean 2.2 A			2.4 A
L.S.D. (5%)=0.32				L.S.D. (5%)=0.23				L.S.D. (5%)=0.28			
d) Sulfur : G X Zn X ECiw				e) Chloride : G X Zn X ECiw				f) Zinc : G X Zn X ECiw			
G/ECiw	Zn <sub>0</sub>	Zn <sub>5</sub>	G-mean	G/ECiw	Zn <sub>0</sub>	Zn <sub>5</sub>	G-mean	G/ECiw	Zn <sub>0</sub>	Zn <sub>5</sub>	G-mean
0 kg gypsum ha <sup>-1</sup>			0.31 B	0 kg gypsum ha <sup>-1</sup>			3.4 a	0 kg gypsum ha <sup>-1</sup>			0.008 b
0.6	0.20 c	0.22 c		0.6	2.8 c	2.6 c		0.6	0.008 a	0.011 a	
8	0.30 b	0.31 b		8	3.5 b	3.2 b		8	0.007 b	0.010 b	
16	0.41 a	0.43 a		16	4.2 a	4.0 a		16	0.006 c	0.009 c	
160 kg gypsum ha <sup>-1</sup>			0.36 A	160 kg gypsum ha <sup>-1</sup>			3.2 a	160 kg gypsum ha <sup>-1</sup>			0.010 a
0.6	0.24 c	0.28 c		0.6	2.6 c	2.5 c		0.6	0.009 a	0.013 a	
8	0.33 b	0.36 b		8	3.2 b	3.2 b		8	0.008 b	0.012 b	
16	0.45 a	0.48 a		16	4.0 a	3.6 a		16	0.007 c	0.011 c	
Zn-mean 0.32 B			0.35 A	Zn-mean 3.4 A			3.2 A	Zn-mean 0.007 B			0.011 A
L.S.D. (5%)=0.02				L.S.D. (5%)=0.30				L.S.D. (5%)=0.002			

In a column and row, means followed by a common letter are not significantly different at 5 per cent level.



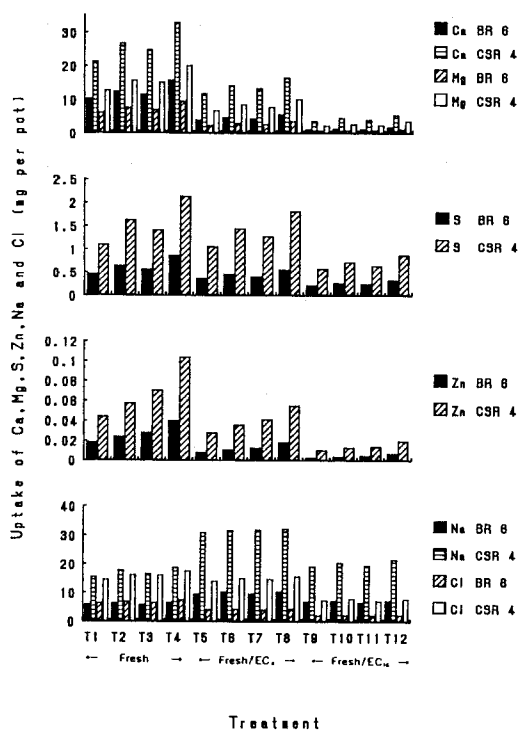


Fig. 1 Nutrient uptake by rice roots at maturity as influenced of gypsum, Zn and different EC waters.

the highest salinity (16 dSm<sup>-1</sup>) with G<sub>160</sub> and Zn<sub>5</sub> treatments which progressively declined at 8 and 0.6 dSm<sup>-1</sup> salinity (Table 3). The effects of separate application of gypsum and Zn were found to increase S status in roots but their interactive effect was positively significant ( $p \leq 0.05$ ) with the increased S concentration in rice roots. Zinc enhanced the concentration and uptake of S even at the highest saline irrigation. The maximum (0.52 g kg<sup>-1</sup> in CSR 4 ; 0.48 g kg<sup>-1</sup> in BR 6) and minimum (0.25 g kg<sup>-1</sup> in CSR 4; 0.20 g kg<sup>-1</sup> in BR 6) concentration of S was obtained with T<sub>12</sub> and T<sub>1</sub> treatments, respectively for both the cultivars. Whereas maximum and minimum uptake of S was with T<sub>4</sub> and T<sub>9</sub> treatments (Fig. 1). The improved uptake of S with G<sub>160</sub> and Zn<sub>5</sub> might have been due to the synergistic effect of S of gypsum and zinc<sup>20</sup>.

Chloride concentration increased with increasing EC<sub>w</sub> for both the varieties but the application of G<sub>160</sub> and Zn<sub>5</sub> separately or in combination decreased Cl concentration (Table 3). The peak value of Cl

concentration was obtained with T<sub>9</sub> treatment (5.6 g kg<sup>-1</sup> in CSR 4 ; 4.2 g kg<sup>-1</sup> in BR 6) and the lowest with T<sub>4</sub> treatment (2.9 g kg<sup>-1</sup> in CSR 4; 2.5 g kg<sup>-1</sup> in BR 6). The findings were quite similar with the results reported by Ahmed et al.<sup>1)</sup>. Chloride uptake was negatively affected by salinity but G<sub>160</sub> and Zn<sub>5</sub> had additive effect on Cl uptake regardless of salinity (Fig. 1).

Zinc concentration in rice roots decreased with increasing salinity (Table 3). The highest and lowest concentration (Table 3) and uptake (Fig. 1) of Zn were obtained with T<sub>4</sub> and T<sub>9</sub> treatments, respectively for both the cultivars. Combined application of G<sub>160</sub> and Zn<sub>5</sub> was found effective to increase the concentration and uptake of Zn by rice roots even under saline phases. The results are partially agreed with the findings of some researchers<sup>16,23)</sup>.

## SUMMARY

The present investigation on the concentration and uptake of nutrients by rice roots and quality of rice grains as influenced by gypsum, Zn and different saline environments concludes that salinity affected negatively the grains, roots, Ca, Mg and Zn but induced an increase in Na, Cl and S concentration and uptake by rice roots. This effect was more pronounced at the highest salinity (EC<sub>w</sub> 16 dSm<sup>-1</sup>). However, gypsum and Zn separately or in combination improved these characteristics. Protein contents of the rice grains decreased with increased salinity but gypsum and Zn improved the protein contents of rice grains regardless of salinity. The rice variety CSR 4 appeared better tolerant to salinity and further trails should be conducted for confirming the present results.

## REFERENCES

- 1) Ahmed, I.U., S. Rahman and M.R. Bhuiyan: Saline water irrigation and crop production in the coastal zones of Bangladesh. Fourth Annual Report (1983-84), Soils and Irrigation, Bangladesh Agricultural Research Council (BARC), Dhaka. 71-80 (1984).
- 2) Black, C.A. (ed.): Methods of Soil Analysis. Part 2. Agron. Series 9. Am.

- Soc. Agron. Madison, USA. (1965).
- 3) Devitt, D., W.M. Jarrell and K.L. Stevens: Sodium-potassium ratios in soil solution and plant response under saline conditions. Soil Sci. Soc. Am. J. 45: 80-86(1981).
  - 4) Faiz, S.M.A., Z. Karim, A.B.M. Salauddin and A. Haq: Grading of brackish water for irrigation and its influence on the change of soil properties associated with crop management. First Annual Report, BARC. Publ. No. 10. (1982).
  - 5) FAO(Food and Agriculture Organization of the United Nations): Water, soil and crop management relating to the use of saline water. 7(1990).
  - 6) Grattan, S.R. and C.M. Grieve: Mineral element acquisition and growth response of plants grown in saline environments. This paper has been accepted by Agriculture Eco-systems and Environment, U.S.A. (1991).
  - 7) Hesse, P.R.: A Text Book of Soil Chemical Analysis. John Murray Publ. Ltd. 50 Albemarle Street, London. (1971).
  - 8) IRRI (International Rice Research Institute): Annual Report. Los Banos, Philippines. 281(1977).
  - 9) Jackson, M.L.: Soil Chemical Analysis, Prentice Hall of India. Pvt. Ltd. New Delhi 1. 46-183 (1973).
  - 10) Katyl, J.C. and F.N. Ponnampereuma: Philippines Agrist, 58: 79(1974).
  - 11) Khan, H.R.: Effects of gypsum, zinc and saline water on the yields of and nutrient uptake by rice in a coastal saline soil. Intern. J. Trop. Agric., IX: 225-233(1991).
  - 12) Khan, H.R., T. Adachi and I.U. Ahmed: Dynamics of physico-chemical characteristics of coastal saline soil and water(river and farm pond)throughout the consequent seasons. Proc. Intern. Symp. Salinization and Acidification. 94-99(1991).
  - 13) Lewis, O.A.M., E.O. Leidi and S.H. Lips: Effects of nitrogen source on growth and response to salinity stress in maize and wheat. New Phytol. 111: 155-160(1989).
  - 14) McKell, C.M., A.M. Wilson and M.B. Jones: A flotation method for easy separation of roots from soil samples. Agron. J. 53: 56-57 (1961).
  - 15) Naeem, S., S.M. Siddique, and A.H.K. Yousuf-zai: A supper sulphated formulation for amelioration of alkaline-saline soils. Pak. J. Sci. Indus. Res. 29: 338-342(1987).
  - 16) Olsen, S.R., C.V. Cole, F.S. Watanabe and L.A. Dean: Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. USDA Circ., 939(1954).
  - 17) Panaullah, G.M.: Present status of research in relation to rice cultivation in coastal saline soils of Bangladesh. A report presented at the 2nd meeting on cooperative research on problem soils. CSSRI, Karnal, India.(1987).
  - 18) Patil, V.K. and J.R. Bhambola: Salinity studies in Citrus. I. Effect of various levels of salinity on the macronutrient status of seedling rootstock. J. Indian Soc. Soil Sci. 28: 72-79 (1980).
  - 19) Piper, C.S.: Soil and Plant Analysis. Hano Publ. Bombay, India.(1966)
  - 20) Procopiou, J., A. Wallace and G.V. Alexander: Micronutrients composition of plants grown with low to high levels of sulfur applied to calcareous soils in greenhouse. Plant and soil, 44: 359-365(1976).
  - 21) Rahman, S., H.R. Khan and M.M. Rahman: Tissue concentration of nutrients and quality of rice grains as influenced by various amendments in an acid sulfate soils. Dhaka Univ. Studies. Part E. 6: 139-147(1991).
  - 22) Richards, L.A. (ed.): Diagnosis and improvement of saline and alkali soils, USDA Handbook No. 60., U.S.Govt. Print. Office, Washington, D.C., USA. 84-156(1954).
  - 23) Shukla, U.C. and A.K. Mukhi: The ameliorative effect of Zn and the growth of maize (*zea mays*) under salt-affected soil conditions. Proc. Symp. Salt-Affected Soils. Karnal, India. 362-368(1980).
  - 24) Szabolcs, I.: Impact of salinization on ecosystem. Proc. Intern. Symp. Salinization and Acidification. 9-24(1991).

(Received 29 October 1993)

報 文

## 春播コムギの根雪前播種栽培におけるチゼル耕の効果

渡辺治郎\*1、高屋武彦\*2、高橋 幹\*3

Effect of Chisel Plow on the Yield of Spring Wheat Seeded Early Winter

Jiro Watanabe\*1, Takehiko Takaya\*2, Motoki Takahashi\*3

\*1National Grassland Research Institute

\*2Tohoku National Agricultural Exp. Stn.

\*3National Agriculture Research Center

### Summary

The effect of chisel tillage on the growth and yield of spring wheat seeded in early winter was studied.

- 1) Spring wheat seeded in early winter germinated under snow and their roots extended more than 30cm during snow season. These growth of roots in snow season promoted sufficient growth of spring wheat in early stage after thawing. The yield of spring wheat seeded in early winter was more than that of wheat seeded in spring.
- 2) Chisel tillage which broke the soil roughly was possible to adopt the early winter seeding method of spring wheat because the germination of spring wheat occurred under snow without moisture stress.
- 3) The yield of spring wheat of chisel tillage was equal to or more than that of rotary tillage because of the large number of grain per ear and 1000 grain weight.
- 4) Chisel tillage made ununiform soil physical conditions consisted from tilled and untilled part. The roots distribution of spring wheat concentrated to the tilled part. It seemed that the precipitation and fertilizer also concentrated to tilled part and spring wheat absorbed it efficiently.

**Keywords:** Chisel Tillage, Spring Wheat, Root System, Early Winter Seeding.

(Soil Phys. Cond. Plant Growth, Jpn, 69,31-37, 1994)

### 1. はじめに

農耕地を耕耘する意義についてはさまざまな考え方が示されており<sup>1)</sup>、慣行のプラウやロータリによる耕耘が真に必要なか否かについての疑問が提起されている<sup>2)</sup>。しかし、耕耘が播種床造成や雑草防除など作物生産と直接結びついた栽培システムとして体系化されていることから、耕耘方式そのものを見直そうとする意図をもった研究は少ない。これには、生産の場として土壌がどのような物理性を具備すべきか、また、そのための耕耘方式はどのようなものが望ましいかといった視点での土壌物理

分野からの問題提起が少なかったことも要因の一つと考えられる。

北海道の水田の畑転換率は最高時で50%にも達し、転作作物は経営規模が大きいことから省力的な秋播コムギが主体である。秋播コムギは他の作物と異なり播種時期が9月という作付体系上の制約から連作されやすく、病害の発生、収量や品質の低下などが問題となっている。この対策として、春播コムギの栽培が考えられるが、輪換畑は排水性や碎土性が劣り春播コムギの多収に必要な早期播種が困難であるなどの面から収量は不安定である。

\*1草地試験場山地支場 389-02 長野県北佐久郡御代田町塩野

\*2東北農業試験場 020-01 岩手県盛岡市下川赤平4

\*3農業研究センター 305 茨城県つくば市観音台3-1-1

キーワード：チゼル耕、春播コムギ、根系、根雪前播種

表-1 供試土壌の一般的性質  
Properties of the soils

土 壤	T-C %	T-N %	CEC me	交 換 性 K <sub>2</sub> O	塩 基 CaO	有効態 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	容積重 g/100ml	固相率 %	粗孔隙 %	
羊ヶ丘	2.8	0.17	18.6	48	144	27	1.0	87.2	31.0	26.2
美 唄	6.7	0.39	25.2	27	266	80	12.3	81.6	31.8	22.7
北 野	4.0	0.22	20.5	19	204	45	23.7	82.1	30.9	29.7

1)羊ヶ丘は褐色火山性土、北野は灰色低地土(羊ヶ丘に移設して水田造成)、美唄は泥炭土、2)交換性塩基は乾土100g中のmg、有効態P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>はトルオーグ法で乾土100g中のmg

表-2 根雪前播種したハルユタカの根の伸長  
Root growth of spring wheat seeded at early winter

調 査 時 期	根 雪 前 播 種			春 播 種				
	月. 日	根 長 cm	根 重 mg	地上部重 mg	月. 日	根 長 cm	根 重 mg	地上部重 mg
越 冬 期	2. 2	24	—	—				
1 ~ 2 葉 期	4. 5	33	—	—	5.15	48	—	—
幼 穂 形 成 期	5.15	369	113	91	5.28	343	70	61

数字は個体当たり、根雪前播種は1990年11月20日、春播種は1991年5月5日に播種耕法はロータリ耕

最近、春播コムギの多収技術として根雪前播種法が開発された<sup>3)</sup>。この栽培方法は、春播コムギを前年の根雪前に播種し、春先の播種の遅れを回避し初期生育を確保しようとするもので、越冬後の株数が確保できれば通常の春播種に比べ多収であることが示されている。さらに、根雪前播種では春播コムギは積雪下で発芽するため、耕法については慣行とは異なる手法が採用できる可能性がある。そこで、耕法として砕土状態のごく粗いチゼル耕をとりあげ根雪前播種法に対する適用性を検討するとともに、作物にとって必要な土壌物理性とは何かについて考察した。

## 2. 試験方法

供試土壌は褐色火山性土(羊ヶ丘)、灰色低地土(北野)の造成水田および泥炭土(美唄、客土20cm)のいずれも輪換初年目畑を用いた。土壌の一般的性質を表-1に示した。

耕法は、チゼルプラウを用いたチゼル耕とロータリ耕(深さ10cm)とを対比した。チゼルプラウは、コイル式のスプリング爪を60cm間隔で4~5本2連を装着したものでチゼル爪の間隔30cm、全幅2.4mである。このチゼルプラウを用い深さ10~15cmで耕起した。耕起は10月~11月中旬に行った。

供試作物として春播コムギ(ハルユタカ)を用い、11月中~下旬の根雪直前に、播種量600粒/m<sup>2</sup>、散播(覆土無し)の条件で播種した。施肥量は、播種時にN4kg/10a、融雪後追肥としてN12kg/10a相当量を麦用化成肥料(N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O:10-18-12%)で合計N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K

2O:16-29-19kg/10aを表面施用した。処理区画面積は8~20m<sup>2</sup>、処理区は2~3反復とした。試験は1991年および1992年(いずれも収獲年次)の2年間行った。

調査方法のうち、一般的な分析および調査は常法による。根の調査などは必要に応じて文中または図表の脚注に記述した。

## 3. 結果および考察

### 1)越冬中の春播コムギの生育および収量

根雪前播種された春播コムギは播種後間もなく根雪におおわれ、積雪下の地表で発芽する。表-2には慣行のロータリ耕における越冬~生育初期までの生育状況を示した。根の長さは、数個体を根を切らないように土壌ごとていねいに堀りとり、土壌を洗い落として直接あるいは広げた根の画像をパソコンにとりこみ測定した。積雪下の地表で発芽した春播コムギの地上部は、融雪期までもやし状の貧弱な生育状態のままであったが、発芽にとまって3~4本発生した種子根は越冬中でも伸長を続け、融雪期には個体当たり30cm以上に達し、地上部とは対照的に剛健な生育を示した。融雪期における越冬生存率は播種量の約60~70%であった。根雪前に播種された春播コムギの積雪下での生育は、融雪後の乾燥に耐え旺盛な初期生育を速やかに確保するうえできわめて有利であった。根雪前播種は通常の春播種(4月下旬~5月初旬播種)に比べ生育ステージは10日~2週間も早まり、穂数の確保や病虫害(アブラムシ、アカカビ病)の回避、収穫時期の早期化による穂発芽の防止などのメリットがあり、500kg/10a以上の多収が安定して得られた(表-

## 報文：春播コムギの根雪前播種栽培におけるチゼル耕の効果

3)。

慣行の春播コムギの栽培（春播種）では、齊一な出芽と初期生育の確保のために細かく碎土された良好な播種床造成が多収を得るうえで重要な条件の一つであり<sup>4)</sup>、通常の施肥を行うためにも耕耘が必要である。しかし、根雪前播種では前述のように、発芽が雪の下でなされるために発芽時の水分ストレスはほとんどなく、施肥は表面散布のみで対応できる。したがって、根雪前播種では耕耘の主要な目的である覆土や作条施肥を前提とした播種床造成は必要なく、根が伸長可能な孔隙が確保される

ならば簡易な耕耘法が適用でき、土壤の物理的条件と作物の生育との関係をより直接的に観察することができると考えられた。

## 2)チゼル耕による春播コムギの根雪前播種栽培

チゼルプラウは緻密化した下層土の排水性や通気性を改良する目的で、土壤に人為的に亀裂を入れ膨軟にするためのもので、通常は40～60cm程度の深さで施工する。このチゼルプラウを深さ10～15cm程度で走行させると、ロータリ耕のように土壤を攪拌しないので、輪換畑のよ

表-3 春播コムギの収量に及ぼす根雪前播種の効果  
The effect of early winter seeding on the yield of spring wheat

年 度 (播 種 日)	穂数 本/m <sup>2</sup>	子実重 g/m <sup>2</sup>	比 %	千粒重 g	1穂 粒数	融雪後 生存率%	出穂期 月日	アカサビ 病被害
'91. 5. 5	411	376	100	39.5	23.0	—	6.15	微
'90. 11. 20	692	576	154	40.9	20.3	60.0	6.3	無
'92. 4. 20～28	516	523	100	36.7	28.0	—	6.24	微
'91. 11. 19～12. 8	721	585	112	37.7	21.8	71.0	6.10	無

'92年4月および'91年11月播種は羊ヶ丘、北野、美唄の平均値

表-4 根雪前播種した春播コムギの生育に及ぼすチゼル耕の影響  
The growth of spring wheat seeded at early winter and effect of chisel tillage

調査日	処 理	葉 長 cm	葉 数 枚	株 数 本/m <sup>2</sup>	茎 数 本/m <sup>2</sup>	穂 数 本/m <sup>2</sup>	生 重 g/m <sup>2</sup>	乾 重 g/m <sup>2</sup>
4月13日	10R	4.6	2.4	—	—	—	—	—
	チゼル	7.3	2.5	—	—	—	—	—
5月13日	10R	13.7	4.8	350	729	—	205	29
	チゼル	14.2	4.8	345	837	—	235	31
6月2日	10R	46.3	7.0	413	1539	—	2093	323
	チゼル	50.4	7.0	343	1180	—	2133	337
6月18日	10R	74.8	—	432	1247	900	3872	703
	チゼル	75.8	—	453	1278	953	4064	767

'92年北野灰色低地土、10Rは10cmロータリ耕

表-5 根雪前播種におけるチゼル耕の効果  
The effect of chisel tillage on the yield of spring wheat seeded early winter

土 壤	耕うん 処理	穂 数 本/m <sup>2</sup>	全 重 g/m <sup>2</sup>	子実重 g/m <sup>2</sup>	比 %	1穂重 g	千粒重 g	1穂 粒 数
羊 ヶ 丘	10R	692	1228	576	100	0.83	40.9	20.3
	チゼル	751	1383	638	111	0.85	40.2	21.1
北 野	10R	775	1327	585	100	0.75	38.2	19.8
	チゼル	750	1399	624	107	0.83	39.7	21.0
美 唄	10R	644	1386	588	100	0.93	36.7	25.2
	チゼル	589	1341	593	101	1.01	37.2	27.2

羊ヶ丘は1991年、北野および美唄は1992年の数字

うな水分が比較的高い圃場条件でも耕起作業が可能である。チゼルプラウ走行後は大小の土塊が生じて、圃場の表面はかなり凹凸が目立つが、このような条件で春播コムギを散播しても発芽および越冬性は通常のロータリ耕と大差ない値を示した。

表-4 に生育経過を示した。チゼル耕ではロータリ耕に比べ生育は生育期間全体を通してやや優る傾向を示し、幼穂形成期にあたる5月中旬にはすでに生育量および茎数が多く、良好な初期生育が確保されていた。

表-5 に収量結果を示した。いずれの土壌においてもチゼル耕はロータリ耕に比べ同等かそれ以上の高い収量

が得られた。収量構成要素をみるとチゼル耕は1穂粒数および千粒重が多い。図-1に、1991年の羊ヶ丘における穂数と収量の関係を示した。10cmロータリ耕は穂数が増加すると収量は頭打ちになるが、チゼル耕は穂数が増加してもそれに対応して収量が増加する。これらのことから、チゼル耕では初期からの旺盛な生育が、1穂粒数の増加および生育後半の子実の充実に結びついたためと考えられ、後述のように、チゼル耕によって得られる土壌の物理的に不均一な状態が、春播コムギの効率的な養水分の吸収を促進していたと推測される。

3)チゼル耕によって生じる土壌の物理的条件

チゼルプラウで耕起した土壌は水田時の状態がそのまま残った緻密な部分と、チゼルによって破碎された膨軟な部分が共存するきわめて不均一な状態にあった。作土層の深さ5~10cmにおける緻密部分と膨軟部分の一般的な物理性を表-6に示した。膨軟部分は粗孔隙に富み、

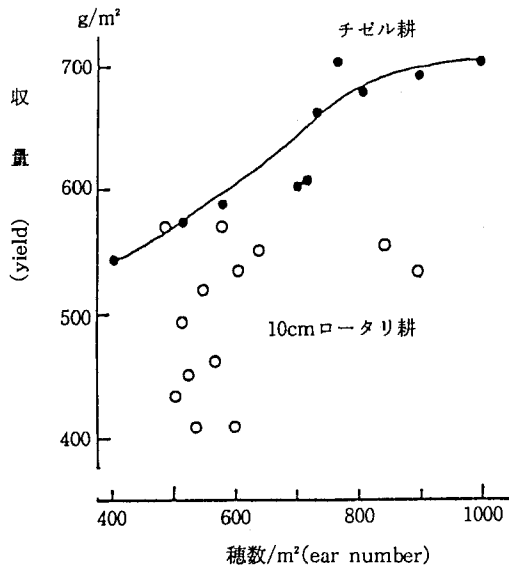
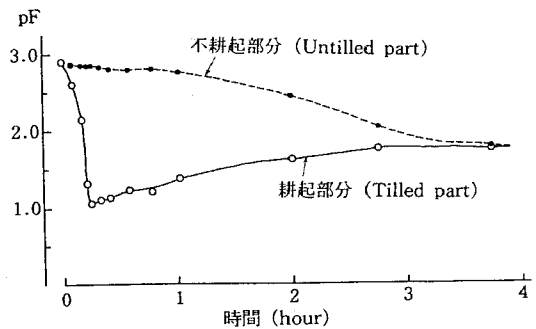


図-1 チゼル耕における穂数と収量の関係 (1991年, 羊ヶ丘)  
Relations between yield and ear number



深さ10cm, 径16cmの大型採土管にて深さ5~15cmの土壌採取し、耕起、不耕起それぞれの部位にテンシオメーターを挿入し、水200ml(10mm)を数回に分けて加え、経時的にpF値を測定。(1991, 羊ヶ丘土壌)

図-2 チゼル耕をした土壌の耕起部分と不耕起部分への水の浸透  
Process of water infiltration to the soil tilled by chisel plow

表-6 チゼル耕後の土壌の物理性  
Soil physical properties tilled by chisel plow

処 理	粗孔隙 %	易有効水 vol%	容積重 g/100ml	固相率 %	飽和透水係数 cm/s	体積割合 %
羊ヶ丘	膨軟部	26.2	9.3	87.2	31.0	4.4 × 10 <sup>-3</sup>
	緻密部	8.2	9.5	107.8	39.7	5.5 × 10 <sup>-4</sup>
北野	膨軟部	24.1	—	88.6	33.3	—
	緻密部	7.7	—	108.9	42.0	—
美唄	膨軟部	18.2	—	87.9	33.3	—
	緻密部	9.3	—	97.9	37.1	—

容積重、固相率は低く透水性は高かった。また、チゼル耕処理土壌の膨軟部分と緻密部分の割合は1：1～1：2であった。図-2は大型の採土管(2ℓ)により深さ5～15cmの土壌を採取し、徐々に水を加えた時の緻密部分と膨軟部分の水分張力の経時変化を示したものである。膨軟部分の水分張力は水の浸透とともに急激に低下し速やかに湿潤状態になったのに対し、緻密部分の湿潤化はかなり遅れ、土壌の不均一状態に対応した動きを示した。

4)チゼル耕における春播コムギの根の分布

図-3および図-4に、ロータリ耕とチゼル耕の垂直断面における緻密部分と膨軟部分の分布状態とチゼル耕の根の分布を示した。根の分布は、モノリス法で切りとった垂直断面の表面数ミリを根を切らないようにていねいに崩し取り、露出した根を透明のビニールに写し取ったものである。図中に示した根重と対比すると、表層の細根が過小に表現されており根の量的分布を表現する方法としては問題であるが、表層から下層に至る根の分布パターンを表現する方法としては利用できるものと考えられる。図-4から明らかのように、根の分布は作土表層では膨軟な部分に、緻密な下層では亀裂にそった部分に多く分布していることがわかる。図-5は、チゼル耕の深さ10cmの水平断面における根の分布を示したものである。図-4と同様、春播コムギの根は膨軟部分に集中する傾向が認められる。根の位置する部位を、亀裂部分、緻密部分、緻密部分縁辺および膨軟部分に区分し、根の数を計数してその割合を図-5に示した。それを見ると、

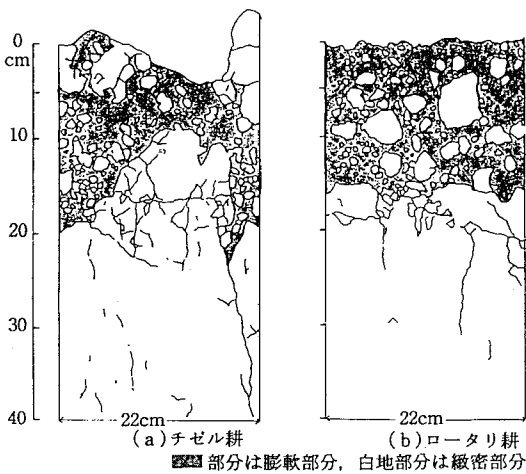
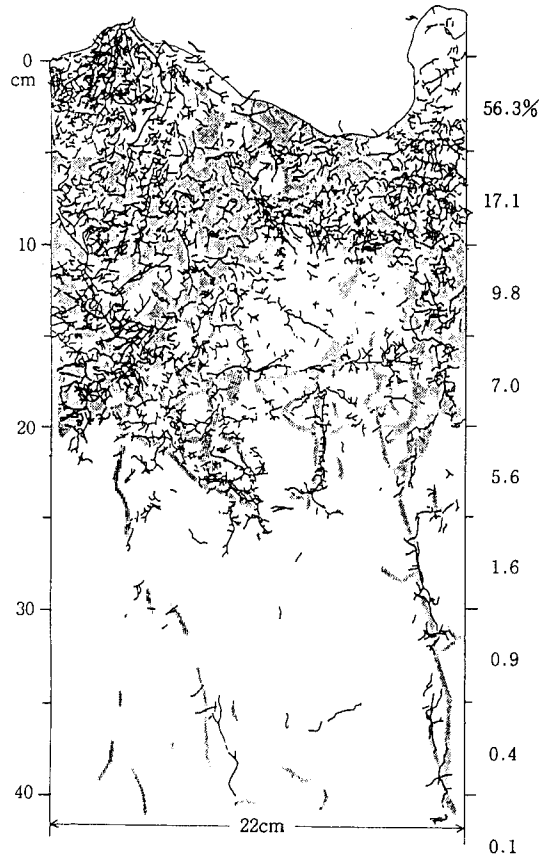


図-3 チゼルおよびロータリで耕りんした土壌の垂直断面

Soil profile tilled by chisel(a)and rotary(b)plow



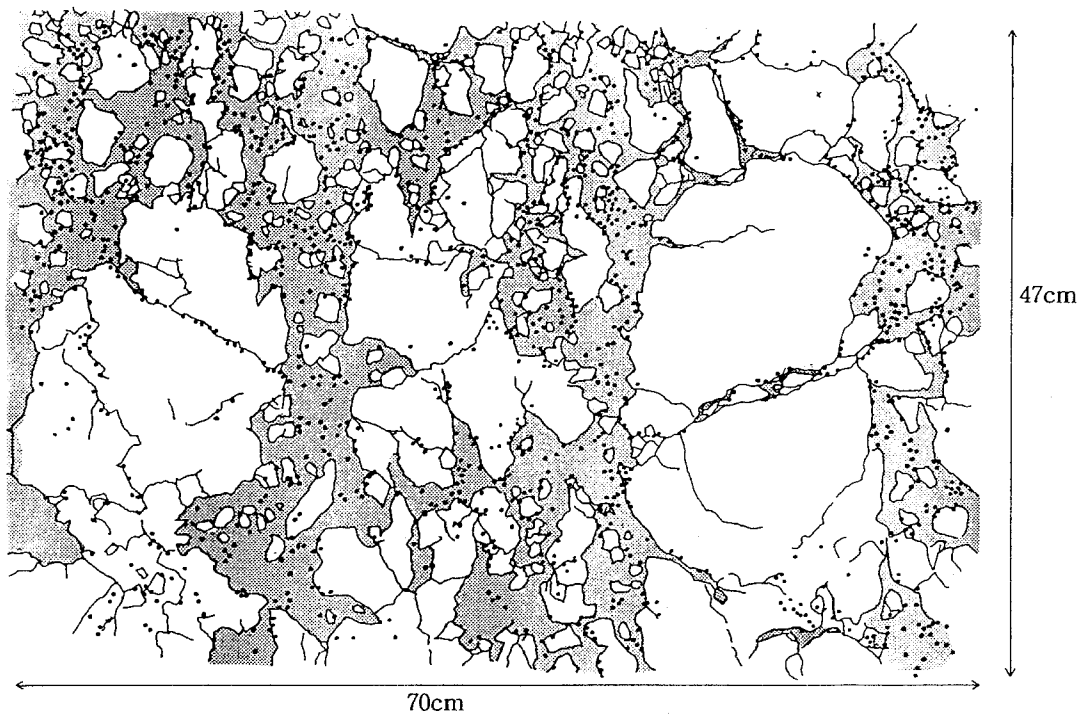
右の数字は深さ5cmごとの根の重量% 根の全重95.3g/m<sup>2</sup> (開花期, 1992北野土壌)

図-4 チゼル耕区の土壌断面における根の分布  
Root distribution the soil of chisel tillage

緻密部分および亀裂部分には約20%が分布するにすぎず、大部分が膨軟部分に分布する様子うかがえるが、膨軟部分の中でも緻密部分縁辺に存在する根の割合が全体の47%と最も多いことは、水や養分の移動経路と関連して興味深い。

4. おわりに

以上のように、転換畑における春播コムギの根雪前播種法は、生育および収量からみても簡易な耕転法であるチゼル耕が適用できることが明らかになった。これは、根雪前播種では発芽が積雪下でなされるために発芽時の乾燥ストレスがほとんど見られないことに起因しているが、逆にみれば発芽時の乾燥ストレスを回避することができれば、慣行のプラウ耕やロータリ耕などの全面耕転は必ずしも必要としないことを示している。また、北海



根の部位別分布(%)：緻密部5，亀裂部16，膨軟部79（うち緻密部縁辺47）

■部分は膨軟部分，白地部分は緻密部分（深さ10cm）

図中の点はハルユタカの根（肉眼で識別できる太さの根）（1992北野土壌）

図-5 チゼル耕区の土壌の水平断面と根の分布  
Horizontal profile of the soil tilled by chisel plow and root distribution

道における簡易耕<sup>5),6)</sup>に関する試験結果では、表層を浅く耕耘することにより作土上層部に物理的に不均一な状態を水平的につくりだし、土壌養分の表層集中による作物の初期生育を促進させることが示されたが、チゼル耕では土壌中に緻密部分と膨軟部分という物理的状态の全く異なる不均一状態を垂直的に作り出すことが可能であった。こうした土壌の物理的な不均一状態によって生じた養分や水分の不均一性が、作物の養分吸収にも有利に働いたと推測されるが、詳細については今後検討すべき興味ある課題である。

さらに、作物の生育からみれば、土壌の物理的な条件は独立して取り扱うことのできるものではなく、根の伸長と養分吸収は土壌の物理的条件と水および養分供給能との相対的な関係によって決まり、作物生産ではその最適組み合わせが問題であると考えられる。耕耘法は、それらの関係を制御できる有力な方法と位置づけられるべきであろう。また、慣行のロータリ耕などによる耕耘は、緻密化した作土を膨軟にし、新たな構造を造りだし、施

肥・播種および有機物や作物残の処理を容易にするなどのメリットはあるが、一方で碎土に大きなエネルギーと時間を要し、作物根などによって形成された既存の土壌間隙構造を破壊し、土壌動物などの土壌構造形成者を抑圧する<sup>2)</sup>という否定的な側面も指摘することができる。今後、作物の生産目的に応じた多様な耕耘法についての検討が必要であると考えられる。

なお、本試験で用いたチゼル耕は、破碎爪を土壌中で牽引するだけのきわめて簡易な耕耘法なので、粘質土壌に適用するためには既存のチゼルプラウだけでは難しく、碎土性を高める何らかの処理、あるいは前作の水稻を無代かきで栽培するなどの工夫が必要であろう。また、春播コムギの根雪前栽培は現在のところ北海道中央部の雪の多い地帯で適用可能であり、この技術を雪の少ない土壌凍結地帯に拡大するための技術開発は今後の課題である。

なお、本研究は北海道農試総合研究第1チームにおいて行われたものの一部であり、本研究の遂行にご協力頂

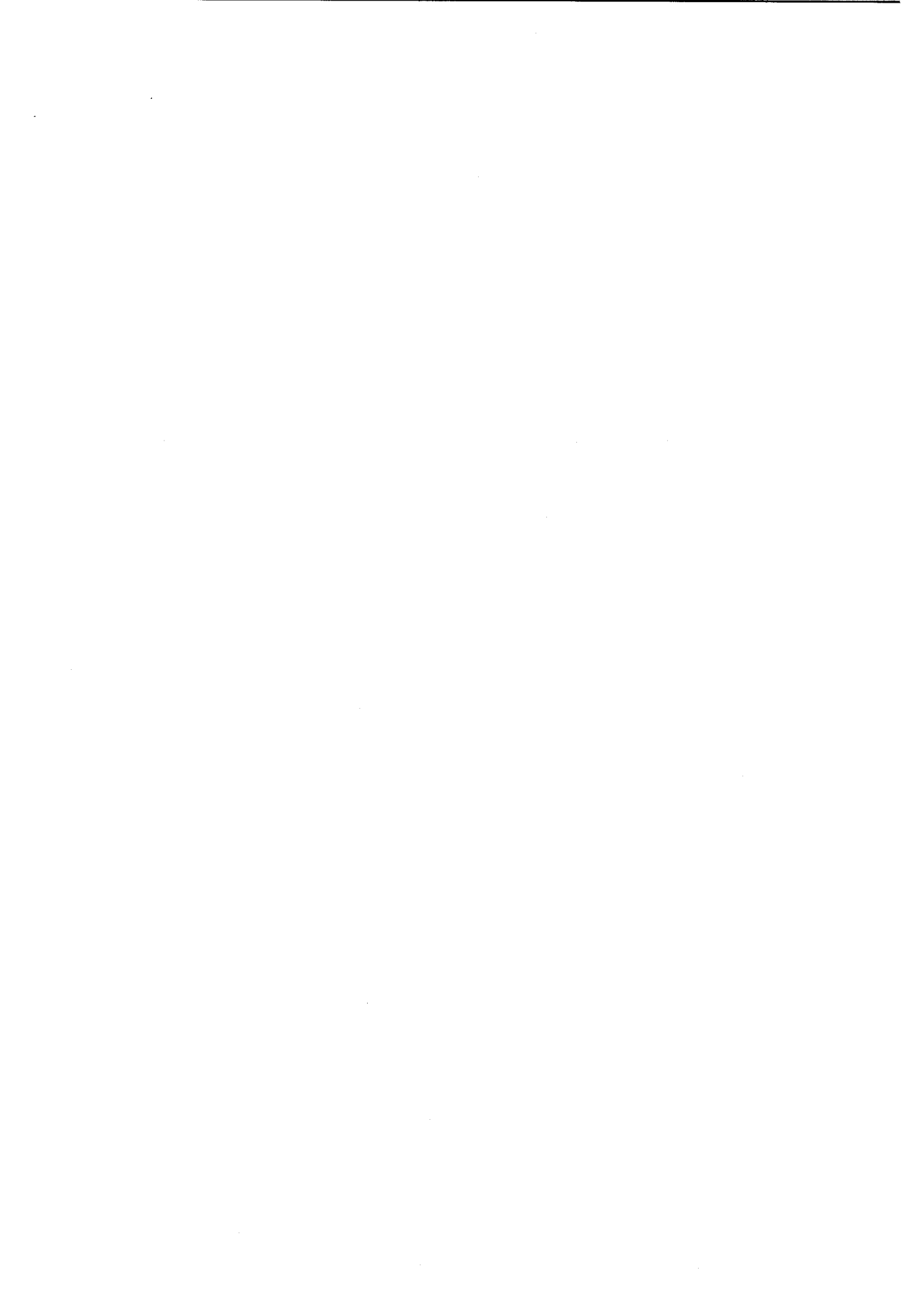


いた北海道農試の三木春一、竹下定男両技官および鈴木典子、西村千鶴子両氏に深謝する。

#### 引用文献

- 1) 吉田 健 (1988) : 畑作における耕うん作業の多様化と技術的問題、総合農業研究叢書12号、50~64
- 2) 渡辺治郎 (1987) : 土壌物理環境の制御と耕起方法、「作物生産における土壌物理環境はいかにあるべきか」研究会資料、30~37、農研センター
- 3) 佐々木高行ら (1991) : 多雪地帯におけるコムギの初冬播栽培について、北農、58、308~313
- 4) 渡辺治郎ら (1992) : 春播コムギの多収と根雪前播種、農業技術、47、449~453
- 5) 渡辺治郎ら (1987) : 重粘性土壌における簡易耕の導入、北農試研報148、139~156
- 6) 畠中哲哉ら (1987) : 簡易耕の導入に伴う土壌の変化と畑作物の反応、土壌の物理性、54、2~13

(受稿年月日 1993年12月9日)



報 文

## 山地流域における林地の草地化による 土壌と流出の特性変化

渋谷 勤治郎\*

Change of soil properties and runoff characteristics  
affected by deforestation to grassland in a mountainous area

Kinjiro Shibuya

National Research Institute of Agricultural Engineering

### Summary

Change of landuse from forest to grassland somehow affects soil properties and runoff characteristics of a watershed. Hence, in order to evaluate the effects of the change, two sets of study watersheds, major landuse of which was forest and grassland respectively, were set up for comparison in the Kitakami mountainous area; namely the Nawasirozawa and the Yamaya watersheds, and the Sotoyama-daiiti and the Sotoyama-daini watersheds.

Following results were obtained from the research.

- (1) The surface layer of grassland soil was shown to have different porosity from that of forest soil in respect to macropores.
- (2) Based on the measurements at the watersheds, infiltration capacity was evaluated as medium on grassland soil, while it was large on forest soil.
- (3) Regression analysis of direct runoff, lost rainfall and peak discharge vs. rainfall showed that there were statistically significant differences in the regressions between the Sotoyama-daiiti watershed and the Sotoyama-daini watershed. It was proved that these were caused by difference in proportion of grassland and forest in the watersheds.
- (4) Based on the measurements, it was analyzed that baseflow possibly decreased by the conversion in the Nawasirozawa and the Yamaya watersheds, while it remained unchanged in the Sotoyama-daiiti and the Sotoyama-daini watersheds.
- (5) Distribution factors of the unit hydrograph for each watershed were presented. Runoff hydrographs were also presented based on the typical storms on the watersheds.
- (6) Runoff characteristics and their probable changes by the conversion were summarized based on the original soil properties, and the historical, the present and the future landuse.

**Keywords** : porosity of soil, infiltration, compaction of soil, runoff, conversion of forest to grassland

(Soil Phys. Cond. Plant Growth, Jpn, 69, 39-47, 1994)

### I. はじめに

山地流域で林地を草地に開発する場合、林地は一般に土壌が孔隙に富み、雨水流出における保水機能の高いことが認められていることから、土壌の性質や草地の利用・

管理方法によっては、洪水・濁水ポテンシャルの増大により、出水や濁水の規模や頻度に変化が生じ、農地保全や農業水利に支障を来すことが懸念される。北上山地における草地開発は、開発面積が4万ha以上と大きいこ

\*農業工学研究所

キーワード：土壌孔隙，浸入能，土壌の踏圧，流出，林地の草地開発

表-1 調査流域の概要  
Table 1 Study watersheds

流域名	面積(ha)	主な植生, 調査法	位置	地質	主流勾配	山腹勾配
苗代沢	67.4	森 林 } 牧草, 森林 } 平行流域法	九戸郡大野村	洪積世砂礫ローム	2.9%	17.1%
山谷	50.0		〃	〃	〃	2.9
外山第1	151.2	森 林 } 牧 草 } 平行流域法	岩手郡玉山村	粘板岩, チャート	5.9	19.8
外山第2	182.3		〃	〃	〃	5.4

注) 各流域の標高は, それぞれ苗代沢181~236m, 山谷192~251m, 外山第1 716~924m, 外山第2 635~877mである。

表-2 調査流域の土地利用  
Table 2 Landuse of the watersheds

流域名	針葉樹林	広葉樹林	野草地	造成草地	耕地その他	計	草地造成年度
苗代沢	39.85 (59.1)	25.66 (38.1)	1.89 (2.8)	- (-)	- (-)	67.40 (100.0)	-
山谷	14.34 (28.7)	- (-)	- (-)	35.41 (70.8)	0.25 (0.15)	50.00 (100.0)	1970, 1972
外山第1	151.21 (100.0)	- (-)	- (-)	- (-)	- (-)	151.21 (100.0)	-
外山第2	- (-)	- (-)	67.63 (37.1)	96.28 (52.8)	18.39 (10.1)	182.30 (100.0)	1969~71

注) ① カッコ内は全面積に対する百分率を示す。

② 牧草地の放牧強度は320~380CD/ha/y, 生草収量は40~43ton/ha/y程度である。

とから, 林地の草地化による土壌の孔隙分布や浸入能の変化とそれらが流出特性に及ぼす影響についての検討が必要と考えられた。このため, 調査流域を設定して実証的な検討を行った。

## II. 調査方法及び基礎資料<sup>1)2)3)</sup>

### 1. 調査流域の設定

草地開発予定地及びその近傍に4箇所の調査流域を設けて, 流域内の林地や草地の土壌の特性を調査して, 流出特性との関係を解明することとした。調査手法は, 平行流域法によることとした。この手法は, 土地利用以外の条件が類似している二つ以上の流域の間で, 林地の多い流域における土壌や流出の特性と草地の多い流域におけるそれらの特性とを比較して変化を推定する方法である。

調査流域の概要, 土地利用及び土壌を表-1, 2及び3に示す。なお詳細は文献1)~3)を参照されたい。

### 2. 土壌及び流出の調査方法

#### (1) 流域における土壌の物理的性質の計測

流域内の土地利用, 植生等に関して代表と認められる1~4地点で表層30cmの土壌の物理性を計測した。計測方法は, 地点ごとに100ml不攪乱試料を深さ5~10, 15~20, 25~30cmから各2個採取し, 粒度分析, 真比重, 仮比重及びpF・含水率関係の測定を行った。pF・

表-3 調査流域の土壌  
Table 3 Soil of the watersheds

流域	山頂	山腹	谷底
苗代沢	小軽米統	雪谷統	和座川統
山谷	〃	中山統	田頭統
外山第1	物見山統	大尺山統	天ヶ森統
外山第2	〃	中山統	上浮島統

注) 厚層黒ボク土壌: 和座川統, 田頭統, 上浮島統  
淡色黒ボク土壌: 小軽米統  
黒ボク土壌: 上記以外の各統

含水率は, それぞれpF1.0, 1.5は土柱法, pF2.0, 2.5は吸引法, pF3.0, 4.0は遠心法によって測定した。

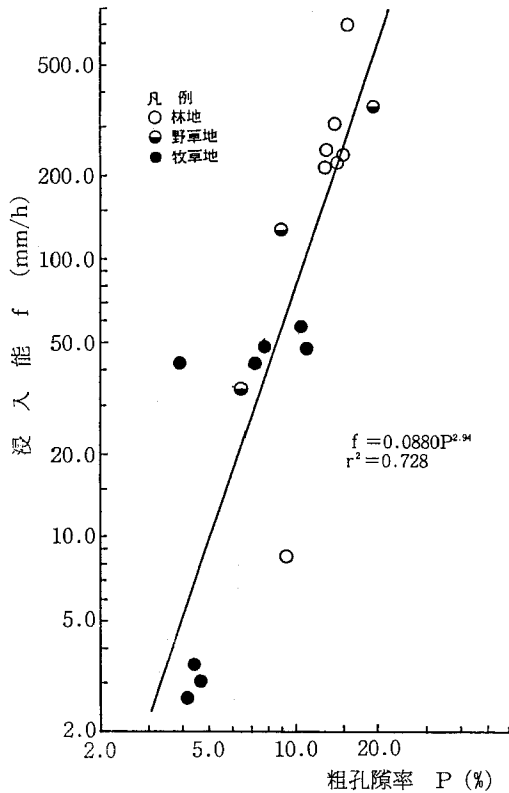
なお, 山谷及び外山第2の造成草地は, 計測時にそれぞれ造成後1~3年, 2~4年経過していた。

#### (2) 浸入能の計測

浸入能測定は, 流域内の代表地点で直径30cmの円筒浸入計を用い, 浸入計の打ち込み深さ20cm, 湛水深5cm (傾斜地にあつては最大水深が5cm) の条件で行った。1地点の測定時間は1~1.5時間であり, 浸入レートがほぼ一定になった時の値を浸入能とした。なお, 浸入能と土壌の計測は同一地点で行い, 両者の関係を調べた。(図-1参照)

#### (3) 雨量観測及び流量測定

雨量観測は, 初め水位計と一体構造になったφ14cmの秤量型雨量計を用いたが, 立木の影響を避けるために逐次設置場所を自由に選べるφ20cmの転倒樹型に交換した。



注) ①粗孔隙は深さ5~10, 15~20cmのうち小さい値。  
②北上地域の他の調査地点のデータを含む。

図-1 粗孔隙率・浸入能関係  
Fig. 1 Macropores vs. infiltration capacity

流量測定は、三角堰または四角堰を用いて、堰の越流水深を自記水位計で測定し流量公式により流量に換算した。苗代沢・山谷流域においては高さ80cmの直角三角堰を用い、外山第1・外山第2流域においては切欠幅80cmの四角堰を用いた。流量公式としては、直角三角堰には沼知・黒川・淵沢公式を、四角堰については板谷・手島公式を用いた。なお、流量公式の適用条件から大きく逸脱することのないように、各量水堰の上流には静水池を設け、水路底と堰縁との間隔を10cm以上に保つように適宜堆積土砂の排除に努めた。

### 3. 調査流域の土壌の孔隙及び浸入能のデータ

調査地点の土壌孔隙データを表-4に示す。土層の排水性は、 $pF0 \sim 1.7$ の孔隙率(粗孔隙率)との関係から4分級に区分して表示した。即ち、粗孔隙率が5%以下は緻密で排水性に乏しく、5~10%は排水性がやや不良、10~15%は排水性が良好、15%以上では排水性が過

大(秀)とした。有効水分量は、 $pF2.5 \sim 4.0$ の孔隙率との関係から、4分級し、7.5%以下で少ない、7.5~12.5%でやや少ない、12.5~17.5%で中位、17.5%以上で多めに区分した。排水性及び有効水分量は表-4に併記した。

調査流域の浸入能測定値を表-5に示す。浸入能は、測定法により計測値が異なるため絶対分級は困難であるが、ここではアメリカ合衆国土壌保全局の分級<sup>5)</sup>を参考にして、254mm/h以上を非常に速い、127~254mm/hを速い、63~127mm/hをやや速い、20~63mm/hを中位、5~20mm/hをやや遅い、1~5mm/hを遅い、1mm/h以下を非常に遅いとした。

### 4. 降雨及び流出データ

降雨及び流出データは個々には示さないが、後述の雨量・直接流出量関係の解析に用いた降雨数は全流域の延べ個数で253降雨、また降雨・ピーク流出関係の解析に用いた降雨数は、106降雨である。直接流出は、量水曲線の低減部における第2折曲点と立ち上がり点とを結ぶ直線で分離した。

## III. 林地の草地化による土壌孔隙、浸入能及び流出の特性変化についての分析

### 1. 土壌の物理性の分析

#### (1) 土性及び土壌の比重

苗代沢・山谷流域では、砂質ローム、真比重2.16~2.71、仮比重0.462~0.875であり、外山第1・第2流域では、砂質ローム、ローム、シルト質ローム、真比重2.36~2.65、仮比重0.418~0.590である。試料数が同じではないので厳密な比較はできないが、(1)外山第2の土壌が比較的細粒土(L, SiL)であるのに対して、その他の流域は比較的粗粒土(SL)からなる。(2)真比重は牧草地の表層(深さ5~10cm)で小さく、2.19~2.36である。(3)仮比重が0.4~0.5の小さな値は、苗代沢や外山第1の林地の表層・下層及び外山第2の牧草地の中・下層(深さ15~30cm)に見られる。仮比重0.5~0.9の比較的大きな値は、苗代沢・山谷の各層及び外山第2の牧草地の表層に見られる。

#### (2) 土壌の孔隙分布

全孔隙率で見ると、ほとんどの流域で60~80%であり、差異は少ない。粗孔隙率で見ると、苗代沢・山谷流域では、7.8~27.1%、外山第1・第2流域では、3.9~20.8%である。牧草地の表層(深さ5~10cm)では、山谷で7.8~10.4%、外山第2で3.9~11.0%といった比較的小きな値が見られる。(表-4参照)

表-4 調査流域の土壌の孔隙特性の林地と草地による差異  
Table 4 Porosity of the soils of forests and grasslands in the watersheds

流域名	植生	深さ(cm)	土性	仮比重	孔隙率(%)	pF0~1.7(%)	pF2.5~4.0(%)	排水性	有効水分量
苗代沢	アカマツ	5-10	SL	0.462	72.0	27.1	15.8	秀	中
		15-20	〃	0.615	70.7	15.5	9.8	良	やや少
		25-30	〃	0.587	68.2	17.1	11.5	秀	〃
〃	コナラ カシワ	5-10	〃	0.644	67.5	14.3	13.4	良	中
		15-20	〃	0.611	68.0	17.5	13.7	秀	〃
		25-30	〃	0.534	71.3	11.8	6.7	良	少
山谷	牧草(放牧)	5-10	〃	0.638	70.3	10.4	16.5	〃	中
		15-20	〃	0.609	69.4	10.6	9.4	〃	やや少
		25-30	〃	0.566	70.0	13.5	9.2	〃	〃
〃	牧草(兼用)	5-10	〃	0.875	66.9	7.8	15.0	やや不良	中
		15-20	〃	0.785	68.5	8.0	12.8	〃	〃
		25-30	〃	0.662	75.9	11.2	8.7	良	やや少
〃	野草	5-10	〃	0.601	76.6	18.4	12.1	秀	〃
		15-20	〃	0.569	78.8	20.1	10.0	〃	〃
		25-30	〃	0.533	79.9	24.4	7.8	〃	〃
〃	粗林	5-10	〃	0.712	72.0	19.2	12.5	〃	〃
		15-20	〃	0.778	70.8	15.0	10.9	良	〃
		25-30	〃	0.832	71.5	18.7	10.2	秀	〃
外山第1	カラマツ	5-10	SL	0.443	81.0	20.8	16.3	〃	中
		15-20	〃	0.510	76.4	12.9	15.1	良	〃
		25-30	〃	0.418	81.8	11.7	19.1	〃	多
外山第2	牧草(放牧)	5-10	L	0.519	74.1	7.2	25.0	やや不良	〃
		15-20	SL	0.434	78.7	10.0	16.0	良	中
		25-30	〃	0.436	78.6	15.5	13.2	〃	〃
〃	放草(兼用)	5-10	SiL	0.575	75.9	3.9	15.8	不良	〃
		15-20	〃	0.519	81.9	10.7	16.9	良	〃
		25-30	〃	0.496	80.5	13.6	12.5	〃	〃
〃	牧草(兼用)	5-10	〃	0.590	75.4	11.0	18.2	〃	多
		15-20	〃	0.456	80.3	18.6	16.4	秀	中
		25-30	〃	0.480	82.0	16.1	8.8	〃	やや少

表-5 調査流域の浸入能測定値  
Table 5 Infiltration capacity

地域名	土地利用	最終浸入能	浸入能の分級	植生	地形	勾配	土色(表層/下層)
苗代沢	松林	682mm/h	非常に速い	アカマツ	山腹上部	14°	10YR 2/1 /10YR 3/3
〃	雑木林	223	速い	コナラ, カシワ	山腹中部	13	10YR 1.7/1 /10YR 2/2
〃	野道	18	やや遅い	ノシバ	野道	平	-
山谷	雑木粗林	234	非常に速い	ハンノキ, コナラ	山腹中部	5	10YR 3/4 /10YR 4/6
〃	野草	349	〃	カヤ, ハギ	山腹上部	12	7.5YR 4/4 /7.5YR 3/2
〃	牧草(放)	57	中位の	オーチャード, ラジノ	〃	15	7.5YR 3/4
〃	〃(兼)	47	〃	〃	〃	14	7.5YR 5/4 /7.5YR 4/6
外山第1	松林	212	速い	アカマツ	山腹下部	8	10YR 2/2 /10YR 3/4
外山第2	牧草(放)	43	中位の	オーチャード, ラジノ	山腹中部	10	10YR 2/2 /10YR 3/4-4/4
〃	〃(兼)	42	〃	〃, チモシー	〃	2	10YR 3/4-2/2 /10YR 4/6
〃	〃(兼)	47	〃	〃	山腹下部	3	10YR 3/4-2/1 /10YR 4/6

## 2. 浸入特性の分析

苗代沢・山谷流域では、47~682mm/h、外山第1・外山第2流域では、42~212mm/hである。全測定地点11点のうち「速い」又は「非常に速い」は5地点で全体の46%を占める。残り6地点(全体の54%)は「やや遅い」又は「中位」の分級に入る。次に、林地・草地別に

見ると林地では5地点のうち4地点で「速い」又は「非常に速い」である。残る1地点は「やや遅い」であり、林地内の野道における測定値で、踏圧の影響を受けているものと考えられる。一方、牧草地では、5地点とも「中位」の分級に入る。また野草地の1地点は、「非常に速い」であった。

以上を総括すると、林地の浸入能は「非常に速い」ないし「速い」であり、これを草地化すると「中位」に変化すると概観できる。

### 3. 草地率を考慮した雨量・直接流出量関係

草地率を考慮した雨量・直接流出量\*関係（雨量・有効雨量\*\*関係）、又は雨量・損失雨量\*\*\*関係は、Hewlettらの方法<sup>9)</sup>を参考にして(1)及び(2)式に示す回帰式を用いて定式化を行うこととした。この方法により、草地率を含む項の偏回帰係数若しくは回帰定数の値がゼロと統計的に有意差があるか否かに基づき、雨量・有効雨量関係若しくは雨量・損失雨量関係が草地率に依存するか否かを検定できる。なお、損失雨量における上限値の出現など雨量・損失雨量関係が雨量・有効雨量関係とは異なる傾向を示すケースのあることを考慮して、両関係について検討を進めた。

$$\log R_E = b_0 + b_1 T + b_2 \log R + b_3 T \log R \quad \dots\dots(1)$$

$$\log R_L = b_0' + b_1' T + b_2' \log R + b_3' T \log R \quad \dots\dots(2)$$

但し、R：雨量(mm)、R<sub>E</sub>：有効雨量(mm)、R<sub>L</sub>：損失雨量(mm)、T：草地率（＝草地面積／流域面積）、b<sub>0</sub>、b<sub>1</sub>、b<sub>2</sub>、b<sub>3</sub>、b<sub>0</sub>'、b<sub>1</sub>'、b<sub>2</sub>'、b<sub>3</sub>'：回帰定数及び偏回帰係数。

解析の対象とした降雨は、残雪、凍結等の影響を除くために、5月中旬から10月下旬までのものとした。実際に解析に用いた降雨数は、流域により56～74である。各調査流域の降雨・流出データを用いて(1)及び(2)式を適用して求めた回帰定数及び偏回帰係数を表-6及び7に示した。なお、重相関係数の有意性の検定は(3)式で、偏回帰係数の有意性の検定は(4)式で行い、表-6及び7に併記した。

$$F = \{(n-4)/3\} \{R^2/(1-R^2)\} \quad \dots\dots(3)$$

$$F > F^3_{n-4}(\alpha)$$

但し、R：重相関係数、F<sup>3</sup><sub>n-4</sub>は自由度(3, n-4)のF分布の上側確率αの値とする。

$$t = b_i / \sigma(b_i) \quad \dots\dots(4)$$

$$t > t(n-4, \alpha/2)$$

但し、t(n-4, α/2)は自由度n-4のt分布の上側確率α/2の値である。σ(b<sub>i</sub>)：偏回帰係数b<sub>i</sub>の標準誤差、i=1又は2又は3。

表-6及び7によると、草地率に関する偏回帰係数b<sub>1</sub>、b<sub>2</sub>、b<sub>1</sub>'、b<sub>2</sub>'について、雨量・直接流出量関係では、外山第1・外山第2の流域対で(1)式におけるb<sub>1</sub>が5%有意であり、雨量・損失雨量関係では、同じく外山第1・

表-6 雨量・有効雨量関係式の回帰定数及び偏回帰係数  
Table 6 Regression coefficients of rainfall vs. effective rainfall relations

流域名	b <sub>0</sub>	b <sub>1</sub>	b <sub>2</sub>	b <sub>3</sub>	S	R <sup>2</sup>
苗代沢谷	-1.7629	0.4887	1.4100**	-0.2766	0.2516	0.7382**
外山第1						
外山第2	-2.2568	0.4950*	1.5842**	-0.1309	0.2450	0.7458**

注) \*\*: 1%有意, \*: 5%有意, S: 標準誤差, R<sup>2</sup>: 重相関係数の2乗

表-7 雨量・損失雨量関係式の回帰定数及び偏回帰係数  
Table 7 Regression coefficients of rainfall vs. lost rainfall relations

流域名	b <sub>0</sub> '	b <sub>1</sub> '	b <sub>2</sub> '	b <sub>3</sub> '	S'	R <sup>2</sup> '
苗代沢谷	0.03700	-0.03408	0.9493**	0.01046	0.04020	0.9832**
外山第1						
外山第2	0.04888	0.006644	0.9502**	-0.05940*	0.04706	0.9659**

注) 表-6に同じ

\* 雨水が地表を流れて河道に入り流出する表面流出成分、比較的浅い土層内を側方に移動して河道に入り流出する中間流出成分及び河道降水の和。直接流出＝流出－基底流出。

\*\*雨量のうち直接流出になる部分。

\*\*\*雨量のうち基底流出、地下水貯留量変化、土壌水分補給、蒸発散等に寄与する部分。損失雨量＝雨量－有効雨量。

外山第2の対で(2)式における $b_3'$ が5%有意である。これらは、雨量と直接流出量(有効雨量)又は損失雨量との関係に草地率により有意差があることを示す。偏回帰係数は $b_1 > 0$ ,  $b_3' < 0$ であるから、同じ雨量に対して草地率の増大により有効雨量の増大と損失雨量の減少が起こることを示している。苗代沢・山谷流域については、雨量と有効雨量又は損失雨量との関係に対して、5%有意水準では草地率による有意差を見いだすことはできない。

4. 降雨とピーク流出との関係

降雨とピーク流出との関係を前述に準じて(5)式により定式化する。

$$\log q_p = c_0 + c_1 T + c_2 \log r_p + c_3 T \log r_p + c_4 \log R_s + c_5 T \log R_s \quad \dots\dots(5)$$

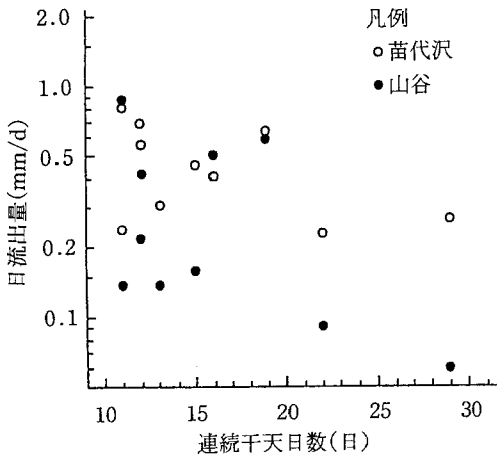


図-2 連続干天日数・日流出量関係 (苗代沢・山谷)  
Fig. 2 Dry spell vs. baseflow (Nawasirozwawa, Yamaya)

但し、 $q_p$ :ピーク流出(mm/h),  $r_p$ :集中時間\*内の平均降雨強度(mm/h),  $R_s$ :ピーク発生までの累加雨量(mm),  $T$ :草地率,  $c_0, c_1, \dots, c_5$ :回帰定数及び偏回帰係数。この回帰定数及び偏回帰係数は、流域面積、土壌など流域特性により異なる値をとる。

有意性の検定は、(3)及び(4)式に準じて行う。但し、重相関係数Rの有意性の検定に用いるF値の自由度は(5, n-6)であり、各偏回帰係数の有意性の検定に用いるt値の自由度は(n-6)である。この解析に用いた降雨は、集中時間内の平均降雨強度 $r_p$ が概ね4 mm/h以上のものであり、各流域の降雨数は、流域により17~36である。降雨・ピーク流出関係の回帰定数及び偏回帰係数を表-8に示す。草地率に関する偏回帰係数は $c_1, c_3, c_5$ であり、表-8によれば、外山第1・第2の流域対のみ $c_3$ が10%有意である。

5. 低水流出状況

1972年~1980年にわたり、5月下旬から10月下旬の間の連続干天により出現した湧水流出を干天日数と関連させて図-2及び3に示す。連続干天の定義は、種々考

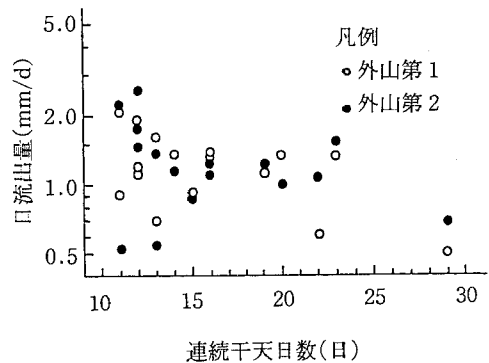


図-3 連続干天日数・日流出量関係 (外山第1・外山第2)  
Fig. 3 Dry spell vs. baseflow (Sotoyama-daiiti, Sotoyama-daini)

表-8 降雨・ピーク流出関係式の回帰定数及び偏回帰係数  
Table 8 Regression coefficients of rainfall vs. peak discharge relations

流域名	$c_0$	$c_1$	$c_2$	$c_3$	$c_4$	$c_5$	S	$R^2$	集中時間(h)
苗代沢	-1.8645	-0.04679	0.3540	0.7261	0.8344**	-0.2616	0.2142	0.6511**	3.0
山谷									
外山第1	-2.0971	0.3549	0.009671	0.6184*	1.0376**	-0.1964	0.1845	0.8132**	3.0
外山第2									

注) \*\*: 1%有意, \*: 5%有意, +: 10%有意, S: 標準誤差,  $R^2$ : 重相関係数の2乗

\*流域内の最遠点に降った雨水が流域の最下流部まで到達するのに要する時間。



られるが、ここでは高標高の山地流域を含むことを考慮して、1日3mm以下の雨量を無効とみなし、連続干天は中断されないものとした。ただし、1～3mmの雨量のあった日は干天日に入れないこととした。

このような定義によると、観測期間中に出現した連続干天の中で最も長いものは、1973年6月24日から7月28日までの29日間であり、次いで、1980年9月14日から10月6日までの23日、1973年8月4日から8月27日までの22日間、及び1978年6月24日から7月17日までの20日間などであった。

各流域の低水流出（湧水流出）の特性は次のようにまとめられる。

(1)1972年～1980年中の最小湧水流出は、それぞれ外山第2（0.53mm/d）>外山第1（0.51）>苗代沢（0.24）>山谷（0.06）であった。

(2)苗代沢流域と山谷流域の比較によると、草地の多い山谷流域の湧水流出が小さく、両流域の差異が認められる。外山第1・外山第2流域では、草地率の大小による湧水流出の多寡は明かではない。

6. 流量配分率及びその草地率との関係

雨量・損失雨量回帰式から有効雨量を求め、流量配分率\*を最小二乗法<sup>7)</sup>により算出し、表-9に示す。単位時間は、集中時間を考慮して0.5hとした。降雨・流出データから算出された配分率の降雨ごとのばらつきに対しては、平均化した値を示した。草地率による配分率の差は、外山第1・外山第2の対では明瞭で、草地率の大きい外山第2で最大配分率も大きい。即ち、0.5h当たりの流量配分率の最大値で見ると次のようになった。外山第2（0.28）>山谷（0.18）>苗代沢（0.17）>外山第1（0.13）

流量配分率のパターンを比較すると、草地率の大きい流域は林地流域に比べて、ピーク配分率が大きく、またその発生が遅れる傾向が認められる。その傾向は外山第1・第2の流域対では顕著であるが、苗代沢・山谷の流域対では顕著ではない。

表-9 流量配分率  
Table 9 Distribution factors

流域名	0~0.5(h)	0.5~1.0	1.0~1.5	1.5~2.0	2.0~2.5	2.5~3.0	3.0~3.5	3.5~4.0	4.0~4.5	4.5以後	基底長(h)
苗代沢	0.01	0.10	0.13	0.17	0.12	0.08	0.07	0.06	0.05	0.21	16.5±4.7
山谷	0.02	0.04	0.06	0.13	0.18	0.16	0.06	0.04	0.03	0.28	22.7±8.1
外山第1	0.04	0.09	0.13	0.07	0.05	0.05	0.05	0.04	0.04	0.44	17.7±7.3
外山第2	0.01	0.03	0.19	0.28	0.15	0.09	0.06	0.05	0.04	0.10	13.5±3.0

注) 基底長はゼロでない流量配分率を有する時間の長さ、即ち単位有効雨量からの直接流出の継続時間であり、上表には平均値と標準誤差を掲げてある。

\*単位時間に単位有効雨量（ここでは0.5hに1mm）が生じた場合の直接流出量の経時的配分率。

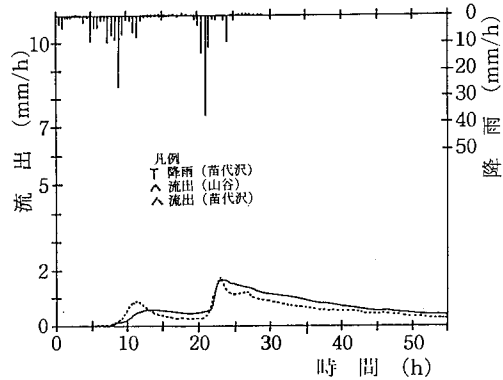


図-4 流出曲線（苗代沢，山谷）  
Fig. 4 Hydrograph (Nawasirozawa, Yamaya)

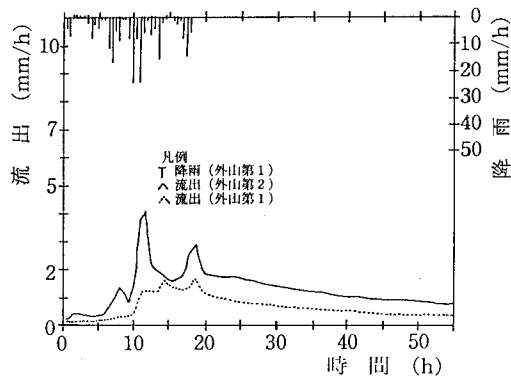


図-5 流出曲線（外山第1，外山第2）  
Fig. 5 Hydrograph (Sotoyama-daiiti, Sotoyama-daini)

7. 流出曲線の比較

北上地域の代表的な大雨事例について流出曲線を図-4, 5に掲げる。苗代沢・山谷については、1974年7月22～26日の降雨（両者とも105.2mm）からの流出、外山第1・第2については、1974年7月31日～8月3日の

降雨（それぞれ108, 100mm）からの流出を示す。これらの量水曲線の形状から、流出特性における苗代沢・山谷流域対での類似性及び外山第1・第2流域対での差異が読み取れる。

IV. 林地の草地化による流出の変化についての

総合考察

土壌の物理性や流出の特性についての解析から得られた知見を用いて、林地の草地化による高水流出の変化傾向を総括して表-10に示す。北上山地のように、従前の放牧による踏圧履歴のある野草地や矮林地を草地化する場においては、過放牧や植生の荒廃を招くような利用・管理を避け、高水流出の増加傾向を抑止する利用・管理を堅持することが必要不可欠である。

林地の草地化による流域特性の変化を土壌の孔隙分布の変化及び浸入能の変化で代表させ、また流出特性の変化を雨量・直接流出関係及び降雨・ピーク流出関係の変化並びに低水流出特性の変化で代表させて表-11示す。土壌等流域の特性と流出の特性との関係については、草地化により粗孔隙率及び浸入能は著しく変化するものの、それらの流出特性への影響は必ずしも鋭敏ではない。北

上地区では、地形的な条件もあって、以前から沢筋に林地をかなり多く存置する草地造成法を適用してきたこと、草地造成は主に山成工法により行われてきたため排水路等の水みちの増加が生じにくかったことなどが、土壌特性の変化が流出特性に及ぼす影響を緩和してきたものと考えられる。また、低水流出に関しては、草地開発・利用における土壌浸入能の低下により地下水補給は減少傾向にあるものの、土工切り盛りの少ない山成工法による地層構造の保存がその特性への影響を小さくしているものと考えられる。ただし、植生・土地利用の変化により蒸発散が変化して低水流出特性に影響を及ぼしている可能性が考えられる。

これらのメカニズムの検証は、今後の課題と考える。

V. おわりに

北上山地の林地の草地化についての実証的研究により次の成果を得た。

(1)土壌の粗孔隙率は、林地と草地では表層で大いに異なること、また牧草地の利用が進むと全層（0~30cm）で異なる傾向を示すことを明らかにした。

(2)浸入能は、実測によると林地の「速い」から牧草地

表-10 林地の草地化による高水流出変化傾向の分類  
Table 10 Probable changes in storm runoff due to conversion of forest to grassland

黒ボク土壌の厚さ	踏圧履歴	土壌の粒度	草地利用による踏圧	林地の流出	草地の流出	流出の変化傾向	備考
厚い	少	粗	少	小	小	小	苗代沢・山谷
厚い	少	粗	多	小	小~やや大	小~やや大	
厚い	少	細	少	小	小~やや大	小~やや大	外山第1・外山第2
厚い	少	細	多	小	大	大	
厚い	多	粗~細	少~多	大	大	小	
薄い	少	粗	少	やや大	やや大	小	
薄い	少	粗	多	やや大	やや大~大	やや大	
薄い	少	細	少	やや大	やや大	小~やや大	
薄い	少	細	多	やや大	大	大	
薄い	多	粗~細	少~多	大	大	小	

表-11 流域特性の変化と流出特性の変化（林地→草地）  
Table 11 Probable changes in the characteristics of runoff and watersheds due to conversion of forest to grassland

流域名	粗孔隙率	浸入能	直接流出量	ピーク流出	低水流出
苗代沢	大 → 中~	速い → 中位	やや増える	変わらない	やや減る
山谷					
外山第1	大~ → 中~	速い → 中位	増える	増える	変わらない
外山第2					

の「中位の」への移行が見られた。

(3)粗孔隙率と浸入能の同時測定で得られたデータから両者の回帰式を求めた。浸入能は粗孔隙率の2.94乗に比例することが示された。

(4)雨量・直接流出量関係の統計的解析により、外山第1・外山第2の流域対では草地率の増大に伴って直接流出が増加する傾向が統計的に有意であることが示された。

(5)雨量・損失雨量関係においても、外山第1・外山第2流域対で草地率による統計的有意差が認められた。

(6)降雨・ピーク流出関係において、外山第1・外山第2流域対で草地率による統計的有意差が見いだされた。

(7)草地化による低水流出特性の変化は、苗代沢・山谷流域対で草地率の増大により低水流出が減少する傾向が見みられた。

(8)流出曲線の特性検討のために、最小二乗法を用いて流出配分率を算出し、これを流域ごとに示し、また相互に比較した。

(9)代表的な大雨事例について流出曲線を掲げ、流出特性とその異同を表示した。

(10)流域の特性、履歴、及び利用状況による流出状況及びその変化を類型化して示した。

(11)林地の草地化による流域特性の変化と流出特性の変化について、調査流域ごとに粗孔隙率の変化、浸入能の変化、直接流出量の変化、ピーク流出の変化および低水流出の変化を総括した。これらの検証は今後の課題と考える。

(12)外山第2及び山谷流域は、土壌の孔隙分布や浸入能の測定値に基づいて類似性が確認できれば、当該地域における草地利用の進んだ流域の典型とみなして、林地を草地に開発利用する場合の土壌の孔隙分布、浸入能、流出等の特性の変化方向を推定する場合の基礎資料とすることが出来よう。

## 謝辞

本研究に関する御指導と助言の労を取られた茨城大学農学部教授岩田進午先生に衷心より感謝の意を表します。また、現地観測にご協力を頂いた東北農政局北上調査事務所の関係者に感謝の意を表します。

## 引用文献

- 1) 渋谷勤治郎：北上山地における草地造成に伴う降雨流出関係の変化に関する調査報告(1)，農土試技報A10，pp1～23，(1974)
- 2) 渋谷勤治郎：同上(II)，農土試技報A13，pp1～

17，(1976)

3) 渋谷勤治郎：同上(III)，農土試技報149(WM-1)，pp1～25，(1983)

4) Helmut Kohnke：Soil Physics，McGraw-Hill，p78，(1968)

5) Helmut Kohnke：Soil Physics，McGraw-Hill，p30，(1968)

6) Hewlett, J.D. and Helvy, J.D.：Effects of forest clear-felling on the storm hydrograph, Water Resources Res., 6(3), pp768～782，(1970)

7) 渋谷勤治郎：単位図による流出解析，農土試技報F7，pp1～11，(1972)

(受稿年月日 1993年12月7日)



シンポジウム

## 農耕地の土地評価における土壌物理性 および物理的手法の重要性

佐久間 敏 雄\*

The importance of soil physical properties  
and physical methods in land evaluation

Toshio Sakuma

Faculty of Agriculture, Hokkaido University

### Summary

The main aim of land evaluation is to assess the capability of land resources in relation to particular land uses referring to use on a sustained basis. The potential productivity of soil-plant systems which are possible to introduce in a land area under consideration is important as a general measure of land evaluation. A model combining agro-climatic approaches, analysis on soil water dynamics, and crop water use was introduced successfully to predict the potential and rainfed production of grassland ecosystems in north eastern Hokkaido.

The model output, i.e. rainfed production of harvesting grassland in this area, agreed well when the water requirement of grasses was assumed at  $400\text{g g}^{-1}$ . This approach was effective to compare benefits of several alternatives in management practices and to give long-term predictions based on the limited information provided by short-term experiments.

Data requirements to use this model include climatic items, such as temperature, reinfall, relative humidity, and sunshine hours, hydrophysical properties of soils, such as water content vs. suction and unsaturated hydraulic conductivity vs. suction curves, and water use characteristics of grasses. These physical characteristics of soils and soil-plant systems are indispensable to predict the nutrient limited production of plants, to analyze the dynamics of energy and materials through agro-ecological systems, and assess their impacts to hydrosphere and atmosphere in the context of environmental issues. The importance of soil physical properties and physical approaches in the quantitative land evaluation will grow bigger and bigger in the future.

**Keywords** : land evaluation, hydro-thermal regime, simulation model, potential productivity

(Soil Phys. Cond. Plant Growth, Jpn, 69,49-54, 1994)

### 1. はじめに

はじめに、用語の定義を確かめておきたい。ここで用いる「土地」は、気候、地形、土壌、植生、水文などの自然的、物理的環境だけでなく、交通、市場、労力、資金・経営立地などを含む。すなわち人間を主体として考えたとき、それをとりまく環境全体を「土地」としてとらえる。また、評価とは、客観的に決定できる尺度によ

て価値を査定することである。尺度としては物理的なものだけでなく、生物的、社会・経済的なものも重要である。

土地は農林業生産の基盤であるだけでなく、人間活動の全てにかかわる資源である。清浄な空気、良質な水などと違って、土地は古くから貨幣価値が定まっている環境資源である。すなわち、経済的な意味での評価は既に

\*北海道大学農学部 〒060 札幌市北区北9条西9丁目

キーワード：土地評価、水熱環境、シミュレーションモデル、可能生産量

存在する。なぜ、改めて評価しなければならないのか。その理由として、現在の土地価格は、充分大きなフロンティアが常に存在することを前提にして形成されてきたもので、今後もそれが妥当な評価であり得るかどうかは分からないことを指摘しておきたい。例えば、熱帯雨林地帯の開発は関係国の経済発展に寄与するが、それ以上に地球環境資源の大きな消耗をもたらすかも知れない。21世紀は「持続可能な開発」(Brundtland 1987)のために人間の土地利用を再編成してゆくべき時期に相当する。新しいパラダイムは、土地の可能性に対する新しい尺度を要求する。今後の土地評価は、これに応えられるものでなければならない。

ここでは、上述のことを踏まえながら農耕地の土地評価について土壌物理の側面からどのようなことが可能なのか、また必要なのかについて考察したい。

## 2. 評価の目的と方法

### (1) 既往の土地評価

優れた土地評価の例としてSSC(Soil Suitability Classification(SCS-USDA))をあげる。よく知られているようにSSCにおける分級の尺度は利用・保全目的に対する土地条件による「制約」の程度である。このような物理的制約による分級は、亜大陸、国レベルで土地適性を客観的に評価し、「見込み生産」型の情報として整備しておくために必要なことであった。しかし、これらの評価は土地生産力については直接答えていない。したがって、表-1の例2, 3のような問題を考える場合には、補足的な作業が不可欠である。

### (2) 評価の基本的尺度

我々が当面する問題の規模は拡張しつつあり、土地利用の調整を考えるに当たっては、1)地球、2)大陸・亜大陸、3)生物・気候帯、4)土地系(Land system)、5)土地相・亜相(Land facet, Subfacet)などさまざまなサイズを想定しておかなければならない。また、問題の性質、例えば1)広域の土地利用計画(国際、国家行政)、2)農業地域内の換地や土地利用の調整(地方行政)、3)経営内の生産計画支援(農家)などによっても評価の考え方や方法は異なる。

しかし、問題を農林地に限れば、目的や問題の性質にかかわらず、土地生産力を共通の基本的尺度と考えるこ

とができる。これは、人間を含む生物社会が、その存続の全てを植物-土壌系の一次生産に負っていることから当然のことと考えられる。しかし、人間による農林地の利用は、その土地の自然的条件に最も適した形で行われているとは限らないので、現在の生産力をそのまま土地評価の基準にすることは必ずしも当を得ていない。評価のもとになる土地生産力は可能生産力(PP)として測定されなければならない(FAO 1976)。

## 3. 可能生産量の推定

### (1) 温度・放射レジムによるPP1の推定

いろいろな土地のPPは温度・放射レジムに依存するが、当面、広域にわたってこれらを人工的に調節する方法はない。したがって、これに対しては「適応」が土地利用戦略の主体にならざるを得ない。それ故、温度・放射レジム、広域の気象災害などはPP推定の与件と考えられ、その平均値は植物による乾物生産の温度・光依存性を数値化すること(FAO 1978)によって予測できる(P P1)。PP1は、植物の生物学的特性によって決まる土地生産力の最大値である。

### (2) 水条件によるPP2の推定

生物生産は水の循環によって維持されており、水が不

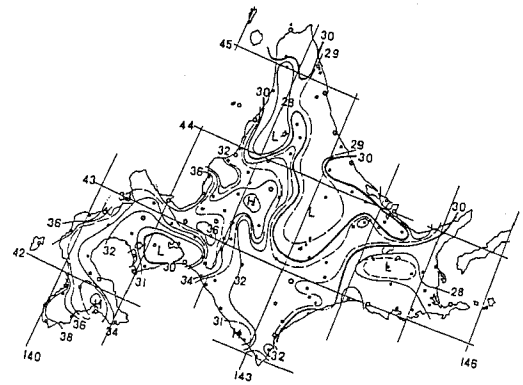


図-1 日平均気温10℃以上の期間の純放射量( $R_n$ , kly)の分布

北海道農業気象観測所107地点の半月別気象表による。標高、地形などによる調整は行っていない。H: 周辺より $R_n$ が多い、L: 同じく少ない箇所を示す。

表-1 土地評価の目的と方法

例-1	地域開発, 再開発のための土地利用の調整	[適性分級]
2	地区(Land system)の土地利用・改良, 景観保全計画の調整	[適性分級, 可能性分級]
3	耕地(Land facet, subfacet)の管理計画の改善	[可能性分級, 投入・収量水準分析, 市場, 資金, 労働力, 農民の能力分析]

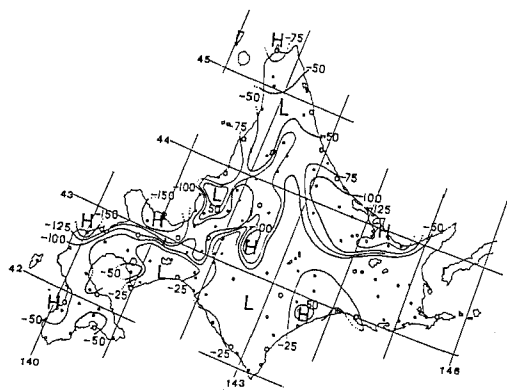


図-2 5-8月の総降雨不足(mm)の分布

降雨不足( $R-ET$ )が引き続いて負である期間の降雨不足の総和、ただし、 $R$ :降水量、 $ET$ :水分が十分な草地の可能蒸発散量、その他は図-1の註参照。

足すればその多少にかかわらずPPは低下する。次に、北海道を例にして水条件に依存するPP2の推定方法について考える。

日平均気温 $10^{\circ}\text{C}$ 以上の期間についての純放射( $R_n$ )の分布を図-1に示す。北海道南部から石狩低地帯南部にかけて期間当たり $R_n > 35\text{kly}$ の地域が見られる。この値からエネルギーベースでPPを計算すれば、Tanaka (1986)のPB $Y$ (Potential Biological Yield: 作物の生物学的特性によって決定される可能生産量)とはほぼ等しい値が得られる。図-2に降雨の不足が生じやすい期間(5-8月)についてPenman法によって推定した可能蒸発散量( $ET$ )と降水量の差(降雨不足)の分布を示した。降雨不足が多いのは中央部を東西に走る山地(後志山地-夕張・日高山地-大雪・阿寒山地)の北側の地域で、降雨不足は期間当たり $125-150\text{mm}$ に達する。この水不足を考慮して修正した蒸発散量( $E^*$ )をもとに、地上部乾物生産の要水量を $400\text{g g}^{-1}$ と仮定して求めた非灌漑草地の可能生産量(PP2)は、図-3のように推定される。(3)PP2に対する灌水および土壌水分特性の影響

気象的な水不足を緩衝するのは土壌中に保持された水である。この意味での土壌の機能は、作物による日々の消費水量と土壌水分変化の関係を計算機モデルを用いて再現することによって評価できる(佐久間 1982)。これは畑地灌漑計画モデル(Jensen 1972, Sharma 1985など)の原理を応用したもので、先ずエネルギー収支と浸入水量を推定し、土壌水の収支と層別分布を予測する。これと作物の水分消費型から蒸発散量およびPP2を予測する。これによる数値実験例を図-4に示す。実験条件は次のとおりである。

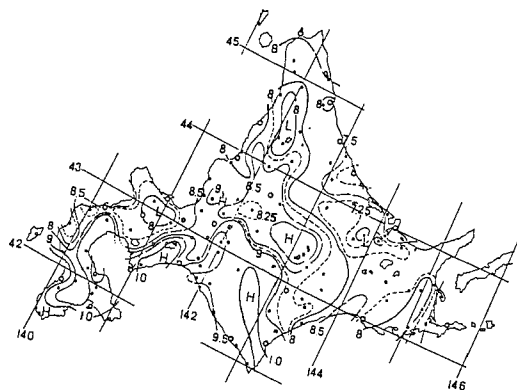


図-3 水収支から求めた可能乾物生産量( $\text{Mg ha}^{-1}$ )の分布

佐久間(1982)の水熱収支モデルによって求めた $E^*$ (本文参照)を日平均気温 $10^{\circ}\text{C}$ の期間について集計し、要水量を $400\text{g g}^{-1}$ と仮定して計算した。その他は、図-1註参照。

- 1)地点・年次:雄武測候所(北緯 $44^{\circ} 35'$ , 東経 $142^{\circ} 56'$ ), 1979年
- 2)作物:採草用牧草(一番草:6月20日, 2番草:8月20日収穫)
- 3)土壌:疑似グライ土( $P_{sg}$ , 図-4b), 酸性褐色森林土( $B_{fv}$ , 図-4c)
- 4)初期条件:融雪直後(通日91日)に毛管飽和したものとし、水の斜面方向の再分配は無視する

影を施した $ET$ と $E^*$ の差が、土壌水分不足による蒸発散量の低下分を示す。1979年は $185-250$ 日にかけてエネルギー供給量が多い無降雨日が続く(図-4a),  $200-250$ 日にかけて可能蒸発散量( $ET$ )と蒸発散量( $E^*$ )の差が大きくなっている。とくに、作土が浅く、下層土の低吸引圧有効水分孔隙が少ない $P_{sg}$ では、早くから $ET$ と $E^*$ の差が大きくなり、 $230-240$ 日にかけて根群域土層の有効水分がほとんど枯渇した。これに対して、 $B_{fv}$ では、同期間の $E^*$ の最小値が $0.5\text{mm day}^{-1}$ 程度にとどまったと推定される(図-4c)。

雄武町拓成における現地実験結果と同地点における微気象観測データ(網走開発建設部 1984)によるシミュレーション結果を表-2に示した。なお、このシミュレーションにおける灌水(+)は表層 $50\text{cm}$ の有効水分不足が $20\text{mm}$ を越えた翌日に $20\text{mm}$ の人工灌水を行うと仮定したものである。シミュレーション結果は現地試験の結果とかなりよく一致し、そのPP2はPP1より最大 $40\%$ 程度低下すると予測される。ただし、このシミュレーションでは、牧草の要水量を $400\text{g g}^{-1}$ と仮定しているが、圃場試験による牧草の要水量としてはこれを大きく越える値がし

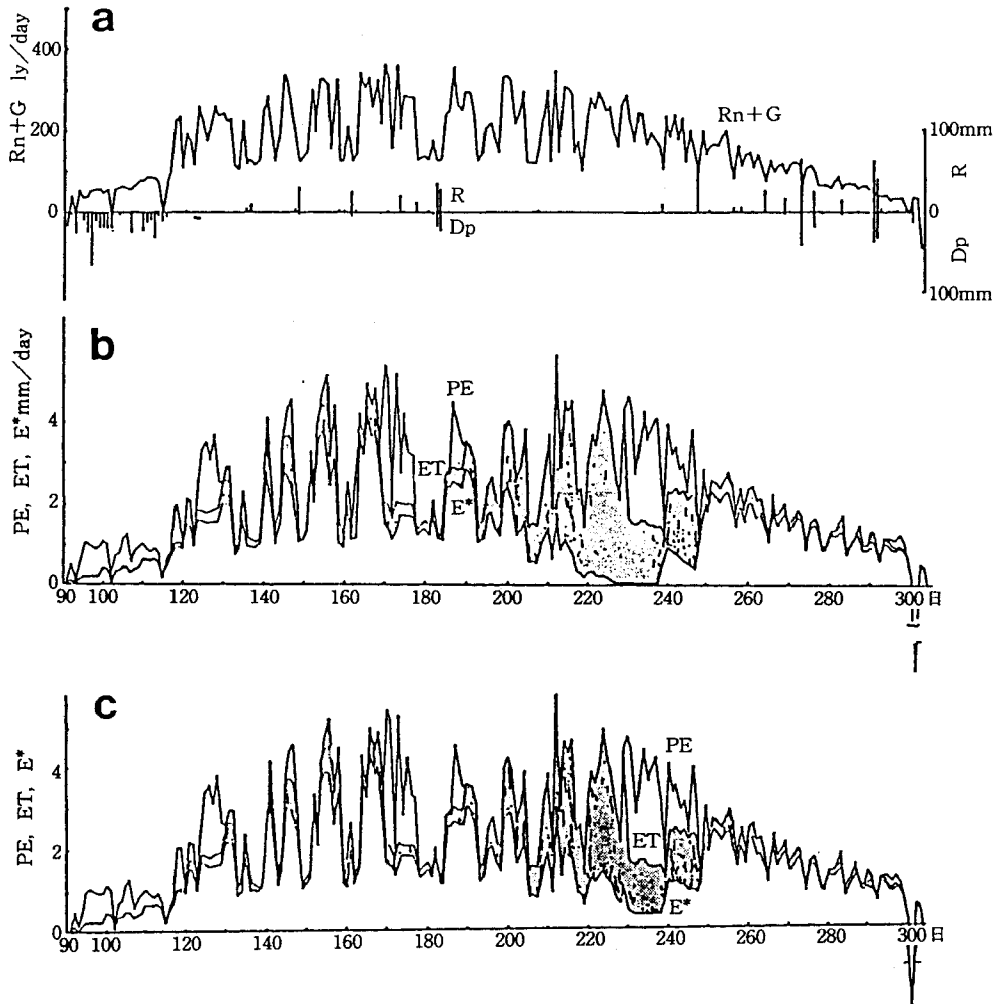


図-4 雄武測候所(1979)の観測資料による水熱収支の推定結果

a : Rn: 純放射, G: 地中熱伝導量( $\text{ly day}^{-1}$ ); R: 降水量, Dp: 深層浸透水量(mm), b: 疑似グライ土草地のPE, ET, E\*(本文参照)(mm), c: 酸性褐色森林土草地のPE, ET, E\*(mm)。

ばしば報告されている。しかし、ポットや枠試験レベルで得られる蒸散係数は、普通、 $200\text{--}250\text{g g}^{-1}$ 程度(田中ら 1970, 塩谷・田中 1977, 川上 1981など)であり、Tanaka(1986)はPBYの推定に際して蒸散係数を $250\text{g g}^{-1}$ と仮定している。このような差が生ずる主な原因は、要水量が収穫部位のみによって計算されていることにあるが、草種による生育パターンや地上部:根部比の違い、刈り取りにともなう蒸発散能の変化、前年度の生育・収量および越冬条件の違いなど、規模の大きな草地に特有な現象も関与していると思われる。圃場レベルの牧草類の要水量についてより精度の高い情報が必要である。

疑似グライ土Psg草地の水収支に関して、同様のシミュレーションを10年間にわたって行った結果を表-3に集計した。

- 1) 平均的にみるとPE/Re, E\*/PEはともに約0.6, ET/PEは0.85で, ReはPE, ETに対して充分大きく, E\*はReの約40%程度である。
- 2) PEの変動係数は10%以下であるが, R, Reのそれは約25%に達している。レンジは $\text{Re}=1,145\text{--}532$ ,  $\text{R}=900\text{--}461\text{mm}$ であったから, 水収支の経年的変動因は主として積雪水量と降水量である。
- 3) 平均Dmpは, ETベースでは約 $10\text{Mg ha}^{-1}$ , E\*ベース



表-2 採草用牧草かんがい試験圃場(雄武町拓成)についてのシミュレーション結果と実測収量<sup>1)</sup>

年次	期 間	土壌 <sup>2)</sup>	灌水	Rn	PE	ET	E*	DMp <sup>3)</sup>	DMm <sup>4)</sup>
				kly	mm	mm	mm	Mg	ha <sup>-1</sup>
1979	7.25 ~ 10.26	Psg Bfv	-	15.5	247	224	149	3.7	3.2
			+				195	4.9	4.5
1980	5.10 ~ 10.25	Psg	-	26.0	356	323	177	4.4	5.0
			+				278	7.0	7.3
		Bfv	-	204	5.1	nd			
			+	286	7.2	7.2			
1981	5.9 ~ 10.20	Psg	-	27.0	365	333	280	7.0	4.7 <sup>5)</sup>
			+				291	7.3	7.2
		Bfv	-	290	7.3	nd			
			+	297	7.4	6.7			

1)純放射：Rn, 可能蒸発散量：PE, 牧草の蒸散能によって補正した可能蒸発散量：ETは、試験圃場における微気象観測結果を用いて計算。E\*は土壌水分の層別分布と牧草の水分消費型によってETを補正して求めた。2) Psg：疑似グライ土(少有効水分), Bfv：酸性褐色森林土(多有効水分), 3)モデルによる予測乾物収量：E\*より平均要水量を400g g<sup>-1</sup>として計算した。4)実測乾物収量：2-5mm(7日間断)かん水試験圃場の実測収量より、生育期間を補正して計算した。5)前年の干ばつにより草生が悪化し、一番草の生育が不良であった。

表-3 雄武測候所の気象データによる疑似グライ土草地の水収支と可能生産量(1972-1982)<sup>1)</sup>

	可能蒸発 散量(PE)	可能蒸発 散量(ET)	蒸発散量 (E*)	降 水 量 (R)	有効降雨 (Re)	土壌有効 水量(AWS)	深層浸透 水量(Dp)	可能生産量(DMp) ET	E*
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	Mg	ha <sup>-1</sup>
平均値	453.3	388.1	276.0	656.5	712.6	37.0	433.8	9.7	6.9
標準偏差	31.1	17.4	35.7	154.0	190.0	5.6	174.3	0.43	0.88
変動係数(%)	6.9	4.5	12.	23.5	26.7	15.1	40.2	4.4	12.8

1) Re: R-(Ed+Sf)+WS; ただしEd:直接蒸発, Sf:地表面流去水量, WS:積雪水量, AWS:表層50cmの低吸引圧有効水分(平均値), Dp:50cm以下の土層に排出された水量, その他の記号は表-2 註参照

では約7Mg ha<sup>-1</sup>で、土壌-植物系の水条件によるPP1の低下割合は平均約30%である。また、E\*から求めたDMpの最低値は5.0Mg ha<sup>-1</sup>であり、1980年のDMpはこれに次ぐ低い値であるが、採草地の実収量は翌年も大きな影響を受けている(表-2)。多年生植物は前年度の生育、越冬時の障害などによって当年の水・熱条件から予測されるとは異なるPPになることが少なくない。このような生物学的条件を物理的モデルにどう組み込むかは今後の課題であるが、これを考慮するしないとはPP2の評価に大きな違いが生ずる。表-2の例では、疑似グライ土草地のPPが水不足によって大幅に低下する確率は平均3-4年に1回の割合となるが、物理的条件だけからみると干ばつ年の確率は平均6-7年に1回ということになり、当年度の条件だけによる予測は、粗飼料需給の安定性という面で著しく不適切な評価を与えることになる。

4)深層浸透水量DPの平均値は期間当たり400mm以上、レンジは752-233mmで、その変動係数は40%と著しく大きく、灌水によって増加する傾向にある。

以上のように、シミュレーションによる方法の利点は、モデルパラメータを変化させることによって様々な条件に対応するPP2を迅速に予測し、代替案を相互に比較しながら評価できること、短期の実験データから長期の値を数値的に予測できることなどにある。

#### (2)土壌の物理化学的特性に依存するPP3の推定

表-2の結果のうち、灌水(-)区についてDMpのPsg/Bfv比を計算すると0.86-0.97となり、土壌の容水量が小さいことによる減収効果は、干ばつ年(1980年)には15%程度、平常年でも3-5%に達すると予想される。灌水によってその差は小さくなるが、Psgでは、一回灌水量が小さく、間断日数は短くなり、灌水のコスト、労力が大きくなる。また、計画どおり灌水してもDPが増加することは避けられず、それが集中する箇所では、排水不良や栄養塩の溶脱による悪影響が懸念される。これらのマイナス要因はPsgの下層土が緻密な柱状の構造をなし、重力水および低吸引圧有効水孔隙が少ない(石渡ら1993)ことによるものであり、その条件を取り除くことがPsg改良の要点である。以上のように、植物のPPに

直接影響する土壌の物理的特性を、ここでは「物理的肥沃度」と呼んでおく。

物理的肥沃度は広い意味では土壌構造の特性によって定義されるべきであろうが、当面、1)根張りの可能性および根群域の容積、2)根群域土層の酸素供給能、3)孔隙分布、4)石れきの含有率と分布などによって数値化できるものと考えておく。化学的コントロールが容易になった現在では、物理的肥沃度の管理はPP3の減少を回避する上で極めて重要である。とくに、根張りを制約する物理性は作物の養分吸収に関わるNLP(Nutrient Limited Production)と密接な関係にある。これを含めてPP3を予測するモデルは、FAO、USAID-SMSSなどによって開発されつつある。基本的には、PP1、PP2が実現される過程を計算機シミュレーションによって再現し、それらが土壌条件によって、何時、どれだけ抑制されるかを推定することになる。この段階では、人間による調節が頻繁に行われるので、対話型のモデルが要求され、それを運用するためのデータベース、とくに土壌の物理性と根の発育および生物生産の動的な関係を示す良質な較正曲線が必要になる。

#### 4. 新しい土地評価のために一結びにかえて一

農耕地土壌の物理性改良や保全は、PP3を増大させるとともに、地域環境の保全にも寄与している。しかし、PP3を増加させるための改良・保全などの費用は、普通、農業セクタの負担とされ、それがもたらす環境保全上の効用は必ずしも正当に評価されていない。それだけでなく、近年では、施肥や農地からの排水が栄養塩の排出を促進するとの指摘が多くなされ、デメリットだけが強調されることが多い。これでは農業セクタにおける環境保全のインセンティブを喚起することは不可能である。メリット・デメリットの両面を考慮した公正な評価を確立するには、土壌-植物系の動的特性をよりよく記述できるモデルが必要であり、そのためには、エネルギー、水、空気、土壌中における動態を的確に把握し、それとPPの関係を定量化することが不可欠である。これからの土地評価において、土壌物理の研究がますます重要になることを確信する所以である。

#### 引用文献

- Brundtland, G. H.(ed.), Our Common Future, The World Commis. on Environ. & Develop.(1987)
- FAO, A Framework for Land Evaluation, FAO Soils Bull. 32, 1-72, FAO, Rome(1976)
- FAO, Report on the Agro-ecological Zone Project, 1, Method-ology and Results for Africa, World Soil Res. Rep. 48, 19-90, FAO, Rome(1978)
- 北海道開発局網走開発建設部, 畑地かんがい(牧草)調査報告書,177-207, 網走開発建設部, 網走(1984)
- 石渡輝夫, 小林信也, 斉藤万之助, 佐久間敏雄, 北海道の農耕地土壌の孔隙分布特性とその分布図, 土肥誌64, 685-689(1993)
- Jensen, E. M., Programing Irrigation for Greater Efficiency, in Optimizing the Soil Physical Environment toward Greater Crop Yield, Hillel, D (ed.), 133-162, Academic Press, New York(1972)
- 川上理香, 耕地根圏域土壌における水分の動態, 北海道大学大学院農学研究科修士論文, 1-162(1981)
- 佐久間敏雄, 草地の土壌-植物系におけるエネルギーと物質の循環, 八戸芳夫編著, 北海道における集約的家畜生産技術の確立に関する基礎研究, 181-242, 北海道大学農学部, 札幌(1982)
- Sharma, M.L., Estimating Evapotranspiration, in Advances in Irrigation 3, D. Hillel(ed.), 213-282, Academic Press, New York & Tokyo(1985)
- 塩谷未知, 田中 明, 蒸散係数の作物種間差, 土肥誌, 48, 402-405(1977)
- 田中 明, 山口淳一, 桑原真人, 蒸散係数による水稲の乾物生産におけるエネルギー効率の試算, 土肥誌, 41, 59-62(1970)
- Tanaka, A., Potential Yield of Upland Cropping Systems and Approaches to Its Expression, Proc. Int. Conf. Man. Fert. Upland Soils Trop. & Subtrop., 11-22, Nanjing(1986)

(受稿年月日 1993年12月23日)

シンポジウム

## 作物の水・酸素要求に対する土壌の供給力

長谷川 周 一\*

Evaluation of water and oxygen supply ability of soils to suffice the demands of crops.

Shuichi Hasegawa

Division of soil Science, National Institute of  
Agro-Environmental Sciences, Tsukuba, Ibaraki, Japan

### Summary

The lower and the upper limits of soil water content for plant growth were reviewed in terms of water and gas transmission in the soil. Plants can survive for about one month after a lot of rainfall by extracting water held in the soil, but plants exhaust soil oxygen within a few days if soil oxygen was not replenished by gas exchange between the soil and the ambient air. This is a distinct difference between soil water and soil air for plant growth. In case of water, both water potential and hydraulic conductivity are expressed as a function of soil water content, which enables to translate from the water potential to the hydraulic conductivity and *vice versa*. The lowest limit of soil water called wilting point corresponds to  $-1.5$  MPa for soil water potential or to a value of the order of  $10^{-11}$  cm/s for hydraulic conductivity, and this limitation was explained well by a single root model. The highest soil water content, which impedes respiration has been studied by use of air porosity, oxygen concentration, oxygen diffusion rate (ODR) or relative gas diffusion coefficient. Even though these studies have proposed critical values of root respiration such as 0.1 to 0.2 for air porosity, 0.1 for a critical oxygen concentration, 10 for a critical ODR and 0.005 for relative gas diffusion coefficient, we still have little knowledge of the relation among these physical factors.

Transpiration begins to decrease at soil water potential between  $-0.1$  and  $-1.0$  MPa and the uppermost layer in the field supplies the largest amount of water to roots by this time. It is important for research to confirm either water potential or hydraulic conductivity governs the break point of the potential transpiration. Under field conditions, water transmission ability of the soil should be evaluated by the amount of water above the break point in the surface soil.

Aa gas exchange is inevitable for soil aeration and air porosity is the easiest physical factor to be measured in the field, relative gas diffusion coefficient as a function of air porosity must be studied further. It is important for gas diffusion to evaluate the amount of isolated air filled pores at saturation and the reflection point or the bubbling pressure in the soil water characteristic curves.

**Keywords** : water potential, hydraulic conductivity, air porosity, gas diffusion coefficient, ODR.

(Soil Phys. Cond. Plant Growth, Jpn, 69,55-66, 1994)

### 1. はじめに

植物根は水を吸収するとともに呼吸によって酸素を消費する。通気が十分であれば水耕中で植物が正常に生育することは、土耕で使われる水分過剰は、有害物質の生

\*農業環境技術研究所 〒305 つくば市観音台3-1-1

キーワード：水ポテンシャル，透水係数，気相率，ガス拡散，ODR

成を除くと、酸素不足と言うことが出来る。したがって、土壌が持つ水と酸素の供給力とは、植物が正常な生育を維持するための土壌水分の上下限値を求めることにほかならない。そして、この上下限値の間の広い土壌ほど、高い評価が与えられる。植物の水吸収のみを対象とした場合、土壌水分の上限として圃場容水量が良く用いられる。圃場容水量は、その土地固有の保水を示す非常に優れた概念である。しかし、これからの議論では、土壌水分の上限を酸素供給の下限と位置付けることにする。

我々は今まで、水分率と気相率、土壌の水ポテンシャルと酸素濃度、透水係数とガス拡散係数等の因子を用いて、さらには移動モデルを適用して土壌の持つ水や酸素の供給力を評価して来た。本課題では、これらの研究過程を経て、供給力の評価にどの程度接近出来たのかを、水と酸素の類似性と相違点にも着目しながら振り返ってみる。また、土地の水と酸素の供給力について、現場での測定が容易な作土の水分率と気相率を用いて評価することについて考えてみる。

## 2. 植物の要求量と土壌中の水・酸素の存在量

土壌に含まれる水と酸素が植物の要求量を満たす期間は非常に異なる。黒ボク土を対象とした水とガスの研究<sup>1,2)</sup>をもとに植物の水と酸素要求に対する土壌の供給時間を試算してみる。表1に計算に必要な数値を示した。根群の深さはダイズ(タチナガハ)開花後期の深さ別根長測定より得た。根が吸収出来る水の量を表す有効水分量は、深さ80 cmまでの各層位における-6 kPaから-1.5 MPaの水分率の差をもとに計算した値である。水分消費型は仮定である。蒸発散速度は大き目の値を仮定した。乾燥時及び湿潤時の気相率は、約1ヶ月の干天後と数10 mmの降雨後3日目の深さ80 cmまでの含水比の実測により計算された平均値である。気相中の酸素濃度は大気中と同一の値とした。封入空気率はガス拡散係数がゼロの時にも土壌中に含まれている空気の割合で、

表-1 植物の要求量と土壌中の水・酸素の存在量

黒ボク土		ダイズ畑の例	
水		酸素	
根群深さ	80 cm	乾燥時の気相率	26%
有効水分量	20%	湿潤時の気相率	11%
水分消費型	4:3:2:1	封入空気率	6%
(全消費水分量 100 mm)		ダイズ畑呼吸量	21.6 g m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup>
蒸発散速度	5 mm d <sup>-1</sup>	裸地呼吸量	9.4 g m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup>
消費期間		消費期間	
20日		ダイズ畑	裸地
		湿潤時	0.6日
		乾燥時	2.2
			5.1

後述の相対ガス拡散係数と気相率との関係から得た。ダイズ畑及び裸地の呼吸量は、フィックの法則より求めた夏期の一日の平均値である。以上の数値を用いて土壌の供給時間を計算すると、土壌中に貯留された水は約3週間の作物の生育を保証する。実際には、乾燥に伴い深い層から根群に向かって水の補給が行われるため<sup>3)</sup>、計算で得られた値以上の長期の水供給が可能である。一方、深さ80 cmまでのダイズ畑の気相に貯えられた酸素は、湿潤時では1日未満、乾燥時においても3日未満ですべて消費つくされてしまう。乾燥時の裸地でさえ、5日で土壌中の酸素はなくなってしまふ。

水と酸素との比較から、土壌の供給力を評価する場合、水では土壌中に貯留されている有効水分量が重要で、酸素では土壌と大気とのガス交換速度が重要であることが理解出来る。

なお、表1から、ダイズ根の呼吸量をダイズ畑と裸地の差とみなし、実測のダイズ根長(11.4 km m<sup>-2</sup>)を用いて単位長さの根の酸素呼吸量を計算すると0.006 cm<sup>3</sup> cm<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>となる。同じく表1から計算される単位長さの根の吸水量は0.004 cm<sup>3</sup> cm d<sup>-1</sup>となる。体積的には酸素の吸収量が多いことがわかる。

## 3. 水と酸素の供給力の評価法

### (1) 水と酸素の評価法の類似点と相違点

表2に水と酸素の供給力の下限値を評価するときによく使われる因子を示す。両者とも、容量割合、強度、移動性という因子を持っている。水の場合は、水分率自体が供給力の対象となることはない。しかし、水ポテンシャル、透水係数とも水分率の函数として表現出来るので、土壌の供給力は強度と移動性とを関連づけながら考察されて来た。前節で述べたように、水の評価は土壌中の存在量であるため、強度、移動性の下限値は水分率で表現される。一方、酸素の場合には、気相率、酸素濃度、ガス拡散係数とも供給力の評価に用いられている。ガス拡散係数は気相率の関数として表現される。しかし、水の場合と異なって強度と移動性を関連づけながら酸素の供給力を評価する試みはなく、独立して研究が進められて来た。また、酸素の場合には、根の表面は水膜で覆われているという視点から、水に溶解した酸素をもとに供給力

表-2 土壌の水・酸素供給力

	容量割合		強度	移動性
	水分率	水ポテンシャル	水ポテンシャル	透水係数
水				
酸素	気体	気相率	濃度	拡散係数
	溶解	—	濃度	拡散係数

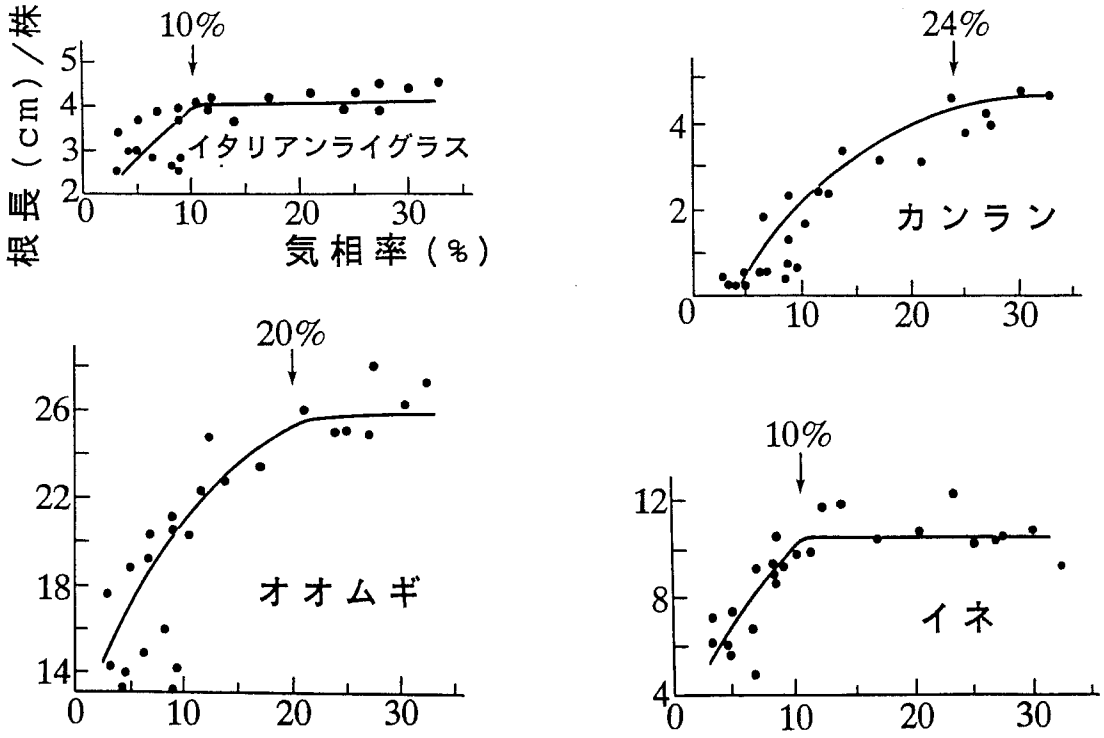


図-1 気相率と根の生育 (文献4より一部改変)

を考えると全く別の方法もある。この場合には濃度、拡散係数とも土壌水中の酸素濃度、酸素ガス拡散係数である。なお、黒ボク土の深さ80 cmまでの液相中に溶けている酸素の量は、地表面 1 m<sup>2</sup> 当たりせいぜい数グラムであり、根が1日に消費する酸素量の約半分である。

(2) 水分率と気相率

例えば、水分率が0.3(m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>)のとき、ある土壌では植物は正常に生育しても、異なる土壌では水分不足のこともあり得る。したがって、水分率は供給力の指標としては使えない。一方、酸素の場合には、気相率自体が供給力の限界値の指標として用いられることがある。森と小川<sup>9)</sup>は、根の伸長は気相率が10~24%以下で抑制されること(図1)、幸田<sup>9)</sup>は作物が正常に生育するためには、気相率が11~21%以上必要なことを示した(図2)。気相率に幅があるのは作物種による違いを示す。このような評価手法は、気相率が小さな値でも生育する作物の選抜に使うのに有効である。しかし、転換畑作における適正地下水位の実測例が土壌の種類によって大きく異なるように、作物の生育を保障する気相率は土壌によって当然異なるであろう。また、気相率を用いた場合、生育

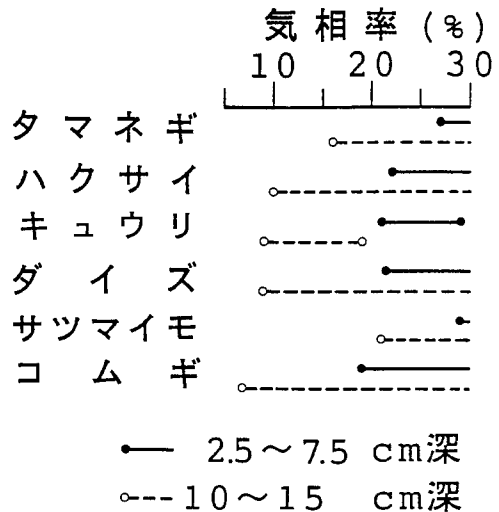


図-2 作物生育に適した気相率 (文献5より抜粋)

の障害がガス交換の速さで決定されるのか、気相中の酸素濃度によって決定されるのかが特定出来ず、水の供給状態を水分率で表現し得ないことと同一の限界を持っている。

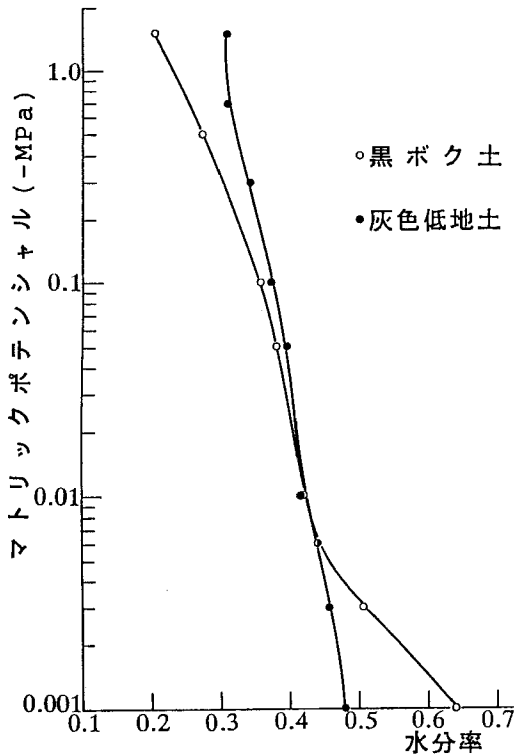


図-3 作土の水分特性曲線

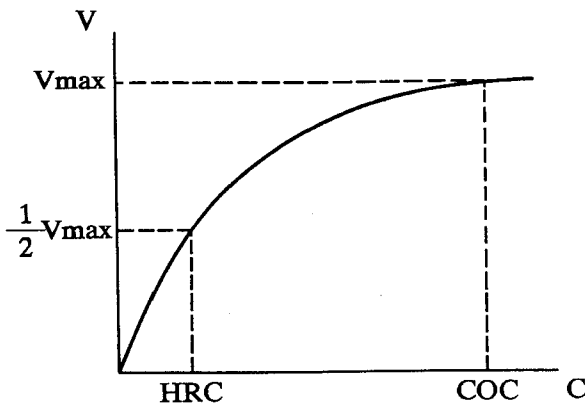
(3) 水ポテンシャルと酸素濃度

根の吸水が土壌と葉の水ポテンシャル差によって生じていることから、土壌の水ポテンシャルが供給力の指標として使われるようになってから約半世紀が過ぎた。最も良く使われているのはしおれ点である。土壌水分がしおれ点に近づくにつれ、根と土壌との水ポテンシャル差は小さくなっていき、水が動きにくくなる。しおれ点の水ポテンシャルは-1.5 MPaとされている。ある水ポテンシャルの土壌水分状態からしおれ点までに保持される水の量は水分特性曲線(図3)によって求めることが出来る。

酸素の場合は、水ポテンシャルに対応するのは酸素濃度であり、研究の蓄積があるのは気相の濃度である。根の呼吸は、酵素触媒反応として考えることが出来る。そのため、呼吸が低下し始めるときの酸素濃度である critical oxygen concentration (COC) とミハエリス定数に相当する、酸素吸収速度が最大値の1/2になったときの酸素濃度 (HRC) が良く調べられている(図4)。GlinskiとStepniewski<sup>6)</sup>は COC, HRCについて既往のデータを整理している。それによると、インタクトな根の場合、COCは0.1~0.2 (m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>), HRCは0.01~0.02の例が多いが、作物種、栽培条件、実験条件により大きな幅がある。Armstrong<sup>7)</sup>は、COCを求めることは価値のあることと認めながらも、実際の測定例は少なく、しかも切り取った根を対象とした測定が多いため、一般に信頼性は低いと述べている。また、気相における平均酸素濃度は、根が利用出来る酸素量の指標にならないという指摘<sup>8)</sup>もある。

(4) 透水係数とガス拡散係数

水や空気の移動が水ポテンシャル差、濃度差で生じるとき、その速度を規定する因子である透水係数やガス拡



$$V = V_{max} \frac{C}{HRC + C}$$

V : 呼吸速度

V<sub>max</sub> : 最大呼吸速度

C : 濃度

COC : critical 濃度

HRC :  $\frac{1}{2} V_{max}$  時の濃度

図-4 酵素触媒反応による根の酸素吸収の考え方

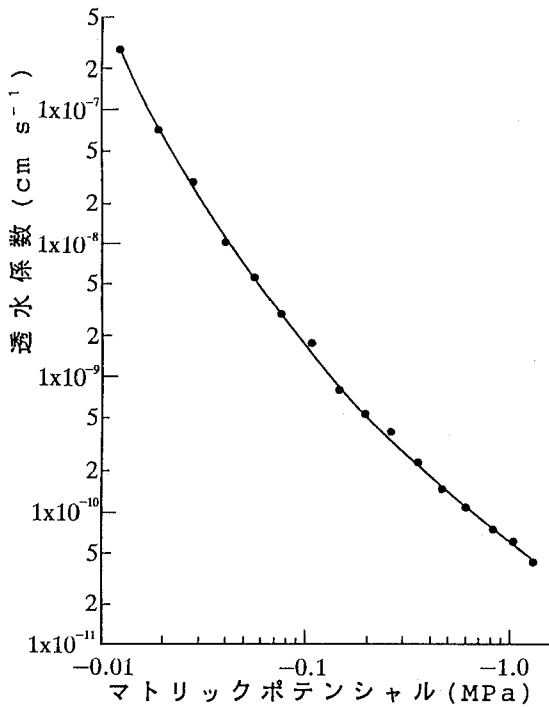


図-5 不飽和透水係数とマトリックポテンシャルとの関係 (LiC, 文献9より)

散係数も土壌の供給力の指標となり得る。透水係数は図5にみるように土壌の乾燥につれ低下する。いくつかの実測例をまとめたMolz<sup>10)</sup>によると、水ポテンシャルが-100 kPaから-1.0 MPaまで低下するにつれ、透水係数は $10^{-9}$  cm s<sup>-1</sup>のオーダーから $10^{-11}$  cm s<sup>-1</sup>のオーダーへと2オーダー変化する。透水係数は供給力の直接の指標としては使われず、水移動モデルの中でその寄与が考察されている。我が国の畑地灌漑の灌水点としては、しおれ点よりも湿潤側の生長阻害水分点を用いられており、水分恒数の1つともなっている。生長阻害水分点は、「根への水分移行速度が極端に衰えている水分状態」として定義されている<sup>11)</sup>。正確な測定法が確立しなかったという問題は残るものの、水の移動性に着目した点は評価出来る。生長阻害水分点は-50~-100kPaの水ポテンシャルに相当し、光合成や蒸散速度の低下が指摘されている<sup>12)</sup>。生長阻害水分点と類似の概念として毛管連絡切断含水量がある。この定義には液状水としての移動がこれ以上の乾燥では生じないという表現があるため、現在の土壌物理では受け入れ難い。

根の呼吸にとっては土壌と大気とのガス交換が不可欠であり、ガス拡散係数の大小は決定的な役割を担っている。図6にいくつかの土の相対ガス拡散係数と気相率との関係を示す<sup>13)</sup>。相対ガス拡散係数( $D/D_0$ )は、土壌中のガス拡散係数( $D$ )と大気中のガス拡散係数( $D_0=0.2$

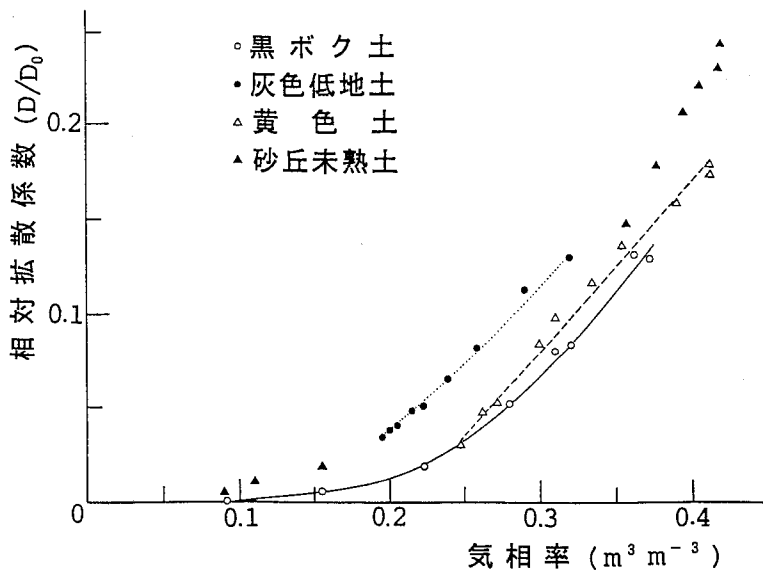


図-6 相対拡散係数と気相率との関係 (文献13より)

$\text{cm}^2/\text{s}$ )の比である。透水係数が植物の生育する水分領域内で水分の低下とともに数オーダー変化するに比べ、相対ガス拡散の変化幅は約2オーダーと小さい。植物の生育が抑制される相対ガス拡散係数としては、トマト、ライグラスでは0.005<sup>14,15)</sup>、トウモロコシでは0.02<sup>16)</sup>という値が提案されている。ダイズとトウモロコシを用いた栽培実験から、遅沢は、 $D/D_0$ の下限値は出芽期では0.02以上、幼植物以後は0.005以上が必要であるという結果を得ている<sup>2)</sup>。相対拡散係数と気相率との関係は土壌によって異なり、 $D/D_0=0.005$ に対応する気相率は、黒ボク土では16%と大きく、黄色土では13%、灰色低地土では9.6%と小さい。

#### 4. 水と酸素の移動モデル

水と酸素の移動モデルは2通りの方法で展開されてきた。一つは個々の根を対象としたマイクロモデルで、他は根を含む土の体積を対象としたマクロモデルである。移動の基本式は水ではダルシー則であり、酸素ではフィックの法則である。以下にマイクロモデルとマクロモデルに分け、水と酸素の移動を並列的に議論していく。

##### (1) ミクロモデル

水ではポテンシャルと透水係数を、酸素では濃度と酸素拡散係数を用いることにより、マイクロモデルは図7に示すように全く同一の形で表現される。ただし、ここでのガス拡散は根の表面の水膜中の拡散を考えている。マイクロモデルの水移動では、土壌中と植物体中の水移動

の難易は、土と根及び根と葉の水ポテンシャル差により評価されてきた。Newman<sup>17)</sup>は、しおれ点近くまでは、土壌中の水移動は土壌-植物の水移動に障害を与えないと結論し、その後の研究はほぼこの結論を支持している<sup>18,19)</sup>。実際に、マイクロモデルを使って試算してみると、透水係数が $10^{-9} \text{ cm s}^{-1}$  ( $-100 \text{ kPa}$ の水ポテンシャルにはほぼ相当)では $\phi_s - \phi_r$ は数kPa程度であること、透水係数が $10^{-11} \text{ cm s}^{-1}$  ( $-1.0 \sim -1.5 \text{ MPa}$ の水ポテンシャルに相当)になると $\phi_s - \phi_r$ は根と葉の水ポテンシャル差と同程度となることからわかる<sup>20)</sup>。しかし、一方では、マイクロモデルは、対象が小さ過ぎて実験的な検討が出来ないこと、水耕と異なり、土壌中では、乾燥するにつれ根と土壌水との接触面積が減少すること<sup>21)</sup>、畑では、モデルより高水分でホストレスを受けること<sup>22)</sup>などが指摘されている。水のマイクロモデルは、根の吸水機構の理解には役立ったが<sup>23)</sup>、その限界も明らかとなった。

酸素のマイクロモデルは水膜の厚さや酸素濃度を決定出来ないなど、水の場合より概念的なものである。しかし、酸素拡散速度(ODR)測定法の物理的根拠を与えるものとして使われている。根に見立てた細い白金電極を土壌中に挿入し、ある範囲の電圧を与えると酸素は白金電極で還元され、還元速度に比例した電圧に無関係な電流が流れる。ODRの原理は、この還元速度は水膜中の酸素の拡散速度に等しいという視点にたっている。したがって、ODRはマイクロモデルと還元速度の2つの式を用いて以下のように展開される<sup>24)</sup>。図7の単位長さ当たりの

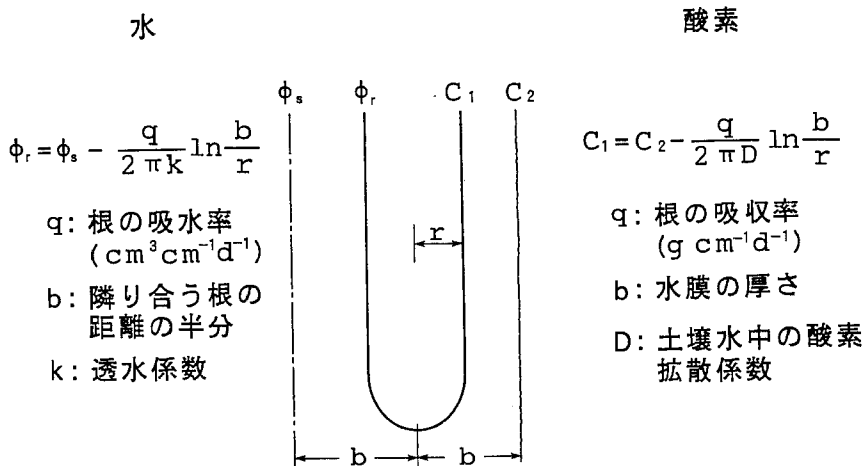


図-7 水移動・ガス拡散のマイクロモデル



酸素吸収速度を単位面積当たりの吸収速度  $f_a$  で表示すると  $q = f_a \cdot 2\pi r$  となり、なおかつ、根の表面で酸素濃度がゼロ ( $C_i = 0$ ) とすると、マイクロモデルによる拡散の式は次のように変形される。

$$f_a = \frac{C_2 D}{r (\ln b - \ln r)} \quad (1)$$

すなわちこれが ODR である。一方還元速度に比例する電流は

$$i = \alpha A f_r \quad (2)$$

で与えられる。 $\alpha$  は定数、 $A$  は電極の表面積である。還元速度 ( $f_r$ ) と吸収速度 ( $f_a$ ) を等しいと置くと

$$\text{ODR} = \frac{i}{\alpha A} = \frac{C_2 D}{r (\ln b - \ln r)} \quad (3)$$

実際の ODR の測定に際しては、単位の変換等があるので、 $\alpha$  の詳細は実験書等を参照する必要がある。(3) 式の重要性は、ODR がマイクロモデルから展開出来るという物理的な根拠を与えていることである。しかし、ODR には根の表面の酸素濃度はゼロという仮定の妥当性に加え、水膜の厚さ、土壌水中の拡散係数など、他の方法では検討出来ない項を含んでいる。したがって、ODR は絶対的なものではなく、根の呼吸という動的な側面にとって有意義な情報を与える数値と理解すべきであろう。

図 8 は、ODR と出芽率の関係を Glinski と stepniewski がまとめたものである<sup>6)</sup>。ODR が 40 以下になると出芽率が低下する。我が国の測定例は多くないが、安田<sup>26)</sup>はイ

ソゲンの生育は ODR が 40 以上であることが好ましく、10 前後では乾物生産が著しく劣ることを指摘している。また、土壌物理性測定法では図 8 の右側のようにまとめている<sup>26)</sup>。遅沢らは、強グライ土を除き、ODR = 20 は  $D/D_0 = 0.02$  に相当するという結果を得ている<sup>27)</sup>。異なる測定法による酸素供給力の比較を可能にする貴重なデータである。

(2) マクロモデル

水移動のマクロモデルは鉛直方向を  $Z$  とすると次式で与えられる

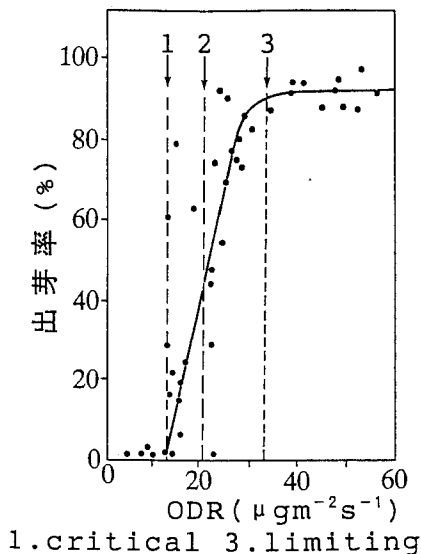
$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial Z} \left( k \left( \frac{\partial \phi_s}{\partial Z} + 1 \right) \right) - s \quad (4)$$

この式は、ある深さの水分率 ( $\theta$ ) の時間変化は、右辺第 1 項のマトリックポテンシャル勾配による水移動と右辺第 2 項の根の吸水によって変化することを示している。吸水項としては様々な式が提案されているが、その多くは根の吸水は土壌との水ポテンシャル差によるという概念を利用している。

$$s = \frac{\phi_s - \phi_p}{R_s + R_p} \quad (5)$$

ここで、 $\phi_s$  は植物の水ポテンシャル、 $R_s$ 、 $R_p$  は土壌及び植物中を水が流れるときに発生する流動抵抗である。この式は Hillel が用いた式である<sup>28)</sup>。また、経験的に次のような式も提案されている<sup>29)</sup>。

$$s = -\frac{1.6}{L^2} T Z + \frac{1.8}{L} T \quad (6)$$



ODR	作物生育
10 以下	枯死しないしは著しく阻害
10 ~ 20	相当の阻害
20 ~ 30	かなりの影響
30 ~ 40	ほぼ良好
40 以上	好適である

図-8 ODRの値 (左:文献6より, 右:文献26より)

ここで、 $L$ は根群の深さ、 $T$ は蒸散量である。この式では根群を四等分したとき、土層別吸水量が4:3:2:1となる。水移動のマクロモデルは、根系分布を持った植物の水分吸収型を説明するのには有効であり、また、根系分布、根の伸長や枯死、蒸散強度が深さ方向の水分吸収型に及ぼす影響を考察するために利用された<sup>30,31)</sup>。しかし、吸水項として(5)式のようなポテンシャルを用いるモデルでは、 $R_p$ や $R_s$ をあらかじめ別な方法で決定するのが困難なこと、ある作物、土壌条件で得られた $R_p$ 、 $R_s$ を他の条件に適用してうまくいく場合がほとんどないことが知られている<sup>32)</sup>。 $\phi_s - \theta$ 、 $k - \phi_s$ の関係が異なる土壌をマクロモデルに入力すると、土壌の水供給力を評価するが、それは相対的なものである。したがって、マクロモデルの評価は期待した程にはあがっていない。

マクロモデルによる酸素の拡散は次式によって表される。

$$a \frac{\partial C_g}{\partial t} = D_g \frac{\partial^2 C_g}{\partial Z^2} + r_g \quad (7)$$

ここで、 $a$ は気相率、 $C_g$ は土壌空気中の酸素濃度、 $D_g$ は土壌空気中の拡散係数、 $r_g$ は酸素消費率である。(7)式の物理的意味は、ある深さの酸素量の時間的変化は、拡散によってこの深さを出入りした酸素量の差と、根や微生物の呼吸によって失われた酸素量に等しいということである。一般に土壌中のガスの拡散は迅速に行われるため、ガス拡散の問題は定常状態として解かれる場合が多い<sup>33)</sup>。土壌の酸素供給力は、ODRは別としても、濃度とガス拡散係数によって別々に検討された。そこで、マクロモデルを用い、濃度とガス拡散係数の関係を検討してみる。計算に用いた方程式は、(7)式左辺をゼロとした定常状態の式である。境界条件としては、地表面の酸素濃度は大気中の濃度に等しい、作土下端を横切って酸素の流れは生じないとした。2番目の条件は、土壌の酸素供給力は過湿条件で問題となることから、作土直下に地下水面がある、又は作土直下は依然として水で飽和しているという状態に相当する。また、酸素の消費は作土層に様に分布した根の呼吸と微生物による消費の和とし、その値は表1のダイズ畑呼吸量とした。作土の深さは20cmである。定常状態の解は次式で与えられる。

$$\frac{C_g(z)}{C_0} = 1 + \frac{r_g L^2}{C_0 D_g} \left( \frac{1}{2} \left( \frac{z}{L} \right)^2 + \frac{z}{L} \right) \quad -L < z < 0 \quad (8)$$

ここで、 $Z$ は深さ、 $L$ は作土の厚さ、 $C_0$ は大気中の酸素濃度である。(8)式は、土壌のガス拡散係数が決まれば、深さ方向の酸素濃度分布は一義的に決定されることを示している。相対ガス拡散係数の下限値として採用されて

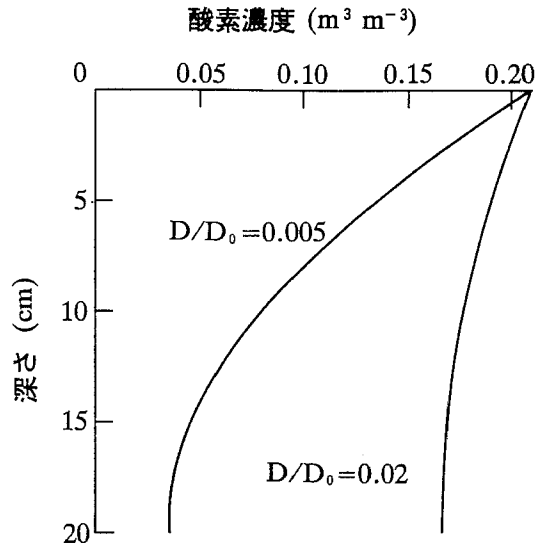


図-9 相対ガス拡散係数と酸素濃度

いる $D/D_0=0.02$ と $0.005$ の時の酸素濃度分布を図9に示す。 $D/D_0=0.02$ の時は酸素濃度は15%以上に維持され、平均値では18%となる。一方、 $D/D_0=0.005$ の場合、作土下端(20cm)では酸素濃度は3.5%まで低下し、平均値も9.3%と大気濃度の半分以下となる。前述のように酸素濃度を指標とした供給力は、作物や方法によって大きく異なり十分評価出来る段階にないが、酸素供給に対する相対拡散係数と酸素濃度の関係が検討されることが望まれる。このような場合にこそ、マクロモデルはその機能を発揮すると考えられる。

以上のように、移動モデルは水や酸素の吸収機構を説明したが、モデルをより厳密に考えていくと未知のパラメータが増え、結局汎用性を持たないモデルとなる宿命を持っている。根の吸水モデルにはこの10年間、めざましい進展はない。複雑なモデルに頼るよりも、信頼性、再現性の高い実験にもとづく単純なモデルの開発が必要とされる。

## 5. 水の供給力からみた土地の評価

土壌の水供給力の下限値であるしおれ点は、水ポテンシャルが $-1.5$  MPa、透水係数が $10^{-11}$  cm s<sup>-1</sup>に相当することが、ポテンシャルと移動の両者からはほぼはっきりした。しかし、作物を生産する場合、しおれ以前の、蒸散量や光合成が維持出来る土壌水分量の評価も重要な意味を持つ。生長阻害水分点はこの点で有効な指標と考えられるが、土壌物理からの評価は未だ不十分である。一

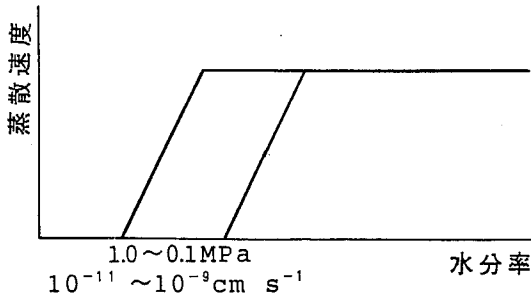


図-10 蒸散速度と水分率との関係

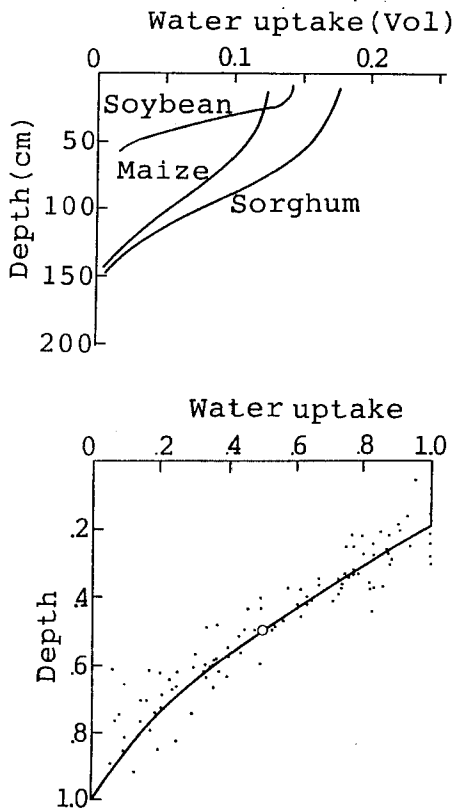


図-11 根系分布のある場合の吸水パターンとその規格化 (文献35より改変)

方、植物は根系分布を持ち、一般に浅層から多くの水を吸収し、深層に吸水可能な水分を残したまま蒸散量は低下していく。したがって、土壌の水供給をさらに進めて考える場合には、蒸散速度の低下を規定する土壌物理

要因の明確化と根系分布の取り扱いが大切となってくる。

土壌水分と蒸散速度との関係を見ると、土壌水分が十分にあるときには、蒸散速度は光強度、大気温湿度等の外的要因に支配され(ポテンシャル蒸散)、ある水分以下では土壌側の要因の制限を受けて図10に示すようにほぼ直線的に低下する。蒸散速度が低下し始めるときの水分は、良く知られているように、外的要因の強度(external evaporativity)に依存するが<sup>30)</sup>、多くの栽培試験から、土壌の水ポテンシャルが $-0.1 \sim -1.0$  MPaの範囲に入っている<sup>35)</sup>。培地に水が十分ある条件下でも、土壌と根の水ポテンシャルには数100 kPaの差があること、葉の気孔は $-1.2 \sim -1.6$  MPaで閉じること<sup>36)</sup>を考慮すると、土壌の水ポテンシャルが蒸散速度の低下の支配的要因と考えることが出来る。一方、土壌の透水係数が $-0.1$  MPaから $-1.0$  MPaの間で約2オーダー低下することを考慮すると、土壌中の水移動が蒸散速度の低下の鍵を握っていると考えることも出来る。

蒸散速度が低下する要因が特定されたとしても、畑では根系分布があるため、どこまでの深さを対象にして供給力の評価をすべきかという問題が残る。Gardnerは、蒸散速度が低下し始めるときの土壌水分分布について既往の研究をまとめた<sup>35)</sup>。図11の上の図はその例である。作物、気象、土壌にくわえ施肥等の栽培条件によって土壌水分分布は異なる。そこでGardnerは、全吸水量の50%に相当する深さを0.5とし、また、最上層(25cm)の吸水量を1として規格すると、上の図の吸水パターンは、下の図のようにほぼ同様の吸水パターンとなることを示した。深さ0.2の吸水量を1、深さ0.8の吸水量を0として直線を引くと、0.2ごとの消費水量は40,33,20,7%となる。これは古くから、深さ1フィートまでに全体の40%の水が消費され、1フィート深くなるごと30,20,10%となるという経験<sup>37)</sup>とほぼ一致する。また、根群域を4等分したときの吸水パターン<sup>38)</sup>や前述の経験則にもとづいたMolzの吸水項とも一致する。我が国では、降雨が頻繁にあるため、図11の上の図のような吸水パターンを得るのは容易ではない。また、湿潤地域の我が国では畑作物の根系分布は浅いと言われるものの、根長分布に関するデータは非常に少ない。一方、我が国の畑地灌漑では、有効土層内で水分消費に最も支配的な役割を果たし、その層の水分状態が生育等に強く影響を与える層を制限土層と呼んでいる。そして多くの場合、作土が制限土層となる。このように、Gardnerのまとめと我が国の経験をもとにすれば、土壌の水供給力の限界は表層から生じていくことは明らかであり、限界値の評価は作土を対象とすれば良いであろう。

植物の水要求に対する土壌の供給力の評価に、“簡単

な”という修飾語を付ければ、作土の $-0.1$  MPa水分量が基準となる。もちろん研究面では、蒸散の低下が水ポテンシャルで規定されるのか、移動性で規定されるのかを明確にする必要がある。一方、蒸散が低下してから枯死するまでの土壌の水供給力の評価は生存という面で重要である。この場合は、作土の有効水分の多くは消費され、心土に最大吸水部位が移行するため、心土の水供給の役割の評価が大切となる。心土は人為的攪乱を受けないため、根の伸長、発達は土壌の硬さ、孔隙構造の影響を受け<sup>39)</sup>、根の分布が局所的になっていることが多い。このような不均一に発達した根においては、均一に発達した根系と比べ、土から根までの水移動距離が長い<sup>40)</sup>ため、土壌中の水移動が吸水の阻害要因となり易い<sup>40)</sup>。また、根群土壌が乾くにつれ、より深い層から根群に向かって毛管水が補給されるが、定量化手法が確立しているとは言いがたい。生存のための水供給力の評価には、このような面からの研究の発展が必要である。

## 6. 酸素の供給力から見た土地の評価

酸素の場合は水と異なり、大気から土壌へのガス交換が保証される必要がある。この点からすると、降雨後の地表湛水排除時間は大きな意味を持っている。畑、汎用農地では、湛水が24時間以内で排除されれば十分であると考えられる。酸素の供給力の評価は、今までみてきたように因子間の関連性は強調されて来なかったため、相互の読み替えは不十分である。そこで、最も測定が容易な気相率を変数として、気相率の函数で表現出来るガス

拡散係数に限界値を求めるのが妥当と考えられる。対象とする深さは、水の場合と同様に作土である。図6に示したように、 $D/D_0$ が小さい領域では気相率の差は少なくない。酸素の拡散には気相の連続が不可欠であるため、限界負圧(空気侵入値)を超えたところの $D/D_0$ が意味を持っている可能性が高い。また、GrableとSiemer<sup>41)</sup>は水分特性曲線の変曲点を境に $D/D_0$ は値を持つと述べており、これらの点についての研究が望まれる(図12)。我々は土壌の三相比をしばしば測定するが、毛管飽和状態での程度孤立した気相(封入空気)が含まれているのかをあまり注目して来なかった。単純で基本的なこのようなデータは、ガス拡散開始点の気相率の評価につながる<sup>42)</sup>と考えられる。さらに、ガス拡散係数下限値の作物間差の検討、ODRと気相率との関係も研究としては検討していかねばならない。最後に、水と酸素の下限値について表3にまとめておく。

表-3 土壌の水・酸素供給力の限界

	容量割合	強度	移動性
水	生育	$-0.1$ MPa	$10^{-9}$ cm/s
	生存	$-1.5$ MPa	$10^{-11}$ cm/s
酸素	気体	COC=10% HRC= 2%	$D/D_0=0.005$
	溶解	?	ODR=10

## 7. おわりに

水・酸素の供給力とも、移動モデルによって評価する

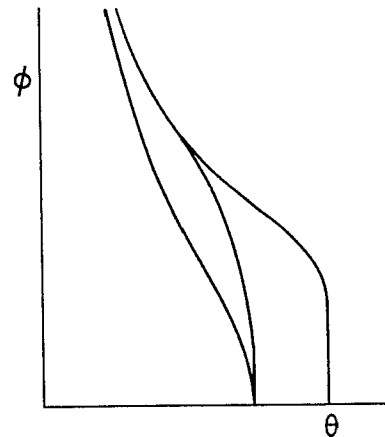
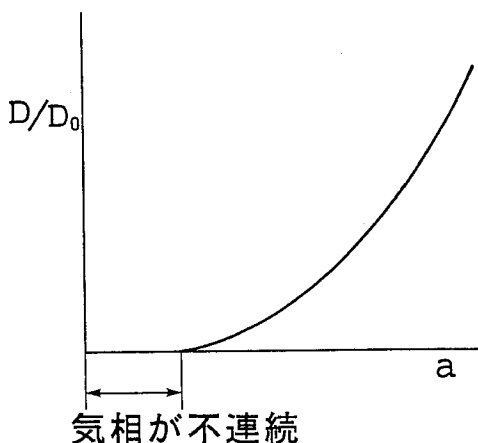


図-12 土壌中のガス拡散と気相率との関係

方向に進んだ。しかしながら、土壌-植物系の複雑さにくわえ、気象要素が関与することから、モデルも複雑となり、その適用性の限界も明らかとなった。より単純化した汎用性のあるモデルの構築は一方では進めなければならない。しかしながら、土壌の供給力の評価は今まで述べて来たように、再び量的、質的な変数をもとに考えていかざるを得ないのが現状である。これは、研究の進歩に対して逆行しているのかどうか改めて考えてみる必要がある。

### 謝辞

本原稿をまとめるにあたり、四国農業試験場の遅沢省子氏からガス拡散係数に関するデータの提供と貴重な助言を得た。記して謝意を表します。

### 引用文献

- 1) 長谷川周一：転換畑土壌中の水分移動、土壌の物理性, 53, 13~19 (1986)
- 2) 遅沢省子：土壌中のガスの拡散測定法とその応用に関する研究, 学位論文, 京都大学 (1994)
- 3) Hasegawa, S., S. Osozawa and H. Ueno: Measurement of soil water flux in Andisols at a depth below a root zone of about 1m, *Soil Sci. Plant Nutr.*, 40, 137~147 (1994)
- 4) 森哲郎, 小川和夫：土壌の物理的要因と作物の生育に関する研究, *東海近畿農試験報*, 16, 77~104 (1967)
- 5) 幸田浩俊：野菜類と普通作物による低湿地帯の田畑輪換栽培に関する研究, *茨城県農試験報*, 22, 25~63 (1983)
- 6) Glinski, J. and W. Stepniewski: Soil aeration and its role for plants, CRC Press, Inc., Boca Raton, FL. (1985)
- 7) Armstrong, W. and T.J. Gaynard: The critical oxygen pressures for respiration in intact plants, *Physiol. Plant.* 37, 200~206 (1976)
- 8) Russel, R.C.: 田中典幸訳, 作物の根系と土壌, P.257, 農文協 (1981)
- 9) Hasegawa, S., F.T. Parao and S. Yoshida: Root development and water uptake under field condition, Saturday seminar, Feb. 24, IRRI (1979)
- 10) Molz, F.J.: Potential distribution in the soil-root system, *Agron. J.*, 67, 726~729 (1975)
- 11) 農業土木標準用語事典：農業土木学会 (1992)
- 12) 鴨田福也, 坂田公男, 伴義之：干ばつ時における限界灌水量に関する研究, 防災科学技術総合研究報告, 34, 47~60 (1974)
- 13) 遅沢省子：土壌ガス拡散係数測定と土壌診断, 土壌の物理性, 55, 53~60 (1987)
- 14) Lemon, E.R. and A.E. Erickson: The measurement of oxygen diffusion in soil with a platinum microelectrode, *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 16, 160~163 (1952)
- 15) Gradwell, M.W.: Soil physical conditions of winter and the growth of ryegrass plant, *N.Z.J. Agric. Res.* 8, 238~269 (1965)
- 16) Bertrand, A.R. and H. Kohnke: Subsoil conditions and their effects on oxygen supply and growth of corn roots. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 21, 135~140 (1957)
- 17) Newman, E.I.: Resistance to water flow in soil and plant I. Soil resistance in relation to amount of root: theoretical estimates, *J. Appl. Ecol.* 6, 1~12 (1969)
- 18) Lawlor, D.W.: Growth and water use of *lolium perenne* I. Water transport, *J. Appl. Ecol.*, 9, 79~98 (1972)
- 19) Reicosky, D.C. and J.T. Ritchie: Relative importance of soil resistance and plant resistance in root water absorption, *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 40, 293~297 (1976)
- 20) 長谷川周一：土壌中の水移動と根の吸水, 移動現象 PP.11~40, 博友社 (1987)
- 21) Tinker, P.B.: Transport of water to plant roots in soil, *Phil. Trans. R. Soc. Lond. B.*, 273, 445~461 (1976)
- 22) Zur, B., J.W. Jones, K.J. Boote and L.C. Hammonds: Total resistance to water flow in field soybeans: II. Limiting soil moisture, *Agron. J.*, 74, 99~105 (1982)
- 23) McCoy, E.L., L.Boersma, M.L. Unga and S. Akranakul: Toward understanding soil water uptake by plant roots, *Soil Sci.*, 172, 67~77 (1984)
- 24) Phene, C.J.: Oxygen electrode measurement, *In* Method of soil analysis, part 1. Physical and mineralogical methods, Agronomy monograph no.9, 1137~1159, Am. Soc. Agron., Madison, WI. (1986)
- 25) 安田環：土壌空気に関する研究, *日土肥誌*, 43, 223~230 (1970)

- 26) 土壌物理性測定法：土壌空気, PP.255~277, 土壌物理性測定法委員会編, 養賢堂 (1972)
- 27) 遅沢省子・小財伸・久保田徹：「根生育非制限有効水分域」による熊本県主要土壌の物理的評価, 土壌の物理性, 60, 6~14 (1990)
- 28) Hillel, D., H. Talpaz and H.V. Keulen : A macroscopic-scale model of water uptake by a nonuniform root system and of water and salt movement in the soil profile, *Soil Sci.*, 121, 242~255 (1976)
- 29) Molz, F.J. and I. Remson : Extraction term models of soil moisture use by transpiring plants, *Water Resour. Res.* 6, 1346~1356 (1970)
- 30) 石田朋靖・中野政詩：土壌~植物~大気系における土壌水分消費の動態, 農土論集, 91, 26~34 (1981)
- 31) Hillel, D. and H. Talpaz : Simulation of root growth and its effect on the pattern of soil water uptake by a nonuniform root system, *Soil Sci.*, 121, 307~312 (1976)
- 32) Rendig, V.V. and H.M. Taylor : Principles of soil-plant interrelationships, PP.117~139, McGraw-Hill, Inc. (1989)
- 33) Jury, W.A., W.R. Gardner and W.H. Gardner : Soil physics fifth edition, John Wiley & Sons, Inc. (1991)
- 34) Denmead, O.T. and R.H. Shaw : Availability of soil water to plants as affected by soil moisture content and meteorological conditions, *Agron. J.* 54, 385~390 (1962)
- 35) Gardner, W.R. : Soil properties and efficient water use : An overview. *In* : H.M. Taylor, W.R. Jordan and T.R. Sinclair (eds.), Limitations of efficient water use in crop production, PP.45~64, Am. Soc. Agron., Madison, WI. (1983)
- 36) Hsiao, T.C. and K.J. Bradford : Physiological consequences of cellular water deficit : *ibid.* PP.227~265
- 37) Israelsen, O.W. and V.E. Hansen : Irrigation principles and practices, John Wiley & Sons, Inc. (1962)
- 38) Hasegawa, S. and S. Yoshida : Water uptake by dryland rice root system during soil drying cycle, *Soil Sci. Plant Nutr.* 28, 191~204 (1982)
- 39) Hatano, R., K. Iwanaga, H. Okajima and T. Sakuma : Relationship between the distribution of soil macropores and root elongation, *Soil Sci. Plant Nutr.*, 34, 535~546 (1988)
- 40) Tardieu, F., L. Bruckler and F. Lafolie : Root clumpling may affect the root water potential and the resistance to soil-root water transport, *Plant and Soil*, 140, 291~301 (1992)
- 41) Grable, A.R. and E.G. Siemer : Effects of bulk density, aggregate size, and soil water suction on oxygen diffusion, redox potentials, and elongation of corn roots, *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 32, 180~186 (1966)

(受稿年月日 1993年12月9日)

シンポジウム

## 作物の養分要求に対する土壌の供給能

伊藤 純 雄\*

### Nutrient Supply Ability of Soil in Relation with Plant Demand

Sumio Itoh

Hokkaido National Agricultural Experiment Station

#### Summary

Even though nutrient supply ability of soil has been estimated using extraction method, roots can not absorb nutrients before they reach root surfaces. Soil physics, plant demand and other environmental conditions must be taken into account to evaluate nutrient supply ability of soil.

Micro model that was used by Nye and extended by Barber et al., made considerable contribution in the area. But still now, there are some problems that hinders effective utilization of those models. Elongation and development reaction of roots in relation with physical or nutritional conditions of soil, activity of root hair and mycorrhizae, effect of root-induced changes of rooting zone. These are the examples of the hindrances.

A macro model that was developed by the author deals behaviours of nitrogen in a paddy soil including mineralization, organization, leaching, denitrification, fertilization, temperature of the soil, absorption by rice plant, development and production of the plant, etc. The model gave some good estimations of experimental outcomes. Many interesting results were obtained by simulation.

Utilization of this or other macro models along with micro models will be practical in the area of evaluation of nutrient supply ability and ways of soil management.

**Key Words :** Nutrient Supply Ability, Model, Simulation, Paddy Soil, Nitrogen

(Soil Phys. Cond. Plant Growth, Jpn, 69,67-73, 1994)

#### 1. はじめに

従来、土壌の養分供給能は、いわゆる“可給態”の養分がどれだけあるかによって、具体的には、土壌を試薬溶液と反応させた場合に抽出される養分の量によって判定することが多かった。養分供給能に関するこれまでの論議は、どの抽出法を選ぶか、抽出液組成をどう改めるかが主体で、土壌中の養分が根と遭遇するまでの環境や時間的・空間的な経緯には、ほとんど注意が向けられなかった。

しかし土壌中の養分は、根の表面に移動してから吸収される。移動しにくい養分は、土の中にあっても吸収さ

れない可能性がある。根が密に分布していれば、根に到達する養分量が多くなるだろう。従って、試薬で抽出できる養分量だけに注目して土壌の養分供給能を判定しようとする考え方は、不十分であると言わなければならない。

図-1は作物が養分を吸収する環境を表わす概念図である。作物が養分を吸収するには、土壌中に養分が存在しなければならぬが、それだけでは不十分であって、土壌から根までの間を養分が移動する必要がある。また養分が移動して吸収されるためには、適当な温度、水分、通気など、それを支える土台となる環境が必要である。

\*北海道農業試験場

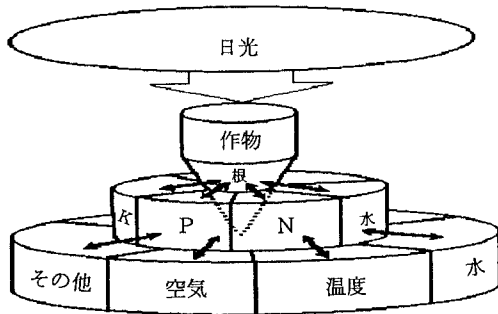


図-1 作物の生産環境の概念図

さらに、環境を大きく支配し、また作物生産の根源としての光合成を支配する日射が、これらすべての要因に間接的な影響を与える。

本報では、土壌の養分供給能を考える枠組みとして図-1の概念に基づいて、根の周りの養分のミクロな動きを扱うモデルの課題と、全体を考え入れたマクロなモデルの開発事例をとりあげて、作物の養分要求に対する土壌の供給能解析の現状について述べる。

## 2. ミクロモデルの成果とその限界

### 1) Nyeらのモデル

Nyeらは<sup>1)</sup>、根を無限に続く円筒の一部として扱うことにより、一本の根の周りの養分の移動を数値モデルとして表した。リン酸やカリウムの吸収は土壌溶液中の養分濃度、土壌の緩衝力、土壌水分と共に増加する。作物の養分吸収力の大小は、土壌中での拡散が制限要因になって、養分吸収量に反映されない場合がある。根は細いほうが効率的な養分吸収に向いているなど、土壌の養分供給と作物の養分吸収の基本的な関係について重要な指摘がなされた。

作物への養分供給を決めているのは、土壌のいわゆる“可給態”養分の量だけではないことが、養分の移動過程を解析することによって、明らかにされたのである。

しかし、Nyeらの報告は抽象的で、作物の養分吸収量を具体的に示すものではない。

### 2) Barberらのモデル

BarberとClaassenは<sup>2)</sup>、Nyeらのモデルに根の成長を付け加えた。これによってモデルは、特定の作物-土壌系における養分供給の経過や量を、具体的な数値として示すことができるようになった。

モデルを走らせるのに必要なパラメータは、以下のよ

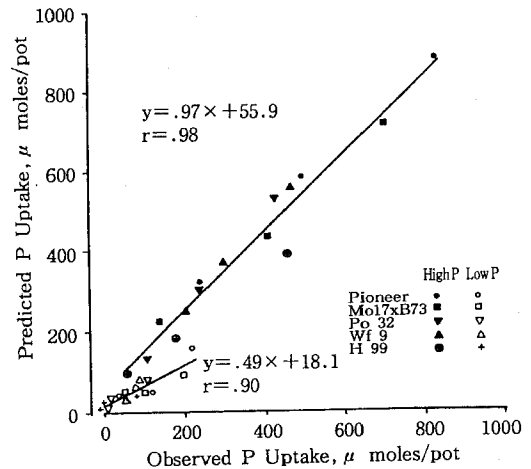


図-2 Barber・Claassenモデルによるりん酸吸収の推定

うにして求める。拡散係数は、該当する養分の水における拡散係数と土壌の冗長度、緩衝力、容積水分率から求める。緩衝力は、該当養分の土壌溶液中の濃度の変化に対する土壌のバッファー能を示す値である。土壌溶液中の養分濃度は、土壌溶液を採取して分析する。水の吸収速度は、作物の蒸散量を根の長さで割った値である。養分吸収の最大速度、最低濃度、ミハエリス定数は、水耕栽培した作物について実験的に求める。根の半径、根の長さの初期値、成長速度は、実際に対象とする実験系について根をサンプリングして求める。隣り合う根までの平均距離は、根の密度から計算する。

### 3) Barberらのモデルの適合性

Barberのグループはこのモデルを使って大量の報告をし、その多くにおいて、推定値と実測値がかなりよく一致したと述べている。

図-2はその一例で<sup>3)</sup>、5品種のトウモロコシが実際に吸収したりん酸を、モデルによって求めたりん酸吸収量と比較している。りん酸肥沃度が比較的高い土壌で得られたデータ(ぬり潰した点)は、推定値と実測値がほぼ一致している。一方、りん酸肥沃度が低い土壌について得られたデータ(ぬり潰してない点)は、推定値が明らかに実測値を下回っている。

このように、りん酸肥沃度がある程度高い土壌では、モデルによる推定値が実測値とよく一致するが、りん酸肥沃度が低い場合には推定値が実測値を下回る傾向を示すことは、Barber・Claassenのモデルで一般的に認められる傾向である。この問題については後で述べる。



## 4) 感度分析

Barberらはこのモデルを前提にして、個々の要因が養分吸収量に及ぼす影響を計る感度分析を行なった。

図-3はその一例で<sup>9)</sup>、ダイズのりん酸吸収について行った感度分析の結果である。個々の要因の値を0.5倍から2倍に変化させた場合に、養分吸収量がどれだけ変化するかを表している。影響が大きいのは根の密度、土壌溶液中のりん酸の濃度、根の太さ、次いで土壌の緩衝力などである。根のりん酸吸収能の大小などはほとんど吸収量に反映されない。拡散係数の影響は要因の中で4番目だが、拡散係数の違いは主として土壌水分の違いに起因するので、土壌水分の影響も大きいと言える。

## 5) ミクロモデルの課題と限界

ミクロモデルは大きな成果をあげたが、根の成長、根毛などの働き、根からの分泌物など、いくつかの課題が残されている。

## (a) 根の成長

Barberらは、根の生長量や形態をサンプリングして測定し、予件としてモデルに与えているだけで、この重要な要因がどのようにして決まるかについては何も言及しない。

もともと作物の生育量と根の量、養分吸収量はそれぞれ比例関係がある。根が多いとりん酸吸収量が多いのは、当たり前とも言える。モデルによる推定値が実測値に適合したことが、因果関係を証明したことにはならない

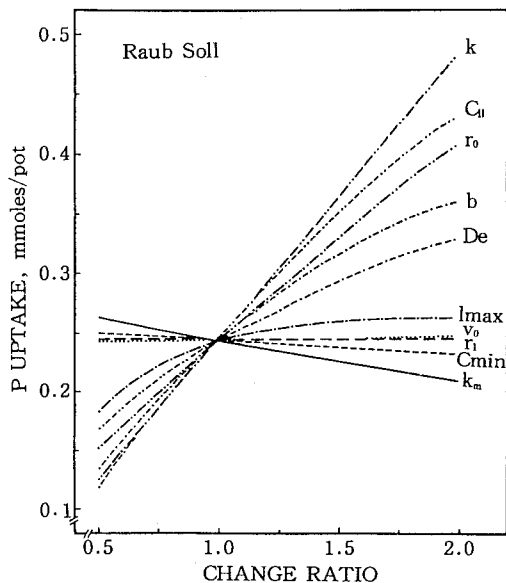


図-3 Barber・Claassenモデルによる感度分析

点に留意する必要がある。

この問題に答えるためには、土壌の養分、物理性、作物の生育などが、根の形態、成長、機能にどんな影響を与えるかについての、知見を蓄積する必要がある。

## (b) 根毛の寄与

NyeのモデルもBarber・Claassenのモデルも、根を単なる円筒形と仮定しているが、実際の根には根毛等がある円筒形ではない。

Itoh & Barberは、Barber・Claassenモデルが根毛の発達した種の植物のりん酸吸収について過小な推定値を与えること<sup>9)</sup>、根毛の寄与を含むモデルでは植物種の違いがみられなくなることを<sup>9)</sup>を報告している。

このことは、根毛に対する養分の供給も根に対する養分の供給と基本的には同じ機構で扱える可能性を示していると思われるが、根毛や菌根の生理的な特性などが十分に分っていないこともあり、根毛や菌根のモデルでの扱いについては、評価がまだ固まっていない。

## (c) 根による分泌物などの影響

インドで広く栽培されるヒヨコマメは、りん酸肥沃度が低い土壌でもよい生育を示し、トウモロコシが枯れるような土壌でも、良好に生育する。

この作物のりん酸吸収特性を解析した結果では<sup>7)</sup>、ヒヨコマメは乾物生産速度の割に根の表面積が大きく、低いりん酸肥沃度に適合した特性があることが明らかにされた。しかしヒヨコマメのりん酸吸収量は、モデルの推定した値を越えており、Barber・Claassenモデルは、ヒヨコマメのりん酸吸収を説明することができない。

この作物は多量のクエン酸を分泌することが知られている。

キマメもまた低りん酸条件でよく生育する作物であるが、根にピシディン酸を分泌して鉄型りん酸を吸収する機能があることが、阿江らによって発見された<sup>9)</sup>。

Claassenは、ライグラスの根の周りのpHの低下が、根の周辺の可溶性りん酸の低下と対応したとのデータを示している<sup>9)</sup>。

Hedleyらは、アブラナの根の周りのpH低下とりん酸吸収が関係していることを報告している<sup>10)</sup>。

以上の例から、一部の作物では根の存在によって根の表面附近の状態が変化し、それによって土壌の養分供給が影響を受けることがあるのは明らかである。

このような場合にも、根の周りの物質の移動を数値的にモデルを使って解析することは有効と思われる。Nyeらはすでに、これら溶解性にかかわる物質と養分との2方向の動きを、モデル化して解析している<sup>11,12)</sup>。

しかし、根からの物質分泌は、作物の種類や品種、養分の欠乏状態、あるいはまた作物の生育段階や日周期に

よって変動する。分泌された物質が、根圏微生物によって分解されることも、考えに入れる必要がある。これらの要因を実態に即して量的に評価するモデルは、複雑なものになり、実用的な場面で運用するために、基礎データの蓄積を行わなければならない。

#### 6) ミクロモデルの評価

ミクロモデルは明らかに限界を持っている。にもかかわらず、Barber・Claassenのモデルがさまざまな場面で、実測値とよく対応する推定値を与えたことは、積極的に評価して良いと思われる。このモデルは、物理的要因を含む個々の要因が養分供給にどのような影響を与えるかを判定する場面で参考になるとと思われる。Barber・Cushmanモデルについては、パソコンで作動するプログラムが発表されている<sup>13)</sup>。

なお、シミュレーションを実施する場面では、パラメータをどこで手に入れるかという問題がある。モデルによる評価を一般化するためには、必要なパラメータのデータベース化や、読み換えが可能なものについてはその手順を明らかにすることなどが、重要だと思われる。

### 3. マクロなモデル

作物栽培の現場では、気象状態や作物の成長、土層の構成、施肥管理や水分の変化などを取り入れたマクロモデルが必要になることがある。

以下には、水田土壌における窒素の挙動を表わすモデル<sup>14,15)</sup>を対象に、その特質を検討する。

#### 1) 水田の窒素挙動を表わすモデル

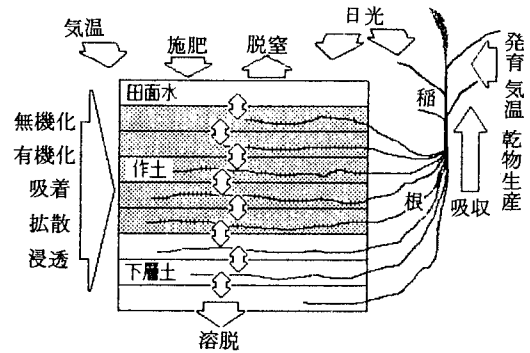


図-4 水田土壌中の窒素の挙動を表わすモデル

このモデルは作土および下層土を層の重なりを細分して、層から層への窒素の動きを、土壌溶液の移動、拡散、有機化、無機化、脱窒、溶脱、水稲根の窒素吸収などから説明する、個別要因積み上げ型のモデルである(図-4)。モデルを動かすには、窒素の挙動そのものに関する土壌の特性値のほか、気温、日照、施肥などを日別に与える。

土壌窒素の無機化はゼロ次反応で、アレニウス式に従い、有機化が並行して起こるものと仮定し、水は定常状態とする。

モデル中の水稲は、根から窒素を吸収するとともに葉を展開させ、乾物を生産して成長し、一定の時期になると出穂し、成熟して米が実った段階でシミュレーションが終了する。

モデルが扱う範囲が広いのに対応して、モデルを動かすのに必要なパラメータ類の数も多い。Barber・Claassen

表-1 水田の窒素挙動モデルを動かすためのパラメータ

No.	内 容	No.	内 容
1	水中における拡散係数	17	再無機化の見かけの活性化エネルギー
2	カチオン緩衝力	18	田植後の苗の窒素保有量
3	アニオン緩衝力	19	窒素保有量に対する吸収速度比
4	かさ比重	20	根の窒素吸収のミハエリス定数
5	水の流速(降下浸透)	21	苗の葉令
6	田面水深	22	窒素に対するアニオンの量比
7	施肥層位下面距離	23	計算終了時間
8	作土深さ	24	層位分割数
9	計算対象層位下面迄の距離	25	冗長度
10	最表層の土層厚さ	26	容積水分率
11	窒素初期量	27	最大脱窒速度
11b	基肥窒素はトレーサーか?	28	表層の有機化無機化速度
12	見かけ無機化の活性化エネルギー	29	無機化に対する有機化速度の比率
13	30度10週培養による土壌窒素無機化量	30	窒素吸収と発育指数から葉面積への係数
14	作土に対する下層土の肥沃度の比	31	土壌の熱拡散係数
15	再無機化の半減期	32	地表面温度の年間振幅
16	再無機化プールに移行する割合	33	年平均地温

モデルが、11個のパラメータで動いたのに対し、このモデルでは34個のパラメータ類を与える必要がある（表-1）。この他にもプログラム本体の中に相当数のパラメータ類が書き込まれている。

このモデルはパソコンで作動する。

2) カラム実験結果に基づく検証

水田状態の土壌をカラムにつめて、表面にトレーサー窒素を施用し、透水実験中の窒素の分布の変化を測定して、モデルによる推定値との適合度を調べた。

図-5は、形態別窒素の面積当たり存在量の推移を表わす。アンモニア態トレーサー窒素が徐々に減少すると共に、脱窒と思われる損失トレーサー窒素と有機態トレーサー窒素が次第に増加し、17日後あたりからは3者の構成割合がほぼ1/3ずつになって、その後は変化が小さかった。

図-6が、モデルによる推定結果である。全体的にみてシミュレーションは実験の結果をよく表わしているとみられる。ただし、シミュレーションにあたって、有機化窒素の再無機化割合については実測値に合うように適当な値を与えた。

また、トレーサー窒素の層別の分布（図-7、8）についても、実測値とシミュレーションの対応は良好だった。

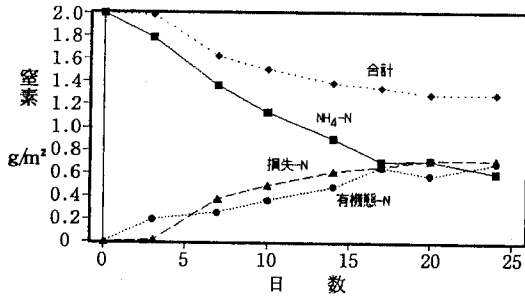


図-5 アンモニア態、有機態および損失窒素量実測値の推移

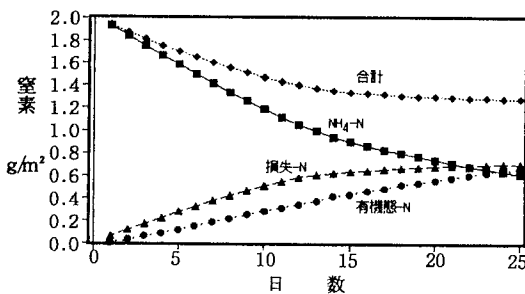


図-6 モデルによるアンモニア態、有機態および損失窒素量推定結果

3) 水稻の窒素吸収等に基づくモデルの検証

水田に生育した水稻の窒素吸収経過と、モデルによる推定値はほぼ一致した（図-9）。表-2は、ほ場条件下でトレーサー試験を行なって、施肥窒素のゆくえを調べた結果を、モデルによる推定と比較したものである。

表-2 トレーサー窒素のゆくえの実測値とモデルによる推定結果

施肥時期	水稻吸収		土壌有機化		脱窒(未回収)	
	実測	推定	実測	推定	実測	推定
基肥	32	42	30	38	38	19
早期追肥	26	25	35	31	39	43
穂肥	65	65	14	11	22	24

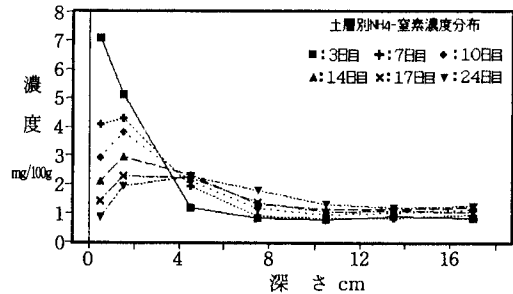


図-7 カラム実験における土層別アンモニア態窒素現存量の推移

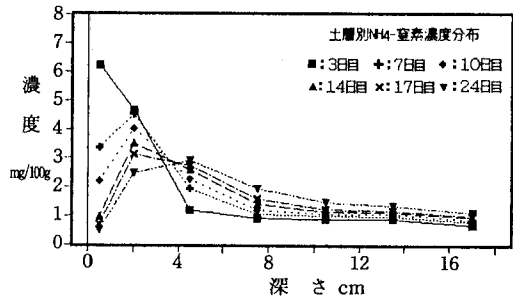


図-8 モデルによる土層別アンモニア態窒素現存量の推移

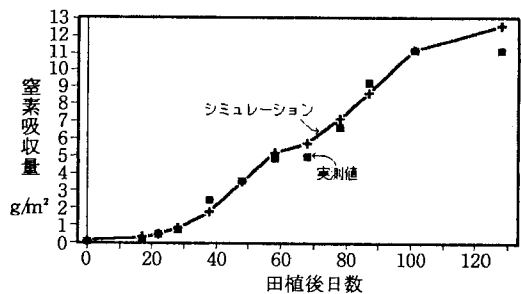


図-9 水稻の窒素吸収経過の実測値とモデルによる推定値

基肥窒素については、実測値と推定値の間に明らかな違いがあり、モデルは有機化と脱窒を過小に、吸収を過大に見積った。早期追肥と穂肥については、実測値と推定値がよく一致した。

モデルを検証するデータの数は多くないが、以上から、本モデルの大枠は、水田の窒素の動きをよく表わしていると思われる。

#### 4) シミュレーション実験

いくつかの条件でシミュレーションをしたところ、興味ある反応がえられた。

施肥時期の異なる窒素のゆくえをシミュレートした結果、穂肥が吸収される期間は基肥よりもはるかに短く、1週間程度になった。基肥窒素が土壌中から消失する時期は、水稲態内の吸収窒素量の増加が、指数的な増加から直線的な増加に切り替わる時期とほぼ一致した。基肥窒素が土壌中から消失する時期は、施肥量に変化してもほぼ一定であった。これらのことは従来、さまざまな場面で観察されてきたことである。これらがシミュレーションでうまく再現されたことは興味深い。

表-3は、施肥位置が窒素の吸収経過に及ぼす影響をシミュレートした結果である。肥料を浅く混合すると、初期の窒素吸収が早めに進み、早く頭打ちになる。逆に肥料を深くまで混合すると、初期の窒素吸収が遅れて、全吸収量が低下する。全体として、窒素吸収量が最大になるのは、深さを中程度にした場合である。このシミュレーション結果は、土壌の条件に応じた最適の施肥深度を考える場面等に有用であろう。

表-4は、穂肥の利用率が追肥時の田面の水の深さや降下浸透の速度によって異なるとのシミュレーション結果を示している。田面水深は浅い方が、降下浸透は大きい方が追肥窒素の利用率が高い。条件の与えかたによって数値が変わるので、この結果を固定的に受け取ることは危険であるが、追肥窒素の施用条件を検討する手順の一つとして、モデルの利用も考えられよう。

表-5では、一旦下層土まで移行した窒素が、やや遅れて水稲に吸収されるという現象が、シミュレーションによって示された。下層土に移ってから吸収される割合は、この条件では施肥量の1/4から1/3に達している。下層土の役割の一つとして、このような働きもあり得ると考えられる。

表-6は、基肥窒素の溶脱と降下浸透速度との関係を示すシミュレーション結果である。基準とした条件では、基肥窒素はほとんど溶脱しない。一方、溶脱に傾きやすい条件が重なると、溶脱割合が急に増加するという結果になった。これらの結果は、越野の報告<sup>10)</sup>にも良く一

表-3 施肥の深さが基肥窒素吸収経過に及ぼす影響  
( $g/m^2$ )

施肥深さ (cm)	窒素吸収量		
	24日	54日	84日
10	0.68	3.73	3.87
15	0.62	3.55	3.88
20	0.56	2.98	3.68
25	0.49	2.38	3.24

基準条件：基肥  $8g/m^2$ 、気象条件 羊が丘 平均値

表-4 穂肥の利用率についてのシミュレーション

条 件	穂肥窒素のゆくえ(%)		
	植物体	有機化	脱 窒
田面水深 5 cm	57	22	21
田面水深 1 cm	72	16	12
降下浸透 0.3 cm	47	26	27
降下浸透 1.5 cm	63	20	17

基準条件：降下浸透1.0cm/d、田面水深5cm

表-5 下層土に移行してから吸収される施肥窒素の割合

条 件	割 合(%)
標 準	2.5
吸着力低い	2.7
作土深浅い	3.3

基準条件：作土深 15cm、CEC 9meq/100g

表-6 基肥窒素の溶脱量の推定

条 件	基肥の溶脱割合(%)
標 準	0.1
吸着力低 降下浸透中	4.5
吸着力低 降下浸透大	10.1

基準条件：CEC 9meq/100g、降下浸透 1cm/d

致している。

#### 4. おわりに

個々の要因の働きを積み上げるという手順によって、作物の養分吸収状況をかなりの程度まで再現できることを、水田土壌における窒素の挙動を表わすモデルを例として示した。土壌の養分供給を表すモデルの基礎的な部分はある程度できつつあり、評価等への利用も試みる価値もあると考えられる。

一方今後の課題も数多い。例えば、基肥窒素のゆくえが実測データと合わないのは、還元の発達や脱窒のメカニズムについて、モデルの考え方に欠けるところがあるためだと思われる。また、水田土壌では、還元が進む一

方で、根の表面付近では酸化的になるという不均一な構造があるとみられるので、それをどう扱うかが今後に残された課題になろう。

根の成長、形態、機能をモデルに取り込むのにも、なお困難があると思われる。また、土壌の構造や不均一性の扱いは、根の反応も含め、今後の課題になると思われる。

#### 引用文献

- 1) Nye, P. H. and Marriott, F. H. C.: A theoretical study of the distribution of substances around roots resulting from simultaneous diffusion and mass flow. *Plant and Soil*, 30; 459-472. 1969.
- 2) Barber, S. A. and Claassen, N.: Simulation model for nutrient uptake from soil by a growing plant root system. *Agron. J.*, 68; 961-964. 1976.
- 3) Schenk, M. K. and Barber, S. A.: Root characteristics of corn genotypes as related to phosphorus uptake. *Agron. J.*, 71; 921-924. 1979.
- 4) Silberbush, M. and Barber, S. A.: Sensitivity of simulated phosphorus uptake to parameters used by a mechanistic-mathematical model. *Plant and Soil*, 74; 93-100. 1983.
- 5) Itoh, S. and Barber, S. A.: Phosphorus uptake by six plant species as related to root hairs. *Agron. J.*, 75; 457-461. 1983.
- 6) Itoh, S. and Barber, S. A.: A numerical solution of whole plant nutrient uptake for soil-root systems with root hairs. *Plant and Soil*, 70; 403-413. 1983.
- 7) Itoh, S.: Characteristics of phosphorus uptake of chickpea in comparison with pigeonpea, soybean and maize. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 33; 417-422. 1987.
- 8) 阿江教治・有原丈二・岡田謙介：キマメのリン酸吸収機構とピシディン酸誘導体の役割，植物の根圏環境制御機能，85-124，博友社，1993。
- 9) Claassen, N.: Fundamentals of soil-plant interactions as derived from nutrient diffusion in soil, uptake kinetics and morphology of roots. *Trans. 14th Intern. Congr. Soil Sci.*, 6; 118-123. 1990.
- 10) Hedley, M. J., Nye, P. H. and White, R. E.: Plant induced changes in the rhizosphere of rape (*Brassica Napus*, var Emerald) seedlings. IV. The effect of rhizosphere phosphorus status on the pH, phosphatase activity and depletion of soil phosphorus fractions in the rhizosphere and on the cation-anion balance in the plants. *New Phytol.*, 95; 69-82. 1983.
- 11) Nye, P. H.: The diffusion of two interacting solutes in soil. *J. Soil Sci.*, 34; 677-691. 1983.
- 12) Ahmad, A. R. and Nye, P. H.: Coupled diffusion and oxidation of ferrous iron in soils. I. Kinetics of oxygenation of ferrous iron in soil. *J. Soil Sci.*, 41; 395-409. 1990.
- 13) Oates, K. and Barber, S. A.: A micro-computer program to predict nutrient absorption from soil by roots. *J. Agron. Educ.* 16; 65-68. 1987.
- 14) 富山県農業技術センター，：水田土壌中の窒素の挙動を表わすモデルの開発，平成3年度農林水産省指定土壌肥料試験成績書，82-121. 1991.
- 15) 富山県農業技術センター，：水田土壌中の窒素の挙動を表わすモデルの開発，平成4年度農林水産省指定土壌肥料試験成績書，65-70. 1992.
- 16) Koshino, M.: Incoming and outgoing of fertilizer nutrients in cropped lands. *Proc. Intern. Congress on the Human Environment*, Kyoto, Japan, 206-214. 1975.

(受稿年月日 1993年12月1日)



シンポジウム

## 圃場の作業性と排水性 —圃場の作業性評価の問題点—

井上久義\*

Problems about evaluation of  
field operation.

Hisayoshi Inoue

Kyushu National Agricultural Experiment Station

### Summary

Field operation is related closely with field drainage and soil physical conditions. Criteria for the field operation have been described on basis of soil physical characteristics of fields.

However, field condition is extremely heterogeneous and data obtained from the field shows great variability.

In this paper, problems were pointed out for processing the soil physical data obtained from fields in order to estimate field conditions. And also, especially with relation to the field drainage, it was examined on basis of a simulation, dimension of samples required to get a representative value of hydraulic conductivity of a field with shrinkage cracks.

As a result, it is made clear that a sample which has a diameter two or three times larger than intervals of the cracks would offer the representative value of the hydraulic conductivity of the field.

**Keywords:** field operation, drainage, heterogeneity, hydraulic conductivity, sample size

(Soil Phys. Cond. Plant Growth, Jpn, 69,75-82, 1994)

### 1. はじめに

圃場においては、いかに多くの作物を生産するかを最大の目標として、土壌状態、水分状態、養分状態等を作物の生育にとって最適なものにするため各種の働きかけがなされている。また、圃場では作物を生産するために耕耘、播種、栽培管理、収穫などの数多くの作業が行われており、これを効率的に行うための条件を整備することも生産の場として重要な要素となっている。

圃場作業において、耕耘、砕土等という作業は、作物生育の培地としての土壌の物理的性質を改善するために重要な作業である。これには非常に多くの労力が必要とされるため、かつてよりこれを軽減するための土壌条件（易耕性）を整備することが強く求められてきた。近年においては、トラクタ等の導入によって圃場作業の機械化が大きく進展し、これらの作業の軽減が大幅に進めら

\*九州農業試験場

キーワード：透水係数、試料の大きさ、排水、走行性、易耕性、

れてきた。しかしながら、この時、こうした作業機械が圃場内を走行するための環境整備（走行性）も圃場条件整備において不可欠な要素となっている。

このような中で、これまで圃場作業または圃場における機械走行に関わる数多くの研究がなされてきた。これらの成果に基づき、圃場作業の条件整備、評価のための基準策定はいまのところ概ね完成されているものと考えられる。しかしながら、こうした基準においては基本的なデータの取扱いの面からいくつかの解決すべき問題点が内包されている。これらの解決に向けた検討を行うことは、単に圃場の作業性のみならずそれに関わる多くの分野の研究発展にとっても非常に重要なことと考えられる。

本報告では、こうした視点から、圃場作業に関わるこれまでの研究成果をレビューし、特に排水性の観点から、

データの取扱い上の問題点を整理して報告する。

2. 研究のレビュー

(1) 圃場の作業性

圃場の作業性については大きく二つの面からこれまで検討されてきた。一つは易耕性であり一つは機械の走行性である。

耕耘などの作業は、機械が今日ほど発達していない頃、畜力・人力を主体として行われた。この場合、作業性に関わる研究は、この作業をいかに軽くし得るか、能率良く行い得るのかということを中心に進められた。つまり易耕性に関する検討が主流であった。これは、機械化が進んだ今日でも、機械作業の能率を上げ、エネルギーロスを減らす上で重要な研究課題である。

易耕性は土壌の構造や水分状態との関係が深く、この面からの多くの研究が行われた。Atterberg<sup>1)</sup>は、土が示す塑性や粘着性等の性質は、含水量により現れ方が異なり、それは土壌の付着力、凝集力によっているというコンシステンシの考え方を示した。Haines<sup>4)</sup>は粒子間の水膜に生じる表面張力を基礎として凝集力の理論的な考察を行った。そして、これらの考え方に基づいて、Nichols<sup>11, 12)</sup>は犁耕の際の抵抗力となる剪断力、付着力、摩擦力などの発生とコンシステンシとの関係を明らかに

した。一方、機械作業を考えるにあたっては被牽引機械の牽引抵抗を評価する必要がある。このことについて、Bekker<sup>2)</sup>は機械の沈下量と牽引抵抗の関係を、土壌の粘着性と摩擦性に基づく変形係数いわゆる土質係数を導入することによって表現した。

作業の機械化が進展すると、トラクタなどの自走車両の圃場内での沈下や滑りを考慮した走行性が問題となる。このことについてBekker<sup>3)</sup>は上記の沈下量を表わす式に土壌の剪断～歪みの関係を加えることによって表現した。また、ブラウの牽引抵抗と土壌へのコーンの貫入抵抗の間には密接な関係があることをStone & Williams<sup>15)</sup>が明らかにし、McKibben & Hull<sup>8)</sup>は車輪の転がり抵抗と貫入抵抗の関係を一次式で表した。これらに基づき、米国のWES (Waterways Experiment Station) は自走車両の走行性をコーン貫入計による貫入抵抗 (Cone Index) で表わすことを提唱した。

圃場の作業性に関わる基本的な研究の流れを示すと以上のような(図-1)。圃場の作業性は、貫入抵抗等の土の動的性質が大きな影響を与えているが、この動的性質は土と水の関係、土壌構造・孔隙特性が深く関わっている。つまり、圃場の作業性は土壌の物理性と密接な関係にあるといえる。

(2) 圃場の排水と作業性

圃場における作業性については上記のような基本的な成果が示されたが、次に、これを圃場に適用し圃場作業のための基準化が図られた。わが国においては、農林省特別研究「大型機械化に伴う水田土壌基盤整備に関する研究」(1964~1967)<sup>13)</sup>を中心として1960~1970年代に水田を対象として数多くの研究が行われた。

易耕性については、付着力、剪断抵抗など種々の面からの検討が行われたが、これらの特性は土壌水分・構造の影響を強く受けるため、コンシステンシを指標とした検討も行われた。例えば、八木<sup>2)</sup>はコンシステンシ指数(I<sub>c</sub>)を指標として圃場の作業性を検討し、I<sub>c</sub>が1の時に牽引比(進行低下率50%の時の牽引力を機体総重量で割った値)は最大となり、I<sub>c</sub>が0より小さくなると牽引比は急激に低下することを示した。また、中野<sup>10)</sup>は塑性限界値と圃場含水量の比を指標として易耕性を表現しようとした。こうした研究の中で、コンシステンシは土壌が乾燥することによって変化する(山崎<sup>24)</sup>)ということに基づき、圃場の乾燥によって易耕性が改良されることが明らかにされた(中野<sup>10)</sup>等)。

長崎<sup>9)</sup>は、機械の走行不能が主にスリップと沈下によることから、表面の硬度だけでなくかなりの深さまでの土壌硬度相が大きく関係するとして、コーンペネトロメータを用いて得られた土壌硬度相による機械の走行性の基

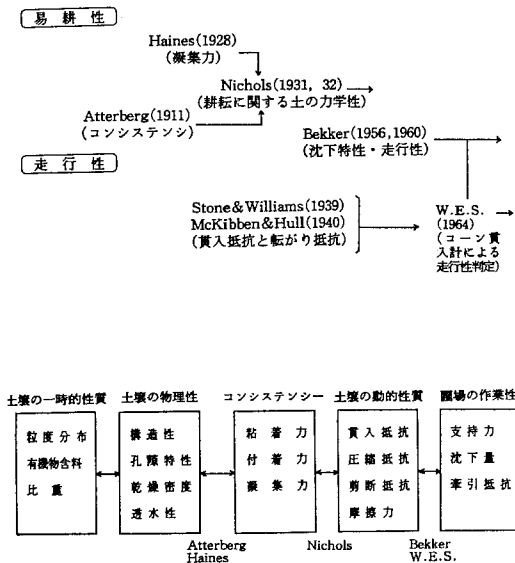


図-1 作業性に関わる基本的な研究の流れ

Fig. 1 Outline of the fundamental researches about field operation.



表-1 水田におけるトラクタ作業の走行可能性の基準

	作業不可		作業可能		作業容易	
	タイヤ	クローラ	タイヤ	クローラ	タイヤ	クローラ
(適用条件)						
滑り率 (%)	20<	5<	20~10	—	10>	3>
走行部沈下量 (cm)	12<	12<	12~3	—	3>	3>
(走行判定基準)						
円錐貫入抵抗 (rg/cm <sup>2</sup> )	2.5	1.5	2.5~5.0	1.5~3.0	5.0	3.0
矩形板沈下量 (cm)	9.5	15.0	9.5~4.5	15.0~5.0	4.5	5.0
コンシステンシ指数	0.2	—	0.2~0.5	—	0.5	—

大型機械化に伴う水田土壌基盤整備に関する研究 (農林水産技術会議<sup>13)</sup> より

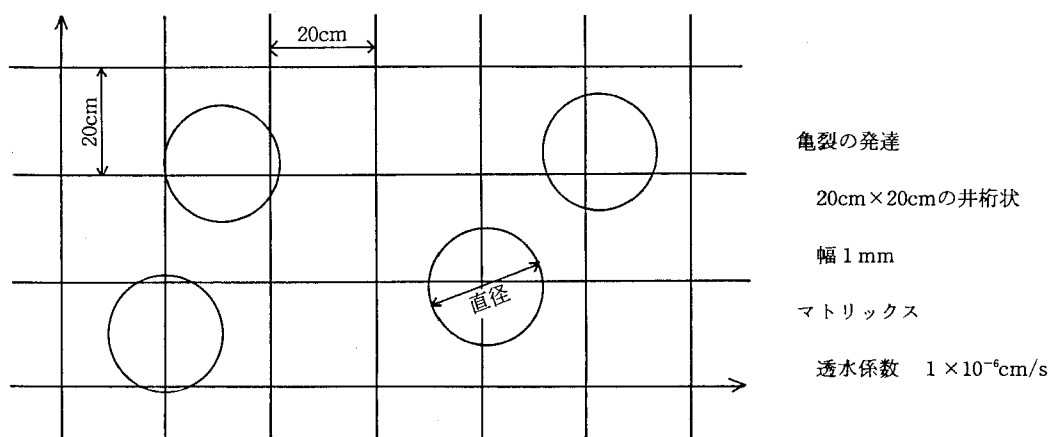


図-2 試算の方法

Fig. 2 Conditions for the calculation

準化を試みた。その後、こうした考えに基づき、農業土木試験場を中心にコーンペネトロメータを用いて地耐力のデータが集積され (田地野ら<sup>18, 19)</sup>, 山口ら<sup>21, 22)</sup> など), 水田における走行性の基準が示された (表-1)。また, 多田ら<sup>16)</sup> は水田の地耐力の回復のためには, 地表水や地表残水を迅速に除去することが必要であり, このためには圃場排水を強化することが必要であることを示した。一方, 川崎<sup>7)</sup> は, 水田が乾田化することによる土壌の孔隙特性の変化 (pF1.5~pF2.5 or pF3.0に相当する間隙量の減少) が, 圃場の落水後の乾燥を早め, その結果, 圃場の地耐力の増強につながることを示した。

易耕性や走行性という圃場の作業性は土壌構造・孔隙特性に密接に関係している。この作業性を改善するためには, 土壌を乾燥することによって構造・孔隙特性を変化させる必要があるが, このためには圃場の排水を強化していく必要があることが以上の研究で明らかにされた。

### 3. 排水性評価の問題点

圃場の作業性は土壌の物理性と密接な関係があり, 作業性の改善には圃場の排水性が深く関係している。このため, 圃場における作業性を評価するためには土壌の透水性などの物理的特性を示す基礎的なデータを集積していく必要がある。この時, 圃場は極めて不均一であり, 得られたデータも非常に大きなばらつきを示すことが多い。この不均一な場から得られたデータをどのように処理していくかが作業性を評価する上で極めて重要な課題となる。

#### (1) 試料の大きさ

圃場には根の穴や亀裂などのいわゆる大孔隙が多数存在している。この大孔隙は容積的には土壌中に占める割合は小さいが, その透水性に対しては極めて大きな影響を与えている。例えば, 10cm x 10cmのほとんど水を通さない粘土の試料に直径1mmの穴が開いている場合, その容積は  $0.8 \times 10^{-2}\%$  でほとんど無視し得る程度であるが, 穴が開いているために透水性は  $2 \times 10^{-3} \text{ cm/s}$  にも

なってしまうものと計算される。

さらに、圃場においては、乾燥収縮に伴い発達した亀裂が非常によい水みちとなり、排水に大きな影響を及ぼすことはよく知られている。例えば、透水係数が $10^{-6}$ ~ $10^{-7}$ cm/sにすぎない重粘土の圃場の心土に亀裂が発達した場合を考える。亀裂は幅1~2mmで、およそ20cm間隔に深さ約70cmまで発達しており、水平断面上での亀裂の長さは10m/m<sup>2</sup>程度であった。この時、水はほとんどがこの亀裂のみを流れ、横浸透する場合の透水係数は $10^{-2}$ cmオーダーにもなることが知られている<sup>5,6)</sup>。

このように、透水性に大きな影響を及ぼす亀裂などの大孔隙を含む圃場における透水性(排水性)を評価するにあたっては、亀裂などの大孔隙の役割を評価し得る試料の大きさについて検討しておく必要がある。

このため、亀裂の発達した場を想定して、試料の大きさとその試料が示す透水性の関係について試算を行い、透水性評価のために必要な試料の大きさについて検討を行った。

(2) 試算の方法

試算に当たっては、上述の亀裂が発達した粘土質圃場を想定して、その亀裂の発達状況(密度10m/m<sup>2</sup>、約20cm間隔、幅1~2mm)に基き、幅1mmの亀裂が20cm間隔に井桁状に発達している場(100m×100m)を考えた(図-2)。ここに、ある大きさの円をランダムに発生させ、その円を試料の大きさとみなして、その中に存在する亀裂の長さから透水係数を計算した。

透水係数の計算にあたってはマトリックス部分の透水係数を $1 \times 10^{-6}$ cm/sとし、亀裂部分での水の移動はHagen-Poiseuille則に従うものとして次式で表した。なお、水温は20℃とした。

$$q_c = \frac{g \cdot \rho \cdot d^3}{12 \cdot \eta} \cdot \text{grad}H \quad \dots \dots (1)$$

ここで、 $q_c$ は単位長さの亀裂を伝わる流量 (cm<sup>3</sup>/s)、 $g$ は重力加速度 (cm/s<sup>2</sup>)、 $\rho$ は水の密度 (g/cm<sup>3</sup>)、 $d$ は亀裂の幅 (0.1cm)、 $\eta$ は水の粘性係数 (g/cm·s)、 $\text{grad}H$ は動水勾配 (=1) をそれぞれ示す。

試料内(直径: Rcm)の亀裂の長さをLcmとする時、試料の浸透量(Qcm<sup>3</sup>/s)は次式のように表わされる。

$$Q = L \cdot q_c + q_m \quad \dots \dots (2)$$

ここで、 $q_m$ はマトリックス部分の浸透量 (cm<sup>3</sup>/s)。この時、試料の平均浸透速度( $q$ cm/s)は(3)式のように表され、また、ダルシー則(4)式を仮定すると、 $\text{grad}H = 1$ の時、平均浸透速度と透水係数(K)は等

しくなる。そこで、(1)~(3)式で求められる平均浸透速度を用いて試料の透水性を評価した。

$$q = Q/A \quad \dots \dots (3)$$

(但し  $A = \pi R^2/4$  試料の面積)

$$q = K \cdot \text{grad}H \quad \dots \dots (4)$$

(3) 小さな試料での計算結果

図-3-1)は土壌調査でよく使用されるサンプルの大きさである直径5cmの場合の計算によって求められた透水係数の度数分布を示す(試料数500)。この時の分布形状はいわゆる対数正規分布に近い形を示した。しかしながら、階級をさらに細かくした場合の度数分布をみると(図-3-2)、この分布形状は大きく二つの分布から成り立っているとみなすことができる。一つは、亀裂を含まないマトリックスでの透水性の分布である。今回の計算においては、マトリックス部分の透水係数はすべて一定で $1 \times 10^{-6}$ cm/sとしたが実際はなにがしかの分布を持つであろう。そして、他の一つは含まれる亀裂の密度に伴う分布である。前述のように試料にわずか

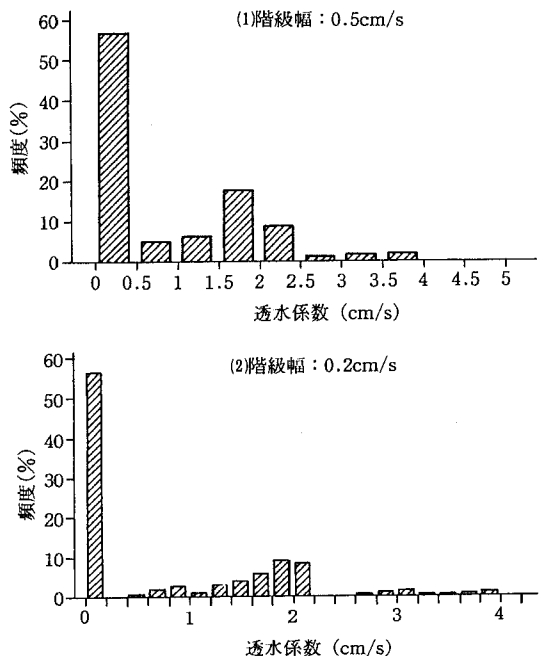


図-3 直径5cm試料の場合の透水係数計算値の頻度分布(試料数=500)

Fig. 3 Frequency distributions of the calculated hydraulic conductivities. (In case of 5 cm diam. samples, number of the samples=500)

でも亀裂が含まれることによって浸透量（透水性）は急増する。そして、浸透量は含まれる亀裂量によって大きく影響される。このため、試料が示す透水係数は試料中に含まれる亀裂量の分布に左右されることになる。

もし、このようなことが圃場のサンプリングにも見られるとすれば、小さな試料で透水性を代表させようとする時、亀裂を含まない（または亀裂が連続しない）時の分布と（連続する）亀裂の密度による分布の二つの分布を一つの分布として扱っていることになる。

透水性に大きな影響を及ぼす亀裂などの大孔隙を含む圃場において圃場を代表し得るようなデータを得るためには、どの試料の中にも圃場と同程度の密度で亀裂が含まれていることが必要となろう。このためには、常に圃場と同程度の亀裂を含み得る試料の大きさについての検討が必要となる。

#### (4) 試料の大きさの検討

図-4は、計算によって求められる透水係数の最大値、最小値および平均値の変化の様子を示す。これは、試料の大きさを変え、それぞれの大きさの試料500個について求めた値である。この場合、500個の平均値はあまり変わらないものの、試料が大きくなると最大値、最小値が急速に平均値に近づき、データのばらつきが減少していく。

図-5は、試料直径が4cm, 10cm, 20cm, 40cmの場合の度数分布を示す。試料の直径が亀裂の間隔（20cm）を越えると試料の中には必ず亀裂が含まれるようになり、当然のことながら、マトリックス部分の分布が消滅する。そして、さらに試料が大きくなるとある値に向けてデータが集まっていく様子がわかる。

つまり、試料の直径を大きくすることによってデータのばらつきが急速に減少し、非常に少ないデータで圃場の透水性を代表し得るようになるものと考えられる。

次に、どの程度の大きさの試料があれば圃場を代表するデータが得られるのかということについて検討する必要がある。このため、図-6には、試料の大きさによる変動係数の変化を示す。ただし、ここでは透水係数の最大値と最小値の差を平均値で割った値を変動係数と呼ぶものとする。この変動係数は、直径が20cmより小さな場合には非常に大きな値を示し、そして、20cmを越えたとしばらく振動し、直径50~60cmになると4%程度となり、以降単純に減少するという変化傾向を示した。どの程度の精度でデータを求めるのかにもよるが、この場合、一つの目安として、変動係数の振動がなくなる直径50~60cmあれば、ほぼ安定した代表値が得られるものと考えられる。

これらから、どの場所でサンプリングをしても、ある

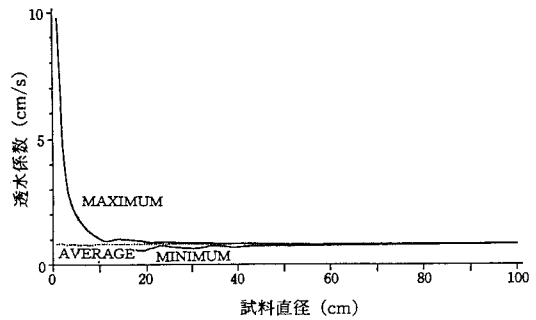


図-4 試料の大きさによる透水係数計算値の変化

Fig. 4 Change in the calculated hydraulic conductivities with sample dimension

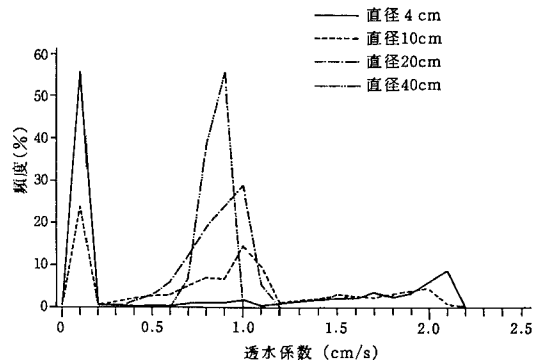


図-5 試料の大きさによる透水係数計算値の度数分布の変化

Fig. 5 Change in the frequency distributions with sample dimension.

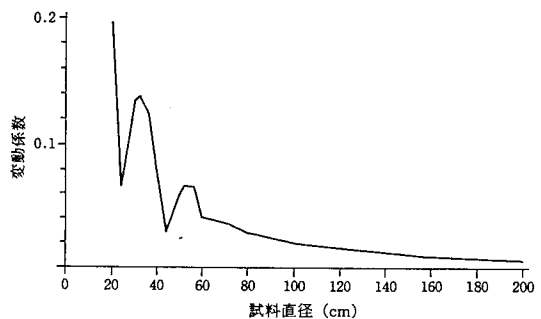


図-6 試料の大きさによる透水係数計算値の変動係数の変化

Fig. 6 Change in the coefficient of variation with sample dimension.  
(Coefficient of variation = (maximum value - minimum value) / average)

一定の透水係数を得るための試料の大きさとしては、概ね直径50~60cm程度つまり亀裂の間隔の2~3倍程度の直径が必要となるものと推定される。

亀裂の存在状態自体、圃場における一つの物理量であるので、今回の試算に用いたように圃場内で全て同じ密度で存在することはなく、何らかの分布を示すであろう。このため、実際の圃場においては、当然、この試算結果とは幾分違った結果となろうと考えられる。しかしながら、特に不均一の影響を受けやすい透水性等の代表値を求めるにあたっては、試算によって示したように、試料の大きさを常に考慮していくことが非常に重要であると考えられる。

#### 4. 作業性評価のためのその他の問題

作業性評価のために必要な物理的データの集積にあたっての一つ問題として、試料の大きさについて取り上げた。不均一な圃場においてデータを取るためには、このほか注意しなければならない点が幾つかある。これらについては詳しく述べることはできず問題点を列挙するのみにとどめざるを得ないが、データを処理し作業性を評価する上で重要な問題となるものと考えられる。

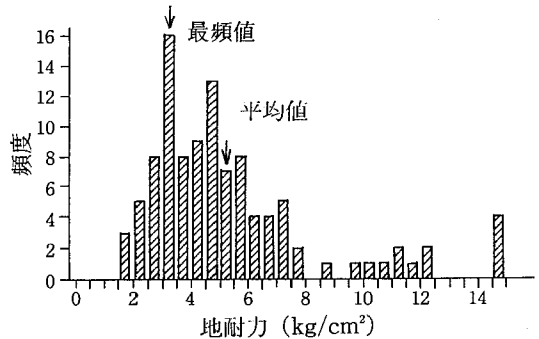
##### (1) 面的広がりへの検討

コーンペネトロメータによる地耐力のデータなどは、広がりを持つ圃場の中でかなり大きなばらつきを示す(多田ら<sup>17)</sup>)。ある一定の基準値に基づいて機械の走行性を判定する場合、このようなデータをどのように処理して行くかが問題となる。

図-7-1(1)は、農業工学研究所内にある火山灰ロームの試験圃場において深さ35cmにおける地耐力を測定した結果の度数分布を示す。圃場は畑状態で測定はSR-II型の土壌硬度計を用いた結果である(1989.8月測定)。この場合、地耐力の頻度分布は2.0kg/cm<sup>2</sup>から15kg/cm<sup>2</sup>以上まで広い範囲にわたり、最頻値は3.5kg/cm<sup>2</sup>であるが、平均値は約5.4kg/cm<sup>2</sup>となる。この平均値で圃場の走行性を評価すると、基準(表-1)からはタイヤ型トラクターでは「作業容易」の範疇(円錐貫入抵抗5.0kg/cm<sup>2</sup>以上)に属するが、圃場の多くの部分は5.0kg/cm<sup>2</sup>以下を示すことになる。

図-7-2(2)は同圃場の深さ35cmにおける地耐力の分布状況を示す。これによると地盤の硬い(5kg/cm<sup>2</sup>以上)部分が圃場中央に帯状に集中している状況がわかる。このような圃場における地耐力の分布状況は統計処理によって求められる標準偏差や平均値といった値から推定することは困難である。今後、圃場の大区画化が進展すれば一枚の圃場の中で異なる地耐力特性等を持ついくつかの領域に分けられる可能性が大きくなるものと考えら

(1) 地耐力の頻度分布 (試料数=105)



(2) 地耐力の圃場内分布

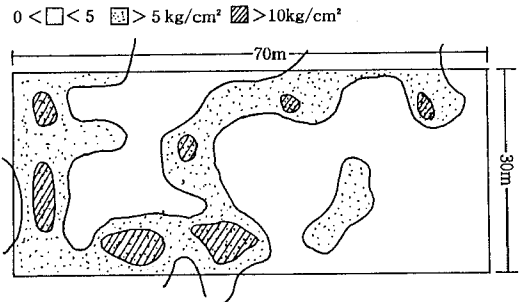


図-7 地耐力の分布 (火山灰ローム圃場 深さ35cm)

Fig. 7. Distribution of bearing capacities. (Volcanic ash soil, 35cm depth)

れる。このような場合、こうした分布状況をどのように表現し、また、それに基づき走行性などの作業性をどのように評価して行くのか今後の大きな問題となる。

##### (2) 深さ方向への検討

現在、水稲作の省力化、コストダウンを目指して水田の大区画化が進められている。この中で、大区画化による効果をさらにあげるためには、現在の45PS級トラクターを中心とする大型機械作業体系から70PS級以上のトラクターを用いる超大型機械作業体系の導入も検討されている。この時、これに対応した作業性評価のための新たな基準の整備、1haを超える大きな圃場での排水、特に表面排水技術の確立等が求められる。その他、こうした超大型機械作業体系下においては、機械の踏圧によるハードパンの形成が新たな問題として生じてくるものと考えられる。このことは、既に超大型機械による作業が行われている米国などではハードパン形成によって、根の生育不良による収量の減少、排水不良等大きな問題となり1970年代から研究が進められている。

図-8は、トラクタ走行による土壌(Sandy Loam)

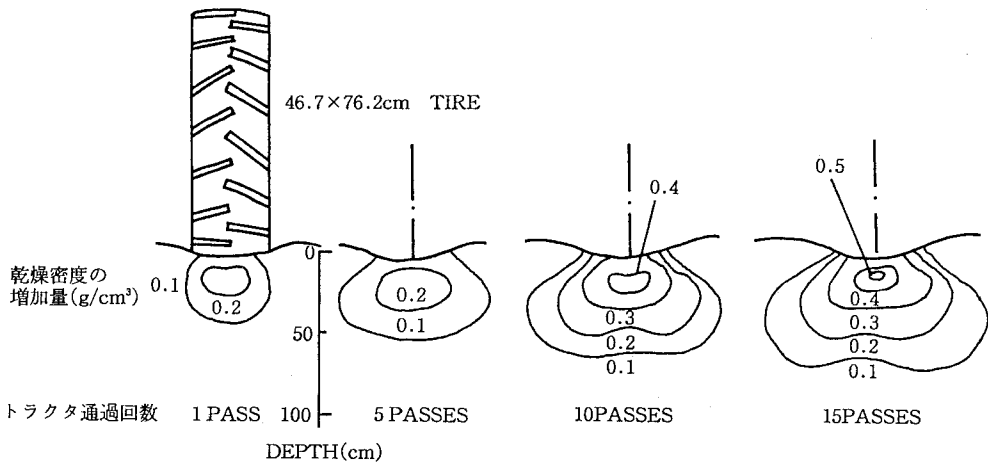


図-8 トラクター走行による乾燥密度への影響

(トラクター4670kg, スプレーワゴン牽引3424kg  
土壌: Sandy Loam, 初期乾燥密度=1.0~1.3g/cm<sup>3</sup>)  
Raghavan et al.<sup>14)</sup>より

Fig. 8 Distribution of change in soil dry density in a sandy loam soil after passes of 4670kg tractor trailing a 3424kg two wheeled sprayer wagon.

(after Raghavan et al.<sup>14)</sup>)

の乾燥密度への影響を示す。およそ4.7tonのトラクタが15回通過することによって深さ50cm以上までその影響が及んでいることがわかる (Raghavan et al.<sup>14)</sup>。

圃場の中を70PS以上の重機が走行するようになると、このようかなりの深さまでその影響が及び厚いハードパンが形成されてくるものと考えられる。この時、その作物生育、排水などへの影響を評価し、それに対する対策を検討しておくことは、今後の土壤物理部門の重要な課題の一つとなるものと考えられる。

## 5. おわりに

圃場の作業性に土壤の物理性は深く関わっている。これまで両者の関係が数多くの研究の中で調べられ、作業性評価の基準が示されてきた。しかしながら、実際の圃場は極めて不均一であり、こうした基準を圃場に適用して行くためには、不均一な物理的特性をどのようにして的確に把握し、表現して行くかということが不可欠な要素となる。

このことは、単に圃場の作業性だけでなく、作物生育、養分移動さらには環境保護等農業に関わるあらゆる面での基本となることであり、土壤物理学で追究して行くべき中心的な課題の一つである。また、作物の栽培体系の変化に伴う土壤への影響を予測、評価しそれに対する対策を検討しておくこともわれわれの重要な課題の一つで

あると考えられる。

## 引用文献

- 1) Atterberg, A. 1911, ベーバー土壤物理学, Bayer, L.D. (野口彌吉, 福田仁志 訳) 朝倉書店 (東京), 1955より
- 2) Bekker, M.G. 1956, 田中孝, トラクタの牽引性能と土の力学性, 土壤の物理性, 25, 7-16, 1971より
- 3) Bekker, M.G. 1960, 金須正幸, 農業機械の走行可能性, 土壤の物理性, 14, 10-14, 1966より
- 4) Haines, W.B. 1923, The volume-changes associated with variations of water content in soil, J. Agric. Sci., 13, 296-310
- 5) 井上久義, 長谷川周一, 宮崎毅 1988, 亀裂が発達した圃場における水の横浸透, 農土論集, 134, 51-59
- 6) 井上久義 1988, 亀裂が発達した粘土質圃場における暗渠排水特性, 農土論集, 137, 25-33
- 7) 川崎哲郎, 久保博, 丹原一寛, 山中誠 1979, 基盤整備水田の管理と農地高度利用, 農土誌, 47, 921-927
- 8) McKibben, E.G., D.O. Hull 1940, Transport

- wheels for agricultural mechanics. VIII. Soil penetration tests as means of predicting rolling resistance, *Agric. Eng.*, 21, 231-234
- 9) 長崎明 1963, 水田における大型機械の走行能と土壌硬度相について, *土壌の物理性*, 9, 30-37
- 10) 中野啓三 1983, 重粘土転換畑における易耕性の評価—塑性限界とpF1.8含水比の関係, *土壌の物理性*, 48, 38-43
- 11) Nichols, M.L. 1931, The dynamic properties of soil. II. Soil and metal friction, *Agric. Eng.*, 12, 321-324
- 12) Nichols, M.L. 1932, The dynamic properties of soil. III. Shear values of uncemented soils, *Agric. Eng.*, 13, 201-204
- 13) 農林水産技術会議事務局 1969, 大型機械化に伴う水田土壌基盤整備に関する研究, *研究成果*, 40
- 14) Raghavan, G.S.V., E. McKeys, M. Chassé, F. Mérineau 1976, Development of compaction patterns due to machinery operation in an orchard soil, *Canadian J. Plant Sci.*, 56, 505-509
- 15) Stone, A.A., I.L. Williams 1939, Measurement of soil hardness, *Agric. Eng.*, 20, 25-26
- 16) 多田敦, 安富六郎, 堤聡 1967, 粘土質の水田の地耐力に関する研究 (I) 地耐力の年変化, *農土論集*, 21, 24-28
- 17) 多田敦, 安富六郎, 堤聡, 田淵俊雄, 1967, 粘土質の水田の地耐力に関する研究 (II) 地耐力と地表排水の関係, *農土論集*, 21, 29-35
- 18) 田地野直哉, 橋本千寿子, 根岸久雄, 守谷貢, 森川正雄 1965, 耕地地耐力の研究 (1) 耕地地耐力の測定法及び測定例, *農土試報告*, 3, 99-117
- 19) 田地野直哉, 橋本千寿子, 根岸久雄, 守谷貢, 森川正雄 1965, 耕地地耐力の研究 (2), *農土試報告*, 4, 31-61
- 20) 山口英太郎, 永石義隆, 岡晃, 村岡嘉郎 1966, 佐賀平野における大型農機導入に伴う水田地耐力の調査研究 (I), *農土試技報*, E-1, 1-43
- 21) 山口英太郎, 永石義隆, 岡晃, 村岡嘉郎, 山下恒雄 1967, 佐賀平野における大型農機導入に伴う水田地耐力の調査研究 (II), *農土試技報*, E-2, 1-46
- 22) 山口英太郎, 永石義隆, 山下恒雄 1968, 佐賀平野における大型農機導入に伴う水田地耐力の調査研究 (III), *農土試技報*, E-4, 1-43
- 23) 八木茂 1971, 農業機械と土壌水分量の関連について, *土壌の物理性*, 24, 27-31
- 24) 山崎不二夫 1965, 風乾がアッタベルグ限界に及ぼす影響, *農土論集*, 14, 46-48  
(受稿年月日 1993年12月2日)

## 総 合 討 論

### 土壌物理研究会第35回シンポジウム 「土地生産性評価に土壌物理はどのように貢献するか」

座長 粕淵 辰昭 (山形大学農学部) ・松原 一實 (北海道立北見農業試験場)

#### 〔座長〕

今日は最初に佐久間先生の方から全体的な土地生産肥沃性の評価についての報告を受け、それぞれの方に各論、しかも相互に関係がある形で発表していただいた。今回のシンポジウムをお聞きになって、特にこれまでと違って新しい評価をしていく必要や、それに関わってどんな点を考えて行ったら良いのかにポイントを当て、ご質問なりご意見をいただきたい。

#### 〔溝口 (三重大) 〕

長谷川さんの最後の一言が気がかりでしょうがない。今回のテーマで土地生産性評価に土壌物理がどう貢献するかということだが、最近私も土壌物理に対してつまらなさを感じることもある。と言うのはアメリカのSoil Scienceの学会でも必ずと言っていいほど土壌物理の問題はモデル論、そのモデルをどういうように進めていくんだとなって、最後にはスケーリングだとか土地全体の評価につなげるんだと皆決まったように言う。この1、2年は変わっているのかも知れないが、果して土壌物理がモデル論でずっと進んでいっていいもか。伊藤さんも根の写真を示されて、マイクロモデルでは円筒系を仮定しているが色々な根があって、果してそれをモデルで近似しているのだろうかと述べられているし、長谷川さんは量的、質的なパラメータをもう一度見るのもいいのではないかとっている。私としても今までモデルで進んで来たところから、実際に根や土の表面がどうなっているかをあらゆる技術を使ってもう一度じっくり見てからモデルのあり方を考えるべきだと思う。その点に関して特に長谷川さん、伊藤さん、どの様にお考えか。

#### 〔長谷川 (農環研) 〕

溝口さんの意見に賛成。ガードナーの最後の章に書いてある言葉を読み上げる。

"One major limitation to the application of any of the uptake models is lack of an adequate model for describing root distribution and root uptake of water. Rather than dwell on the theory, it is deemed more useful here to examine the empirical data on water uptake and use that data as a guide to the relative availability of the water in the soil

#### profile."

その他にもいろいろ調べたが、テイラーも同じようなことを述べている。土の中の養分や水、空気は複雑だと思う。簡単な流れではなくて障害物もあり、ものに取り込まれるということも、モデル的には項が増えていくというのが現状だと思う。その様なものを皆解決してきた結果、かえって適用性を限定してしまったことも一面ではあると思う。そしてそういうものを批判してきたものも多いんじゃないか。やはり実際のデータを取ることは大変なので、モデルに走りたくなることもあるが、このデータならば絶対自信があるというものをいくつか積み上げて、そこで検討してモデルをもう一度見直すことに次のステップがあるのかなと思う。

#### 〔伊藤 (北農試) 〕

さっきの英語はなんと言ったのか、日本語で言ってください。

#### 〔長谷川〕

水分吸収のモデルを適用するのに大きな限界というのは、根の分布とか、水吸収の部位のこともあるが、そういうものに対して正確に描ききれていない。だからそういう状況下で理論に頼るのではなくて、もっと大切なのは、今まで出されてきた経験的な水吸収のデータを検討していく方ではないかということ。

#### 〔伊藤〕

そういう事でしたら賛成だ。

#### 〔佐久間 (北大) 〕

根本問題に関わってきているようだが、これについては全然畑違いの物理屋さんから言われたことを紹介したい。「最近生物学の分野で理論的なモデルと言うものが非常にもてはやされている。それは生物学の本当の知識が伸びなやんでいるからではないか。」つまり彼が言いたいのは、理論で行けるか行けないかということも分からないのに理論で行こうとしている。それは、私は間違いだと思う。それをはっきりさせる測定データをまず持つことが必要だ。このことは先ほどのガードナーの言葉と結果的に同じ事だと思う。長谷川さんの講演の中にもあったが、事実を正確に把握することなしで、モデルだけでは本当の事が分からないと言うことが事実だと思う。

だからといって、理論的なアプローチが全く意味がないかといえば、決してそうではないと思う。そういうものを考えて、試してみることによって本当に何が必要かが分り、その時、果たして戻る決心ができるかどうかの問題なのかも知れない。

#### 〔菊池 (中央農試) 〕

土壌物理研究のレベルによって、例えば底辺的なところをきちんと育てる必要がある。興味をわかせる研究も必要であろう。例えば農業試験場では、土壌断面の記載とか土壌統は書いているが、それにどのような意味があって肥料試験を行い、どのような肥料反応をしているかということには余り触れていない。体裁だけは書いているのだが、ステップ1としては土壌断面の物理性をきっちり、こんな土壌にこんな性質があるのだということを記載しておくことがまず必要であろう。ステップ2としては、やはりその土壌が降った雨に対し、水をどのように移動させるかということをきっちり把握しておく必要がある。皆が共通の認識として持つ必要がある。そして佐久間先生もおっしゃったようにその辺から土壌物理と言うのは理論的にどのようにアプローチして行くかが始まってくる。ステップ3としては井上さんの話にあったように作業性の場合に、例えば「粘土含量が多いから作業性が悪い」じゃなく、粘土鉱物がどのように関与しているかとか、そういうことも積極的に研究の中で取り入れて頂ければかなり納得できる。もちろんその時に土壌分類、土壌系というものがどのように関与しているか、そういったことを全体的にすることによって今回の土地生産性評価における土壌物理性のところはかなり説得力のあるものとなるだろう。そういう事になれば今日のシンポジウムにももうちょっと若い人も来ていいし、モデルの話もあって当然であるのだけれども、底辺に対して無視することは、我々の責任もあるが、そういったことも考えてもう一度元に戻る必要がある。もうちょっと基本的なことに見直しながらデータを積み重ねるといったことがこれからの土壌物理、物理だけでなく土壌分類などもそうだが、土壌物理は農業試験場あたりでは力がいってないところで、全国的な問題であろうし、来てる話題提供の人なんかは我々を引っ張って行く立場にあるはずだから、これを機会に考えてもらえれば幸いだ。

#### 〔座長〕

先ほどのモデルと実際にこれからどのように研究を進めていくかということで、長谷川さん、伊藤さんは同じ様な意見だが、相馬さんはいかがか。

#### 〔相馬 (北大) 〕

私なんか、ほとんど常にわからない状態で次から次へと計っている。今、菊池さんのお話にも出てきたように、

例えば穴を掘り単純に色々な層からサンプルを取り、含水量、乾燥密度、三相、飽和透水係数で保水性を調べていく。これで1mなら1mの穴のデータは揃うわけだ。でも、どうやってこれを読んだらいいのか解らない。何かをそこに持ってこなくてはいけないが、依然として曖昧に動いているのが私の実態である。ただ長谷川さん、伊藤さんが言われているような事についてもまさにその通りだと思う。例えば一つ100cm<sup>3</sup>のサンブラーで取ってきた土でとりあえずは質量を計ってポリュウムを計ることはやるわけだ。実はそこにとんでもない情報が入っている訳だが、それをただ言葉にして含水比いくらとか、飽和度いくらとか、乾燥密度いくらで終わらしているところがある。だから結局そういうことをやっていきと、私がさっき言った、例えば農業土木サイドで土層改良、それ一つをくんでいくときにいったい狙いはどこなんだ、言葉としては決まりきった工法を使うが、相手は変わるわけだから、そうすると同じ手法を使ったとしてもその関わり方、あるいは影響の及ぼし方が違ってくる筈であるが、結果は乾燥密度がどうなったとか、飽和透水係数がどうなったで終わっている。100cm<sup>3</sup>のサンブラーで取ってきた土壌の中に入り込んで情報をきちんと読み取れるようにならない限り先へ動けないのではないか。それにはどのようにすればいいのかということが、私にとって今興味があることだ。

#### 〔座長〕

井上さんはいかが。

#### 〔井上 (九州農試) 〕

モデルの話だが、例えば僕らもいくつかモデルを扱ってきたが、まず色々現象を見る。田圃の中に入って流出量、亀裂のパターン等の色々なものをとってくる。そこで起こる現象があるわけだが、もう一つ、理論に基づく現象というのがある。それとどうしても説明できない場面がでてくる事がよくあると思う。それならどこが違うのか、そういう事を説明するためにどこがおかしいんだ、例えばダルシーで仮定している部分がダルシーでないとか、色々な場面がある。そういう事を説明するためモデルで検討してみるというのも一つのステップだと思う。ただモデルのためのモデルではあるべきじゃない。

#### 〔座長〕

実際、井上さんがかなり圃場でしつこくやってこられたのを知っているわけだが、大変なところ、ここをこれからこうした方が良くといったところはどうか。

#### 〔井上〕

測定段階で特に突然起こるといふか、雨が降って地下水位がいつ上がってくるかとか、わりとショートタイムでおこる現象というのが田圃に張り付いてメジャーで計っ



ているだけではなかなか計れない。ある測定で日記システムも必要な、モデルから話が離れているが。ただ去年、日記システムでデータを計った訳だが、機械に任せるとするのはどうしても好きになれない。結局圃場に張り付いていることになる。当然人間が計れる範囲というのは限られているから、データの数とか時間というもので日記システムと言うものは必要だが、ただそれに任せきりというのも考えものかなと感じている。そうして現場で具体的なデータを積み重ねることが、その後のモデル化の基本になってくると思う。

〔宮崎（東大）〕

モデルの事、私も一言発言したい。私がつい最近関心を持って実験したことに、置き代わり現象、土の中にすでに存在している水と新たに浸潤してきた水がどの様に置き代わるか、あるいは混合して進んでいくのかという問題があり、そこには不動水・可動水モデルというものがある。ご存じの方も多いと思うが、土粒子に強く吸着されている少量の水は不動水で動かない、それより外側の水を可動水と呼んで、外からきた水によって動かされる、というモデルを作り、それで色々な説明ができるということが世界中大手をふって今歩いている。そこで私が実験を試みた結果、不動水があるだろうと思ってやってみた実験が、実は全部動いてしまって1%という体積含水率で置いておいたものが後からきた水によって動いてしまう。このような観察結果を見て、一方では例えば工学部の土木学会でこの問題を水文学系でやっているが、砂の場合は4、5%の含水比は不動水として扱ってモデルが組まれている。言い出した人はゲニューヒテンの言う不動水ということで固めてあり、今だにそれが世界中使われている。モデルが一人歩きしていると思った。モデルの一人歩きを許すとその学問分野は後で非常に大きなダメージを結果的に受けるのではないか。だからモデルがあるということは非常に重要だが、一人歩きをさせないようなチェック機構をその学会、あるいはその分野が持っているかどうかということが進歩の重要な指標になるのではないかと思う。

〔座長〕

何故ゲニューヒテンが言った不動水のそれがチェックできなかったのか。感想でもいいのだが。

〔宮崎〕

すごくいいモデルなのだ。分かり易いし、説得力がある。だから説得力と事実とを見違えてしまったのではないか。我々も講演とか論文で聞いたり読んでりして、説得力があるからといって信用してはいけないと考えるべきだと思う。

〔長谷川〕

モデルは、自分が畑に出て一生懸命現象を観察して、それを説明するときに使う。自分で作ったモデルを使う。だから何もなしに、こうなった、ああなったということは進歩ではないと思う。やはりモデルというのは自分で作る、信頼あるモデルを使う事が大切だ。他人のモデルを安易に呑み込むにするなどといったところ。

〔座長〕

他には。

〔広田（北農試）〕

私は土壌物理に関しては余り詳しくはないが、モデルを考えるときに細かいことや本質的なことがどれだけ捉えられているかという事も大事だと思う。例えば平均的にどれだけ大まかにあっているのかとか、時間スケールをもっと長くしたらどうなるのかといったことを考えてやらないと、最終的な土地生産性というような評価に結び付くモデルにならないのではないか。時間スケールを考えたモデルに関してどうお考えなのか。

〔座長〕

どなたに伺うか。

〔広田〕

佐久間先生に。

〔佐久間〕

基本的にモデルとは、何かのプロセスを論理的に組み立てたメカニズムによって動かしてみ、それを数値実験的に検証していくための道具だと思う。ですからここでは、プロセスが問題になり、時間のスケールをいれて考えていく、これは当然の事。もう一つは先ほど宮崎先生がおっしゃられた大きさのスケールも考えなければいけない。土地評価という視点から考えると、その時間スケールとして、私は一日よりも短いところに組み込みたくなる。で、何日というオーダーで考えていくとした方がいいのではないか。もう一つ、空間的スケールの方だが、大まかな話ができるという意味では、先ほど説明したが、ある程度の面積を持った余り大きくない流域、先ほどの表現だとLand Systemというもので考えていきたい。そうすると色々な性質の土地が含まれてくるわけだから、個々の土地において、例えば水田において水の浸透がどうなっているか、川岸の自然堤防のところではどうか、ということその辺までのところで止めておきたい。土地評価から考えて。できうるならば、その内部のミクロの話は今のマクロな観察できる現象に置き換えていただきたい。例えば根がどの様に入っていて、根毛がどの様にはえて、その周りで水がどの様に動いているか。その結果が今の程度の大きさ、Land facetがその程度の大きさでもって翻訳できるような現象、例えば私が話したところでは蒸発散量とか、先ほどリモートセ

ソシングがうまく使えないかということがあったが、そういった数量化できるもので、しかもマイクロな現象をある程度まとめたようなものをそれぞれの分野で作っていないか、とうてい広い領域の数量的な土地評価というものではないかと思う。

#### [座長]

モデルの話はだいぶ聞きましたが、特に若い方で実際にフィールドでやってらっしゃる方で、こういう問題をどう考えたいのかといったような、今日の課題と結び付けて、ご意見をぜひお願いしたい。

#### [竹内 (北見農試)]

私も水の問題をやっているが、長谷川先生のご講演の中で土壌の水の供給力の問題を評価する中で、まず透水係数が大事か、それともポテンシャルの問題か、どちらに起因するのかを見極めることが大事であるとあった。今私が問題にしたいのは、いったいどちらが重要なんだと、そこをどのような目でみたらいいのか教えていただきたい。

#### [長谷川]

それも今後の研究で詰めなくてはならないところで、透水性とポテンシャルの両方考えて、ある面では透水性が卓越するかも分からない。そういう面で追求していく必要があるという指摘をしたので、自分で答えを持っているわけでないが、単純に移動モデルでやっていて限定を付けないと、ポテンシャルがいくらでも下がっていけばいいわけで、気孔が閉じようが何とも関係なく、下げて行けばいいのだが、実際そういうこともない。かなり湿潤な所で大豆やとうもろこしを栽培していても、根の一部に蒸発しない様にちょっと土をくっつけてやると、そこではやはりマイナス数パールのポテンシャルを最初から持っている。そこから気孔が閉じる $-1.2\text{MPa}$ というのはたいした幅がないというのを考えると、ポテンシャルも大事なのかなとも思う。光合成が落ちるところのポテンシャルも割と高いようだし、そういうことからポテンシャルも大切。モデルでは移動の方からできて、その移動の係数に対するポテンシャルがこういう値ということだったが、もう一度両方考えて行かなければいけない。答にならないが、一緒に考えて下さい。

#### [座長]

他にいらっしゃいますか。

#### [三木 (中央農試)]

伊藤さんにお聞きしたい。養分吸収と根のモデルで説明できるとなっているんですけど、基本的にはモデルは一つの結果を表す過程だと思う。養分吸収は結局、根がどこまで広がって、分布していくのかということが一番大きな問題という気がする。今、とうもろこしで一生懸

命重労働やっているが、根がいったところの窒素濃度、無機態窒素濃度は必ず低くなる。土によって非常に根の張り方は違って来る。そういったときに、佐久間先生のおっしゃられた、土地生産性とつなぎ合わせたときに、根張りなどと土壌物理性と土地生産性の評価をどの様にリンクしていくのか。少し説明して頂きたい。

#### [伊藤]

それ、私ですか。私でないでしょう。私の所では、分らないと申し上げた。あまり逃げばかりいっててもいけないと思うが。今日のシンポジウムの中に根の話がなかったのは大変に残念に思う。私は、今水田の担当なので水田のことしか今考えてないが、下層土を経て吸収される窒素がかなりあるのではないかと、ということがシミュレーションの結果でもでてくるし、一部、極わずかでですけど実験データも実は持っている。そのあたりのことも、水田の施肥なり窒素の動きを評価する上で具体的なデータとつなぎ合わせながらこれからやっていきたい。畑の話、物理性とのつながりはどなたかにやって頂きたい。

#### [座長]

畑の今の質問に答えて頂ける方は。それじゃ、成岡さん。

#### [成岡 (東京農大)]

せっかくこれだけの先生方が集まっておりますので問題提起というか、教えて頂きたいことがある。だいぶ前、編集委員長の波多野さんとのよもやま話の中で、この土壌物理研究会の中でだんだん純粹の土壌物理が萎んで来てしまった、しかし回りの方からぜひ土壌物理を使いたい、あるいは土壌物理の中との情報したいという、境界領域あるいは外のフィールドから非常に多くの要求ができてきて、それに答えるすべがないという話があった。私もそうだと考えている。土壌物理の研究者はあまり現場に出ていると笑われそうな、しっかりラボにいて、しっかり理論的な問題を突き詰めていかないと、あるいは粘土の問題もそうだが、熱力学に入り込んでやっていかないとなんか笑われそうな、そんなプレッシャーがかかっている。しかし、フィールドに出れば非常に多くの問題があって、例えばさっき井上さんが自記記録でやっている非常に不安だと、現場に張り付いていけば色々な現象が肌で感じられる。やはり我々土壌を相手にする研究者は、土壌は自然体、というのはそこからはずし、ラボに持ってきた瞬間その現場から全く離れた現象になってしまう。そうすると、例えば水田の畦道を歩いてれば、所々にガスが湧いてくる現象、すなわちメタン発生だとか硫化水素の発生が見える。フィールドをはつき歩いただけで色々な問題があるにもかかわらず、ひたすらラボに閉じ込もっていることが一体どういうことなのか。そ

れからも一つ、外のフィールドの人といかに情報交流したら良いのかということに付いて教えて頂きたい。例えば、長谷川さんは今回のご講演で、非常に健全な土壌環境について水の動きやポテンシャルについてのお話をされたけれど、純粋な要因はそれで引き出せるが、その中に塩が入り込んだらどうなのか、あるいは低平地でメタンや硫化水素が発生するような環境ではどうなのか。それに対し土壌物理はどう対処したら良いか、という問題になったらそれは難しいと、それは土壌化学の分野になるから大変だといって、我々100ccのサンプラーを使ってひたすらデータをとっているものにとってはとんでもない問題になってしまいがちだが、それももしかすると土壌物理の研究分野で切り崩すことができる問題と思う。どうお考えか。それから土壌調査するにあたって、やはりスコープを持って自分で穴を掘れば体で全部データが分かるはず。しかしそれは数字にはならない。体で覚える。それをやっている現場の、先ほど菊池さんがそういう内容のことをおっしゃったが、現場でそういう苦労していても、その情報、そういう印象が津々浦々の方に伝わっていくことができないという問題に対してもどうしたら良いのか。とにかく情報交流をいっただうしたら良いのかについて何かヒントでもいただけたら。

〔座長〕

長谷川さん。

〔長谷川〕

まず情報交流の前に、その前に言われた塩溶液の濃度が濃いか、有害ガスが発生する場合のことを質問されたが、最初に発表の時に申したように私の見方は一面的かなということはある。何故一面的かという、成岡さんが今指摘したようなことなのだが、もう一つの切り口としてやはり灌漑、排水という切り口もあったのかなという感じもする。例えばガスの場合、どれだけあるとか、濃度がこうだ、拡散係数がこうだとかいう話をしたけども、まず土地ということを見ると、まず雨が降った後、その畑に出て観察すれば、水が溜まっていけばまずいなというような評価があると思う。24時間湛水排除、そういうものも実際使われていると思うし、そういう様な切り方もあると思う。それともう一つの情報交流のことですけど、これはちょっと答えきれない。やはり自分の考えを固めて、そのフィールドで働いている他の分野の人に質問をする以外ないんじゃないか。畑でお話してもあまり出てこないような感じもする。

〔座長〕

予定されていた時間が後5分くらいになってしまって。僕の方から当てていいですか。北農試の水落さん。フィールドで非常にいい仕事をされていますので、是非。

〔水落（北農試）〕

色々基礎的なおもしろい話をうかがいまして、ありがとうございました。せっかく当てていただいたので、例によって土壌物理のファンの一人として、注文をさせて頂きたい。一つは、今持続型農業ということを盛んに皆さんおっしゃっていて、だけど実際にはものすごく圃場が荒れ果てても、それに対する自覚症状がない方に限って持続型農業とおっしゃっている。そういうことで、やはりエロージョンの問題、これが佐久間先生のお話では、開拓地が荒廃していったという場合には、かなり養分枯渇なんかが関係していたと思いますが、現在大型機械化がどんどん進む中で、よけい加速されてエロージョンの問題が出ている。ところが、エロージョンに対するトランスファクターがどの様に分布しているとか、エロディビリティのマッピングとか、そういったものが我々が入手できるような形で整備されていない。どんどん土自体が流されてしまって、持続型どころではなくなるのではないかと非常に心配になっている。だから、この問題は学際的な問題だが、土壌物理分野の方が主役というか、指導性を発揮して、ぜひ対応して頂きたい。生産性を高める面と維持する面で、是非お願いしたい。それからもう一つ、我々がフィールドでみると物理的なストレスが非常に多い圃場ばかりで、これを安い値段で改良していけば、まだまだ生産力が上がるのではないか。野良仕事している我々に知恵を授けて頂いて、一緒にやっていただければ、我々第3次緑の革命をやるんだと。第1次は、育種でメキシコとかフィリピン中心にやられた訳で、第2次はヨーロッパで非常に生産性の革命が起こった。第3次は日本でやるんだということで、現在のモニタリングとか色々な手法でもって、リミットになっているストレス要因をリアルタイムでキャッチしてそれをすぐフィードバックして、ちゃんとした管理をする、といったようなことをやっていけば、まだまだ生産力が高まるんだといったことで、是非その面では土壌物理の要因が大きくてですね、指導性を発揮して頂きたい。そういう点で、直感だが、私の感じでは極表層の5cm位の所の水、養分状態をオプティマムに保つというのが非常に大きい。それから下層の連続した粗孔隙が非常に重要ではないか。この辺の評価、連続したいい孔隙を作る手段、そういったものの開発をぜひお願いしたい。注文ばかりで済みません。

〔座長〕

どうもありがとうございました。もう時間がきていますが、岡島先生、なにか一言。

〔岡島（道都大学）〕

困りました。今、水落さんから広大なお話がออกมาして、

どのペースで私、申し上げたら良いかわからないけど、実は私、現役からかなり経ち、もっぱら挨拶要員の仕事をやっており、久しぶりに非常に知的というか、英語でいうスマートな人たちのやりとりを聞いていて、頭が気持ち良くなった。モデルの問題、色々出ていたが、私はこの研究会にこの4月に入会させて頂いたので、先ほど若い人からの話ということがあったが、そういった意味では私も若いものの一人ということでは話してみたいと思う。先ほどから、長谷川さんとのやりとりなんかでも、モデルの価値判断、色々出てたけど、私、個人的には科学的な知識は不偏的なものであるけど、同時に個人的なものであると思う。個人個人が違うように解釈している。それで、どこが違っているかをお互いに披瀝し合うような話し合いを積極的にしたらいいんじゃないかな。それからモデルの話でいえば、あれは演繹的な最もの方法なのだろうから、あって喜ぶよりも、合わなかった方を喜んでいく方がいいのかなと思う。先ほど個人的なものが科学的知見に影響しているということ、私の例から申し上げる。私、農芸化学の学生だった時、何かゼミをしなきゃいけないんで、理学部へ行ってプランターという本を見つけた。プランターという本には、ルンディゴーツという人が、根というものは呼吸して濃度勾配に逆らって硝酸を吸っている、それにはこういう仕組みがあって云々ということが書かれていた。私は農芸化学では呼吸というのは三単糖という説しか知らなかったが、根が呼吸をして物を吸うというのは大変な驚きで、それが私の未だに思っている感慨の一つだ。たまたま私こちらに来ることになってから、主要な研究テーマを土壌養分供給能というように設定した。今でも忸怩たるものがあるが、長谷川さんは、作物に対する土壌の養分供給力、養水分供給力、あるいは供給能という言葉だが、私には最初の「対する」がっていない。土壌の養水分供給能、土壌の養水分供給力というように付けてしまった。今でも困ったなと思っている。どうして困るかというと、土壌というものは、養水分を要求に応じて供給する一つのパターンがあるはずで、作物の方には能力というかパワー、アビリティがあるが、土の方はそれに付随というか、その制限要因にならない形について行くのではないか。そのついて行きかたをどの様にしたらいのかという感じであるから、私のつけたのはいささか雑多かな思っている。突然想い出したが、今日、今、私、大変汗かいている。この前大学に行ったら、今日ローンでジギスカンやるんで来て下さいといわれたので、久しぶりで北大のローンでジギスカンを食べるんだなと思って、今朝寒かったから下着をいっぱい着てきた。そしたら今日ここにきたら、暑くて暑くて。これは私が

老化しているという証拠で、若ければそういう憂いはなくて、応じて自分の力で対応していくわけだ。だから先ほどいったように、根の要求に応じて、あるいは根は作物ですけど、作物の要求に応じて土がどの様に供給していくかというパターンを決める場合に、根のアビリティというのが非常に問題になってくる。これは論議として沢山出ている。ところがこれが大変難しいことで、どうい様に難しいのかというと、これも私の若い二十歳代の仕事だが、根を半分にぶったぎって、水耕でものを吸わせる。半分にぶったぎったら養分が半分になるかという決してそんなことはなく、8割位はとってしまう。完全になる場合も、ものによってあるが。だから根の能力というのは、その時点で測ったとしても、上の要求に応じて変わるし、一部の根が悪ければ他の根が代用する。これが生物の最もすばらしい働きだと思っている。特に植物の場合、動物と違って根が張るということが実はそういう安全保証を含めているので、その評価が非常に難しい。従って先ほどヘテロジェネティの話が色々出てきましたけども、ああいう問題も根が色々張っているから、働いている根、働いていない根、そういうのが全部アバライズしてくるから、色々なモデルを作ってもだいたい合ってくると思う。かなりヘテロでも。その例の一つ申し上げる。私、もうだいぶ前になるが、北大の土壌で簡単なことだが、土の深さ毎に硝酸と水とを測って、容量因子として深さを1m位にして、最初にある硝酸態窒素と窒素、0,50,100,150,200だかにやる。そしてトウモロコシを育てて、トウモロコシを定期的にとって、マスとして土の硝酸態窒素を測って、無機態の窒素を測って土壌全体からどれだけの窒素がなくなったかと。それと、トウモロコシが吸った量を合わせれば、ほぼ合う。もうちょっとかっこ良くしようと思い、今度は北農試で透水係数だとか、云々だとか色々なことをやりながら硝酸をモデルで動かしていくと、これは牧草だったが、合ってくる。うんと細かくやっても合う、簡単に広くやっても合う。これはやっぱり根の能力が状態に応じて、少なければかき集めるし、よけいであれば排除する、そういう主体的な動きがあるから、ヘテロなものを全部一括しているので、どういうモデルを作ってもかなり似た形になると思っている。ちょっと暴論だが。だからといって先ほどからの伊藤さんのお話、私昼から来たんで長谷川さん、佐久間先生のお話伺ってないのでよく分からないが、ああいう話なんか大変嬉しく思っている。バーバーの場合でも、根から有機酸を出す、根から何かを出すといったら皆ぶち壊してしまう。ところが、先ほどおっしゃったようにあれはあれでいいと。色々なことがあるが、そのレベルレベルで見れることを見ながら解釈していく。

それから、おそらく伊藤さんがイメージしているモデルに対するのと、私がナイエとかなんかで、学生と一緒に読んでたイメージとはかなり違っていると思う。そういった違いなどを深めながら一方で進み、もう一方では非常にマクロに、先ほど現場を見ろとあったが、これはやっぱり同時並行的にいくべきで、どちらから入ったら良いかということではないし、ただお互いにそういう情報の違いを認めて、その中で相互矛盾を、いや矛盾というか、知識として自分の都合のいいところだけ持ってくる。色々な意味での理解の違いがあるわけで、そういうミクロのレベルとマクロなレベルの人との考えをフラックというか、私はこれが分からないんだ、pF3というのがさっぱりわかんないんだということも含めながらやっていったらおもしろいのではないかと。そういった意味で今日の課題などは、端的にいうと、土壌の構造を含め、そういう評価価値の中でどういふものに整理して、先ほど水落さんのおっしゃったレベルの場合には、どの程度の項目で評価していくとそれについて答がでるということ、やはり勇敢に出して行ったほうが私はいいと思う。分かりませんというのではなくて、今の時点ではこういうことがいえるということを大きく訴えていくことが若くていいのではないかと。剩り消極的というか、先へ先へと問題を持たないで、今の時点でここまでいえるということ、皆さんに大きな声で物理はこんなに良くやっているというようにいっていただければと、そういう気持ちで聞いていた。ご理解いただけただけでしょうか。

〔座長〕

どうもありがとうございました。今日は非常に楽しいというか、いいディスカッションができたのではないかと勝手に思っている。皆様にご協力頂き、本当に今日はどうもありがとうございました。これで今日のシンポジウムの討論会を終わらせて頂く。

# 会務報告

## 諸会議等開催経過

1. 事務局会議 (1994. 2. 28. 北大農学部)
  - 1) 会誌69号の編集状況
  - 2) 第36回シンポジウムについて
  - 3) 会計年度変更について
2. 編集委員会 (1994. 2. 28. 北大農学部)
  - 1) 会誌69号の編集
3. 評議委員会 (1994. 4. 4. 京大農学部)
  - 1) 会誌69号の編集状況
  - 2) 第36回シンポジウムについて
  - 3) 会計年度変更について

## 会員の動向

### 1. 会員数 (1994. 3 現在)

会員種別	会員数
正・学生会員	545
北海道	79
東北	50
関東	192
中部	47
近畿	42
中四国	75
九州	56
海外	4
講読会員	62
賛助会員	7
合計	614

### 2. 新入会員 (1994. 1~1994. 3)

氏名	種別	連絡先
児玉 法彰	正	305 茨城県つくば市旭一番地 建設省土木研究所
横田 正夫	正	301 茨城県竜ヶ崎市の向陽台5-6 (株)クボタ 基盤技術研究所
北川 厳	正	069-13 夕張郡長沼町東6北15 北海道立中央農業試験場

竹内 真司	正	166 東京都杉並区和田1-39-13 動燃杉並住宅301
中川 進平	学生	060 札幌市北区北9条西9丁目 北海道大学農学部
松岡宗太郎	学生	060 札幌市北区北9条西9丁目 北海道大学農学部
(株)環境保全 サイエンス	賛助	003 札幌市白石区本通18丁目北1-1 栄輪ビル

### 3. 住所変更 (1994. 1~1994. 3)

氏名	旧	新連絡先
井田 明	福岡	840 佐賀市巨勢町牛島上 住友団地
中井 信	茨城	305 つくば市大わし1-2 国際農林水産業研究センター
越野 正義	茨城	305 つくば市観音台3-1-1 農業環境技術研究所
梶 聡	青森	034 青森県十和田市東23番町35-1 北里大学獣医学産学部
石田 智之	香川	761-07 香川県木田郡三木町池戸 2393香川大学農学部
中島征志郎	長崎	854 長崎市江戸町2-13 農林部 農業技術課
伊良部忠男	沖縄	903 那覇市首里崎山町4-222 沖縄県農業試験場
藤原多見夫	広島	739-01 広島市八本松町原 広島県立農業技術センター
中澤征三郎	広島	731-21 広島県山県郡大朝町 広島県立農業技術センター
上野 義視	茨城	P.O. BOX 1345-1153, QUEZON CITY METRO MANILA PHILIPPINES Bureau of Soil and Water Management
小山 実	茨城	305 つくば市東1-1 物質工学工業技術研究所
野々山芳夫	福岡	305 つくば市観音台3-1-1 農業技術センター
渡辺 治郎	北海道	389-02 長野県北佐久郡御代田町 塩野 草地試験場 山地支場
大塚 紘雄	北海道	305 つくば市観音台3-1-1 農業環境技術研究所
横井 義雄	北海道	069-13 夕張郡長沼町東6北15 北海道立中央農業試験場

高畑 滋	茨城	020-01 盛岡市下 川赤平4 東北農業試験場
菊池 晃二	北海道	098-57 枝幸郡浜頓別町緑が丘 北海道立天北農業試験場
土屋 一成	北海道	010-04 秋田県南秋田郡大潟村東 1-1 秋田県農業試験場大潟支場
本間 廉造	山形	997 鶴岡市城北町35-31
大崎玄佐雄	北海道	060 札幌市中央区南7西10 全農札幌支所
伊藤 純雄	富山	062 札幌市豊平区羊ヶ丘1 北海道農業試験場
中司 啓二	北海道	082 川西郡芽室町新生 北農試畑作研究センター
阿久津孝夫	北海道	062 札幌市豊平区平岸1-3 北海道開発局 開発土木研究所
伊藤 幸範	北海道	744 山口県下松市花岡上地

#### 4. 退会会員 (1994.1~1994.3)

正会員10名、購読会員1件、賛助会員2件

## アジア学術会議～科学者フォーラム～開催

平成5年12月 日本学術会議広報委員会

今回の日本学術会議だよりでは、10月20日から22日まで開催された第117回総会の概要、同総会で採択された「生物遺伝資源レポジトリー及び細胞・DNAレポジトリーの整備について（要望）」等、11月15日から18日まで開催されたアジア学術会議～科学者フォーラム～についてお知らせします。

## 日本学術会議第117回総会報告

日本学術会議第117回総会（第15期・第6回）が、10月20日～22日の3日間にわたって開催されました。

総会の初日（20日）の午前は、会長からの前回総会以降の経過報告に続いて、各部、各委員会等の報告（学術分野における国際貢献、アジア学術会議の開催など214件）が行われました。次いで、今回総会に提案される案件の「生物遺伝資源レポジトリー及び細胞・DNAレポジトリーの整備について（要望）」について、提案説明が行われた後、質疑応答が行われました。

午後からは、各部会が開催され、上記提案案件の審議及び各部会個別案件について審議が行われました。

総会2日目（21日）の午前は、同提案案件についての討論・採決が行われ、採択されました。これは、生物遺伝資源レポジトリー整備拡大の必要性の増大に対処するため、現在ある個別系統保存施設の拡充、総合調整機構の設置などを要望するとともに、細胞・DNAレポジトリーの整備のため、各省庁傘下の施設のネットワーク体制を構築し全体の活動を総合調整する、チェック機構を付加した細胞・DNAレポジトリーセンターの設置など、政府関係機関において取るべき具体的措置を要望するものです。

なお、本件を要望するに当たり会長談話が併せて発表されました。

同案件の採択に引き続き、昼休みを挟んで午後にかけて、現在、常置委員会及び特別委員会が審議されている懸案事項について、自由討議が行われました。この中で、「人の死と医療の在り方」を検討している死と医療特別委員会がまとめた「尊厳死」についての考え方を総会に報告し、それについて活発な議論が展開され、マスコミにも報道されました。

同委員会では、今回の議論を踏まえ、更に検討を深め、来年5月の総会に報告として提案するため準備を進めています。

総会3日目（22日）は、午前は、各常置委員会及び国際対応委員会、午後は各特別委員会がそれぞれ開催されました。

## 生物遺伝資源レポジトリー及び細胞・DNAレポジトリーの整備について（要望）

我が国の生物遺伝資源の保存は、数多くの施設・機関によって個別に行われているが、その充実・強化と、国のレベルでの生物遺伝資源レポジトリーの整備が急務となっ

てきている。他方、癌、遺伝病などの疾病の原因究明、ひいては人類の健康・福祉への貢献を目的とする細胞・DNAレポジトリーの充実・整備もまた、今日の我が国にとって急務である。

このため、互いに関連はするが、異なる性格、目的をもつこれら二つのレポジトリーの整備等について要望する。

## 1 生物遺伝資源レポジトリーの整備について

生物遺伝資源レポジトリーの整備拡大の必要性の増大に対処するため、政府関係機関において次の措置をとるよう要望する。

- (1) 生物遺伝資源の保存は、基本的には、従来どおり、その分野の担当研究者の能力、地域性などをいかして、個別の系統保存施設で行うことが望ましいので、そのより一層の拡充を図り、そこに専任の研究者、専門技術をもつ職員を置き、予算を充実に施設の近代化を図る。
- (2) 個別の系統保存施設では、遺伝子工学に基づくトランスジェニック生物、細胞融合によって作出される新種、DNAクローンや細胞及び凍結組織などを加えた新材料の保存を、社会的、法律的及び倫理的側面に配慮しつつ、積極的に推進する。
- (3) 系統保存事業の永続性を保障するため、国のレベルにおいて、研究施設を附置する生物遺伝資源保存センターを設立し、DNAクローンや細胞及び凍結組織のレポジトリーもこのセンターに集中する。
- (4) 生物遺伝資源保存センターは、関係機関との対応、保存系統に関する情報の収集・提供、系統の導入・配布・品質管理、海外との情報交換などについて、個別の系統保存施設の活動を総合調整する。
- (5) 国際的視野に立って、海外諸国との連携を深めるため、保存系統に関するデータベースを整備する。

## 2 細胞・DNAレポジトリーの整備について

細胞・DNAレポジトリーの重要性と必要性についての認識を新たにし、早急に次の対策を講ずることを、政府関係機関に要望する。

- (1) 現在、各省庁傘下の各研究機関及び大学・研究所の研究室に個別に置かれているレポジトリー又はそれに類する施設に対して予算、人員、スペース等について格段の措置を講ずるべきである。
- (2) それとともに、研究施設を附置した細胞・DNAレポジトリー・センターを新たに設置する。このセンターは、上記の諸施設の活動を総合調整する。このセンターは、すべての施設と有機的に結合するネ



ネットワーク体制を構築し、必要に応じて各研究室に分散保存されている細胞・DNAを受け入れる。また、現在設置されている施設のうち運営困難なものを解消し、このセンターに移管する。

- (3) 新しく設置されるセンターには十分な予算を措置し、自主的な運営ができるようにするとともに、このセンターの運営を支えるための専門職を育成・確保する十分な方策を講ずる。また、海外との協力関係のより一層の促進を図る。

さらに、センターの運営の適正を期するため、ヒトゲノムプロジェクトの推進についての勧告に言及されているようなチェック機構を付加する。

(詳細は、日本学術会議月報11月号を参照して下さい。)

## 生物遺伝資源レポジトリ及び細胞・DNAレポジトリの整備について(会長談話)

(平成5年10月21日)  
日本学術会議  
会長 近藤次郎

昨年6月、リオデジャネイロで開催された国連環境開発会議(UNCED)で合意された生物多様性保護条約を受けて、現在、世界中で生態系、生物種や遺伝子などの保存について関心が高まっている。これは本来、人間も含めて生命界全体の命運にかかわる重要な問題である。日本学術会議としても、今後さらに引続き審議を深めるべきであると考える。

しかしながら、先進国を中心にしてこの種のプロジェクトは、国家の強力な援助の下に推進されている。将来におけるこの分野の科学の発展を考慮するとき、我が国の状況をそのままに放置すれば学問の進歩に遅れるなど由々しき事態になると憂慮するものである。

今回は「生命科学と社会的諸問題」特別委員会のまとめた提案について、総会で人文社会科学部門も含めて真剣な討議を行った上、とりあえずここに要望するものである。

## アジア学術会議～科学者フォーラム～の開催について

- 1 日本学術会議は、アジア地域の各国科学者の代表を東京に招き、本年11月15日(月)から18日(木)までの4日間、三田共用会議所(東京都港区)においてアジア学術会議～科学者フォーラム～を開催しました。
- 2 このアジア学術会議～科学者フォーラム～は、地理的、歴史的、文化的に多くの共通点を持つ近隣諸国間の交流がそれぞれの国の学術の発展、ひいてはその地域全体の学術の発展にとって極めて重要であるとの認識から、アジア地域の各国における学術研究の現状について情報交換を行うとともに、アジア地域における学術研究分野での連携・協力の在り方などについて討議し、併せてアジア地域の学術研究者間の相互理解と信頼を深めることを目的として、本年度初めて開催したものです。
- 3 今回の会議には、中国、インド、インドネシア、日本、マレーシア、フィリピン、大韓民国、シンガポール、タイの9か国の学術推進機関(アカデミー等)から推薦された人文・社会科学系及び自然科学系の科学者19名が出席し(日本からは近藤次郎日本学術会議会長及び川田侃副会長が出席)、「アジア地域における学術の発展とそのための連携・協力について」をメイン・テーマとして活発な討議を行いました。
- 4 初日の15日には、鳩山内閣官房副長官(内閣総理大臣あいさつ代読)を始め、国会議員、各国大使館、関係学協会、関係省庁、関係団体などから200名を超える方をお迎えし、開会式及び歓迎レセプションを開催しまし

た。

翌16日からの自由討議においては(17日は筑波研究学園都市視察(研究交流センター、電子技術総合研究所、農業生物資源研究所を訪問)、それぞれの国籍や専門分野を超えて、アジア地域における学術の振興という共通の目的の下、熱心な討議を行い、議長サマリーをまとめ、18日に無事閉会しました。

開催に当たり御支援・御協力いただきました方々に厚くお礼申し上げます。

## (参考) アジア学術会議～科学者フォーラム～議長サマリー(仮訳)

- 1 アジア学術会議～科学者フォーラム～は、日本学術会議の主催により、アジア地域の9か国から、19人の各国の科学界を代表する科学者の参加を得て開催され、それぞれの国籍や専門分野を超えて、アジア地域における学術の振興という共通の目的の下、熱心な議論がなされた。本会合に参加した科学者は、学術の振興を通じた社会への貢献が重要であり、科学者の責務であるということを確認し、学術研究の成果は、人類の共通遺産として、文化的、社会的、経済的發展を通じて、世界の平和と人類の福祉に貢献するものであると信じる。また、そのためには、自然科学者と人文・社会科学者の密接な協力も不可欠である。
- 2 本会合に出席した科学者は、アジアの科学者による学術協力についての初の会合を提案し、開催した日本学術会議に感謝し、今後も、このような日本学術会議の努力が続けられることを期待する。
- 3 今日、世界は、環境悪化、人口爆発、資源の枯渇など人類の英知を結集して取り組まねばならない深刻な問題に直面しており、本会合での討議は、そのような問題の解決に向けての将来の国際協力に発展していくものである。
- 4 持続的開発は、アジア地域の各国にとって、21世紀に向けての共通の重要課題である。地理的、歴史的、文化的に密接な関係を持つアジア地域の科学者は、この問題に協力して取り組むことが重要である。
- 5 国際的な研究、技術・資源の共有等に当たっては、地域的な協力が効果的である。今後、そのような領域において、地域の発展のために協力を推進することが必要である。
- 6 学術の発展、社会の発展の基盤となる人材の育成は、科学者が地域的に協力して取り組むべき課題である。次世紀に向けて、人材の育成のため、アジアの科学者も協力することが必要である。
- 7 各科学者及び各国は、研究者の交流、共同研究、シンポジウム、ワークショップ等による情報の交換を促進するよう努力することが必要である。
- 8 学術協力は、対等互恵の原則に基づいて行われねばならない。
- 9 本会合の趣旨、提案を受け継ぎ、より密接な学術交流・協力の基盤となる将来の会合が開かれることを期待する。
- 10 アジア地域の科学者によるこのような会合を毎年開催すること、当面、日本学術会議がその事務局となること、アジア地域の学術動向についてのニューズレターを定期的に発行することを提案する。

「日本学術会議だより」について御意見、お問い合わせ等がありましたら、下記までお寄せください。

〒106 東京都港区六本木7-22-34

日本学術会議広報委員会 電話03(3403)6291

## 平成6年度予算(案)決定

平成6年3月 日本学術会議広報委員会

今回の日本学術会議だよりでは、第16期の会員推薦関係費、アジア学術会議開催経費などを計上した平成6年度予算及び最近公表された「調査報告 我が国における学術団体の現状」等についてお知らせします。

## 平成6年度日本学術会議予算

平成6年度日本学術会議の予算額は、総額で12億128万7千円で閣議決定されました。前年度と比較して1億546万円の増。率にして9.6%の伸びです。これは、平成6年度が第16期の会員推薦期に当たり、会員の推薦に必要な経費、臨時総会及び臨時部会等の会員推薦関係費が8,048万1千円増額し1億5万5千円になったことが主な事由です。

また、アジア学術会議の開催に必要な経費が、前年度に引き続き2,219万5千円が認められました。

その他、平成6年度予算では、国際分担金の16団体に対する単位額の変更が認められ、国際会議の国内開催については、神経・筋、園芸学、錯体化学、心電学、情報ドキュメンテーション、病態生理学の6国際会議の開催を予定しています。

また、世界各地で開催される学術関係国際会議への代表派遣や二国間交流に必要な経費が計上されています。

平成6年度予算概算決定額表は、下表のとおりです。

(単位：千円)

事 項	前 年 度 予 算 額 A	平成6年度 予 算 額 B	比 較 増 △ 減 額 C = B - A	備 考
日本学術会議の運営に必要な経費	1,095,827	1,201,287	105,460	対前年度比較 109.6%
審 議 関 係 費	265,525	272,534	7,009	○地球圏-生物圏国際協同研究計画 (IGBP)シンポジウム、公開講演会等  ○第16期推薦経費 ○臨時総会、臨時部会
国際学術交流関係費	221,254	226,646	5,392	
国際分担金	74,722	67,450	△ 7,272	
国内開催	73,543	86,172	12,629	
代表派遣	44,006	44,006	0	
二国間交流	6,823	6,823	0	
アジア学術会議	22,160	22,195	35	
会員推薦関係費	19,574	100,055	80,481	
会員推薦管理会	19,102	21,632	2,643	
推薦経費	472	57,629	57,393	
臨時審議経費	0	21,007	21,007	
一般事務処理費	589,474	602,052	12,578	

## 第4 常置委員会報告—調査報告 我が国における学術団体の現状(要旨)

平成6年1月26日

学会協会等の学術団体は各専門分野の学術の進展において重要な役割を果たしており、加えて、日本学術会議の会員候補者を推薦し、また、研究連絡委員会に委員を送るなど、日本学術会議の基盤となっています。第4常置委員会は、学術団体の活性化・活動強化等のための支援方策を検討するに当たって、学術全分野における学術団体の現状を知る必要を認め、調査を行いました。調査票は選択肢方式の9項目44設問にわたる詳細なものでありましたが、調査対象とした日本学術会議広報協力学術団体1069団体の70%にあたる750団体から回答を得ました。分析結果を対外報告「調査報告 我が国における学術団体の現状」として今回公表しました。

報告書は、(1)専門分野、(2)会員、(3)設置形態と組織形態、(4)活動状況、(5)国際性、(6)財政状態、(7)学術団体の属性にみる専門分野の類似性、(8)学術団体への支援について、及び「附属資料」よりなっています。報告では、学術団体の諸属性を、全団体平均に加えて、専門分野別と団体規模別に比較しています。63頁にわたる報告書の内容を簡潔に要約することは困難ですが、以下にその一端を紹介します。

学術団体の数は文学系及び医学系の分野で多く、法学系及び経済学系で少ない。2つ以上の専門分野にまたがる団体の割合は文学系及び医学系で少なく、理学及び工学で多い。平均正会員数は全団体平均で約2.5千人、人文科学部門で0.7~1千人、理学及び農学で1.7~2.5千人、工学及び医学系では約4千人である。

全団体の約20%が法人である。法人の割合は団体の規模の増大とともに急速に増加する。工学において特に高く、人文科学部門で低い。フルタイムに換算した事務職員数は正会員数に比例し、全団体平均でみれば正会員千人あたり0.71人である。事務所面積は正会員数に比例し、全団体についてみれば、基本面積が27㎡で、正会員千人あたり1.7㎡である。

会誌の発行は最も普遍的な活動で95%の団体に見られる。人文科学部門ではやや低く、理学及び工学においてやや高い。論文誌の発行は約27%の団体で行われており、経済学系、理学及び工学において割合が高い。書籍の出版は15%の団体で行われており、理学、工学及び農学で高い。その他の活動のうち、社会人教育は19%の団体で行われており、理学及び工学に多く、経済学系及び医学系で少ない。

国際集会を主催した経験をもつ団体は51%である。団体の規模が大きいほどその割合は高い。専門分野別で見れば、文学系及び法学系において低く、理学、工学及び農学で高い。国際集会を開催する上での困難の第1位は「経費の調達」で84%に達している。会誌あるいは論文誌を何らかの意味で国際的に開放しているのは85%の団体にみられる。

団体の財政規模を正会員数で割った額は全団体平均で29千円で、文学系及び経済学系において10~15千円、理学及び工学で高く48~57千円に達する。平成3年度における実質収支(繰り越しを除く)での赤字団体は全体の約3分の1であり、予算規模の10%以上の赤字をもつ団体が7%ある。外部からの支援を必要とする事業は、成果刊行が最大で60%、次が国際活動で30%である。団体の規模が大きくなると、国際活動への支援要求の割合が高まる。具体的な支援方策としては、学術団体の活動が円滑に進むよう制度等を整備する方法、特に、学術団体に対する課税及び学術団体への寄付者への課税を緩和する方策が効果的と考えられる。

終わりに、この調査に御協力を頂いた学術団体の担当者の方々に深く感謝申し上げる次第です。

## 第16期日本学術会議会員のための 登録学術研究団体の概況

日本学術会議では、現在、第16期(平成6年7月22日~平成9年7月21日)会員(定員210人)選出のための手続が進められていますが、その第1段階として、昨年(平成5年)5月末日を締切期限として、学術研究団体からの登録申請の受付が行われました。これらの登録申請については、日本学術会議会員推薦管理会において審査が行われましたが、その結果は次のとおりでした。

- ・申請団体数……………1110団体
- ・登録団体数……………1069団体

「日本学術会議だより」について御意見、お問い合わせ等がありましたら、下記までお寄せください。

〒106 東京都港区六本木7-22-34

日本学術会議広報委員会 電話03(3403)6291

## —編集後記—

今、私の所属する北海道大学農学部は大学院改革を議論しています。これまで少ない人員で教育と研究を両立させる努力を重ねて来て、いよいよ大学院での研究が手厚くできるのかと期待していました。しかしこの期待はまったく当を得ていないことがわかってきました。これまで学部教官が大学院を兼務していたのを、大学院教官として学部を兼務するだけであることがわかったからです。この変更にあたって最悪なのは、論文の数だけで教官の質を再評価するとの話がまことしやかに流され、教授はトップネームの英語論文が50は必要とすさまじいことがいわれていることです。数は質なりの論理で物事を

すまそうとする姿勢にショックをうけています。

我々は魂を売るわけにはいかないと思います。昨年のような気象一つで技術が敢なく敗退する現実は、知らないこと知るべきことの多さを物語っていると思います。土壌物理研究会の35年間を振り返り、この複雑な土壌の世界を理解し技術に役立たせようと努力してきた先人達に敬意を払い、その上に新しい研究のフレームを構築していこうではありませんか。現場の仕事に従事されている方には、これまでの方法では評価できない問題点の指摘を積極的におこなって欲しいと思います。本号のシンポジウム総合討論を是非ご覧になって下さい。

編集委員長 波多野 隆 介

### 土壌物理研究会

事務局構成 会 長 佐久間敏雄(北大)  
副 会 長 堀口 郁夫(北大)  
会計幹事 倉持 寛太(北大), 柏木 淳一(北大)  
庶務幹事 相馬 尅之(北大)  
編集幹事 松原 一実(北見農試), 石渡 輝夫(開発土木研)  
編 集 委 員 委 員 長 波多野隆介(北大)  
委 員 長沢 徹明(北大), 中司 啓二(北農試), 橋本 均(中央農試)  
前田 要(中央農試)、矢沢 正士(北大)

土壌の物理性 第69号(会員配布) 1994年5月31日発行

発行 土壌物理研究会(〒060)札幌市北区北9条西9丁目 北海道大学農学部土壌学講座内

電話 011-716-2111(内線2566) FAX 011-706-4960 振替口座 東京5-17794

銀行口座 北海道拓殖銀行札幌駅北口支店(店番号012) 口座番号(普通預金)768526

印刷 株式会社印刷(〒065)札幌市西区八軒2条東5丁目3-16 電話(011)643-7602(代)

# TRIME® -SYSTEM



画期的なTDR(Time Domain Reflectometry)の原理による革新的な水分計システム——ドイツ ゲッティンゲン大学との森林エコロジシステム、IFUとの大気圏環境システム、カールスルーエ大学とのTDR技術開発など産学官協同研究により、開発され公的機関の実証を経て、製品化されました。すでに欧州を中心に数百台の納入実績があります。〈操作は簡単かつメンテナンス・フリーです〉



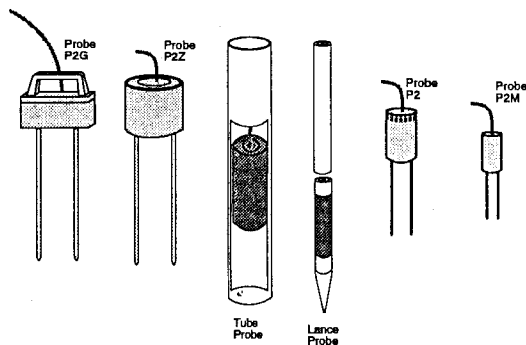
(TRIME-FM携帯型水分計と各種プローブ)

## ●特長

- 1)迅速、非破壊の含水測定が可能で、サンプルを採取せずに連続計測が出来る。
- 2)測定時間、通常数秒～12秒と高速
- 3)これまでの方法では測定が困難なクリティカルな物質にも適用
- 4)被測定物質に影響を及ぼしたり、破壊することがない
- 5)多様なプローブ寸法と形が用意されており、各種の物質に適用可能

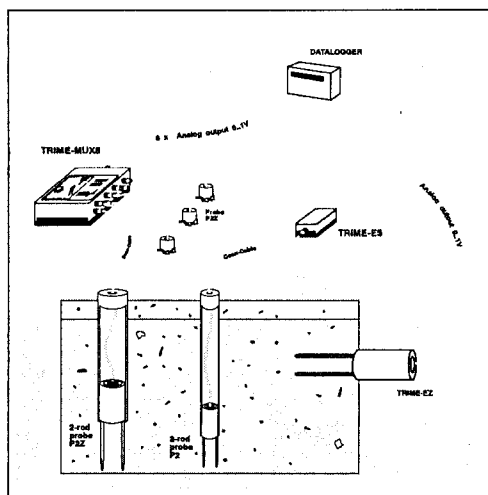
## ●使用分野

土壌、ケミカル物質、粉体、食料品、スラッチ、乳状液、穀物また、水による自然災害の常時モニター、予知、貯水池、ダム水門、造成地、廃棄物処理場等の構造物や土壌中の含水量のモニター、あるいは森林、水源地帯や農業計画の一環としての含水測定、モニターなど



(標準P2型各種プローブ)

☆当社主力製品「ケミルミネッセンスアナライザー®」(極微弱化学発光分析装置)は国内外で使用され、その応用分野も広がっています。また、地質探査用3軸AEソナー検出装置などユニークな製品も製作、販売しています。



(Operating mode B,C: Datalogger-Mode)



## 東北電子産業株式会社

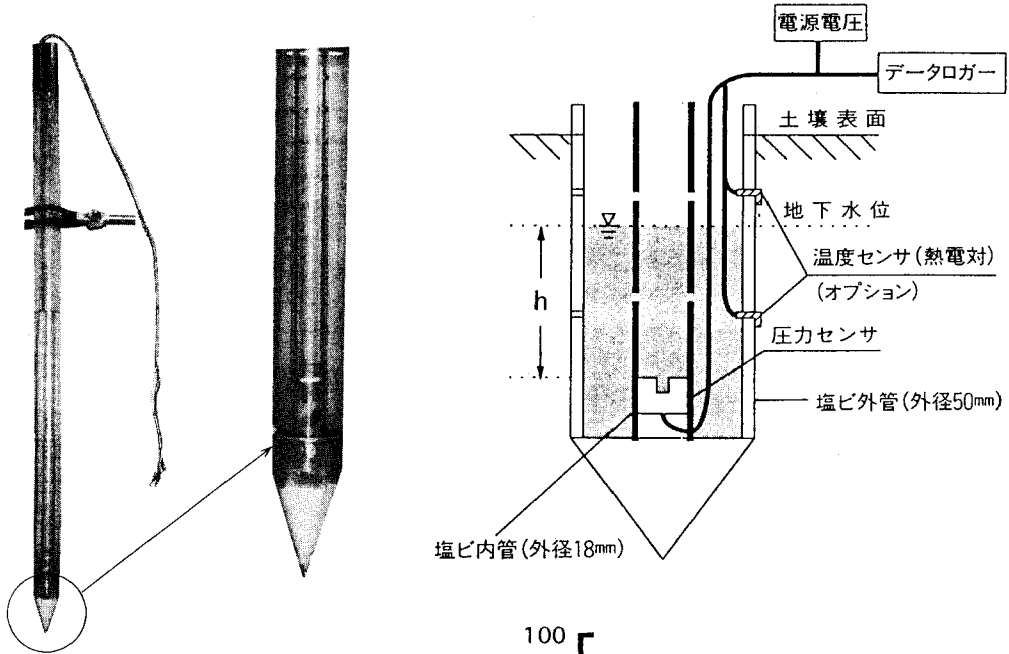
本社・営業部 〒982 仙台市太白区向山2-36-4 TEL(022)266-1611(代)  
 利府事業所 〒981-01 宮城県利府町しらかほ6-6-6 TEL(022)356-6111(代)  
 工場営業部

東京支店 〒211 川崎市中原区新丸子東2-897 ラポール新丸子207  
 応用計測機器グループ TEL(044)411-1263(代) FAX(044)411-1839

# 地下水の動きを迅速かつ容易に見る

## 圧力センサ式地下水位メータ (EN-GW-501)

### 1. 構成



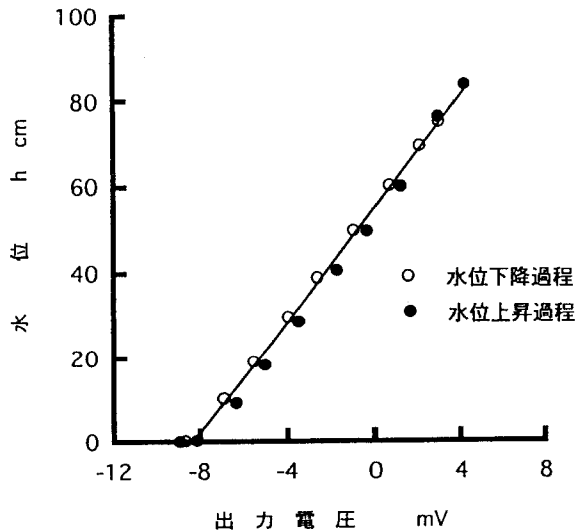
### 2. 圧力センサ (拡散型半導体圧力変換器)

#### 1)仕様

定格圧力	0~9.81×10 <sup>-2</sup> MPa (0~1000cmH <sub>2</sub> O)
最大圧力	0.196MPa
動作精度	±0.3% FS (0~50℃)
ヒステリシス	定格圧力の1%以下
アナログ出力	
オフセット電圧	±5 mV (0 MPa)
スパン電圧	100 mV±50mV
駆動電流	1.5 [mA]

#### 2)特性

圧力センサの出力電圧の初期値(水位0 cm)によらず水位と出力電圧は直線関係を保ち、ヒステリシスは非常に小さい(直線性/ヒステリシス=±0.3%FS)



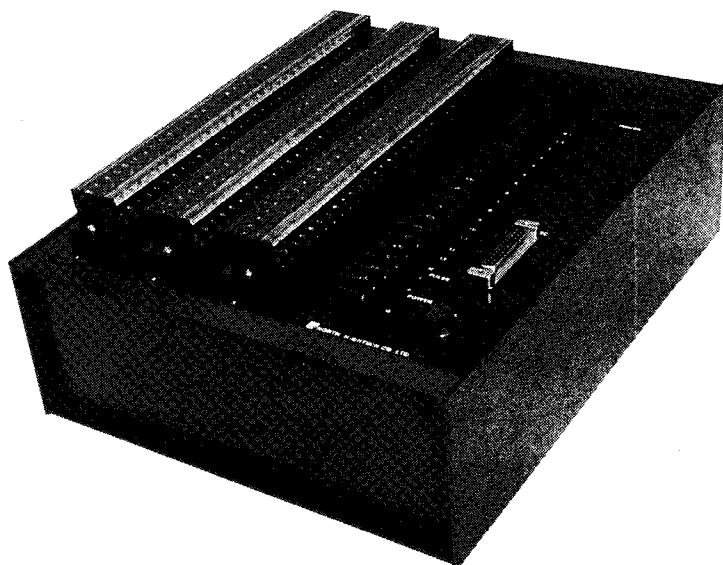
### 3. 地下水位メータ仕様

- 1)標準仕様
  - 外管・内管 1 m
  - 延長ケーブル 5 m
- 2)オプション
  - 外管・内管 1 m 以上
  - 電源装置 埋設用オーガー

## エンドウ理化

〒001 札幌市北区新琴似10条7丁目3-16  
 ☎ (011) 763-1088  
 FAX (011) 763-1667

# 最も進んでいるパソコン時代のロガー「IDL-3200」



## センサ対応がマルチ

±5mV, ±50mV, ±500mV, ±1V, ±5V, Pt100, 熱電対, 歪みゲージのマルチシグナルコンデショナ内蔵。センサを個別に各点に指定, 混在できる。センサ変換器を必要としないから計測コストが抜群

## センサ電源を供給

センサ電源を必要とするセンサにはサンプリング10秒前からDC12V 200mAが供給されます

## 多チャンネル

アナログセンサ入力は8チャンネル単位で最大256チャンネルまでのデータロガーを供給します。各機には転倒併雨量パルス入力が1ヶ付いています

## 12Vバッテリー動作

経済的な12V バッテリー動作。8Vまで低下しても動作。-温度の低温時はリチウム電池を推奨。アルカリ電池単1(約8AH)は常温の環境に推奨

## ネットワーク

回線にモデムで接続するとパソコンとのテレメータ。多数のRS-232C機器とフィールドのLAN構築及び構内LANイーサネットともネットワークを構築

## マイナス温度に強いマシン

-25℃~45℃動作機器は標準 -40℃から動作機器も出荷します

## ロガーの機能を高める演算機能

専用演算回路による平均 積算 ピーク 敷き値積算 コンパレータアナログ出力 パルスカウント



計測の未来をひらく

株式会社 **ノース・ハイテック**

〒060 札幌市中央区北2条西3丁目敷島ビル3F  
TEL.011-232-3388 FAX.011-232-3288 ☎0120-053388

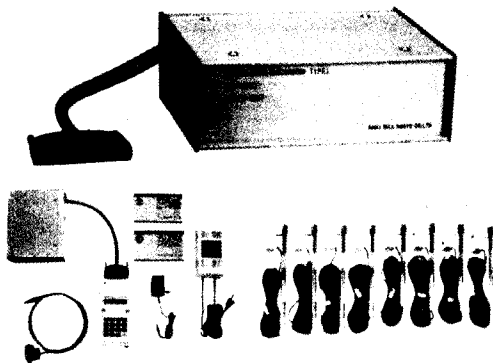
# Daiki SOIL & MOISTURE

## テンシオメータ 自記タイプ

DIK-3020

土壌水の吸引力の変化を刻々測定し、データロガーにデータを収録します。電源の無い野外ではバッテリーを使用します。

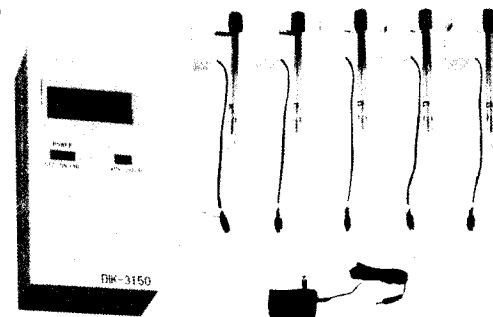
(測定点数8、測定範囲 pF 0~3)



## テンシオメータ 表示タイプ

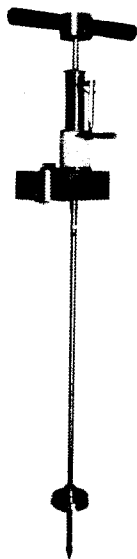
DIK-3150

現場に於ける土壌水分の吸引力を簡便に読み取る測定器です。1台の測定本体を携帯して多数の測定箇所でも順次接続しながら数値を読み取ることができます。



## 貫入式土壌硬度計

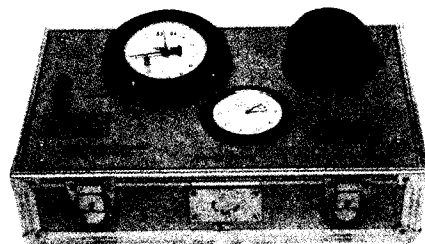
DIK-5520



土中にさし込むだけで各深さに対応した抵抗値が自動的に連続記録されます。

## 土壌三相計

DIK-1120



実容積(固相+液相)と全重量が現場で迅速に測れます。

SPAD<sup>®</sup>開発製品



ダイキ

大起理化工業株式会社

〒116 東京都荒川区西尾久7-60-3 TEL 03-3810-2181



## 2. 原稿執筆要領

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

# Soil Physical Conditions and Plant Growth, Japan

No.69

May 1994

---

## Contents

Foreword.....	K. Kikuchi... 1
<b>Originals</b>	
Field test of gypsum application effect on clarification of puddled water —Clarification method of puddled suspension by Ca salt addition (3).....	T. Akae... 3
Variation of the physical properties of Kanumatsuchi for depths and regions.....	H. Tomita, M. Nakano, T. Suzuki...11
Concentration and uptake of nutrients by rice roots and quality of rice grains as influenced of gypsum, Zn and different saline environments .....	H. R. Khan, S. M. A. Faiz, T. Adachi, I. U. Ahmed...23
Effect of chisel plow on the yield of spring wheat seeded early winter.....	J. Watanabe, T. Takaya, M. Takahashi...31
Change of soil properties and runoff characteristics affected by deforestation to grassland in a mountainous area.....	K. Shibuya...39
<b>from the 35th Symposium on "How do we contribute soil physics to land evaluation"</b>	
The importance of soil physical properties and physical methods in land evaluation.....	T. Sakuma...49
Evaluation of water and oxygen supply ability of soils to suffuce the demands of crops.....	S. Hasegawa...55
Nutrient supply ability of soil in relation with plant demand .....	S. Itoh...67
Problems about evaluation of field operation .....	H. Inoue...75
Discussions in the symposium.....	83
Announcements .....	90

---

Published by Research Association of Soil Physics, Japan  
Laboratory of Soil Science, Faculty of Agriculture, Hokkaido University  
Kita 9, Nishi 9, Kita-ku, Sppaoro, 060, Japan  
President Toshio Sakuma