

土壌の物理性

第72号

1995年4月

巻頭言	岩間 秀矩	1
報 文		
湛水土壤系における窒素除去量に及ぼす硝酸態窒素濃度と植生の影響	田淵 俊雄・久保田健蔵	3
ノ ー ト		
泥炭の密度, 水分張力, 飽和透水係数測定のための試料の取扱い	柏淵 辰昭	9
資 料		
造成樹園地土壌の物理性改良効果持続に關する要因の解析	木村 陽登・藤原多見夫	13
シンポジウム「異常気象下の作物生育と土壌物理」		
冷害気象と微気象調節	堀口 郁夫	19
ランドサットを利用したビートの冷湿害解析	安積 大治	27
水環境が作物の生理・生態に及ぼす影響	平沢 正	39
草地の水収支・乾物生産モデルを構築するために解決すべき問題点	中辻 敏朗	47
圃場の水分環境と土壌病害の発生	赤司 和隆	55
総合討論		65
土 粒 子		
土壌侵食雑感	石塚 喜明	75
書 評		76
会務報告		77
編集後記		83

土 壌 物 理 研 究 会

(1984. 11. 22 改正)

土壌物理研究会会則

- 第1条 本会は土壌物理研究会 (Research Association of Soil Physics, Japan) と称する。
- 第2条 本会は土壌の物理性を中心とする試験研究の発展と農業技術への貢献を図ることを目的とする。
- 第3条 本会はその目的を達成するため次の事業を行う。
- (1) 研究発表会、討論会及び見学会などの開催
 - (2) 土壌の物理性 (Soil Physical Conditions and Plant Growth, Japan 会誌という) 並びにその他の印刷物の発行
 - (3) 内外の研究、技術の交流及び他の学会、諸団体との協力
 - (4) その他本会の目的を達成するため必要な事業
- 第4条 本会の会員は、正会員、学生会員及び賛助会員、購読会員の4種とする。
会員となるには評議員会の承認を受けなければならない。
- 第5条 会員は次の会費を所定の期日までに収めるものとする。
- | | | |
|-----------|-------|----------|
| 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 正会員の中から互選する。
ロ 3名以内 会長が委嘱する。
 - (3) 会計監査 2名
正会員の中から評議員会によって選出される。
 - (4) 幹事 若干名
会長委嘱
- 第7条 会長は毎年1回以上総会並びに評議員会を招集する。
- 第8条 本会に次の委員会をおく。
- (1) 選挙管理委員会
正会員の中から評議員会によって選出され、本会の評議員選挙を管理する。
 - (2) 編集委員会
正会員の中から評議員会によって選出される委員によって構成され、会誌その他の印刷物の編集に当る。
- 第9条 本会の経費は会費その他の収入をもってあてる。
- 第10条 本会の会務執行に必要な規定は別に定める。

(1993. 9. 6 改定)

「土壌の物理性」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いが、その内容は土壌の物理性に主体をおくものとする。

「報文」一編ごとに報文としての体裁を整え、独創性があり、土壌の物理性に関する研究及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」土壌の物理性に主眼をおき、広い視野に立って記述したものを。

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

「解説」土壌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) 本誌に記載された論文の著作権は、土壌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

「土壌物理研究会編集幹事」

棚田地帯の耕作放棄と再生を考える

岩間 秀 矩

この1, 2年, 北陸の棚田地帯に耕作放棄田の調査に行く機会を得ている。近年, 雪の多い稲単作棚田地帯は, 耕作田の減少率が3割以上に達する村もあるなど, 農業後退が最も激しい地域となっている。棚田地帯の斜面を上がると, かなり古い放棄田でも旧田面は樹木着生が少なくヨシやススキが密生しており, 遠日からも以前棚田であったことが判別できる。そして近づく道も見えない急斜面の上まで, 小さな棚田が作られていたことに感嘆の念を覚えるのであるが, 地元の人々には, とくに刈取りを終えた晩秋期に, 枯れススキの目立つ放棄田は何とかしたい荒廃景観として映るようである。現在のところ, 放棄田には植林以外の用途は考えられず, それもあまり実施されていない状況にある。

第三紀泥岩類からなる丘陵地には至る所に地すべり地形が見られ, その崩積物よりなる凹型緩斜面と地山の凸型斜面が交互に連なっている。崩積緩斜面は湧水など水源に比較的恵まれ, 土壌も湿潤粘質なグライ土であることから水田利用は当然であるが, 斜面が急で水源も不足な凸型斜面にも棚田が多く作られている。これらの多くは天水依存田であり, 裏日本の湿潤な気候条件とともに, 粘土質の上で耕盤の浸透性を低く抑え, 畦を盛り上げて融雪や梅雨の降水を効率よく貯留したことにより存続してきたのであろう。しかし, 農業近代化の流れは棚田を非効率・重労働の低位農地とし, とくに, 移植時に落水を要する田植機の登場は天水依存の不安定性を一層拡大したと言われている。棚田地帯の耕作放棄は, まず, このような急斜面や台地頂部にある天水田から始まったことが判る。

さて, 調査の目的は, 放棄田の斜面保全への影響評価と, 今後の保全的管理への基礎的指針を得ることであるが, 前者については, 棚田とするために土壌と斜面を改造したことが放棄後の荒涼要因となっていること, 後者については, 水田として残すべき棚田と, 他用途への転用が望ましい使命を終えた棚田の線引きをする必要性を認めた。

すなわち, 放棄後, 棚田のち密な耕盤と落差の大きい畦畔法面が崩壊発生と他用途への転用を困難にする原因になっているのである。また, 急斜面にあって法面崩壊が引き続き発生している放棄棚田については, 水田への復帰は当分あり得ず, 斜面保全と土地利用の転換を図るために, 法面傾斜の緩和など棚田構造を改変することが必要となり, これらと今後も水田として残すべき棚田との境界指標として, 斜面の傾斜度 10-15 度が妥当であると考えられた。

耕作放棄農地の再活用には, その土地資源としての価値再認識に基づく地域住民の自発性が鍵となるが, それらを支援する技術側の準備として, 環境保全的な土地利用基準や転用と再利用のための整備指針が必要になると感じた次第である。以上, 僅かな経験を基に述べてきたが, 耕作放棄農地においては, 環境保全と景観に生じている放棄農地固有の問題把握が必要であり, また, 再利用への柔軟な発想が求められている。これらは土壌の物理性にかかわる問題が多く, 会員諸氏の関心の高まりと積極的な取り組みを期待したい。



湛水土壤系における窒素除去量に及ぼす 硝酸態窒素濃度と植生の影響

田淵俊雄・久保田健蔵*

The Influence of Nitrate Concentration and Plant Condition on the Nitrate Removal in the Flooded Soil

Toshio TABUCHI and Kenzo KUBOTA*

The University of Tokyo, *Ibaraki University

Abstract

The control of nitrogen outflow from agricultural areas is one of the biggest problems. We have already reported the effect of paddy fields on nitrate removal under flooded condition. In this experiment, we measured the nitrate removal in the pots relating to the nitrate concentration of ponding water and rice plant. Nitrate concentration of ponding water has a large effect on the nitrogen removal, and rice plant has also a effect on it. Nitrate removal in the pot with rice plants two or four times as large as that without rice plant.

Key words : paddy field, nitrogen removal, denitrification, nitrate concentration, plant

I. ま え が き

湛水土壤系である水田が窒素除去機能を有することは、各地で行われた試験や調査によって明らかになっている(田淵・高村・1985)。筆者らは前に非稲作期の水田での窒素除去の実態や湛水中の濃度との関係についての試験結果を報告した(田淵ら1983, 1987)。また休耕田に設けた流下試験の結果や室内で行った水温と窒素除去量との関係について報告した(田淵ら1993)。本報ではポット試験の結果を中心に窒素除去量と湛水中の $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度、水温及び植生との関係について考察する。

窒素除去量に濃度や水温だけでなく、植生も影響することは窒素除去が脱窒と植生吸収によって行われることから当然ともいえるが、従来植生、特に藻類との関係について我国で調べた例は余り多くない。山口・端(1993)は水田ライシメータで田面水の水質変動を調べ、藻類の窒素除去について脱窒の2倍程度の効果があることを報告している。また日高・柴(1983)は汚濁水の流入する水田の田面水質を調査し、水田内のアオウキクサと藻類

の影響があることを報告している。外国では藻類が脱窒の季節的並びに日間の変動に影響しているとの報告がある(Howard Williams and Downes 1993)。

II. 試験方法

本研究は1)室内実験, 2)ポット試験, 3)圃場流下試験, 4)圃場枠試験, の4種類から構成されている。使用した土壌はいずれも茨城県阿見町大形地区の谷津田にある休耕田の水田土壌で、土性は砂質ロームである。室内実験と圃場流下試験の結果は既に報告しているので(田淵ら1993)、今回はポット試験と圃場枠試験の結果について報告する。今回行ったポット試験は1/2000aのワグネルポットに深さ20cmになるように水田土壌を容積重 1.2g/cm^3 でつめた。このポットに、 KNO_3 で作成した硝酸態窒素濃度5, 15, 25mg/lの3種類の水を1週間おきに水深7cmで供給した。植生条件として水稻を植え、比較のために無植生のものを作成した。ポットは屋外に設置し、1日ごとに田面水硝酸態窒素濃度と水深を測定した。浸透は0とした。

Ⅲ. 室内における窒素除去量と濃度・水温との関係

筆者らは既に室内実験において、湛水中の硝酸態窒素濃度 X と窒素除去量 R_0 との間に $R_0 = a_0 X^b$ の関係が存在することを示し、近似的には次の簡単な一次式で表せることを報告した。

$$R_0 = a_0 X \quad (1)$$

R_0 は室内暗所での硝酸態窒素除去量 ($g/m^2/d$)、 a_0 は室内での除去係数、 X は湛水中の硝酸態窒素濃度 (mg/l)。 X の範囲は $100 > X > 1 mg/l$ 。

さらに、室内暗所の恒温条件下で(1)式の a_0 が水温 T によって次のように変化することを報告した。

$$a_0 = 11 \times 10^{-6} T^2 + 0.005 \quad (2)$$

これを(1)式に代入すると

$$R_0 = (11 \times 10^{-6} T^2 + 0.005) X \quad (3)$$

この式が植生のない暗所での硝酸態窒素除去量と水温 T 及び濃度 X との関係を示す基本的な式となる。これは植生のない暗所での除去量なので、脱窒量に相当するとみられる。

Ⅳ. 屋外での窒素除去量の時期的変化と水温との関係

1 水稻ポットと無植生ポットの濃度低下の違い

図1に各々のポットの湛水中の硝酸態窒素の濃度低下の代表例を示した。水稻生育初期の第2週の7月には、水稻ポットと無植生ポットの濃度低下の速度はほぼ同じであった。しかし水稻生育中期から後期の8月から11月迄は両者の差は歴然としており、水稻ポットでは給水

後3日目に濃度はほぼ0にまで低下するのに対し、無植生ポットでは7日目でも0にならない。このように水稻があることによって濃度低下は早く、窒素除去量は大きくなった。

2 窒素除去量の時期的変化

7月から11月まで19週間にわたる水稻ポットの硝酸態窒素除去量 R と水温及び草丈の変化を図2に示した。ここでの除去量 R は給水後3日間における湛水中の硝酸態窒素の減少量から求めた。それは3日以降になると

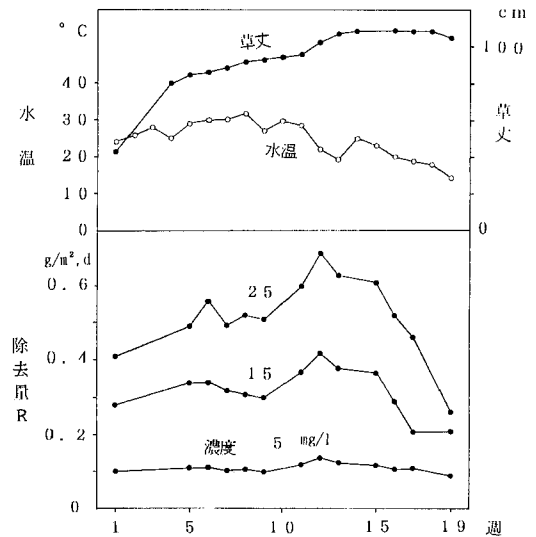


図-2 水稻ポットの窒素除去量と水温、草丈の変化
Fig. 2 The changes of nitrogen removal rate, temperature and the height of rice.

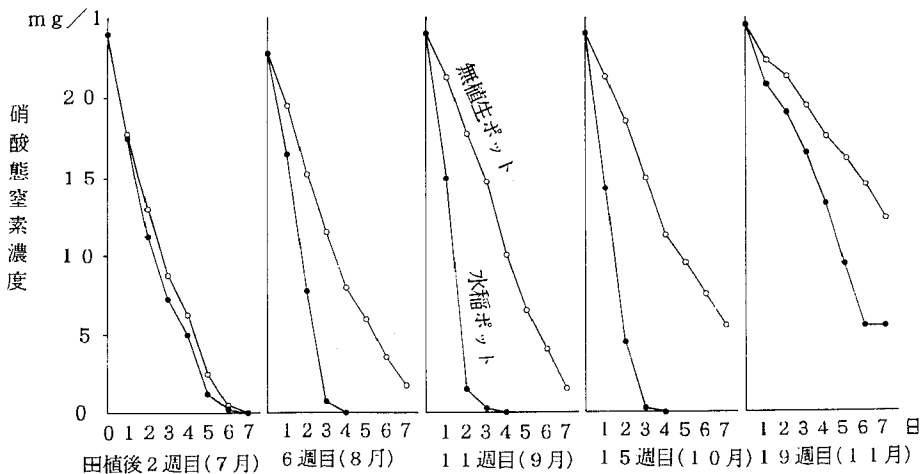


図-1 湛水中の硝酸態窒素濃度の低下 (ポット試験)
Fig. 1 The decrease of NO_3-N concentration in ponded water.

濃度が0に近くなり、除去量が0になってしまうからである。給水濃度 5mg/l のポットでは栽培期間中、ほぼ 0.1g/m²/d の除去量で終始した。15mg/l と 25mg/l のポットでは水稻の生育に応じた変動があり、生長がピークに達する 12 週目に最大値を示し、その後は低下した。水温はそれよりも前の 8 週目に最高値を示したが、除去量のピークは水温のピークよりも後の草丈が最大になった時に現れた。

3 窒素除去量と給水濃度との関係

このように各濃度とも窒素除去量は似たような時期的変動を示したが、図2に現れているように、濃度による窒素除去量の差は明瞭で、濃度の高いポットほど大きな除去量を示した。これら各ポットの全期間の平均除去量と給水濃度との関係を示すと図3のようになり、除去量 R は給水濃度 x₀ にほぼ比例して増大した。

4 窒素除去量と水温との関係

図4は各月の平均除去量と平均水温との関係をプロットしたものであるが、水稻ポットの値は水温と必ずしも対応していない。9、10月の水稻成熟期には8月よりも水温が低いのに除去量はむしろ大きくなった。一方無植生ポットではほぼ水温に対応した除去量の変化がみられた。水稻のような植生のある条件下では除去量が単純に水温だけの関数で表されないことを示している。

V. 考 察

1. ポット試験による植生の影響

植生の影響を確かめるために、ポット試験でえられた窒素除去量 R とその時の水温と濃度を用いて(3)式から

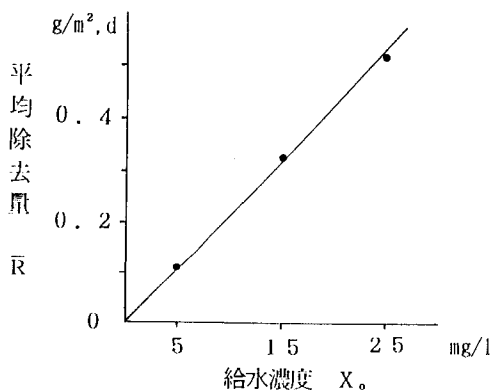


図-3 平均窒素除去量と給水濃度との関係

Fig. 3 The relation between average nitrogen removal rate and the concentration of supplied water.

求めた推定室内除去量 R₀ を比較する。R/R₀ の値を各月ごとにプロットした(図5)。ここで R/R₀ が1になることは室内暗所の無植生下での除去量 R₀ とポットでの除去量 R が同じということ、植生や光などの条件がその時の除去量に参与していないことを示すことになる。しかし、各要因が相殺しあって、1になることもありうるので今後の検討が必要である。

水稻ポットの値は初期の2.1から生育後期の4.6へ次第に上昇し、収穫時に1.8まで低下した。一方、水稻のない無植生のかつ藻のほとんどないポットでは初期に2.0を示したが、その後はほぼ1に近い値で終始した。植生や藻類のない状態では屋外のポット除去量も室内の除去量と同じレベルにあることが確かめられた。

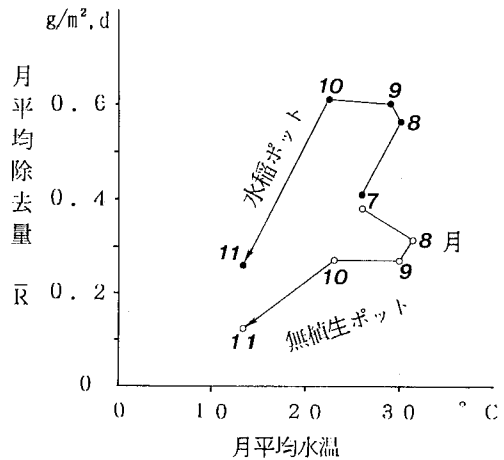


図-4 月平均除去量と月平均水温の関係

Fig. 4 The relation between monthly nitrogen removal rate and monthly water temperature.

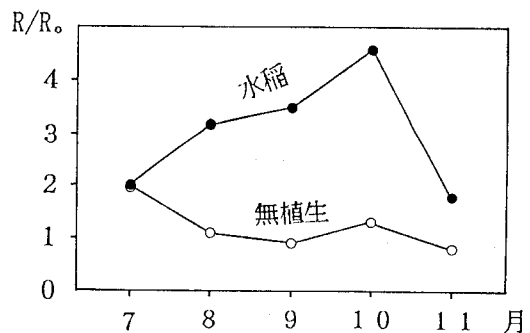


図-5 R/R₀ の月別変化

Fig. 5 The change of the ratio R/R₀.

2. 円筒枠試験による水稲と藻類の影響

上述した植生の影響を圃場条件下で確認するために、休耕田で湛水流下試験中の水稲と無植生の両試験区に直径30 cmの無底円筒をさしこみ、円筒内の湛水中のNO₃-N濃度の低下を測定し窒素除去量を求めた。円筒枠の中の除去量Rは2回の試験とも無植生区の藻のない場所で0.1g/m²/d程度で低く、藻のある場所で0.2-0.3g/m²/dであった。

以上の各試験結果を前述したようにR/R₀の比でまとめると、図6のようになる。各試験とも水稲のある場合では2~4、藻のある場合でも同じく2~4と高く、藻のない無植生区では1に近い。以上の結果から、屋外の植生のある条件下の除去量Rは次のように表される。

$$R = F \times R_0 \quad (4)$$

Fは植生などによる係数(1~4)

なお山口・端(1993)も遮光試験を行った結果、夏期には藻類等による吸収が脱窒の2倍の効果をもっていることを報告している。これは(4)式のFが3であることを意味している。

3. 湛水流下試験区のT-NとNO₃-Nの比

水稲や雑草それに藻類がNO₃-Nの除去に大きな役割を果たしていることがわかったが、その除去された窒素はこれらの体内に吸収された後どうなるのか。水稲につ

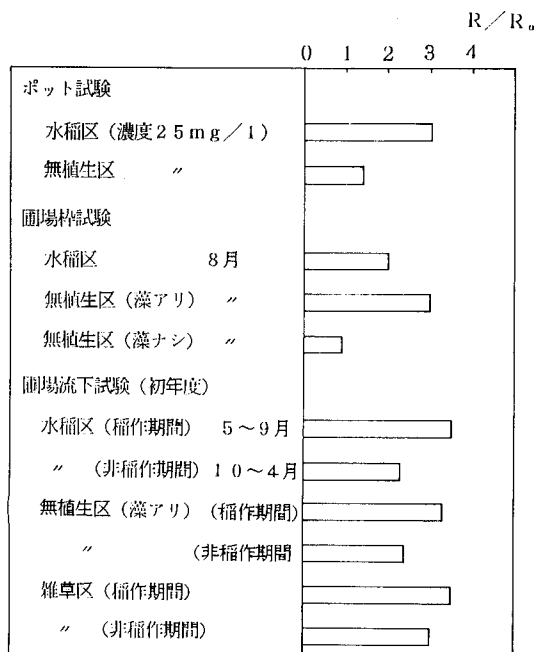


図-6 各試験におけるR/R₀の比

Fig. 6 The ratio of R/R₀ obtained by some experiments.

いては収穫によって系外に持ち出されるが、雑草や藻類は枯死した後、系内にとどまることになる。枯死分解した後の経路としては次の3つが考えられる。第1は無機化して水とともに流出する経路。第2は土壤中に残留する経路。第3が空気中へ脱窒する経路である。これらを定量化するためにはそれぞれ流出水濃度、土壌中窒素量、脱窒量を測定すればよい。この内、流出水濃度は測定しているのでもしも第1の経路が主であるならば、

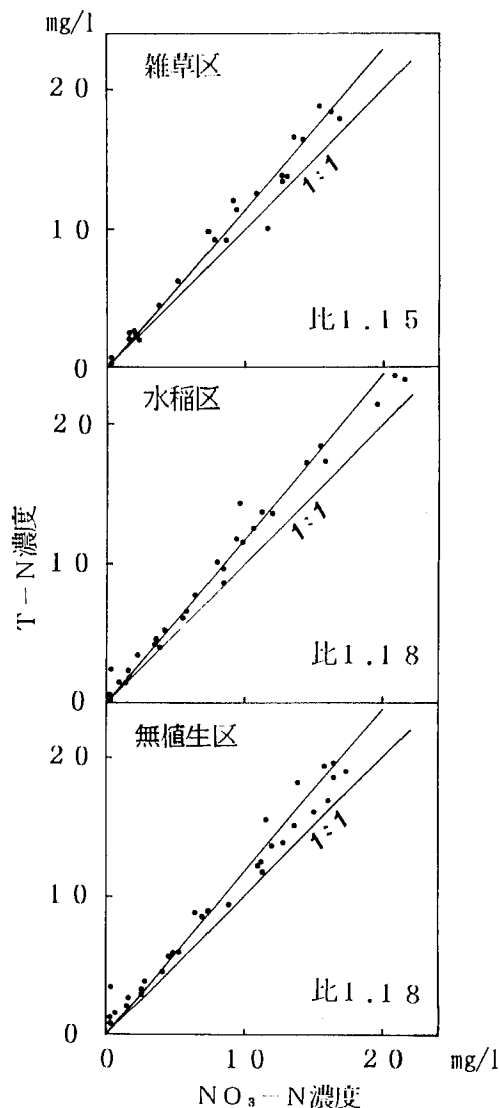


図-7 各試験区流出水のT-N濃度とNO₃-N濃度の関係

Fig. 7 The relation between T-N concentration and NO₃-N concentration of outflow water from experimental plots.

何年か継続していれば各区の流出水濃度の間に差が生じるであろう。また分解して生成される $\text{NH}_4\text{-N}$ の濃度が高くなることも考えられるので、 T-N と $\text{NO}_3\text{-N}$ の濃度差が増大することになる。そこで、雑草区と無植生（藻）区の流出水中の T-N と $\text{NO}_3\text{-N}$ の濃度差について検討した。

各流下試験区の流出水の $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度と T-N 濃度の関係を初年度の 1991 年 5 月から 1992 年 4 月までについてプロットすると図 7 のようになる。その比は 1.15～1.18 で雑草区、無植生区とも水稻区とほとんど変わらない。また、 T-N と $\text{NO}_3\text{-N}$ の濃度の差は 20% 以下、濃度で 4 mg/l 以下であった。

時期的にも雑草が枯れる秋から冬にかけて T-N と $\text{NO}_3\text{-N}$ の濃度差が雑草区で増大するという事も見られなかったし、無植生区で藻類の繁殖する時期に増大するという事も現れなかった。このように植生残存による流出水濃度における顕著な変化は初年度には認められなかった。

なお日高らの報告によると、アオミドロ（藻類）の分解による $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度の上昇が認められ、それは吸収量の 20% 程度ということが報告されている。

4. 窒素収支と土壤中窒素量の変化

ポット試験では水稻分析から求めた水稻体吸収窒素量は給水濃度 25 mg/l では 37 g/m² で湛水からの窒素除去量 31 g/m² を上まわった。このことは水稻が土壤中からも窒素を吸収したことを意味する。これはポット試験では給水が 7 日おきであったために湛水中の $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度が 3 日以降はほぼ 0 になってしまったことと対応している。もっと短い間隔で給水すれば $\text{NO}_3\text{-N}$ 除去量ももっと大きくなったものとみられる。

これに対して無植生ポットでは湛水からの除去量 27 g/m² で、残存していた藻の中の窒素量はわずか 2.4 g/m² にすぎなかった。このことを反映して土壤中の残存窒素量は水稻ポットが 304 g/m²、無植生ポット 356 g/m² でその差は 52 g/m² であった。水稻ポットでは稲により土壤中の窒素が吸収されて減少したとみられる。このように、両ポットの窒素除去の間には脱窒と植生吸収をめぐってかなりの違いがあることが想定される。なお、C/N 比も実験後に水稻ポットで 5.2 になったのに対し、無植生ポットでは 3.7 と低い値になり、無植生ポットでは炭素の減少がみられた。

圃場流下試験で求められた窒素除去量は雑草区 82 g/m²、水稻区 83 g/m²、無植生区 83 g/m² と各区ともほぼ同じで、その値はポット試験の値よりもずっと大きい。これは常時高濃度の水を流下し続けたからであり、ポットに比べれば存分に除去機能を発揮した結果である。植

生による吸収窒素量は雑草区が 62 g/m² ともっとも大きく、これは除去量の 75% に相当した。水稻区では吸収量は 15 g/m² で除去量の 18% で少ない。水稻区や無植生区ではかなりの脱窒量があったと考えられる。一方、雑草区の植生吸収量は膨大な量であり、これが枯死後どのような経路をたどるのか大変興味ある点であり、それが除去機能の永続性に関わるものと思われる。なお、圃場でも土壤中の窒素量を測定したが、その 1 年後の変化はポットと異なってわずかであり、有為な差にはならなかった。圃場試験は現在も継続中であり、永続性については改めて検討し報告する予定である。

VI. あとがき

以上の結果から湛水田における窒素除去量に対する植生や藻類の影響があることが明らかになり、硝酸態窒素除去量 R (g/m²/d) と濃度 X (mg/l)、水温 T 、植生との関係式として単純な次式を提案したい。

$$R = F a_0 X \quad (5)$$

$$a_0 = \alpha T^2 + \beta \quad (6)$$

ここで α は 11×10^{-6} 、 β は 0.005 とえられたが、 α 、 β の値は土壤によって変化するものとみられる。また濃度 X に関係しない項がありうるかもしれない、そうなる(5)式の形そのものも変わるかもしれない。また植生の係数 F もまだ要因との量的関係は不明確であり、そういう意味で、上記の式は第一段階のものといえ、今後大いに検討され修正されていくことになる。あくまでもひとつの提案として受け取っていただきたい。窒素除去量を除去率 (%) で表現しているのでは量的に不明確であり、また単位面積当たりの除去量のみで表すだけでは要因との関係を検討できず、色々の条件下での試験結果の比較もできないので、何等かの数式化を試みる必要があると思ひ提案する次第である。

終わりに本試験を行うに当たって協力を受けた茨城大学農業水利研究室の黒田久雄、篠田鎮嗣並びに東京大学農地工学研究室の志村もと子、安富よし江の諸氏に厚く感謝の意を表す。又本研究は文部省科学研究費によって行った。

引用文献

- 日高 伸、柴 英雄 (1983)：汚濁水流入田の田面水質～アオウキクサと藻類の窒素に及ぼす影響～日土肥誌 54 (5)：429～434。
 田淵俊雄、鈴木誠治、高村義親 (1983)：非稲作期の谷津田における畑地流出水中の $\text{NO}_3\text{-N}$ の除去について、農土論集 104：9～15。
 田淵俊雄、高村義親 (1985)：集水域からの窒素・リンの

- 流出, pp 175~179, 東大出版会, 東京。
- 田淵俊雄, 末正奈緒希, 高梨めぐみ (1987): 水田湛水による硝酸態窒素の除去試験, 農土誌 55 (8): 53~58.
- 田淵俊雄, 篠田鎮嗣, 黒田久雄 (1993): 休耕田を活用した窒素除去の試み, 農土誌 61 (12): 19~24.
- 田淵俊雄 (1994): 農地における自然浄化機能の強化策, 楠山哲也編, 自然の浄化機構の強化と制御, 技報堂, pp 53~69, 東京。
- 山口康晴, 端 憲二 (1993): 休耕田表面水における窒素・リンの水質変動, 農土誌 61 (10): 7~12.
- Howard-Williams, C. and Downes, M.T. (1993): Nitrogen cycling in wetlands, Burt, T.P. *et al* edited Nitrate, pp 141-167, John Willey & Sons

(受稿年月日 1995年1月20日)

泥炭の密度, 水分張力, 飽和透水係数測定のための 試料の取り扱い

粕 渕 辰 昭

Handling of peat for measuring density, matric potential
and hydraulic conductivity.

Tatsuaki KASUBUCHI

Faculty of Agriculture, Yamagata University

1. はじめに

泥炭は物理的性質を調べる上で取り扱いにくい土壌の1つである。泥炭のあるフィールドは地下水位が高く、試料採取に手を焼く。有機物が固相のほとんどを占め、典型的な試料では固相率が5%以下と極端に小さい。乾燥させると収縮する割合が大きい。水を含んだ試料は変形しやすい。

最近、泥炭を取り扱う機会がありかなり苦労した。これまで、泥炭を取り扱って来られた方は少なくないが、試料の取り扱い方についてはそれぞれ工夫されているものの、ほとんどの場合測定結果しか書かれていない、筆者らの報告も同様であった(粕渕, 宮地, 神山, 柳谷, 1994)。そこで、ここでは今後泥炭を扱う方の参考になればと考え、高位泥炭を扱った経験を紹介する。

2. 試料採取

繊維質の多い泥炭はサンプラーでは採土しづらい。そこで、定容積の試料を得るために測定の便を考えて泥炭を、 $10 \cdot 10 \cdot 40$ cmの大きさに切り出すことにした。この内容積をもつ箱(4面のみで底なし)となる板をコンパネで作った。現場で直角な試料の2面を包丁で切り出し、予めネジで止めておいた直交する2枚の板をこれに当てがい、やや大きめに試料を掘り取った。残りの2面をその場で整形して箱を組み上げた。箱が現場で作りやすいように、板には錐でネジ穴を予め開けておいた。箱に入った試料は、水を張ったコンテナに入れて輸送した。泥炭の現場での切断には、刺身包丁を使用した。包丁はすぐ切れなくなるので、試料を1つ採取する毎に砥

石で研磨した。また、同様にスコップの先もグラインダーで研磨しておくことで灌木の根などを切るのに容易となる。地下水がすぐ湧き出るので発電機を用いて投げ込みポンプで排水しながら作業した。実際には、1.2 mまでの試料を得るのに2人がかりで丸一日を要した。

このように泥炭の採取には事前の準備と労力を必要とする。また、泥炭に限らないが、とりわけ泥炭の場合には採取する場所が限られていることもあり、土地の所有者ないし管理者の許可を事前で得ることはもちろんのこと、掘り取ったあとの埋め戻しなどにも十分注意するのは言うまでもない。

3. 密度, 3相分布など

採取した泥炭を箱から取り出し、均平度の高い平面を有する機械工作用定盤の上で、直角が正確に出せるVブロックなどを用いて $10 \cdot 10 \cdot 10$ cmの大きさの試料に切断し、 $1,000 \text{ cm}^3$ の試料とした。この際、試料の上下方向を間違えないためピンなどを用いて印をつけた。

密度の測定は、実際には以下に述べる水分特性を測定した後の試料を用いた。試料は 70°C で乾燥した。これは有機物の分解を考慮し、植物体試料の乾燥と同じにしたためである。真比重は全量を粉砕し、攪拌したのち一部を取り出し、ピクノメータで測定した。

結果は典型的な高位泥炭では、真比重が1.5、仮比重が0.05程度であった(粕渕ら, 1994)。これらから、固相率が3.5%程度、含水比は2,000%程度となりほとんどが水ということになる。あえて比較すれば牛乳の約 $1/2$ 程度、トマトジュースや生野菜程度に相当する。いわゆる生泥炭は、見た目にも手に持った感じもそれなりの上と

しての存在感があるが、これは多量に水を含んでいるためであり、乾燥すればスポンジのように軽い。

4. 水分張力

試料の大きさを $10 \cdot 10 \cdot 10$ cm とし、低水分張力で測定するため、ドラム缶の上部を溶接機で切りとり、土柱法で測定した (写真-1, 2)。ドラム缶の下部に 10 cm 程度砂を入れその上に火山灰土を充填した。缶の中央部に排水用のパイプをつけた。また水分ポテンシャルをモニターするためテンシオメータを上部に設置した。ドラム缶を用いる土柱法は、かつて渡辺春朗氏 (千葉農試) が製作されたのを見たのを思い出してまねたものである。なお、製作後に気がついたが、排水用パイプにコルゲートパイプなどのように全面に穴の多いパイプを用いると排水はより効率的になる。試料と土の間に薄い濾紙を敷いた。 -10 kPa (100 cmH₂O) で試料は 5~10% 程度収縮した。

5. 透水性

飽和透水係数を室内で測定するため試料の大きさを $10 \cdot 10 \cdot 10$ cm および $10 \cdot 10 \cdot 40$ cm の 2 種類とした。試料と透水試験容器内側壁との隙間から漏水するのを防ぐため、石膏を周囲に流し試料を固定し、定水位で測定することにした (図-1, 写真-3)。この方法は長谷川周一氏 (農環研) の助言によるものである。石膏 (焼) は 20 Kg 単位で入手できる。窯業用や医療用に広く用いられているので入手は容易である。重量比で石膏と水を [3 : 2] にする。水は 70°C 程度の温度がよい。温度が高いほど緻密になる。石膏の仮比重は約 1 であるので、容積で石膏対水を [3 : 2] にしてもよい。約 3~4 分程度かき

混ぜ、外枠と試料との間に流し込む。外枠と試料の周辺とは約 1.5 cm 程度の隙間を設けた。外枠は 3 mm のアクリル板で作った。箱の 5 面のうち周囲の 3 面のみをジクロロメタンで接着し残りの面はビニールテープで止めた。こうすることにより後で容易に枠を外すことができる。また、試料の上部に 2 cm 程度の水を溜める部分を作ることにした。このため、試料の大きさに合わせた外寸 $10 \cdot 10 \cdot 2$ cm の枠を同じくアクリル板とビニール

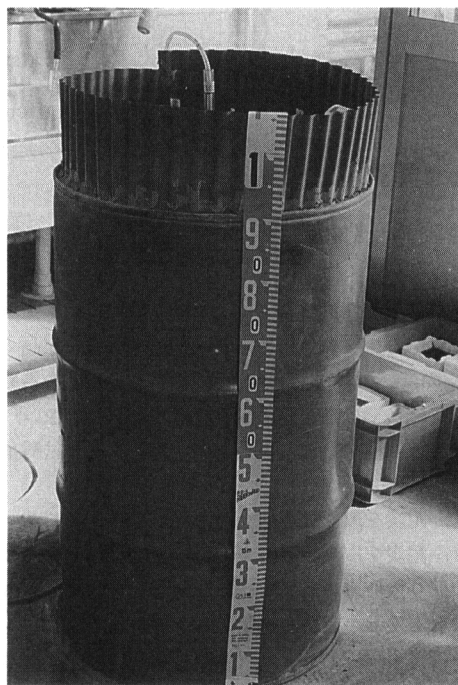


写真-1



写真-2

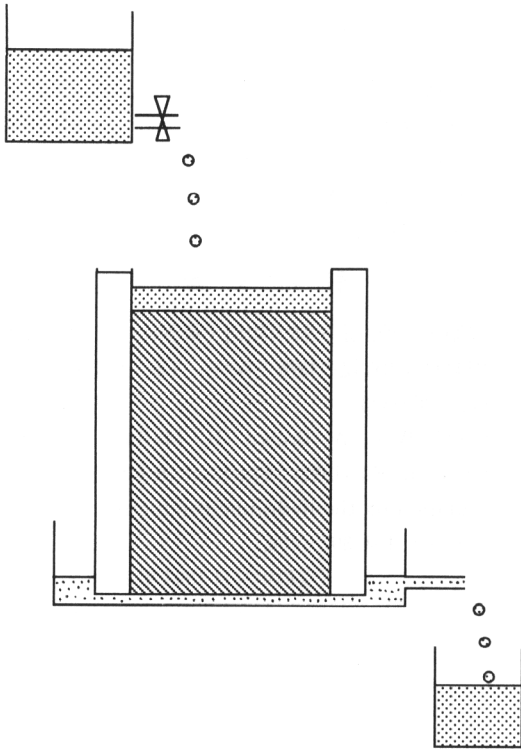


図-1 石膏カラムを用いた泥炭の飽和透水係数の測定

Fig. 1 Measurement of hydraulic conductivity of peat by plaster column.

テープとで作り，試料の上に乗せた。石膏を流し込むときこのアクリル板枠と試料との隙間から若干石膏が試料の上面に入る場合もあるが，硬化したのち容易に削りとれる。アクリル板と接する下面についても同じである。石膏を流し込んで数分もすると固まるので枠を外し，余分な石膏を削り取った後，試料から空気を出すようにして，水を張ったコンテナに静かに入れた。石膏の透水係数は $10^{-5} \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$ 以下であるので， $10^{-3} \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$ 程度の試料には測定上問題とならない。しかし，試料の飽和透水係数が $10^{-5} \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$ 近い場合には注意する必要がある。なお，泥炭は周囲の石膏で保持されるため崩落しないので，試料の下面に網などを置く必要はなかった。以上は $10 \cdot 10 \cdot 10 \text{ cm}$ の場合であるが， $10 \cdot 10 \cdot 40 \text{ cm}$ の場合も，ほぼ同様に行える。工夫した点は 40 cm の泥炭のカラムがそのまま立てられないので，最初に外枠となるアクリルの箱の長辺 (40 cm) を横にし，その底に試料を入れずに石膏を約 1 cm 程度の厚さに流し込み，一旦固化してから再度少量の石膏を流しこの上に試料を寝かせ，さらに周囲にも石膏を流し込んで作った。立てたと

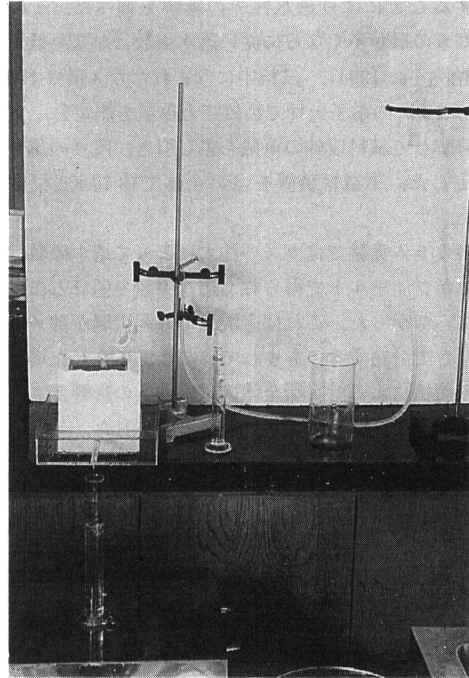


写真-3

き上部となる部分の水だめも上述の方法で作った。

$10 \cdot 10 \cdot 10 \text{ cm}$ の試料で得られた透水性は，水平方向と垂直方向とは異なり，水平方向が大きい。垂直方向で $10^{-3} \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$ 程度であり，水平方向は，同じ位置の垂直方向の試料より平均して数倍大きかった（粕渕ら，1994）。これは繊維が水平方向に蓄積されるためであると考えられた。

一方，現場で地下水位回復法などにより透水係数を測定すると実験室内で測定した試料より1桁以上小さい 10^{-4} から $10^{-5} \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$ といった値を示す。これは，泥炭中に含まれるガスが水の流れをさえぎるためである（粕渕ら，1994；Reynolds, W.R., A. Brown, D., Mathur, S. P. and Overend, R.P., 1992）。泥炭地でボーリング調査を行うと，たいていの場合多量のガスが湧出してくることを経験する。ガスの種類は主としてメタンであると言われている。長い年月の間に湿原下の泥炭はその内部に多量のガスを保持することになったと考えられる。繊維質の素材が水平方向に堆積していることもガスの蓄積に寄与していると考えられる。そこでガスによる透水係数への影響を調べるために， $10 \cdot 10 \cdot 40 \text{ cm}$ の試料を用いこの中にガスを封入することにより飽和透水係数がどのように変化するかを調べた。 40 cm の高さの泥炭カラム中に細く長い注射針を用いて空気を注入したり，グルコースの薄い溶液 (1%) を流して内部でガスを発生させ

たりすることにより透水性への影響を調べた。その結果、ガスの量が多くなるに従い透水係数はかなり低下した(粕淵ら, 1994)。試料中に含まれたガス量は15 Kg (感度0.1g)の電子天秤で装置ごと重量を測定し、実験後に分解して試料以外の重量を差し引き、残りの量として決定した。重量は装置を含め全体で約10 Kg程度となった。

このカラム実験ではガスの注入によって透水係数は低下したがフィールドで得られた透水係数の値ほどには小さくならなかった。これは、現場では泥炭層が数メートルの厚さで分布するもまれではなく、こうした場合、ガスの蓄積による泥炭層全体の透水性への影響はさらに大きくなっているのではないかと考えられた。

6. おわりに

泥炭を扱ってみて素材の特徴に合わせて実験することの大切さと困難さを改めて感じた。もっと良い方法があるのではと思いつつ、紹介させていただいた。早い機会にどなたかに書き改めていただくためのたたき台になれば幸いである。

引用文献

- 粕淵辰昭・宮地直道・神山和則・柳谷修自(1994): 美
唄湿原の水環境の特徴と保全, 日本土壌肥料学会誌
65, 326~333.
- Reynolds, W.R., A. Brown, D., Mathur, S.P. and
Overend, R.P.(1992): Effect of in situ gas accu-
mulation on the hydraulic conductivity of peat,
Soil Sci., 153, 397~408.

(受稿年月日 1994年12月21日)

造成樹園地土壌の物理性改良効果持続に 関与する要因の解析

木村陽登・藤原多見夫

Studies on the Improvement and Maintenance of Soil Physical Properties of a Hardened Soil in an Orchard Field

Haruto KIMURA・Tamio FUJIWARA

Institute of Fruit Tree Research
Hiroshima Prefectural Agriculture Research Center

1. はじめに

粘質で構造が未発達な造成樹園地土壌の改良目標は、排水性の向上と密度の減少を主にした物理性の改善であり(石沢ら, 1971), 土壌 1 m^3 に樹皮堆肥を 100 kg 以上混和することで達成できる(藤原ら, 1987; 沢田ら, 1988)。しかし、掘削に使用するミニバックホーや防除作業のスピードスプレー(以下 S.S. と略す)など大型作業機械の導入は、作業効率を高めた反面、踏圧によって折角の改良効果を低減させる場合が多い(鎌田, 1966; 長崎ら, 1963; 大城, 1972)。本試験では、物理性の改善を目標に土壌改良を実施した後に受ける踏圧の影響と改良効果を長期に持続させる要件について試験し、若干の知見を得たので報告する。

2. 試験方法

1) 圧密が土壌の透水性、土壌硬度に及ぼす影響(室内試験)

土壌の圧縮による透水性の変化を明らかにするため、 500 kg 荷重 (100 mm パイプで 6 kg cm^{-2} まで) 可能な圧縮試験装置を試作し(図-1)、定水位飽和透水係数測定用の供試体を調整した。供試土壌は粗粒質土壌(花崗岩土壌)及び細粒質土壌(流紋岩土壌)の2種類とし、風乾後 2 mm で篩別した。樹皮堆肥混和量は土壌 1 m^3 当たり $0, 100, 200\text{ kg}$ の3水準とし、土壌水分は $\text{pF } 1.5\sim 4.2$ を目標に少, 中, 多の3水準とし一部付加処理を設けた。それぞれの組合せによる試料を作り、予備試験によ

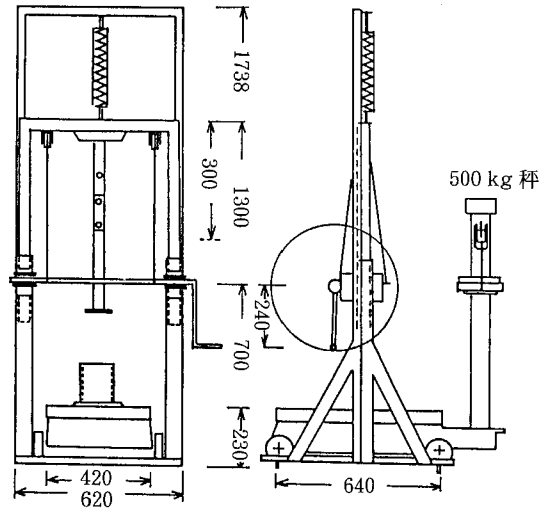


図-1 試作圧縮試験機

り圧縮圧力 $0.2\sim 6.0\text{ kg cm}^{-2}$ に対応する採土管内の土量を決定し、所定の圧縮終了時に 48 mm (復元を考慮) になるよう調整した。

2) 作業機械の走行による踏圧の影響とその緩和(圃場試験)

供試作業機は、果樹園で使用される機械の中から重量・走行方式の異なる次の5機種、草刈機 (147 kg , ホイル), 500 kg 積載運搬車 (349 kg , ホイル), S.S. ($1,070\text{ kg}$, ホイル), ミニバックホー ($1,980\text{ kg}$, クローラ), ショベルドーザー ($5,950\text{ kg}$, クローラ) を選定した。機

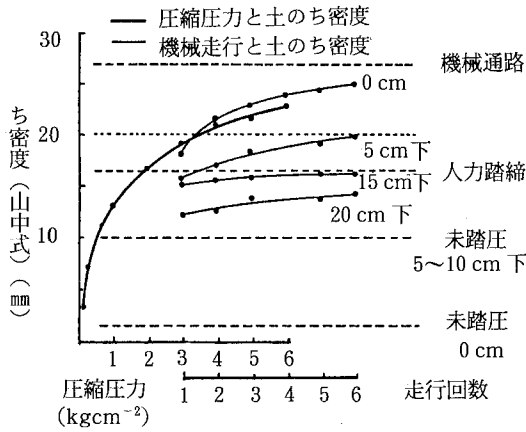


図-2 圧縮圧力、走行回数と土壌のち密度
(流紋岩土壌、含水比 21.5%、走行機械 PC01)

層に硬盤を形成する傾向は機械重量の順に大きかった。しかし、走行方式の異なるホイール式 (S.S.) とクローラ式 (ミニバックホー) を比較すると、軽くてもホイール式の影響が大きかった (図-3)。

3) 走行回数と踏圧の関係

軽量機械の草刈機と重量機械の S.S. を用いて走行回数の増加に伴う土壌硬度の変化を調査した。走行回数が増すにしたがって土壌硬度は高くなったが、軽量機械では表層 5~10 cm への影響が大きく 20 cm 以上の下層では回数による差は小さかった。しかし、重量機械では 1 回の走行で 10~15 cm の層に硬度のピークが現われ、回数とともに表層に移行する傾向が見られた。また、軽量機械と異なり深層部に及ぼす影響も大きかった (図-4)。この結果は、長崎ら (1963) が、大型トラクターのホイールによって 2 回踏圧すると深さ 15 cm 前後に約 9 kg cm^{-2} の硬盤ができると報告しているのと同様である。

圃場の透水性は表層の硬盤に支配されるので、下層に改良効果が残っている場合 (深耕・有機物混和の改良で

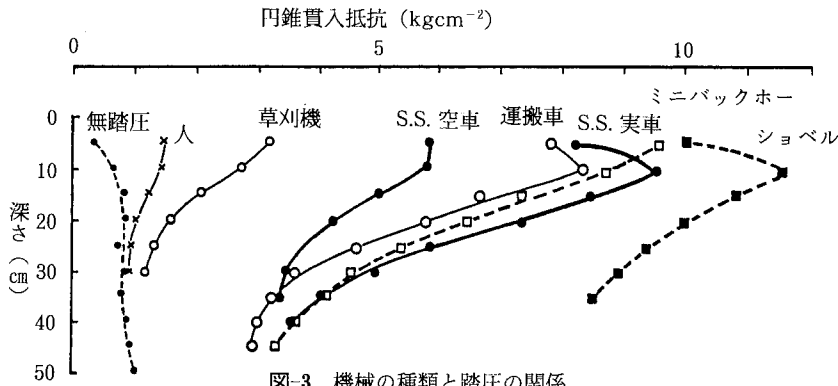


図-3 機械の種類と踏圧の関係
(細粒質流紋岩土壌、2 回走行時)

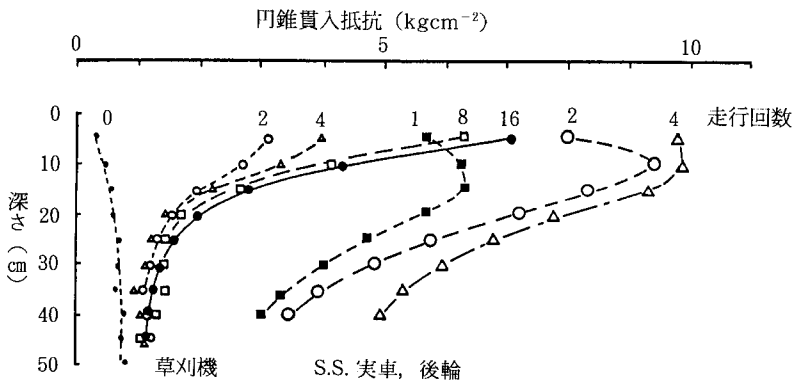


図-4 軽量機と重量機の走行と踏圧の関係
(細粒質流紋岩土壌、含水比 14.2% (草刈機), 17.8% (S.S.))

は一般にそうなりやすい)でも、その効果を十分に発揮できない(大城, 1972)。したがって、踏圧の影響を緩和させるか、硬盤を定期的に破壊することが改良効果を持続させる要点になる。

4) 圧密緩和の方法

図-4に示したように、走行回数の増加によって土壌のち密度は増す傾向にあるが、樹皮堆肥混和量の増加はそれを緩和させる効果が見られた(図-5)。また、 4 kg m^{-2} の敷草は、深耕の有無に関係なく重量の重いS.S.の踏圧をも緩和していた。とくに、硬盤が形成される表層10 cmでその効果が大きかった(図-6)。

図-7は、敷草量を変えた場合の結果であるが、敷草量の増加によって明らかに踏圧の影響が緩和され、この場合も硬盤が形成される表層での効果が大きかった。今後は、これらのことを考慮した作業機の運行、とくに頻繁に園内に入るS.S.の通路と根系管理域の区分を意識した園地利用計画や、改良後に軽量機械で表層に硬盤層をつくり、重量機械の影響が下層に及ばないようにするなどの検討が必要である。

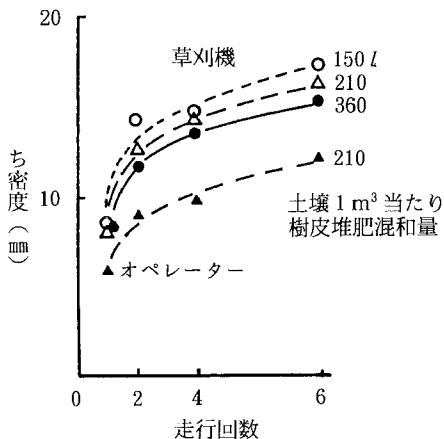


図-5 樹皮堆肥混和量と踏圧の関係 (細粒質流紋岩土壌)

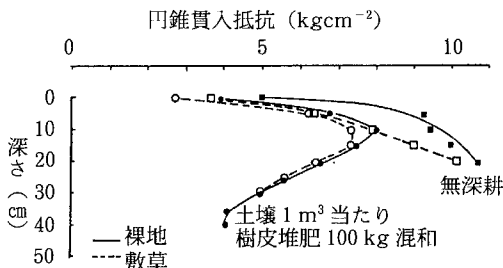


図-6 敷草の有無と機械踏圧の関係 (粗粒質花崗岩土壌, S.S. 実車・後輪8回走行)

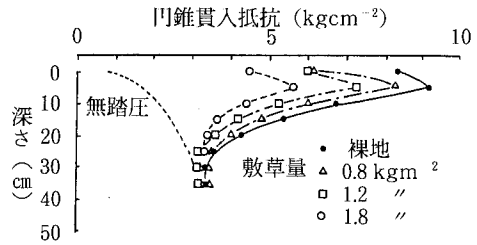


図-7 敷草(カヤ, 風乾)量と機械踏圧の関係 (流紋岩土壌, 含水比18%, 運搬車200 kg 積載, 8回走行)

4. まとめ

造成樹園地の物理性改良を実施した後に受ける踏圧の影響を調査し、改良効果を長期に持続させる要件を明らかにするため、室内試験と圃場試験を行い、踏圧緩和に有効な方法を見いだした。

(1) 樹皮堆肥混和量と土壌水分を変えた細粒・粗粒質土壌を試作圧縮試験装置で圧縮し、透水性が低下し始める圧力の大きさを明らかにした。

(2) 踏圧による土壌の硬化は、機械重量の増大で大きくなったが、土壌改良直後にS.S.を2回走行するだけで根の生育を阻害する硬さを示した。走行方式ではローラ式よりもホイール式の影響が大きかった。

(3) 走行回数の増加は土壌の硬度を高めた。硬度の高くなる部位は、軽量機械では表層だけであり、重量機械では表層から下層に及んだ。

(4) 土壌1 m³当りに樹皮堆肥100 kgの混和、1 m²当たり0.8~4 kgの敷草は、踏圧による土壌硬度の増大防止に有効で、硬盤が形成されやすい表層での効果が大きかった。

引用文献

- 1) 土壌物理性測定法委員会編(1972): 土壌物理性測定法 p 313~317, 養賢堂, 東京.
- 2) 藤原多見夫・木村陽登・古井シゲ子・関谷宏三・駒村研三(1987): 樹皮堆肥による粘質ブドウ園土壌の環境改善, 広島県果樹試研報, 12: 29~38.
- 3) 石沢修一・松坂泰明・関谷宏三(1971): 果樹園土壌生産力に関する研究, 農林水産技術会議, 研究成果, 47: 1~190.
- 4) 鎌田嘉孝(1966): 大型機械による踏圧と畑作物の生育, 土壌の物理性, 14: 4~9.
- 5) 長崎 明・三熊政昭・高橋伸寿(1963): 大型トラクターの踏圧が畑土壌の物理性と作物の生育におよ

- ぼす影響，土壤の物理性，9：38～46.
- 6) 大城宗文（1972）：大型機械の運行に伴なう果樹園土壤の劣悪化に関する研究，土壤の物理性の実態調査及び透水係数測定法について，富山農試研報，5：59～65.
- 7) 沢田真之輔・藤本順子・山根忠昭（1988）：造成ブドウ園の土壤環境改善法，島根農試研報，23，74～103.
- （受稿年月日 1994 年 12 月 1 日）

冷害気象と微気象調節

堀口 郁夫

The Meteorology for Cool Summer Damage and its Micro-meteorological Control

Ikuo HORIGUCHI

Faculty of Agriculture, Hokkaido University

Abstract

In 1993 there were cool summer damages of some crop yields. Especially the damage of rice yield was serious, crop situation indices of rice yield were 74 in the whole country, 28 in Aomori prefecture, 30 in Iwate prefecture, 38 in Miyagi prefecture and 40 in Hokkaido prefecture. Those crop situation indices were the worst since 1945.

The difference between in 1993 and in normal year of the mean temperature from the middle of July to the middle of August was the largest among the summer season in 1993, that was $-4.0\sim-4.3$ in Aomori prefecture, Iwate prefecture and Miyagi prefecture.

There are many protection methods for cool summer damage of crops. The physical protection method is achieved by changing the volume of heat budget items; sensible heat, latent heat and soil heat. Wind breaks and deep flood irrigation are the main actual methods. The effects of those protection methods are discussed. Also, the achieving problems of the protection methods are discussed here.

Key words: Cool summer damage, Crop situation index, Micro meteorological control, Protection method, Weather.

1. はじめに

1993 (平成5) 年は全国的に冷夏で、そのため水稲をはじめ多くの農作物が冷夏の影響を受けた。特に、水稲の収穫量は平年を100とする作況指数で表すと74で著しい凶作で、1945 (昭和20) 年以來の悪い数字であった。

この凶作は農業関係者達にとって大きな衝撃であったばかりでなく、一般消費者など多くの分野に大きな影響を与えた。すなわち、コメの備蓄量が政策的に低く押さえられていたため、コメの供給に問題が生じ、店頭からコメが消えたり、緊急に輸入したコメが一般消費者の趣向に合わなく大量に売れ残ったりした。また、食管制度、コメの自由化などコメをめぐる問題が、この凶作によって大きく浮かび上がり論議が盛んになった。

この論文は1993 (平成5) 年の冷害の実態と気象の特徴を述べると共に、物理的な冷害防除の方法とその問題点を論じたものである。

2. 1993 (平成5) 年の冷害と気象の概要

2-1. 1993年 (平成5) 年の冷害

(1) 1993 (平成5) 年の全国の水稲の作況

1993 (平成5) 年の水稲の作況指数は先にも述べたように74で、この値は1945 (昭和20) 年以來の悪い値であったが、東北地方 (作況指数-56) や北海道 (作況指数-40) では、1945 (昭和20) 年より悪く、近年にない未曾有の凶作であった。特に青森県の作況指数は28、岩手県の作況指数は30、宮城県の作況指数は38と太平洋岸の県は著しい凶作であった (図-1)。しかも、これらの

道県のなかでも太平洋岸に面した市町村は、作況指数が1桁でほとんど収穫皆無の状態であった。

さらに、全国の作況指数を見ると、北日本の太平洋岸の他に中国地方と九州地方の北部の作況指数が悪い。この地方は6月から8月にかけての低温と日照不足が影響した。

(2) 1993 (平成5) 年の冷害と過去の凶作年

1883 (明治16) 年からの日本全国の10アール当りのコメの収量の推移を図-2に示す。1883 (明治16) 年頃の豊作年は10アール当りの収量は200 kg程度であった

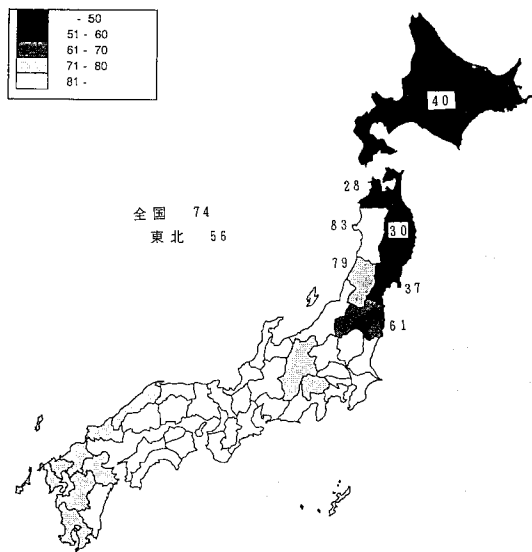


図-1 1993年の都道府県別作況指数

Fig. 1 Crop situation index for each prefecture in 1993.

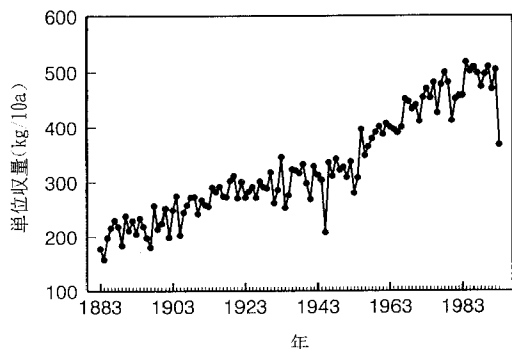


図-2 水稻の単位収量の変動 (全国)

Fig. 2 Variation of paddy rice yield for 10-are (Japan).

が、現在は500 kgにも増加している。しかし、気象などの影響で年によって増減があり、豊作年との差 (以下、減収量) は年により100 kgにも達する。1925 (昭和元) 年から1993 (平成5) 年までの68年間について、作況指数が90以下の凶作年を調べると、表-1のごとくなり、1993 (平成5) 年の作況指数である73以下の年は1945 (昭和20) 年のみである。さらに、昭和20年以降、作況指数が90以下を示す年は、1943 (昭和28) 年と1980 (昭和55) 年の2年しかなく、また1925 (昭和元) 年からでも7年間のみであり、1993年は近年まれな冷害であったことが判る。

表-1に示した冷害年はいずれも東北地方や北海道の冷害年であり、東北地方や北海道の冷害が我が国全体のコメの収量に大きく影響する。特に、東北地方は我が国の水稻の生産量の約27%を占めており、この地方の作況指数が50以下になると、他の地方の作況が平年並でも日本全国の作況指数は90以下になる。

(3) 最近の全国のコメの収量とコメの自給率

近年において全コメの収量 (水稻+陸稲) は不作の年で9,000千トン台、平年作で10,000千トン台、豊作年で11,000千トン台である。

この量と国民の消費量とを比較すると、表-2のごとく近年の自給率は1.00を切る年が多い。特に、冷害年が続いた1980 (昭和55) 年~1983 (昭和58) 年の4年間や1988 (昭和63), 1991 (平成3) 年は自給率が大きく1.00を割っている。1991 (平成3) 年は自給率が0.91であった上、1992 (平成4) 年は平年並の収量であり、米の備蓄量は余裕が無かった。そのため1993 (平成5) 年の凶作は国民の米の供給に應じきれなく、極端な米不足におちいった。

表-1 過去の凶作年 (作況指数90以下) と1993年の冷害の比較 (水稻)

Table 1 Comparison of the rice productions among the poor crop years since 1945 (under 90 crop situation index)

年 度	10アール 当り収量	作況指数	収 穫 量
	kg		千トン
昭和6年(1931)	262	90	8,098
9年(1934)	253	85	7,634
16年(1941)	269	88	8,111
18年(1943)	313	82	9,273
20年(1945)	208	67	5,823
28年(1953)	280	84	8,038
55年(1980)	412	87	9,692
平成5年(1993)	367	74	7,811

表-2 最近の米の収穫量（水稲）と消費仕向量および自給率

Table 2 Rice production, consumption and self-sufficiency ratio in recent years

年度（西暦）	収 穫 量 （水 稲）	10 アール 当り 収 量	作 況 指 数	収 穫 量（水稲 + 陸 稲）（A）	国 内 消 費 仕 向 量（B）	(A) (B)
	千トン	kg/10 a		千トン	千トン	
昭和 55 (1980)	9,692	412	87	9,751	11,209	0.87
56 (1981)	10,204	453	96	10,259	11,130	0.93
57 (1982)	10,212	458	96	10,270	10,988	0.93
58 (1983)	10,308	459	96	10,366	10,979	0.94
59 (1984)	11,832	517	108	11,878	10,938	1.09
60 (1985)	11,613	501	104	11,662	10,849	1.07
61 (1986)	11,592	508	105	11,647	10,796	1.08
62 (1987)	10,571	498	102	10,627	10,647	1.00
63 (1988)	9,888	474	97	9,935	10,584	0.93
平成 元 (1989)	10,297	496	101	10,347	10,527	0.98
2 (1990)	10,463	509	103	10,499	10,484	1.00
3 (1991)	9,565	470	95	9,604	10,513	0.91
4 (1992)	10,546	504	101	—	—	—
5 (1993)	7,811	367	74	—	—	—

表-3 1993年の全国の月別平均気温、降水量、日照時間と準平年値の比較

Table 3 Mean temperature, precipitation and sunshine hour of whole country for each month in 1983 and in normal year

月	4-10 平均	4	5	6	7	8	9	10
気 温 (°C)	17.0	9.4	14.5	18.3	20.8	22.0	19.2	13.4
準平年値	17.9	10.1	14.9	18.8	22.2	23.9	19.9	14.0
差	-0.9	-0.7	-0.4	-0.5	-1.4	-1.9	-0.7	-0.6
降 水 量 (mm)	1387.6	91.6	121.5	271.9	326.4	258.1	233.4	125.3
準平年値	1144.4	127.1	139.8	182.6	206.0	174.6	195.0	140.8
差	243.2	-35.5	-18.3	89.3	120.4	83.5	172.0	-15.5
日照時間 (hr)	837.0	165.0	150.1	88.7	89.4	116.2	112.3	140.5

2-2. 1993年（平成5）年の気象の概況

(1) 気温、雨量の推移

このような状態をもたらした1993（平成5）年の気象をアメダスのデータから調べた。全国の月別平均気温を調べると（表-3）、1993年の4月から10月までは全国的に低温で、特に7、8月の平均気温が著しく低温である。また、全国的にも東北、関東の7、8月は平年比2.0℃以上も低温であった。

さらに、半旬別の気温の推移を調べると、図-3のごとく7月中旬から8月中旬にかけて特に低温であったことがわかる。そのためこの7月中旬から8月中旬の平均気温の各県の比較をすると、表-4のごとく冷害被害の著しい青森県、岩手県、宮城県などが、平年より4.0℃以上も低温である。7月中旬から8月中旬にかけてはイネの冷

害危険期であり、生育期間中の全般の低温と共に、この冷害危険期の低温が収量に大きく影響した。

また、降水量については全国的に多雨傾向で、特に7月と9月は多かった。地域的には九州が6月から9月まで110～310mmも多かった。そのため日照は少なく、これが九州北部の作況指数に影響している。

(2) 地上気圧配置と高層天気図

典型的な冷害時の気圧配置は、オホーツク海高気圧が盛夏の時期にも居座り、冷たい北東気流を東北、北海道にもたやすためである。すなわち、日本付近の夏の500hPaの等圧線は大きく蛇行し、日本付近では南下しているため寒気が入りやすい場となっていた。このような状態が6月から8月にかけても続き、そのため夏（6月-8月）の平均高度偏差は負の偏差を示した（図-4）。

表-4 県別の月別平均気温の平年差の順位

Table 4 The orders of monthly temperature difference between in 1993 and in normal year

低温の順位	1 位	2 位	3 位
7月の平均	宮城 (-2.6°C)	茨城 (-2.5°C)	岩手 (-2.4°C)
8月の平均	秋田, 岩手, 新潟 (-2.8°C)	青森, 山形, 石川 (-2.7°C)	富山 (-2.6°C)
7~8月の平均	岩手 (-2.6°C)	青森, 宮城 (-2.5°C)	茨城 (-2.4°C)
7/16~8/15の平均	青森 (-4.3°C)	岩手 (-4.1°C)	宮城 (-4.0°C)

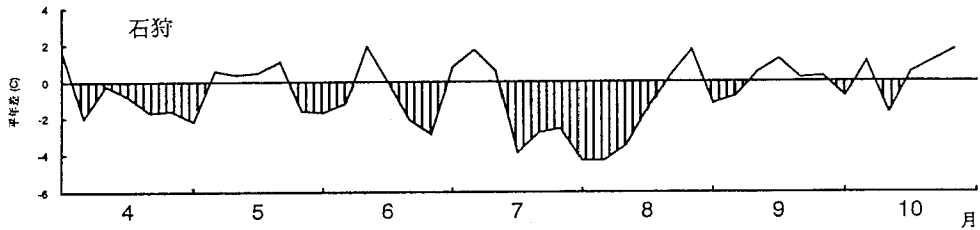


図-3 半月別の平均気温の平年差の推移 (石狩管内のアメダスの平均)

Fig. 3 Pentad variation of temperature difference between in 1993 and in normal year.

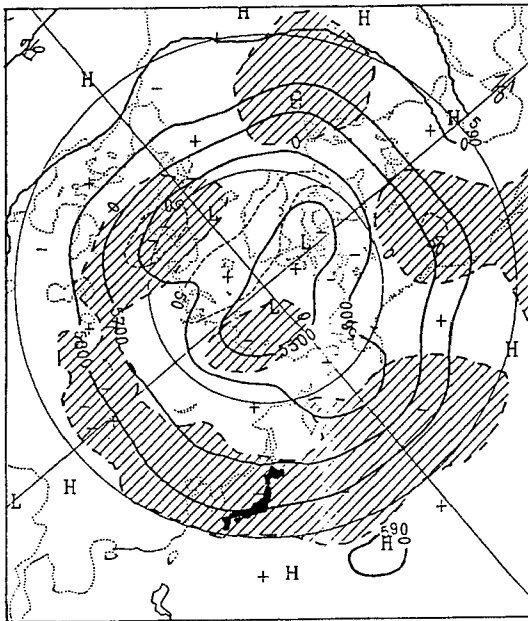


図-4 夏 (6-8月) の平均 500 hPa の高度偏差 (気象, 1993年11月号)

Fig. 4 Mean anomaly of 500 hPa for summer season (July to August in 1993).

上空の偏西風の蛇行は、地上のオホーツク海高気圧に対応し、地上の天気図では6月から8月にかけてオホーツク海高気圧が居座った。このオホーツク海高気圧から吹き出す北東風によって、北海道、東北、関東北部の太

平洋岸に低温をもたらしたものである。

3. 微気象改良による冷害防除

冷害に対する防除法は古くから種々研究され、また実施されている。この方法は3つに大別できる。第1は低温環境へのイネ自体の適応である。具体的には先天的にまた後天的にイネ自体に低温に対する抵抗性をつけることで、冷害環境に適した品種や健苗を育てることである。

第2は栽培法による冷害環境の回避である。具体的にはイネが低温に合わないよう栽培時期をずらしたり、栽培期間を短くしたりする方法である。

第3は農業気象的手段による微気象環境の改良である。すなわち、防風施設やその他の農業気象的手段による気温、地温、水温を上昇させることである。

冷害を克服するためにはこれらの方法を有機的に組み合わせる必要がある。期待できない。しかし、ここでは主に第3の農業気象的手段による冷害環境の改良について述べる。

3-1. 農業気象的冷害対策

この方法は作物の生育に影響する気象要素を制御して、冷害被害を軽減する方法である。これらの方法は各々の熱収支項を制御または変化させて達成される。

すなわち、水田の熱収支は(1)式のように表される。

$$W = S + L + IE + G + N \dots \dots \dots (1)$$

ただし、W: 水に貯留される熱量, S: 純放射量, L:

顕熱伝達量, 1E: 潜熱伝達量, G: 地中伝達量, N: 流入熱量と流出熱量の差。

農業気象的冷害対策はこれらの各々の項を制御して微気象環境を変化させる方法である。表-5に各項目による具体的方法を示す。

これらの方法の実施手段は農業土木的手段、樹木などなどの施設的手段、栽培技術的手段によって実施される(表-6参照)。

(1) 農業土木的手段

農業土木的手段は1940年代~1960年代にかけて大々的に行われた方法である。温水池や温水路は河川水温の低い地方に設置された。特に北海道の雪解け水が流入し

表-5 熱収支項の変化による冷害環境の改善法
Table 5 Protection methods for cool summer damage by changing heat budget items

1. 蓄熱される水の容量による冷害環境の改善	◎かんがい水深の変化による水温・地温の上昇(日中浅水・夜間深水)
2. 純放射量の変化による冷害環境の改善	◎栽植方向・密度による水温・地温の上昇
3. 潜熱伝達量の変化による冷害環境の改善	◎防風施設による水温・気温の上昇 ◎蒸発抑制剤による水温・地温の上昇
4. 流入水熱量の変化による冷害環境の改善	◎温水池・温水路・温水田による水温上昇
5. 地中伝熱量の変化による冷害環境の改善	◎漏水防止・客土・排水・床締めによる水温・地温の上昇

表-6 冷害軽減の実施手段

Table 6 Operation methods for cool summer damage

1. 農業土木的手段による冷害環境の改善	— 温水池・温水路・客土排水・床締め
2. 栽培技術的手段による冷害環境の改善	— 深水かんがい・止水かんがい・遊水田・迂回路・栽植密度・方向・畦立栽培
3. 樹木施設などの構造的な手段による冷害環境の改善	— 防風林・防風施設(ポリチューブ・分散板)

河川水温が低い地方では多くが設置されている。

北海道で築造された温水池の計画上昇水温は、0.3~5.8℃で平均2.5℃である。しかし、計算上の上昇水温と実際の上昇水温は温水池内の死水のため一致しなく、熱効率率は0.80~0.95の間にあるとされている。

客土や排水、床締めなどは泥炭地や重粘土などの土壌条件の悪いところに主として実施されている。床締めによる水温上昇の例では平均1.1℃がある。また、ベントナイト客土による水温上昇の例として、0.2~1.5℃が報告されている。

(2) 施設的手段

樹木などの施設的手段によるものには、防風林、防風施設の他にポリチューブによる方法などがある。防風林は冷害対策より防風対策として古くから設置されている。特に北海道では開拓当時から自然林の一部を防風林として残したものが多く、その分布は十勝、根室、網走などの畑作地帯に多く見られる。しかし、日陰になること、雪解けが遅いこと、有害動物のすみかになること、つぶれ地が多いことなどのため、伐採される例が多い。それに代わって最近防風網が普及してきた。特に水田地帯の冷害対策に空知、石狩地方に多く見られる。

防風林、防風網による減風効果は網の密閉度や高さ、風速の大小などによって異なるが、一般的に防風施設の高さの20倍とされている。また水温上昇の範囲は減風効果より遠くまでおよび、高さの約40倍になることがある。これは高温になった水田水が風によって風下に流される結果である。

また、水温の上昇程度は減風1m/sec当り平均約1℃である。しかし、日中日射があるとき高さの5倍の地点で、7℃も高温になるという報告もある(図-5参照)。また、作物の生育が進むと水温の上昇程度は減少する。これは作物が繁茂して水面に当たる日射量が少なくなるた

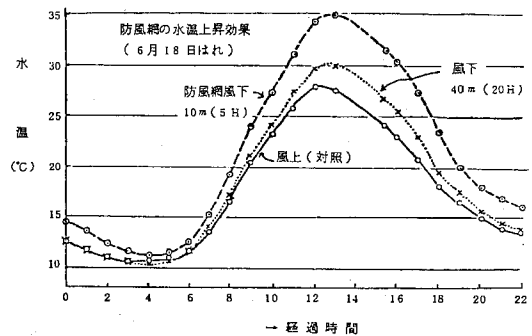


図-5 防風網による水温上昇(泊ら, -1978-より)
Fig. 5 Water temperature rising by wind breaks.

めである。

水温上昇による作物の増収は最大40%の報告があり、さらに防風施設の高さの30倍の地点でも10%以上の増収効果がある(表-7参照)。

(3) 栽培技術的手段

栽培の技術手段による冷害環境の改善は、農家が各自実施している手段である。最近遊水田や迂回水路などの施設は余り見られなくなったが、冷害時には深水灌漑、止め水灌漑などは一般に行われている。日中、単位面積当りの純放射が同じであれば、水深を浅くすると水の体積当りの熱量が多くなるため水温が高くなり、水深を深くすると水温は低くなる。したがって、水深と水温は逆比例関係にある。

一方、夜間は水深が浅いと熱容量が小さいため水温低下が大きく、水深を浅くすると水温は低くなる。すなわち、水深と水温は比例関係にある。しかし、水深の違いによる水温はその時の気象条件に影響されるため単純ではない。

このように日中と夜間の水深を変えることによって水田水温を比較的高く保つことができる(表-8参照)。そのため古くから冷害の被害軽減技術として実施されてきた。しかし、最近大型化水田が普及し、昼夜別の水の掛け引きが容易にできなくなった。

最近では低温時に昼夜とも深水にすることが行われている。これは低温が入ってきたとき一般に気温より水温の方が高いのが普通であるため、地上5~17cm程度に生育した幼穂を水の中に浸して低温の気温から保護するこ

とである。したがって、気温と水温の相対的関係を把握する必要がある。

4. 冷害対策の問題点

冷害は農業気象的対策ばかりでなく種々の対策を組み合わせることによって、ある程度被害を軽減できる。1993(平成5)年の冷害時にも被害克服事例調査では防風施設の効果、深水灌漑の効果の外に適正施肥、成苗植えなどによる冷害被害の軽減事例が報告されている。このような報告は1993(平成5)年の冷害ばかりでなく、過去の冷害のたびに報告が見られる。問題は冷害対策技術そのものではなく、農家がいかに対策を実施しないこと、または実施できないことである。1976(昭和51)年の冷害の調査では深水灌漑を実施した農家は北海道平均で約49%であった。古くから有り、また冷害のたびにその効果が報告されている深水灌漑が、農家の半数も実施していないことは大きな問題である。

表8 水深の相違による水温差

Table 8 Water temperature difference by changing water depth

水 温	最 高 水温差	最 低 水温差	備 考
1.2 cm と 19.80 cm	3.6°C	-2.1°C	三原らによる
3 cm と 15 cm	2.0	-3.0	市村 "
2 cm と 13.5 cm	2.4	-2.0	岩切 "
3 cm と 13 cm	3.3	-1.7	星野 "

表-7 防風林・防風網による米の増収(泊ら-1978-より)

Table 7 Yield increase by windbreaks and shelter belt

場 所	区 別	10 a 当り (kg)			収量割合	屑米重量	千 粒 重	品質	
		稈重	籾重	精米重					
(農家)	防風林下	m 50	470	630	532.4	122	4.7	23.6	2 中中
		75	470	603	503.5	116	6.1	23.3	2 中下
		100	455	570	467.6	107	7.9	23.2	3 中下
	島	125	439	550	459.3	105	8.4	23.5	3 中下
		150	409	536	447.6	103	8.4	24.1	3 中下
		175	409	522	435.9	100	9.0	23.3	3 中下
若 沢 (Y)	防風網上	30	515	530	420.5	100	21.0	22.9	5 下下
		10	508	735	597.5	142	15.6	23.3	3 下下
	" 下	20	515	636	522.8	124	15.9	23.3	3 中下
		40	515	591	473.8	113	15.1	23.2	3 下下
(Y)	"	60	530	590	479.2	114	17.0	23.3	4 上下

注. (1) 収量調査は2反復調査を行い、架乾燥である。

(2) 品質調査は、食糧事務所の検査による。

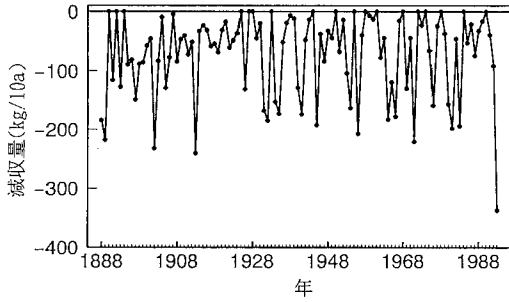


図-6 水稻の減収量の変動（北海道）

Fig. 6 Deviation of rice yield from that of good harvested year (Hokkaido).

この様な低い実施率の原因は、①畦畔の高さが不足のため深水灌漑できない、②灌漑用水が不足のため深水灌漑ができない、③1枚の水田面積が大きく迅速に深水灌漑ができない、④老齢化や労力不足のため深水灌漑ができない、⑤深水灌漑しようとする意欲がない、⑥その他が考えられる。特に最近④、⑤の原因による実施率の低下があるように思われる。老齢化や労力不足、意欲がなくとも、自動的に冷害対策が実施される方法の開発が必要である。最近、栽培管理や水管理などをコンピュータで行う全自動稲作の研究が始まった。老齢化や労力不

足でも実施できる方法として注目される。

さらに、低温抵抗性のイネの研究にも問題がある。北海道の水稻の10アール当りの推移を豊作年を基準にして示したのが図-6である。1880年代も1990年代になっても豊作年と冷害年の差（減収量）はほとんど変化がない。すなわち、低温抵抗性の品種が開発され冷害時にもある程度の収量があるが、減収量は同じであり農家の冷害感は依然として改善されていない。豊作年と冷害年の格差が無くなってはじめて冷害が克服されたといえる。

5. 引用文献

- 堀口郁夫（1984）：冷害の農業気象的対策，北海道の農業気象，36：59～67。
- 堀口郁夫（1994）：1993年異常気象による冷害の調査研究，pp 102，文部省科学研究費突発災害調査研究成果。
- 堀口郁夫（1994）：冷害，北海道の農業気象，46：1～9。
- 泊 功，藤原 忠，石黒忠之（1978）：防風施設の冷害気象改善効果に関する研究，北海道地域における異常気象対応技術の確立に関する総合研究（中間報告），60～76，農林水産省北海道農業試験場。

（受稿年月日1994年12月21日）



ランドサットを利用したビートの冷湿害解析

安積 大治

The use of LANDSAT TM data for estimating the interaction of
sugar beet yields damaged by cold and wet weather
in 1993 with soil properties

Daiji ASAKA

Hokkaido Prefectural Central Agricultural Experiment Station
Naganuma-cho Yubari-gun Hokkaido 069-13 Japan

Abstract

Sugar beet crop was seriously damaged by cold and wet injury at the Tokachi area of Hokkaido in Japan 1993. I tried to estimate relation of sugar beet yield to soil properties using LANDSAT TM data which were acquired on July 8 1993. Geographical distribution of sugar beet yields was mapped from NDVI (normalized difference vegetation index) on the basis of the TM data and the mean temperature in July. The regional variability of the yield was calculated dividing original estimated yield by the broad trend of the yield, and examined with some soil properties. Relatively low regional yields was related to the soil type with poor drainage condition, existence of compact subsoil, and lack of gravel layer. These results suggest that the remotely sensed data may be useful for estimation of the interaction of soil, weather and crop growth.

Key words : Sugar beet, LANDSAT, Remote sensing

1. はじめに

北海道の農耕地は、1959～1975年に実施された地力保全基本調査（道立中央農試、1978）によって、ほぼ全道の土壌の分類とその理化学性・生産力可能性等級が明らかとなっている。しかしながら、今後効率的な土地利用計画や、土地改良事業の策定を行うためには、生産力の他に地形や気象・環境条件をも加味した土地評価手法が必要である。

道立農業試験場では農耕地の多面的な評価を目的として、土壌情報や作物生育情報の整備・統合を進めており、現在までに土壌・地形・気象に関する既存の情報について整備を行っている。各情報は「農耕地資源マッピングシステム」として、道立の農業試験場を中心として構築されているコンピュータネットワークシステム「北

海道農業研究情報システム（HARIS）」に提供している（志賀、1993）。表-1に現在まで整備された主なデータを示した。各データは100mメッシュデータとして整備されており、それぞれ単独で、または重ね合わせて加工して表示することが可能であり、作物の栽培適地評価などに利用されている。

こうした、土壌や作物に関する情報の効率的な収集手法の1つとして、近年衛星リモートセンシングの利活用に取り組んでおり、現在までに主に道央地帯を対象として、小麦（志賀ら、1992）及び水稲（志賀、安積、投稿中）の収量推定や、水田土壌の腐植含量の推定（志賀ら、1989）、土壌の有効水分の推定（安積、志賀、1993）などを行っており、こうしたリモートセンシングによって得られたデータと既存の土壌情報等との関連について検討を行っている。

しかしながら、衛星リモートセンシングを利用して農作物の情報を得るには、目的とする農作物がある程度大面積に栽培されていること、また衛星データから作物の判別が可能であること、さらに衛星データから得られる情報が作物生育や収量と関連していることが必要である。

表-2に1993年の北海道内の主要作物の栽培面積と、栽培期間を示した。ビートは北海道の基幹畑作物の1つとして、水稲・小麦について大面積に栽培されており、また生育期間が長いこと、観測時期の異なる複数の衛星データを利用することによって、他の作物との判別も容易である。さらに製糖各社によって詳細な地上データが取得されており、衛星リモートセンシングの利用には好適な作物の1つといえる。

リモートセンシングを用いたビートの解析事例については、いくつかの報告がある。福原、林(1977)はマルチバンド航空写真等を用いてビートの生育判定を行っている。また、斎藤、福原(1982)は、近接リモートセンシングを利用して、土壌・施肥管理の異なるビートの分光反射率を測定し、近赤外と赤の波長帯の分光反射率が

ら根重を推定している。深山、小川(1985)は、網走地方のビートの干ばつ被害をランドサットMSSデータで解析しており、さらに岡野ら(1994)は、帯広市周辺のビート収量・糖分含量をランドサットTMデータで推定し、土壌との関連について検討を行っている。

本報告では、冷湿害の発生が報じられた1993年の十勝地方のビートについて、衛星リモートセンシングを利用してその収量を推定し、さらに土壌条件と収量の関係を検討して、冷湿害の広域的な解析を試みた。

2. 1993年十勝地方のビート冷湿害の概要

1993年の十勝地方におけるビートの生育期間(5~10月)中の平均気温・降水量を図-1に示した。平年に比べ平均気温は2℃前後低く経過し、さらに6月上旬に南部沿海地域を中心に300mm以上の多雨があった。こうした気象経過によって、ビートは十勝地方全域で平年よりも低収となり、特に降水量の多かった十勝南部の沿海地域では著しく減収した。市町村別平均収量は平年比で60~90%にとどまったが、根中糖分は根重が小さかったことや、生育後期の日温度較差が大きかったことなどが

表-1 道立農業試験場における農耕地情報の整備状況

Table 1 Geographical information data of agricultural land arranged in the Hokkaido Prefectural Agricultural Experiment Station

データの種類		内容
土 壌 情 報	地力保全基本調査	土壌分類 泥炭・グライ・礫層出現深さ 化学性 (腐植・リン吸・CECなど) 物理性 (土性・有効水分・ち密度など)
地 形 情 報	国土数値情報	標高・傾斜・起伏・土地利用
気 象 情 報	平年値メッシュ	最高気温・最低気温・平均気温 降水量・日射量・積雪深

表-2 道内の主要作物の栽培面積(1993)と生育期間

Table 2 Cultivation area in 1993 and vegetation periods of major crops in Hokkaido, Japan

作物	栽培面積 (ha)	生育期間 (月)							
		5	6	7	8	9	10	11	
水 稲	172,200	○							●
小 麦	92,700			●				○	
ビ ー ト	70,100	○							●
馬 鈴 しょ	68,800	○							●
大 豆	7,610		○						●
とうもろこし	14,300		○						●

●: 播種・移植 ○: 成熟・収穫

ら、平年よりも10%程度高くなった。

十勝地方の市町村別の統計収量と月別平均気温・降水量との相関を表-3に示した。収量は6・7月の平均気温との間に高い正の相関が認められ、また6~8月の降水量との間には高い負の相関が認められた。このことから、1993年の十勝地方のビートの収量は、6月以降の多雨による生育阻害とともに、生育初期~中期の気温に大きく制限されていたと推定される。

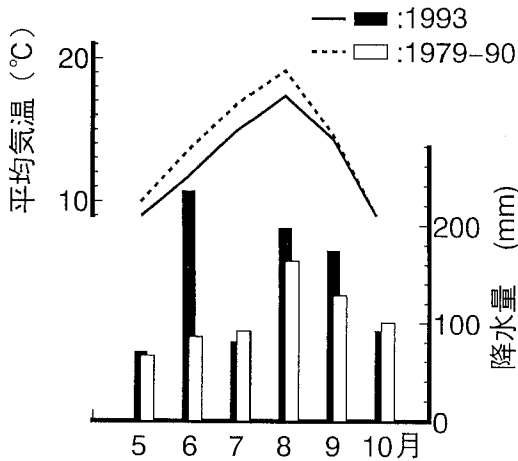


図-1 1993年の十勝地方におけるビート生育期間中の気象経過（準平年値との比較）（十勝管内アメダス気象データの平均値）

Fig. 1 Weather conditions during the vegetation periods of sugar beet at the Tokachi area, Hokkaido, Japan (1993).

表-3 月別平均気温・降水量と収量の相関（1993年 十勝地方）

Table 3 Coefficient of correlation among monthly mean temperature, precipitation and sugar beet yield at the Tokachi area, Hokkaido, Japan in 1993

月	平均気温	降水量
5月	0.64**	-0.47*
6月	0.80**	-0.71**
7月	0.78**	-0.81**
8月	0.63**	-0.78**
9月	-0.40	-0.66**
10月	-0.68**	-0.77**

(n=18)

*: 5% 有意水準

** : 1% 有意水準

3. ランドサットを利用したビートの収量推定

(1) 対象地域および使用データ

十勝地方の東西約60km、南北約100kmを対象地域とした(図-2)。当該地域には陸別町を除く十勝地方の主要農耕地のほぼ全域が含まれる。

解析に用いたランドサットデータを、表-4に示した。1993年は天候不順のためランドサットデータの取得回数が少なく、十勝地方全域が観測されたシーンは取得されず、衛星軌道によって十勝東部の一部地域が欠落し、また帯広市周辺の一部地域に雲が存在した。気象データは、ビートの生育期間である5~10月の月別平均気温・降水量について、アメダスデータから1kmメッシュ気象図を作成し利用した。また、土壌データは、「農耕地資源マッピングシステム」(志賀, 1993)に100mメッシュデータとして整備されている土壌分類、物理性等のデータを利用した。

(2) ランドサットデータの解析手法

ランドサットデータの処理手法の概要を図-3に示した。各々のランドサットデータについて対象地域を切り出し、UTM座標系に幾何補正を行って、地形図や土壌データなどとの重ね合わせを可能とした。次にランド

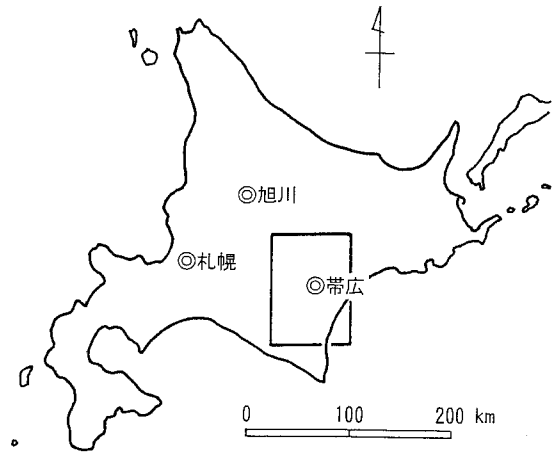


図-2 対象地域

Fig. 2 Study area.

表-4 使用ランドサットデータ

Table 4 The used LANDSAT data

センサ	パス	ロウ	観測日	雲量
TM	107	30	1993. 7. 8	0%
TM	107	30	1993.10.28	30%

サットデータに国土数値情報の1/10細分区画土地利用データ(KS-202)(国土庁, 1987)を重ねて、農耕地のみを抽出した。抽出された農耕地について、分光反射特性から教師なし分類による土地被覆分類を行い、7月8日に弱い植生を示し、10月28日に強い植生を示した画素をビート圃場と判別した。

市町村別のビート作付面積と、ランドサットデータでビート圃場に判別された面積との関係を図-4に示した。黒丸は対象地域内に全域が含まれている市町村、白丸は一部地域が欠落している市町村を示す。ランドサットデータでビート圃場に判別された面積は統計面積と高い相関を示したことから、ほぼ妥当な圃場の抽出が行われ

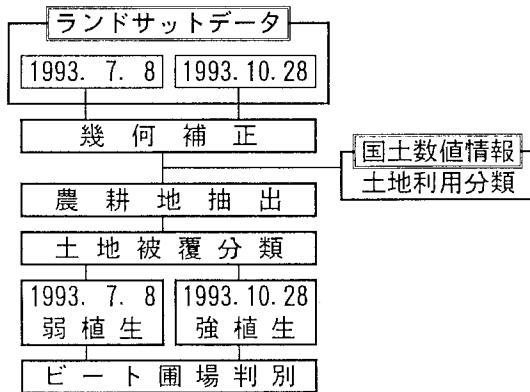


図-3 ランドサットデータ処理の概要

Fig. 3 Flowchart for treatment of the LANDSAT TM data.

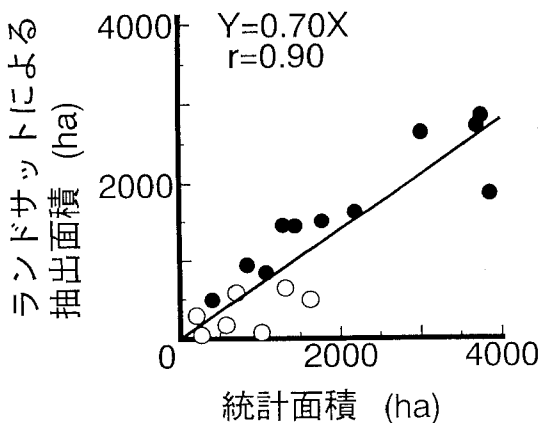


図-4 ランドサットによって抽出されたビート圃場面積

Fig. 4 The area of sugar beet fields discriminated by the LANDSAT TM data.

たものと考えられ、作付面積の約70%がビート圃場に判別された。

次に、ビート圃場に判別された画素について、周囲の8画素がいずれもビートに判別された画素を選別し、境界領域・微小区画の除去を行った。こうして抽出された、作付面積の約13%のビート圃場を解析に用いた。

(3) ビート収量の推定と収量区分図の作成

抽出された画素について市町村別の平均分光反射値・正規化植生指数(NDVI)(Rouse, J.W *et al.*, 1974)を算出して、統計収量(てん菜協会, 1994)との関連について検討した。各バンドの平均分光反射値・正規化植生指数と収量との相関を表-5に示した。7月8日の正規化植生指数と収量との間には、高い正の相関が認められた。ビートの6月中旬~7月上旬の地上部乾物重は、収量と高い相関を示すことが報告されている(斎藤ら, 1991)。また、6~7月の正規化植生指数は収量と高い相関を示す(斎藤, 福原, 1982)ことから、7月8日の正規化植生指数からビートの収量推定が可能と考えられた。

さらに、十勝全域から41の現地圃場を選択し、衛星データから各圃場の7月8日の正規化植生指数を算出した。各圃場の実測収量と正規化植生指数との間には、市町村平均で検討したときに得られた、

$$\text{収量(t/ha)} = 72.3 \times \text{NDVI} + 13.2$$

(NDVI: 正規化植生指数)

の回帰直線がほぼ適合した(図-5)。両者の間には $r =$

表-5 バンド別分光反射値・正規化植生指数と収量との相関(1993.7.8)

Table 5 Coefficient of correlation among spectral reflectance of each bands, NDVI (normalized difference vegetation index) on July 8 1993 and sugar beet yield

	波 長 帯	相 関 係 数
バ ン ド	TM 1 (青)	-0.58**
	TM 2 (緑)	-0.61**
	TM 3 (赤)	-0.64**
	TM 4 (近 赤 外)	0.56*
	TM 5 (中間赤外)	-0.64**
	TM 6 (熱 赤 外)	-0.67**
	TM 7 (中間赤外)	-0.68**
	正規化植生指数 (NDVI)	0.74**

(n=18)

$$\text{NDVI} = (\text{TM 4} - \text{TM 3}) / (\text{TM 4} + \text{TM 3})$$

* : 5% 有意水準

** : 1% 有意水準

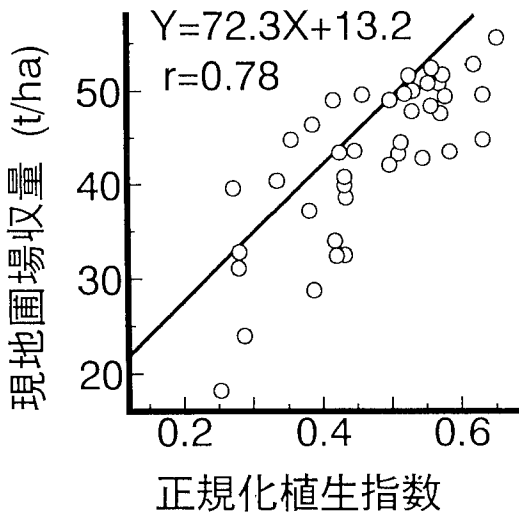


図-5 現地圃場収量と正規化植生指数との関係

Fig. 5 Relationship between sugar beet yields and NDVI (normalized difference vegetation index).

0.78** の高い相関が認められ、市町村平均での関係が、個々の圃場にも適用可能であると考えられた。

7月8日のランドサットデータから算出された正規化植生指数は、ビート収穫時期の3~4ヶ月前に得られたものであるため、衛星データ取得後の気象条件が収量に影響すると考えられる。そこで、収量の推定精度を向上するために、正規化植生指数と衛星データ取得以降の気象条件とを説明変数として重回帰分析を行ったところ、正規化植生指数と7月の平均気温が選択され、

$$\text{推定収量 (t/ha)} = 32.7 \times \text{NDVI} + 9.2 \times \text{7月平均気温} - 108.3$$

(NDVI: 正規化植生指数)

の重回帰式が得られた。1993年7月の平均気温は平年に比べ特に低く推移したことから、ビートの生育に影響したと考えられる。図-6に市町村別の統計収量と、重回帰式で得られた推定収量との関係を示した。両者はほぼ1:1の直線上に存在し、寄与率は72%、RMSEは3.3t/haであった。得られた重回帰式を対象地域全域に適用して収量区分図を作成した。

作成された収量区分図の表示例を図-7に示した。表示例は収量の区分を判別しやすいように1kmメッシュサイズに加工してあるが、原データは25mメッシュサイズとなっており、個々の圃場の収量差が判別可能である。十勝地方全域の収量傾向としては、南部の沿海地域が低収となっており、また中央部および十勝川、利別川、音更川などの流域沿いが高収となっている。

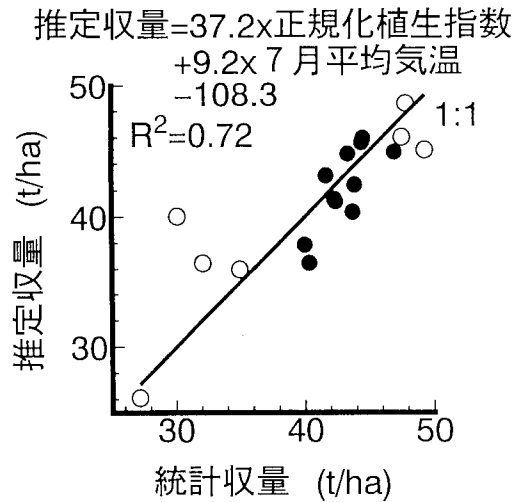


図-6 ランドサットによるビート収量の推定

Fig. 6 Estimated yield of sugar beet using the LANDSAT TM data.

4. ビート収量と土壌要因との関連

(1) 相対指数の算出

1993年の十勝地方のビートは、生育期間中の低温と6月の多雨により冷湿害を生じ、特に降水量の多かった南部沿海地域では著しく減収した。そこで、推定収量と気象要因との関係について検討した。図-8に衛星データから推定された1993年のビートの推定収量と、6月の降水量との関係を示した。両者の間には負の相関が認められ、6月の降水量の多い地域では、ビート収量は低収となっていることがわかる。しかしながら局所的には、降水量が同一であっても収量の高低が認められる。こうした収量の変異は、気象条件以外の土壌条件や栽培条件に起因すると考えられることから、これらの地域の土壌条件を検討することによって、ビートの収量に影響を及ぼす土壌要因が明らかになると考えられる。低温寡照・多雨に推移した1993年の十勝地方では、特に土壌条件による冷湿害の発生程度の違いが把握できると考えられる。

そこで、推定された収量から気象要因の影響を除く処理を行った。統計収量を目的変数、月別平均気温・降水量を説明変数とした重回帰分析を行い、多雨によって生育遅延・湿害の原因となった6月の降水量と、その後の生育に影響する7月以降の平均気温を用いて、気象要因から見込まれる収量を算出した。これに衛星データから推定した収量区分図を重ね合わせて各地点における両者の比率を算出し、これを相対指数とした。相対指数の高

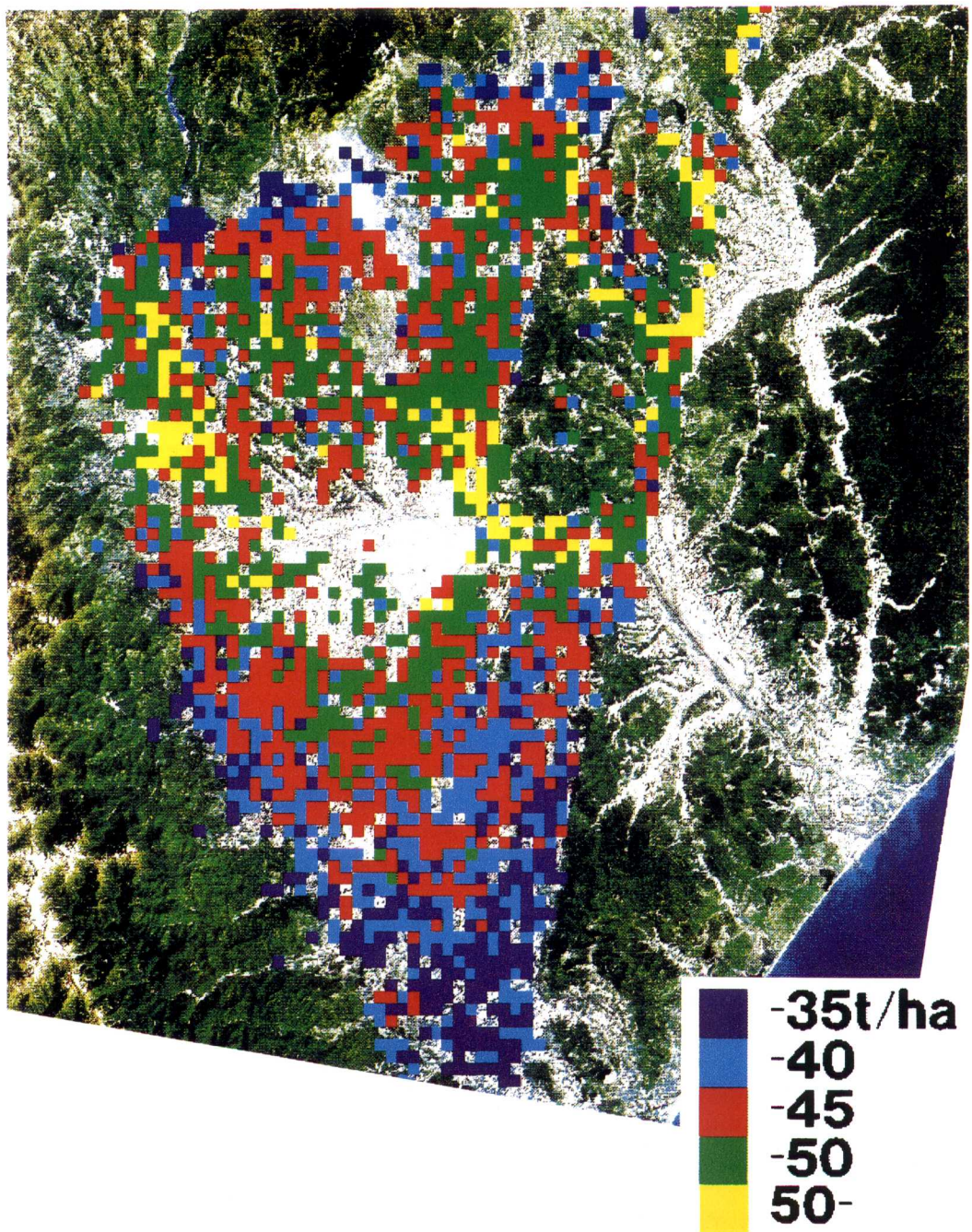


図-7 ランドサットによって推定された1993年十勝地方のビート収量区分図(1kmメッシュ)

Fig. 7 1993's geographical distribution map of sugar beet yields at the Tokachi area, Hokkaido, Japan, estimated by the LANDSAT TM data acquired on July 8 1993. (1 km mesh sized map).

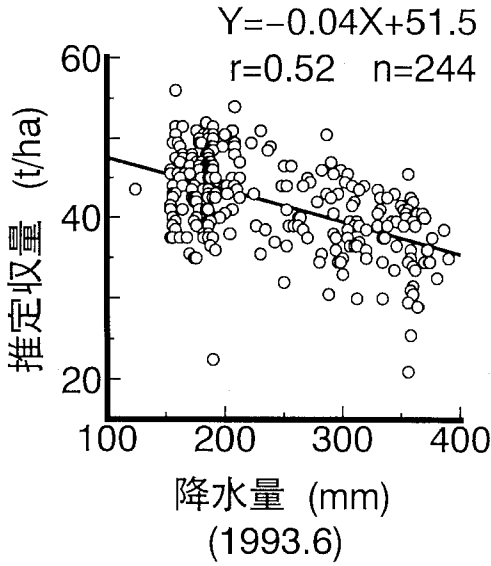


図-8 ビート推定収量と6月降水量の関係

Fig. 8 Relationship between estimated sugar beet yields and precipitation on June at the Tokachi area, Hokkaido, Japan in 1993.

表-6 十勝支庁管内における各土壌タイプ別分布面積

Table 6 Distribution area of soil groups in the Tokachi district, Hokkaido, Japan

火山灰土	126,509 ha
褐色火山性土	66,245
黒色火山性土	24,505
厚層黒色火山性土	33,959
洪積土	133
沖積土	86,579
褐色低地土	61,411
灰色低地土	21,013
グライ土	4,022
泥炭土	10,202

い地域は、気象要因から見込まれる収量よりも高収であり、また相対指数の低い地域は、気象要因から見込まれる収量よりも低収であったと考えられる。

(2) 収量と土壌要因との関連解析

各土壌要因別に、推定収量・相対指数の平均値を求めて、比較した。

十勝地方の土壌は、主に台地や河岸段丘上に分布する

火山灰土と、河川流域に分布する沖積土に大別される。沖積土では褐色低地土の分布面積が最も多く、特に南部の札内川・猿別川の中流域や歴舟川流域には広く分布する。また、灰色低地土やグライ土は支流域や十勝川下流部に分布する。火山灰土は、腐植含量が少なく褐色の表層を持つ褐色火山性土、腐植含量に富み黒色の腐植層を持つ黒色火山性土、さらに腐植含量に頗る富み腐植層の

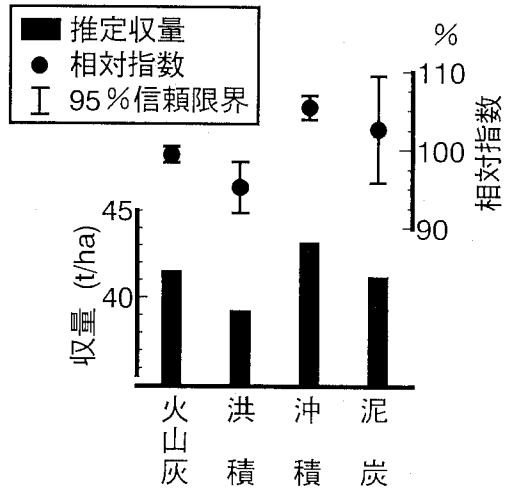


図-9 土壌の堆積様式別ビート収量と相対指数

Fig. 9 Comparison of estimated and regional variability of sugar beet yield various of the soil accumulated type.

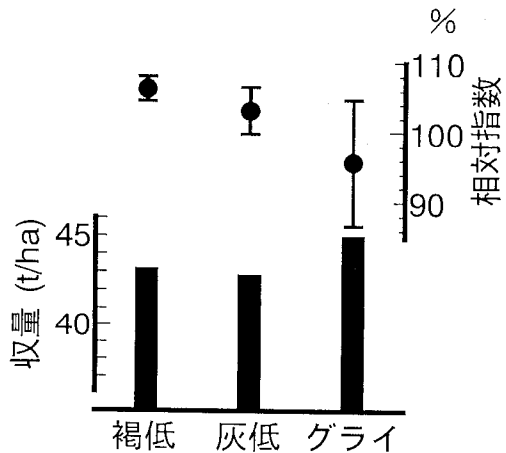


図-10 沖積土の土壌群別ビート収量と相対指数

Fig. 10 Comparison of estimated and regional variability of sugar beet yield various of the soil families in alluvial soils.

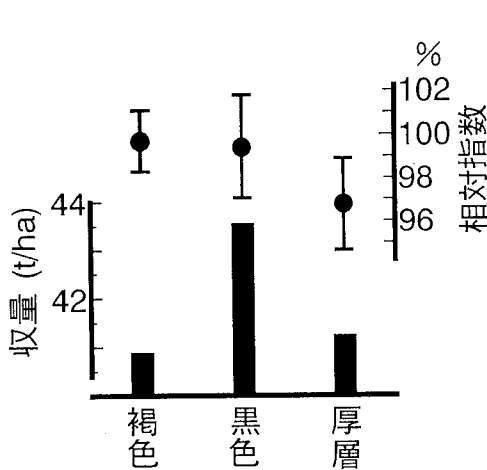


図-11 火山灰土のビート収量と相対指数

Fig. 11 Comparison of estimated and regional variability of sugar beet yield various of the soil types in volcanic ash soils.

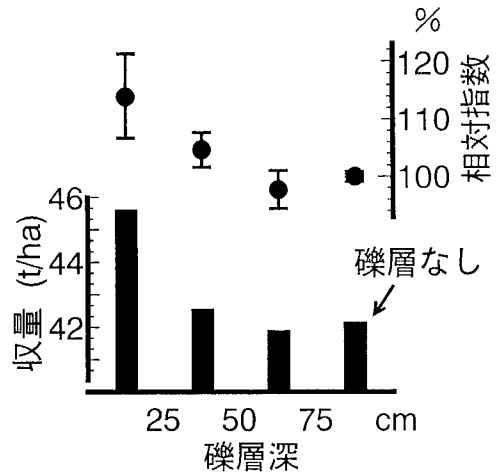


図-13 礫層深別のビート収量と相対指数

Fig. 13 Comparison of estimated and regional variability of sugar beet yield various of the depth of gravel layer.

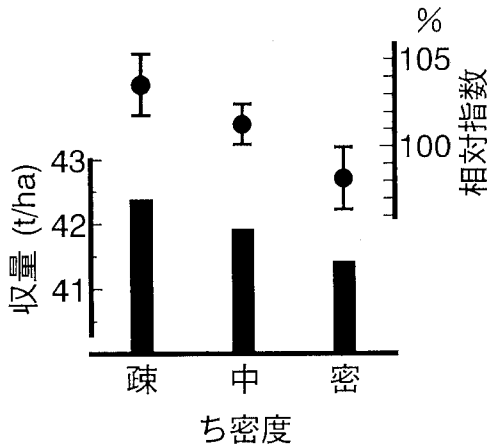


図-12 下層土のち密度別ビート収量と相対指数

Fig. 12 Comparison of estimated and regional variability of sugar beet yield various of the compactness of subsoil.

厚い厚層黒色火山性土の3つに大別され (道立中央農試, 1979), 褐色火山性土・黒色火山性土は乾性, 厚層黒色火山性土は湿性の傾向を示す (菊地, 1981). 最も分布面積の多い褐色火山性土は主として十勝南部地域に, また黒色火山性土は主に十勝北部地域に分布する. 十勝支庁管内の各土壌タイプ別の分布面積を表-6に示した (道立中央農試, 1993).

まず, 土壌の堆積様式別に推定収量を比較すると, 沖積土では高収であり, 洪積土・泥炭土は低収であった (図-9). 相対指数は, 特に洪積土, ついで火山灰土で低くなり, また泥炭土ではばらつきが大きかった. 沖積土

表-7 1993年のビート生育に影響を及ぼした土壌要因

Table 7 Soil properties influenced on the growth of sugar beet at the Tokachi area, Hokkaido, Japan in 1993

土 壌 要 因	+要因	-要因
下層土のち密度	疎	密
礫 層 深	浅	
土 沖 積	褐色低地土	グライ土
壤 火 山 灰	褐色火山性土	厚層黒色火山性土

の相対指数は, 火山灰土・洪積土に比べ有意に高かった. 相対指数の高かった沖積土について, 土壌群別に比較すると, 推定収量はグライ土が最も高かったが, 相対指数は褐色低地土, 灰色低地土, グライ土の順に低かった (図-10). 各土壌群の相対指数には有意な差異は認められなかったが, 湿性な土壌ほど減収の程度が大きい傾向にあった. 火山灰土を褐色火山性土・黒色火山性土・厚層黒色火山性土に大別して比較したところ, 推定収量は黒色火山性土が最も高かった. 相対指数には有意差は認められないが, 褐色火山性土・黒色火山性土に比べ, 湿性の傾向を示す厚層黒色火山性土では相対指数が低くなる傾向にあった (図-11).

次に下層土のち密度別に推定収量・相対指数を比較した (図-12). ち密度の違いによる推定収量には有意な差異はなかったが, 相対指数は, ち密度の密な土壌では,

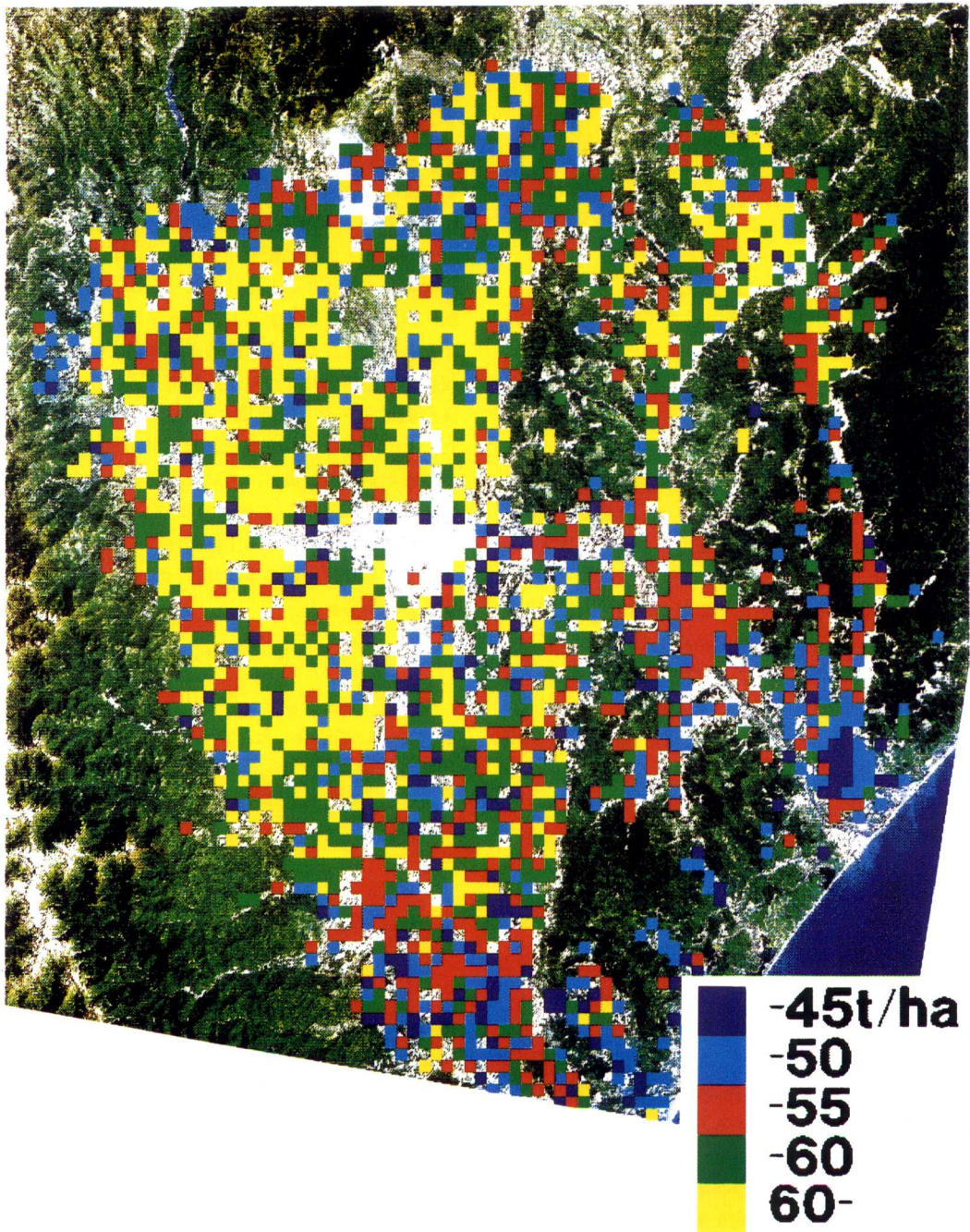


図-14 ランドサットによって推定された1990年十勝地方のビート収量区分図(1kmメッシュ)

Fig. 14 1990's geographical distribution map of sugar beet yields at the Tokachi area, Hokkaido, Japan, estimated by the LANDSAT TM data acquired on June 7 1990. (1 km mesh sized map).

表-8 1990年・1993年の土壌要因別相対指数の比較

Table 8 Comparison of regional variability of the sugar beet yield to some soil properties between 1990 and 1993

土壌要因	1990年	1993年
堆積様式	火山灰>>沖積	沖積>>火山灰・洪積
礫層深		浅>>深
下層土の密度		疎>>密
沖積土		褐低>灰低>グライ
火山灰土	厚層>黒色>褐色	褐色>黒色>厚層

疎・中の土壌よりも有意に低くなり、下層土が堅密な土壌では、排水不良のために減収傾向が大きかったことが推察された。十勝地方の火山灰土・洪積土は、50%以上で下層土のち密度が密であることから、洪積土・火山灰土で相対指数が低かったのは下層土のち密度が大きかったことが一因と考えられた。

また、十勝地方では、主に十勝川や札内川、音更川などの流域の褐色低地上に、礫層が浅く出現する浅礫地帯がある(北海道農務部, 1982)。礫層深別に推定収量・相対指数を比較すると、礫層深の浅い地域は、推定収量・相対指数とも有意に高かった(図-13)。これは、浅礫地帯では概して圃場の透水性が良好であったことから、過湿による影響が小さかったためと考えられた。しかしながら、浅礫地帯では肥料成分の溶脱による減収例も報告されている(道立中央農試, 1994)ので、こうした影響については、追肥の状況等を考慮し今後の検討が必要である。

以上から、1993年のビート収量に対する主な土壌要因の影響を表-7にまとめて示した。まず、下層のち密度が堅密な土壌では相対指数が低くなり、このため火山灰土・洪積土などでは減収した。また、礫層深によって相対指数に差が認められ、浅礫地帯では相対指数が高くなった。また土壌別に比較すると、沖積土では褐色低地土・灰色低地土・グライ土の順に、火山灰土では、褐色火山性土・黒色火山性土・厚層黒色火山性土の順に相対指数が低くなり、湿性の傾向を示す土壌ほど相対指数が低下する傾向が見られた。その他、作土の土性や有効水分量などと収量との関係についても検討を行ったが、判然としなかった。また、現地の実態調査の中で、圃場の微地形や土地改良の実施の有無が湿害の程度と関係しているという事例が報告されているが(十勝支庁, 1994)、これらについては今後の検討課題である。

(3) 1990年との比較

1990年は気象条件が温暖に推移し、生育を規制する要因はあまり見られなかった。そのため、十勝地方のビートは豊作で、大部分の市町村で収量50t/ha以上となった。1990年は6月7日と10月29日にランドサットデータが観測されていることから、1993年と同様の手法によって収量の推定を行い、6月7日の正規化植生指数とその後の気象経過から収量区分図を作成した(図-14)。1990年のランドサットから推定した収量区分図について、1993年と同様に相対指数を求め、土壌条件との関係を検討して、1993年と比較した(表-8)。土壌の堆積様式別に相対指数を比較すると、1990年は火山灰土が沖積土よりも有意に高く、また礫層深、下層土のち密度による収量差は認められなかった。沖積土では、褐色低地土・灰色低地土・グライ土間に有意な差は認められず、また、火山灰土では、1993年とは逆に、厚層黒色火山性土が最も相対指数が高く、ついで黒色火山性土、褐色火山性土の順となった。このように気象傾向の違いによって、同一地域であっても土壌条件の作物生育への影響が異なっており、土壌の生産特性は気象条件によって変化すると考えられた。

5. おわりに

以上、ランドサットを利用したビートの冷湿害の解析事例について紹介した。本報告では、冷湿害の著しい1993年と豊作年であった1990年について多少の比較を行ったが、今後複数年次についてデータが蓄積されていくことによって、様々な気象条件下における土壌の特性が明らかになると考えられる。例えば干ばつ年の衛星データを利用することによって、干ばつを受けやすい土壌・地形条件などが判別可能である。

ランドサットデータは現在16日に1度観測が行われているが、観測当日が晴天でなければ地表面のデータは得られない。そのため利用可能なデータは年間数シーンにとどまり、特に気象条件が不良な年にはデータが得られない場合が多い。しかしながら、最近運用されている一部の観測衛星には、雲を透過して曇天時でも地表面の観測が可能な合成開口レーダー(SAR)が搭載されており、また将来各国で打ち上げ予定の観測衛星に搭載されるセンサは、より多波長・高解像度化していくことから、衛星データから得られる情報は質的・量的にもさらに増えていくと思われる。今後、定期的に安定した衛星データの供給がなされることによって、収穫時期以前の作物収量の推定や、また生育不良地域の抽出によって、追肥判定等の生育診断的な技術、さらには土地改良計画の策定への利用等が期待される。

謝 辞

本試験は、農林水産省地域重要新技術開発促進事業「リモートセンシング技術等による作物・環境情報の効率的把握と情報処理手法の高度化」として行われたものであり、ランドサットデータは宇宙開発事業団から研究目的配布によって提供を受けたものである。また、本原稿をまとめるにあたり、十勝支庁・道立十勝農試・株式会社サン技研にビート収量に関するデータの収集をはじめ様々なご協力をいただいた。記して謝意を表します。

引用文献

- 安積大治, 志賀弘行 (1993): 畑土壌の水分状態と分光反射 (第2報), 日土肥要旨集, **39**: 137.
- 岡野千春, 福原道一, 西宗昭, 嶋田典司, 渡辺幸雄 (1994): ランドサット TM データによる収穫期におけるテンサイの糖分・根重の推定と生産高の評価事例, システム農学, **10**: 11~20.
- 福原道一, 林 成周 (1977): テンサイに関するリモートセンシング 第1報~第2報, てん菜研究会報, **18**: 71~82.
- 北海道農務部編 (1982): 昭和57年度普及奨励ならびに指導参考事項, P. 333, 北海道農務部, 北海道.
- 北海道てん菜協会編 (1994): 平成5年度てん菜の生産実績, p. 15, 社団法人北海道てん菜協会, 北海道.
- 北海道十勝支庁・北海道立十勝農業試験場編 (1994): '93 異常気象と十勝の畑作物, p. 111, 北海道十勝支庁・北海道立中央農業試験場, 北海道.
- 北海道立中央農業試験場編 (1978): 地力保全基本調査総合成績書, P. 1, 北海道立中央農業試験場, 北海道.
- 北海道立中央農業試験場 (1979): 北海道の農牧地土壌分類第2次案, 北海道立農業試験場資料, **10**: 24~26.
- 北海道立中央農業試験場 (1993): 北海道土壌区一覧, 北海道立農業試験場資料, **21**: 102~119.
- 北海道立中央農業試験場 (1994): 平成5年度北海道における農作物異常気象災害に関する緊急調査報告書, 北海道立農業試験場資料, **23**: 129~130.
- 菊地晃二 (1981): 十勝地方における土壌類型区分図とその土壌改良対策への応用, P. 22, 北海道大学審査学位論文.
- 国土庁計画・調整局編 (1987): 国土数値情報, p. 75, 大蔵省印刷局, 東京.
- 深山一弥, 小川茂男 (1985): 1984 網走支庁管内におけるテンサイの干ばつ被害 1. リモートセンシングによる被害調査, てん菜研究会報, **27**: 125~132.
- Rouse, J.W., Hass, R.H., Schell, J.A. and Deering, D.W. (1974): Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS, Third ERTS Symposium, NASA SP-351 I: 309~317.
- 斎藤元也, 福原道一 (1982): テンサイ群落の分光反射特性と収量推定, 北海道農試研報, **134**: 39~54.
- 斉藤英俊, 黒沢厚基, 山上 守 (1991): テンサイ育成型の解析に関する研究 第8報 生育時期別の諸形質と最終集量との関係, てん菜研究会報, **33**: 7~14.
- 志賀弘行, 福原道一, 小川茂男 (1989): ランドサット TM データによる湛水水田の腐植含量推定, 日土肥誌, **60**: 432~436.
- 志賀弘行, 福原道一, 小川茂男 (1992): ランドサット TM データによる小麦収量分布の推定, 日土肥要旨集, **38**: 265.
- 志賀弘行 (1993): 北海道の農業情報システムー土地評価のための農耕地情報統合とリモートセンシング利用ー, システム農学, **9**: 32~39.
- 志賀弘行, 安積大治 (1995): ランドサット TM データおよび MOS-1/MESSER データを用いた北海道における水稻収量の推定, 日土肥誌, 投稿中.

(受稿年月日 1994年12月1日)



水環境が作物の生理・生態に及ぼす影響

平 沢 正

Effects of Soil and Atmospheric Moisture Conditions on Ecophysiological Characteristics in Crop Plants

Tadashi HIRASAWA

Faculty of Agriculture, Tokyo University of Agriculture and Technology
3-5-8 Saiwai-cho, Fuchu-shi, Tokyo 183, Japan

Abstract

Summer crop plants grown in rain-fed fields often suffer from drought during a hot and relatively dry summer in Japan, even though there is much precipitation during their growing seasons compared with the semi-arid regions. Crop plants could withstand soil moisture deficiency by means of developing elongated root system under conditions where soil moisture decreases gradually. However, after they have grown under sufficient soil moisture conditions, they could not adapt under conditions of rapid moisture depletion due to shallow and poorly developed root systems and, therefore, would suffer from water deficits even when soil moisture does not deplete considerably. In many regions of Japan, summer field crop plants grow at their best during the vegetative phase in the rainy season called "Baiu" immediately before the hot and dry summer. This might be one of the reasons why they suffer from water deficits in the summer.

This assumption has been confirmed by the experiment using the soybean plants ; (1) grown under moderate deficient soil moisture before flowering and (2) grown under sufficient soil moisture. Under severe deficient soil moisture conditions during ripening stage, high dry matter production and high grain yield were attained in the former plants due to (1) a well developed root system and, therefore, high capacity to absorb soil water, (2) maintenance of a high leaf water potential and, therefore, a high photosynthetic rate during daytime and (3) a delay in leaf senescence compared with the latter.

The plants with well developed root system also attained higher dry matter production and higher grain yield under well irrigated conditions during ripening stage for the same reasons as in the experiment mentioned above. During the growing seasons of winter crop plants, a rainy season suppressing root system development also exist. Improved cultivation for developing root system, such as drainage in the rainy seasons, would be important in field summer and winter crop plants in Japan.

Key words : Root system, Seasonal soil moisture fluctuation, Senescence, Water stress, Water uptake

1. はじめに

水は作物の生育に最も大きな影響を及ぼす環境要因の一つである。土壌水分が減少した時などにおこる水ストレスは、生長や光合成などをはじめとする作物の諸過程に影響を及ぼし、これによって作物は生育が抑制されたり、収量が減少したり、著しい場合には枯死したりする。したがって、乾燥地や半乾燥地、そしてその周辺の地域など降雨量の少ないところでは、水は作物の生育や収量にとって最も重要な制限要因の一つとなる。

しかし、干ばつ害は年間降雨量の少ない地域だけでなく、年間降雨量の多い地域でも、そしてさらに作物の生育期間中に比較的多くの降雨があっても問題となる場合がある。わが国の作物を取り巻く水環境をみると、年間降雨量は地域によって異なるが、平均すると約1,750 mmで、年間を通してみれば、降雨量が蒸発量を上回り、湿潤であるといえる。このような条件にもかかわらず、わが国では干ばつ害がしばしば問題となっている (Tazaki *et al.* 1980)。作物統計 (農林水産省統計情報部編) によると、1949年から1994年の46年間に10万ヘクタール以上の作付面積が干ばつ害を受けた年は9回で、約5年に1回の割合でこのような規模の干ばつ害がおこっていることになる。このようなことから、水稲だけでなく、畑作物を対象にかんがい施設が多く設置されてきている (畑地農業研究会, 1988)。

2. わが国における干ばつ害の発生要因

わが国において年間降雨量が多いにもかかわらず干ばつ害がおこりやすいことに関係する要因を考えてみたい。

わが国の多くの地域において、蒸発量が降雨量に比べて多く、乾燥する夏は7月中下旬から8月下旬の約1ヶ月から1ヶ月半である (図-1)。半乾燥地などに比較すれば乾燥する期間ははるかに短い。したがって、これらの地域に比べて土壌に水が多く残っているにもかかわらず、わが国の畑作物は水不足の害を受けていることになる。

干ばつ害の発生要因を考える際には、土壌水分の減少だけでなく、作物の生育と土壌水分の減少との関係に着目する必要がある。生育の初期から降雨が少なく、土壌水分が減少していくような条件に作物が生育する場合には、土壌水分がかなり減少しても作物が枯死することはほとんどない。生育期間の降雨量が最大蒸発散量の約1/3しかないアメリカ合衆国西部の半乾燥地ではトウモロコシの子実収量は灌水量が増すと直線的に増加するが、全く灌水しなくても十分に灌水した時の子実収量の20

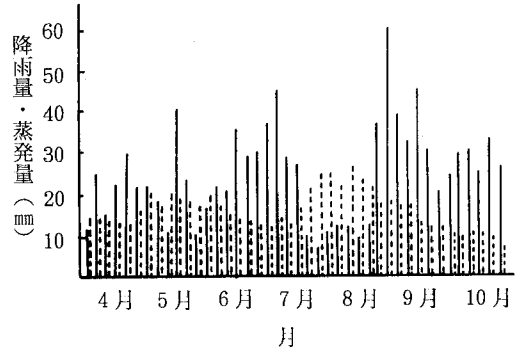


図-1 東京における4月から10月の半旬別の降雨量 (実線) と蒸発量 (点線) (Hirasawa *et al.* 1994)

1967年から1976年の10年間の平均値 (気象庁観測表より作成)。

Fig. 1 Precipitation (solid lines) and evaporation (dotted lines) of every 5 days from April to October in Tokyo. Average of 10 years from 1967 to 1976.

~30%程度の収量をあげ得る (Dalsted *et al.* 1987)。半乾燥地に比較して蒸発散量の少ないわが国の条件では、生育初期より降雨を遮断し、灌水を完全に停止しても、土性が壤土の圃場に生育するダイズは灌水したダイズの60~70%もの収量をあげる (飛田ら, 1994)。さらに驚くことに、有効土壌水分の著しく少ない砂土で生育初期より灌水を停止し降雨が遮断された状態でダイズを生育させると、稔実期には表層から少なくとも70 cmの深さの土壌水分張力は永久萎凋点を越えたが、枯死することなく結実に至った (平沢・稲田, 1991)。これは、生育に伴って土壌水分が徐々に減少していくのに対応して、根系が土壌の深くまでよく発達し、茎葉部は吸水量にみあった大きさに形成されるためであると考えられる。

一方、わが国の夏の畑作物を取り巻く水環境は、このような条件とはかなり様相を異にしている。初夏に播種された作物は栄養生長の盛んな時期が梅雨期に当たる (図-1)。降雨量が蒸発量に比べてはるかに多く、空気湿度の高い湿潤な梅雨期には、作物は茎葉は大きく繁茂するが、根系の発達が劣り、根は浅く土壌表層に多く分布することになる。このような作物が梅雨明け直後の高温で、降雨量に比べてはるかに蒸発量が多く、空気湿度が低く、乾燥する条件に遭遇すると (図-1)、茎葉は大きく繁茂しているので、蒸散量は著しく多く、短期間に土壌水分を多く消費することとなる。しかし、根系は浅いので、もっぱら土壌の表層にある水分を吸収し、土壌の深いところの水分は多く残っていても容易には利用できな

い。その結果、土壌の表層の水分が減少しただけで水ストレスを受けることになると考えられる。

高橋 (1976) は千葉県農業試験場で栽培されるラッカセイの収量の年間変動を梅雨期と夏の降雨量に着目して整理し、夏の降雨量が少なくても、梅雨期の降雨量が少ない年は多い年に比較して、収量は3~5割も高くなっていることを明らかにした。このことは、乾燥した夏でも、梅雨期に雨量の少ない年は干ばつ害を受けにくいことを示している。

このように、生育初期から徐々に土壌水分が減少する条件では、作物はこれに応じて茎葉の繁茂が抑制されるとともに、根系を発達させる (Kramer 1983) ことによって水分の多く残っている土壌の深層部から吸水し、土壌水分の減少に耐えることができる。しかし、作物が湿潤条件で生長し葉面積が大きくなった後で急に乾燥条件におかれ土壌水分が減少する時には、根系の分布が浅く、根系の発達が土壌水分の急激な減少に追いつかなくなる。その結果、土壌の深層部に水が多く残っていても、土壌表層の水分が減少することによって大きな水ストレスを受けることになる。これがわが国で干ばつ害がおこる大きな要因であると考えられる。

3. 開花前の土壌水分条件の相違が稔実期の乾燥条件における作物の生育と生理、生態的性質に及ぼす影響

以上の推察を検討するためダイズ (品種はエンレイ) を用いて著者らは数年間にわたって以下のような実験を行ってきた (Hirasawa *et al.* 1994)。すなわち、出芽後開花期までダイズを適宜灌水した湿潤土壌 (湿潤区) と灌水せず、低土壌水分条件 (乾燥区のダイズ) とに生育させた。両区とも降雨はその都度サクランボ実割れ防止用の大型テントで圃場を覆い、雨水が圃場に入らないようにした。開花期に両区とも十分に灌水した後、以後の稔実期間中を両区とも降雨を遮断し、灌水を停止して低土壌水分条件に生育させ (図-2)、乾物生産とこれに関わる生理、生態的性質を比較した。

(1) 開花前の低土壌水分条件における生育

開花期以前を低土壌水分条件に生育した乾燥区のダイズは、深さ 30 cm の土壌の水ポテンシャルが最低でも -0.1 MPa にも達しなかったが、主茎長、総葉面積、地上部乾物重は、いずれも湿潤土壌に生育した湿潤区のダイズの約 80~85% と小さく、地上部の生長は大きく抑制された。しかし、根の分布密度は図-4 に示すように、乾燥区のダイズは土壌の表層から下層まで湿潤区に比べて高く、乾燥区のダイズの根長密度あるいは根長の湿潤区に対する割合は、表層よりも深さ 20 cm~100 cm で大きく

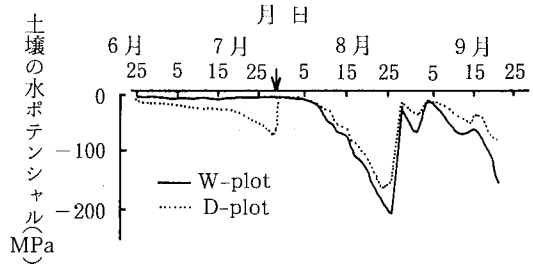


図-2 湿潤区 (実線) と乾燥区 (点線) における深さ 30 cm の土壌の水ポテンシャルの推移 (Hirasawa *et al.* 1994)

図中の矢印は開花開始日を示す。8月28日と9月3日に土壌の水ポテンシャルが高くなったのは、それぞれ台風と雷雨によって圃場に雨がいったため。

Fig. 2 Changes in soil water potential at the depth of 30 cm from the soil surface. Arrow indicates the date when flowering started. Solid line represent the plot where soybean plants were grown under sufficient soil moisture (W-plot) before flowering and dotted line, the plot where the plants were grown under moderate deficient soil moisture (D-plot). Soil moisture increase on August 28 and September 3 was due to rain, which accompanied a typhoon and a thunderstorm.

なっており、根系が土壌の下層までよく発達していた。なお、実験に使用した圃場は地下水位が低く、水はけも良好であった。したがって、開花期でも湿潤区のダイズには土壌の過湿による影響は全く認められず、湿潤区のダイズは葉色は乾燥区とほとんど変わらずに緑色で、葉の生理活性を示す光合成速度は下位葉でも湿潤区のダイズがとくに小さいことはなかった (図-6)。

(2) 稔実期の乾燥条件における乾物生産と収量

乾燥区のダイズの個体群生長速度 (CGR) は、湿潤区に比べて、開花前は上述のように葉面積が少ないことによって小さく、その後8月17日までの開花期から稔実初期では純同化率 (NAR) は高いが平均葉面積指数 (LAI) がまだ小さいことによってやや小さかった。しかし、乾燥区のダイズは、土壌水分がかなり減少した8月17日から9月7日の稔実初期から中期には、湿潤区に比べて葉面積の減少が小さく、その結果平均葉面積指数に両区ではほとんど差がなくなったことと、NARが高くなることによって CGR がかなり高く (図-3)、乾燥区のダイズは湿潤区のダイズに比べて、土壌水分が減少しても

乾物生産がかなり大きくなった。その結果、さや重は稔実後期には乾燥区が湿潤区に比較して大きくなり、全さや数には大きな違いはなかったが、着粒数が異なり、乾燥区は湿潤区に比べて個体当り精粒数が多くなることによって、子実重は約16%高くなった(表-1)。

(3) 稔実期の乾燥条件における生理、生態的性質

開花期に十分灌水し以後の灌水を停止した直後における土壌の深さ別の水分の減少は、土壌の表層では早く、急激におこり、深くなるほど緩やかであった。両区の減少を比較すると、根が土壌の下層まで密に分布している乾燥区では湿潤区に比較して、土壌表層の水分の減少速度は小さいが、50 cm 以下の下層での土壌水分の減少が大きかった(平沢ら, 1988)。開花期には乾燥区のダイズの葉面積は湿潤区に比べてまだかなり小さいことを考えると、このことは、乾燥区のダイズは土壌の表層における水分も多く吸収するが、それだけでなく湿潤区に比べて土壌の深い部分から多くの水分を吸収することを示している。開花期から稔実中期にかけての比較的長期間の土壌水分減少量を比較すると、乾燥区は湿潤区に比較して深さ40 cm~80 cmの土壌層の水分が減少することによって総減少量は湿潤区よりも多くなった(表-2)。すなわち、湿潤区のダイズは消費する水分の多くを土壌の表

層から吸収していたのに対して、乾燥区のダイズは土壌の表層とともに比較的深い土壌からも水を吸収し、その結果、積算葉面積が湿潤区よりも小さいにもかかわらず(図-3)、総吸水量が多くなったことになる。

根群が土壌の深くまでよく発達し土壌水分を多く吸収した乾燥区のダイズは、湿潤区に比較して、8月の開花期から稔実初期にかけて晴天日の日中でも葉の木部の水ポテンシャルを高く維持でき(図-5)、その結果、日中に水ストレスによって葉の光合成速度が低下する程度も乾燥区のダイズは湿潤区に比較して小さくなった。

稔実後期には、湿潤区のダイズでも土壌の深い部分で根が増え、根の密度は土壌表層では乾燥区がまだ高かったが、深層部では両区に相違がなくなった(図-4)。その結果と考えられるが、土壌水分減少量には両区に違いがなく(表-2)、日中の葉の水ポテンシャル(図-5)、光合成速度の日中低下の程度にも違いが認められなくなった。

以上の土壌水分吸収量、水ストレスの程度の相違に加えて、注目すべきことは乾燥区のダイズは湿潤区に比較して稔実期の葉の老化が遅かったことである。図-6に示すように、光合成速度は葉が展開を完了した直後が最も高く、葉の展開完了後の日数に伴って低下する。した

表-1 湿潤区(W)と乾燥区(D)のダイズの収量と収量構成要素(Hirasawa et al., 1994)

Table 1 Yield and yield components in the plants of the W- and the D-plots

区	全さや数 (個体当り)	精粒数 (個体当り)	百粒重* (g)	精粒重* (個体当り) A (g)	部分刈収量 (Mg ha ⁻¹)	茎重 (個体当り) B (g)	A/B (g g ⁻¹)
W	35.6a**	58.4a	26.3a	15.4a	3.07a	6.6a	2.3a
D	39.0a	67.0b	27.3a	18.3b	3.55b	7.7a	2.4a

*含水率15%. **異なるアルファベット間には5%水準で有意差がある。

表-2 7月31日から9月11日までの間(A)および9月11日から9月26日までの間(B)の湿潤区(W-plot)と乾燥区(D-plot)における深さ別土壌水分の減少量(Hirasawa et al., 1994)

Table 2 Depletion of soil moisture at various soil depth during July 31 to September 11 (A) and during September 11 to September 26 (B)

土壌の深さ (cm)	圃場容水量 (g cm ⁻³)	圃場容水量 (mm)	土壌水分減少量(mm)			
			A		B	
			W-plot	D-plot	W-plot	D-plot
0-20	51.9	103.5	42.5	44.5	12.5	19.5
20-40	53.3	107.0	29.0	30.0	15.5	21.0
40-60	58.0	116.0	48.0	56.0	10.5	11.5
60-80	54.9	109.5	35.5	52.5	13.0	2.0
80-100	55.6	111.0	25.0	21.0	0.5	5.5
Total	—	547.0	180.0	204.0	52.0	55.5

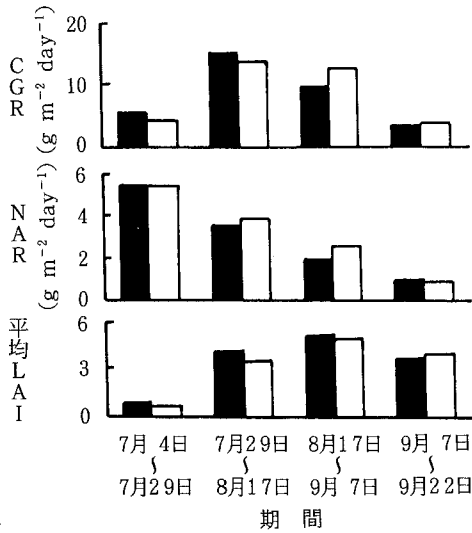


図-3 湿潤区 (■) と乾燥区 (□) のダイズの個体群生長速度 (CGR), 純同化率 (NAR), 平均葉面積指数 (平均 LAI) の推移 (Hirasawa *et al.* 1994)

Fig. 3 Changes in crop growth rate (CGR), net assimilation rate (NAR) and mean leaf area index (LAI) in soybean plants of the W-(solid bars) and of the D-(open bars) plots.

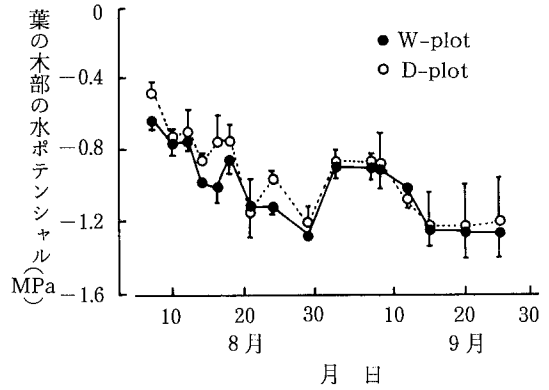


図-5 湿潤区 (W-plot) と乾燥区 (D-plot) のダイズにおける灌水停止後の日中の葉の木部の水ポテンシャルの推移 (Hirasawa *et al.* 1994)
縦棒線は標準偏差 (測定数は 3) を示す。

Fig. 5 Changes in leaf xylem water potential during daytime after withholding water from soybean plants of the W- and D-plots. Vertical bars represent standard deviations of three replications.

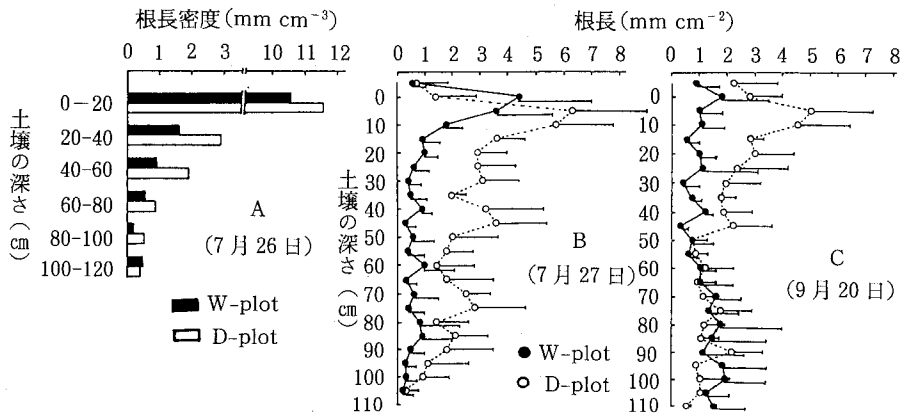


図-4 湿潤区 (W-plot) と乾燥区 (D-plot) のダイズにおける土壌の深さ別の根長密度と根長の比較 (Hirasawa *et al.* 1994)
A: コアサンプリング法で測定した根長密度. B, C: ミニリゾトロン法で測定した根長. 横棒線は標準偏差 (測定数は 5) を示す。

Fig. 4 Comparisons of vertical root distribution between soybean plants of the W- and D-plots
A: Root length density measured by the core sampling method. B, C: Root length measured with the minirhizotron root observation tube system. Horizontal bars represent standard deviations of five replications.

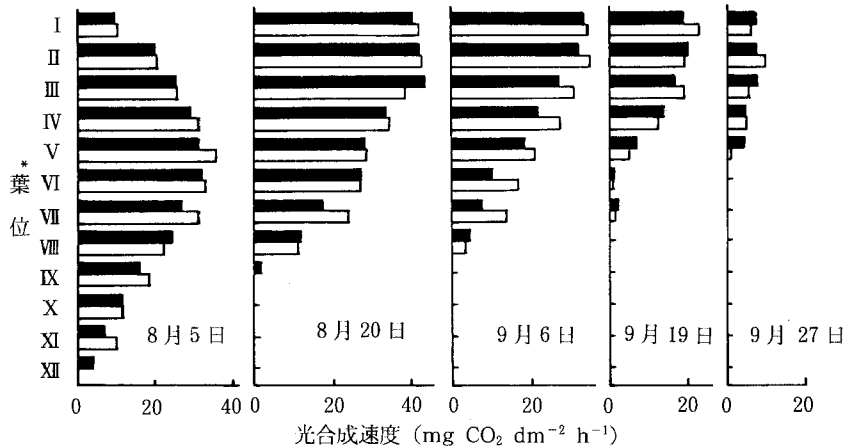


図-6 湿潤区 (■) と乾燥区 (□) のダイズにおける午前の葉位別の光合成速度 (Hirasawa *et al.* 1994) 光強度が $1,600 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 以上の人工光下で着葉のまま測定した。* 最上位葉を I 葉とした。

Fig. 6 Photosynthetic rate of leaves at different positions on a stem in the morning under sufficient artificial light of above $1,600 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Solid and open bars represent soybean plants of the W- and D-plots, respectively. *I, II, ..., XII indicate the position of the leaf counted from the uppermost leaf on a stem.

がって、葉の展開がすべて完了する稔実期には、光合成速度は下位の葉ほど小さくなる。しかし、小さくなる程度は稔実中期には生育条件によって明らかに異なり、根群のよく発達している乾燥区のダイズは湿潤区に比較して下位の葉の光合成速度が高く、葉の老化に伴う光合成速度の低下程度が小さかった。

以上の検討をまとめると、開花期以前を低土壌水分条件に生育した乾燥区のダイズは、湿潤土壌に生育した湿潤区のダイズに比較して、根系が土壌の深くまでよく発達していた。その結果、乾燥区のダイズは湿潤区に比較して、(1)開花期以後低土壌水分条件に生育しても、土壌の深い部分から水を多く吸収した結果、総吸水量が多くなり、葉内水分を高く維持し、水ストレスによる光合成速度の低下が小さいこと；さらに、(2)根系のよく発達している乾燥区のダイズは葉の老化に伴う光合成速度の低下が小さいこと；によって、NAR が高くなり、稔実期の乾物生産量が多く、その結果子実収量が高くなった。

4. 根系の発達と水ストレス

土壌水分が減少する時、圃場では根系の発達が水ストレスの発生に大きな影響を及ぼす。土壌水分が減少していく過程では、根系が土壌深くに分布したり、土壌水分の減少よりもはやく根を水分の多く残っている土壌の深いところに伸ばすことが水ストレスの軽減にとって重要である (Angus *et al.* 1983, Cassel 1983)。また、土壌水分の減少に伴って水の移動速度は著しく低下するので、

根の分布密度を高くすることも重要となる (Newman 1969)。湿潤条件で生育が進み葉面積がかなり大きくなった後に乾燥条件におかれると、土壌水分の消費速度が大きく、根系が浅いことと、根系の発達が土壌水分の減少に追いつかないことによって水ストレスを受けることになる。前項で示した結果はこのような推定を確かめるものであり、梅雨の湿潤条件はわが国の夏作物の干ばつ害を助長しているといえる。

水ストレスは土壌水分が減少する時だけおこるとは限らない。直射光を受け盛んに蒸散する晴天日の日中などには、葉の中の水分量の 4~5 倍の水が 1 時間に葉から失われている。葉内水分を高く維持し、水ストレスがおこらないようにするためには、蒸散によって失われた水は直ちに吸水によって補われなければならない。しかし、このような条件では、土壌水分が十分であっても吸水が蒸散に追いつかず、その結果、水ストレスによって光合成速度が低下することが、近年いろいろな作物で明らかとなり (たとえば、Huck *et al.* 1983, 石原・斎藤 1987)、高い吸水能力をもつ作物ほどこのような光合成速度の日中低下程度が小さいことも明らかとなった (平沢ら 1988, Hirasawa *et al.* 1992)。開花期まで湿潤土壌に生育した湿潤区のダイズは、低水分土壌に生育した乾燥区のダイズに比較して、根系の発達が劣り、根の吸水能力が劣るので、開花期以後を湿潤土壌に生育させても水ストレスによる光合成速度の日中低下の程度が大きく、乾物生産や収量も低くなる (平沢ら 1988)。このこと

から、水ストレスの発生に関しては、土壌水分の多少に関係なく、どのような水分条件でも根系がよく発達するなどして水を多く吸収できる根を作物が持つことが重要であるといえる。わが国の夏の畑作物の栽培においては根系の発達が抑制される梅雨期に排水などを通じて可能な限り根系を発達させておくことが、後の比較的乾燥する夏の作物の生育にとって重要と考える。

5. 根と地上部の関係

根は吸水機能だけでなく、地上部の支持、養分の吸収、物質の合成、同化産物の貯蔵などいろいろな機能を持ち、これらを介して地上部と密接な関係を持っていると考えられている。たとえば、葉が老化しにくく長期間葉が高い光合成速度を維持することは、作物が高い乾物生産や収量をあげるための重要な性質であるが、これには根が関係していることを示唆する多くの現象が認められている。土壌改良によって水稻が秋まりの生育を示すことはよく知られているが（本谷 1966）、畑作物でも培土し不定根の発生を促進することによって稔実期の生育が旺盛になる（加藤ら 1959）ことがダイズで認められている。根系がよく発達したり、根の生理的活性の高い作物では葉の老化に伴う光合成速度の低下が抑制されることも見い出され（蔣ら 1988、平沢ら 1988）、このことは根の機能と地上部の老化速度との間に密接な関係があることを強く示唆している。しかし、根のどのような性質、機能が地上部の老化と関係しているかについてはまだ十分明らかではない。水ストレスによって葉の老化が促進されるので（Nooden 1988）、このような根と茎葉の老化との間に認められる関係には根の吸水機能が関与している可能性も考えられる。これだけでなく、老化に関係すると考えられているサイトカイニンやアブジシン酸は根でも合成されるので、このような植物ホルモンを介して両者が関係をもっている可能性がある。実際、根がよく発達し、生理的活性の高い水稻では地上部に送られるサイトカイニンが多いことが示されている（Soejima *et al.* 1992）。

コムギなどの冬作物の生育期間においても、わが国の多くの地域では出穂前の約1ヶ月間の3月中旬から4月上旬にかけて菜種梅雨と呼ばれる雨の多い時期があり、その後は6月の梅雨前まで比較的雨が少なく、また、空気湿度が低く、やや乾燥する条件となる。予備的に検討を行ったところ、出穂前の約1ヶ月間を半年降雨量に準じて灌水し、湿潤条件に生育させたコムギと比較して、その期間灌水を停止し、低土壌水分条件に生育したコムギは、根系がよく発達し、葉の老化が遅く、乾物生産や収量も高かった（平沢ら 1993, 1994）。土壌水分条件、根

の機能、地上部の諸過程との関係については、さらに詳しい検討が必要であるが、この事実はコムギのような冬作物においても生育期間の水環境が問題であることと土壌排水の重要性を示している。

根の生育する土壌環境は地上部の環境条件と異なり、圃場でも人為的にかなり改良できる。作物生産にとって望ましい根の機能を十分発揮させるための水環境をはじめとする土壌の環境を整備していく必要がある。そのためには、地上部の諸過程との関係に着目しつつ、根の持ついろいろな機能を量的に把握し、そしてさらに土壌環境が根長などの根の量的性質、単位根量当りの活性などの根の質的性質にどのような影響を及ぼすかを明らかにしていくことが必要であると考えられる。

引用文献

- Angus, J.F., S.Hasegawa, T.C. Hsiao, S.P. Liboon and H.Z. Zandstra (1983) The water balance of post-monsoonal dryland crops. *J. Agric.Sci.*, **101**: 699~710.
- Cassel, D.K. (1983) Effects of soil characteristics and tillage practices on water storage and its availability to plant roots. In Raper, Jr., C.D. and P.J. Kramer, eds., *Crop Reaction to Water and Temperature Stresses in Humid, Temperate Climates*. Westview Press, Colorado. 167~186.
- Dalsted, N.L., P.H. Gutierrez, D.S.R. Sharp and K.L. Holman (1987) Selected 1986 crop enterprise budgets for Colorado. *Colorado State Univ.* 1~102.
- 畑地農業研究会編集 (1988) 日本の畑地基盤—その現状と動向—。畑地農業振興会, 東京, 1~493.
- 飛田有支・平沢 正・石原 邦 (1994) 低土壌水分条件における地上部と地下部の生育のダイズ品種間差—エンレイとタチナガハの比較—。日作紀, **63** (別2): 119~120.
- 平沢 正・中原正一・石原 邦 (1988) 異なる土壌水分条件に生育したダイズの生育および生理・生態的性質の比較。日作紀, **57** (別2): 155~156.
- 平沢 正・稲山勝美 (1991) 低土壌水分条件における作物の集水能力の品種間差と種間差に関する研究。平成3年度共同研究発表会講演要旨・資料集, 鳥取大乾地研. 3~4.
- Hirasawa, T., M. Tsuchida and K. Ishihara (1992) Relationship between resistance to water transport and exudation rate and the effect of the resistance on the midday depression of stomatal aper-

- ture in rice plants. *Jpn. J. Crop Sci.*, **61** : 145~152.
- 平沢 正・笹倉茂美・石原 邦 (1993) 土壌水分条件がコムギの生育, 乾物生産, 収量に及ぼす影響. *日本作物学会関東支部会報*, **8** : 37~38.
- Hirasawa, T., K. Tanaka, D. Miyamoto, M. Takei and K. Ishihara (1994) Effects of pre-flowering soil moisture deficits on dry matter production and ecophysiological characteristics in soybean plants under drought conditions during grain filling. *Jpn. J. Crop Sci.* **63** : 721~730.
- 平沢 正・中村恵美子・石原 邦 (1994) 土壌水分がコムギの乾物生産, 収量に及ぼす影響—出穂前1ヶ月の土壌水分条件を変えた場合—. *日本作物学会関東支部会報*, **9** : 21~22.
- 本谷耕一 (1966) 稲作多収の基礎条件. 農文協, 東京. 1~190.
- Huck, M.G., K. Ishihara, C.M. Peterson and T. Ushijima (1983) Soybean adaptation to water stress at selected stages of growth. *Plant Physiol.*, **73** : 422~427.
- 石原 邦・斉藤邦行 (1987) 湛水状態の水田に生育する水稻の個葉光合成速度の日変化に影響する要因について. *日作紀*, **56** : 8~17.
- 蔣 才忠・平沢 正・石原 邦 (1988) 水稻多収性品種の生理生態的特徴について—アケノホシと日本晴の比較—. 第2報 個葉光合成速度の相違とその要因. *日作紀*, **57** : 139~145.
- 加藤一郎・川原政夫・内藤文男・谷口利策 (1959) 大豆の培土に関する研究. 第IV報 培土の高さ及び時期に関する試験成績. *東海近畿農試研報*, **1** : 1~15.
- Kramer, P.J. (1983) *Water relations of plants*. Academic Press, New York. 1~489.
- Newman, E.I. (1969) Resistance to water flow in soil and plant. I. Soil resistance in relation to amounts of roots : Theoretical estimates. *J. Appl. Ecol.*, **6** : 1~12.
- Nooden, L.D. (1988) The phenomena of senescence and aging. In Nooden, L.D. and A.C. Leopold, eds., *Senescence and Aging in Plants*. Academic Press, San Diego. 1~50.
- Soejima, H., T. Sugiyama and K. Ishihara (1992) Changes in cytokinin activities and mass spectrometric analysis of cytokinins in root exudates of rice plant (*Oryza sativa* L.). *Plant Physiol.* **100** : 1724~1729.
- 高橋芳雄 (1976) ラッカセイの栽培と生育. 農業技術体系作物編 (ダイズ, アズキ, ラッカセイ). 農文協, 東京. 89~118.
- Tazaki, T., K. Ishihara and T. Ushijima (1980) Influence of water stress on the photosynthesis and productivity of plants in humid area. In Turner, N.C. and P.J. Kramer, eds., *Adaptation of Plants to Water and High Temperature Stress*. John Wiley & Sons, New York. 309~321.

(受稿年月日 1995年1月10日)

草地の水収支・乾物生産モデルを構築するために 解決すべき問題点

中 辻 敏 朗

Study subjects for modeling
water balance and grass production

Toshiro NAKATSUJI

Hokkaido Tenpoku Agricultural Experiment Station
Hamatonbetsu, Hokkaido, 098-57 Japan

Abstract

The soil-crop-atmosphere continuum is a dynamic system in which water is recycling. It is convenient to use models for analyzing dynamic systems like this. There are many models to predict soil water contents profile and crop yields. In this paper, I introduce models which describe water balance and grass production, and discuss some study subjects in order to construct more accurate model. The subjects are summarized as follows :

1) The root zone of grassland has been considered to be shallow. But grass roots in subsoils can absorb nutrients and water as well as roots in shallow layers. We have to know how deep roots can absorb nutrients and water.

2) Unsaturated conductivity is essential to calculate water flux in soil. But it is not so easy to measure unsaturated conductivity, so there are few reports concerning it. It is necessary to increase data on unsaturated conductivity.

3) Transpiration rates change with soil water content and weather conditions. There are some empirical equations for estimating transpiration rates. But it is not clear which equation is best for a certain condition.

4) Water requirement is necessary to convert the water use of grass into dry matter production. Examples of water requirement, measured in Hokkaido, have wide ranges of values. More measurements are needed.

Key words : water balance and dry matter production model, root zone, unsaturated conductivity, transpiration, water requirement

1. はじめに

農耕地において水は循環している。雨として降った水は土壌に浸入し貯留される。その水は大気蒸発要求に応じて植物により吸収され、蒸散という形で大気中に放出される。同時に土壌表面からも蒸発によって水が失わ

れる。大気に戻った水は再び雨となって土壌に浸入し貯留される。このようなプロセスが滞ることなく連続的に生じている。したがって、植物が順調に生長するためには、大気蒸発要求と植物への水供給が釣りあうような水収支が達成されなければならない。しかし実際には、大気蒸発要求に基づく根による吸水、蒸散というプロ

セスはほとんど休みなく生じているのに対して、降雨は不定期にしか生じない。

降雨が変動すればそれに連動して土壌の水分状態も変化する。そして、土壌の水分状態は根張りや養分吸収といった要因をとおして作物の生長に影響をおよぼす。同時に、大気は気温や日射量といった気象因子を介して作物の生長に影響をおよぼす。このように、大気、土壌および作物は循環する水をとおして相互に密接な動的関係にある(図-1)。

このような動的関係にある要因の相互関係を理解するためには、施肥試験で使われているような相対的比較による実験手法だけでは対処しにくい。動的関係にある複数の要因を包括的に表現する手法が必要とされる。そのひとつがモデルである。3要因の関係をモデル化して数値実験を行うことで、様々な気象・土壌条件に対する作物の反応を推測し、収量予測が可能となる。また、ある条件のもとではどのプロセスが作物生育の制限因子になるかを推測することもできる。これは、気象・土壌資源を適正に評価すること、すなわち土地評価にほかならない。筆者はこれがモデルの最終的な目的であると考えている。

本報告では草地を対象として、土壌-牧草-大気の動的関係を記述する既往モデルの概要を紹介する。そして、これまでの研究成果からモデルを動かすことができるのか、不足している知見は何かを考えてみたい。

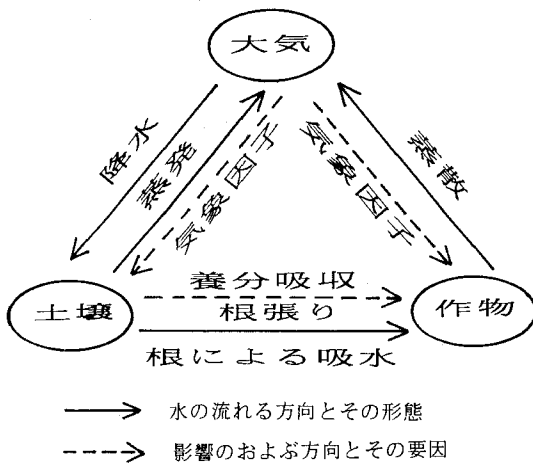


図-1 大気、土壌、作物の動的関係
 Fig. 1 Dynamic relationships among the atmosphere, soil and crops.

2. 既往の水収支・乾物生産モデルの概要とモデルを動かすために必要なデータ

モデルには様々な種類がある。ここでは、農耕地において水は循環しているという観点に立ち、水が土壌から作物、そして大気へと移動する過程を通じて作物生産を表現する水収支・乾物生産モデルについて述べる。このモデルは大きく、(1)根圏土層の水収支モデル、(2)乾物生産モデル、の2つの部分に分けて考えることができる。

1) 根圏土層の水収支モデル

牧草に限らず、作物による水吸収を考慮した根圏土層の水収支モデルは数多く報告されている (Belmans *et al.*, 1983; de Jong and Kabat, 1990; Feddes *et al.*, 1988; 佐久間, 1982)。モデルの概念を図-2に示した。まず、根圏土層をその深さに応じて数個の層に分割する。降雨というかたちで土壌に浸入した水は、いくつかの土層に分配される。各土層に分配された水はダルシー則に

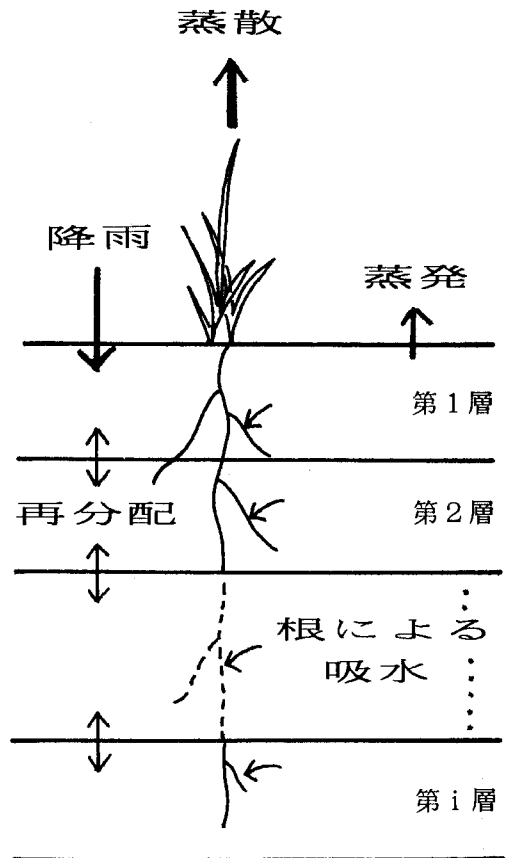


図-2 根圏土層水収支モデルの概念
 Fig. 2 Concept of water balance model in root zone.

したがって再び各層に分配される。そして作物の根は、根張りや土壌水分消費型などにしたがって蒸散に相当する量の水を各土層から吸収する。

この一連の過程におけるある土層の水分変化量は次式で表される。

$$\partial\theta/\partial t = \partial/\partial z \{K(h)(\partial h/\partial z + 1)\} - S \dots\dots\dots(1)$$

ここで、z：地表面から鉛直下方への距離 (cm)， θ ：水分率 ($\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$)，h：土壌水分ポテンシャル ($\text{cm H}_2\text{O}$)，K(h)：不飽和透水係数 ($\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$)，S：植物根による吸水量 ($\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3} \cdot \text{s}^{-1}$)である。(1)式は、ある土層の水分量の時間変化は、ポテンシャル勾配にしたがった水移動量と植物根による吸水量の差し引きであることを示している。

この水収支モデルを動かすためには、(1)pF-水分率曲線や不飽和透水係数-水分率曲線など土壌の物理的性質をあらわすデータ、(2)植物の吸水項となる蒸散量や土壌面からの蒸発量などを推定するための気象データ、(3)根圏土層の深さや土壌水分消費型など根系にかかわるデータ、などが必要である。

2) 乾物生産モデル

前項で述べた根圏土層の水収支モデルは数多くあるが、それを乾物生産量の予測に結び付けた例は少ない。

de Jong and Kabat (1990) は、作物の吸水量が少ないうちはその増加にともなって生長速度も大きくなるが、吸水量が多くなるとそれが生長速度におよぼす影響は小さくなり、最終的には光強度や気温などで決まる最

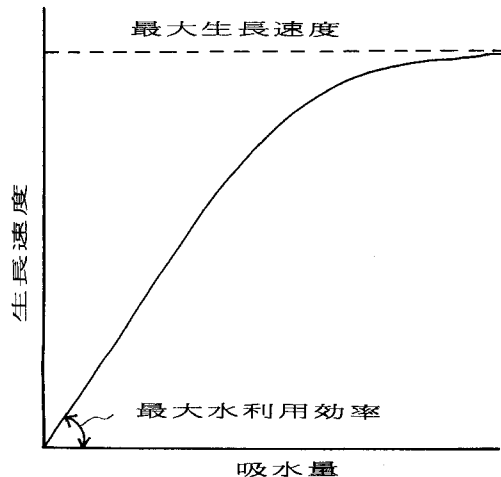


図-3 Jong and Kabat (1990) のモデルにおける吸水量と生長速度の関係

Fig. 3 Growth rate versus water use by de Jong and Kabat (1990).

大生長速度に限りなく近づくとしている (図-3)。すなわち、乾物生産に対する水利用効率は一定ではなく、条件により変化するとし、水収支モデルで推定した蒸散量から牧草収量を予測している。

一方、佐久間 (1994) は、牧草の要水量を $400 \text{ g} \cdot \text{g}^{-1}$ と一定であると仮定して、気象および土壌水分条件より推定した蒸発散量から牧草収量を試算し、実測収量と比較検討している。

どちらの例にしても、根圏土層の水収支モデルと乾物生産モデルを結び付けるためには、要水量のような吸水量と乾物生産量の量的関係を表すデータが必要である。

3. 土壌-牧草-大気の動的関係を記述するために不足している知見

水収支・乾物生産モデルに入力するデータの精度はモデルの推定精度を左右する重要な要因である。気象データは比較的容易に精度の高いデータが得られる。一方、根系分布や要水量などは実測データの蓄積に乏しい。しかし、モデルを動かすためにはデータが不備であってもなんらかの値を与えざるを得ない。以下では、土壌-牧草

表-1 造成5年目のオーチャードグラス草地における根の分布 (大崎ら, 1975)

Table 1 Root distribution in orchardgrass sward at 5 years after establishment. (Osaki et al., 1975)

層厚 (cm)	根乾物重 (g/900 cm ²)	分布割合 (%)
0~5	42.0	80
5~10	8.7	16
10~15	2.3	4

表-2 乾燥条件下のペレニアルライグラスの生育におよぼす硝酸アンモニウムの施用位置の影響 (Garwood and Williams, 1967)

Table 2 The effect of fertilizer (NH_4NO_3) placement on the growth of perennial ryegrass under dry conditions.

施用位置 (土壌表面下 cm)	収量指数 ¹⁾ (%)	窒素回収率 ²⁾ (%)
0	157	35
46	182	75
76	202	80

- 1) 無施肥区乾物収量 (2.2t/ha) を100とした指数
- 2) 施肥量に対する施肥による窒素吸収増加量の割合
- 3) いずれの区も硝安で窒素 112 kg/ha 相当を施用

-大気の動的関係をモデルとして表現するために不足している知見は何か、ということをつくか考えてみる。

1) 根圏土層をどこまでとするか

草地は一度造成すると、数年から数十年にかけて耕起することなく利用されることが多い。その間、採草地では大型機械の走行によって、また放牧地では放牧牛の踏圧などによって表層土壌がち密になる。また、枯れ葉や脱落した根が表層に還元され、肥料も土壌表面に施用されるため、経年化にともなって表層土壌に養分が蓄積する。このような経過をたどって、牧草の根は表層土壌に集中する(表-1)(大崎ら, 1975)。さらに、牧草根の養分吸収活力は根の集中した草地表層が最も高いという報告(近藤ら, 1985)もある。このため、牧草の根圏土層は浅いと見なされ、草地土壌の化学性についての研究は主に0~10 cm 土層をその対象としてきた。しかし、排水の良い草地土壌では、量は少ないものの深さ60 cm程度まで根が伸長しているのがしばしばみられる。

表層は乾燥し下層が湿潤な状態にあるペレニアルライグラス草地では、湿潤な下層に窒素肥料を施用したほうが表層に施用するより収量も窒素回収率も大きい(表-2)(Garwood and Williams, 1967)。この結果は、根と養分が表層に多く存在しても水がなければ養分を吸収できないことを示している。また同時に、下層の根も水と養分があればそれらを吸収することができるということも示唆している。

このように水と養分の土層内分布に着目した場合、草地の根圏土層をこれまでのように0~10 cm程度で十分

とするかどうかは大いに疑問である。様々な土壌における根張りの綿密な観察と類型化や土壌水分消費型を含めた養水分吸収領域についてのデータの蓄積、整理が必要である。

2) 水の動きを計算するための不飽和透水係数

流束は水頭勾配と透水係数の積として表される。したがって、土壌中の水移動量は不飽和透水係数と水分ポテンシャルを測定することで計算できる。しかし、北海道内の主要草地土壌について不飽和透水係数を測定し、土壌中の水移動について定量的に言及した報告はほとんどない。

これまでの報告(岩間ら, 1983;松中ら, 1985;三木ら, 1986)は図-4.Aのように、土壌を単に水のはいる容器と考え、容器の大きさ(保水性)を評価することに主眼が置かれていたと思う。そして、その容器のなかのどこに水がどの程度あるのか、根の吸収によって移動する水の量はどのくらいかということにはあまり関心が払われていなかった。水は土壌中で絶えず動いているため(図-4.B)、不飽和透水係数を測定して水の移動量を知ることが、作物に対する土壌の水分供給力を評価するうえで特に重要である。

また、根圏土層の有効水分が減少すると下層や地下停滞水から毛管上昇によって根圏土層へ水が移動する。これを評価するためにも地下停滞水位の測定とともに不飽和透水係数が必要である。停滞水からの毛管上昇はダルシーの積分式によって表される(Gardner, 1958)。灰色台地土のコムギ畑の例(図-5)では、毛管上昇速度(Q)

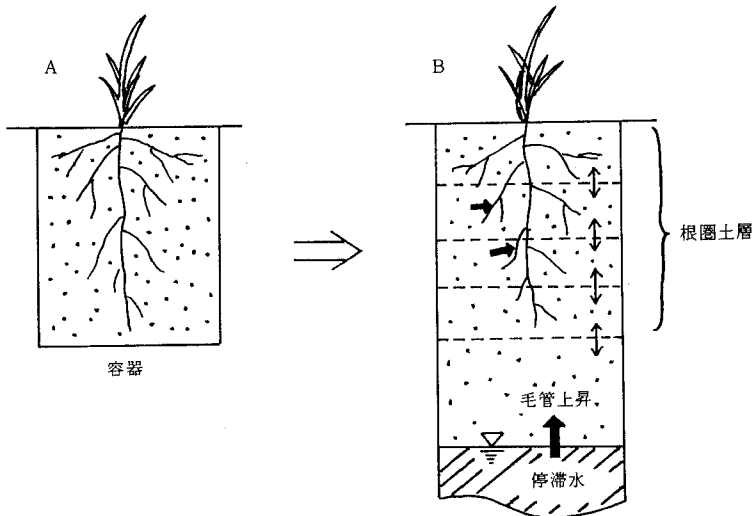


図-4 根圏土層の新しい概念

Fig. 4 New concept of root zone.

ダルシーの積分式

$$Z = \int 1 / \{ Q / K (h) + 1 \} dh$$

Z : 停滞水からの毛管上昇の高さ (cm)

Q : 毛管上昇速度 (cm・s⁻¹)

K (h) : 不飽和透水係数 (cm・s⁻¹)

h : 土壌水分ポテンシャル (cmH₂O)

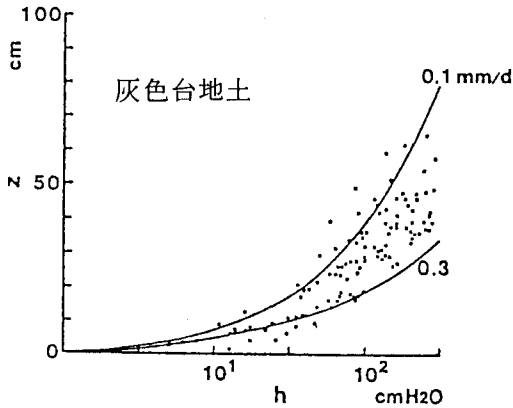


図-5 ダルシーの積分式とその適用 (波多野, 1990)

Fig. 5 Integral expression of Darcy's law and its application (Hatano, 1990).

を0.1および0.3 mm/日としたときの曲線の間、点で示した土壌水分吸引圧の実測値が分布している (波多野, 1990)。すなわち、停滞水からの毛管上昇速度は0.1~0.3 mm/日程度であると考えられる。この情報は不飽和透水係数がなければ得られない。

不飽和透水係数の測定は必ずしも容易ではない。従来一般的に使われている測定方法 (土壌物理性測定法, 1975) に比べ、費用、機能、操作の面で優れる簡便な測定法の開発 (岩間・小川, 1981) が試みられている。また、不飽和透水係数が土壌孔隙の大きさの分布状態を反映しているとの考え方に基づき、他の物理性データから推定するいくつかの方法があり、それら方法の特徴と各方法の相互関係を明らかにした報告 (井上ら, 1982) もある。いずれにせよ、不飽和透水係数のデータを今後増やすためには、簡便な測定法および他の物理性データからの推定法の開発が急務である。

3) 蒸散速度は大気蒸発要求と土壌の水分状態によってどのように変動するのか

蒸散速度は土壌水分が十分なときには大気の放射状

態、接地気層の温湿度条件など外的要因によって支配される。しかし、ある土壌水分以下では土壌側の要因に制限されて蒸散速度は減少することが知られている。トウモロコシの蒸散速度を検討した結果 (Denmead and Shaw, 1962) によると、蒸散速度が減少し始めるときの土壌水分量は太陽の放射状態と湿度によって異なっている (図-6)。つまり、蒸散速度は大気の状態と土壌水分状態の両方によって決まる速度といえる。

この現象は一般に次式のように表現される。

$$T = a \{ 1 - \exp(-b \cdot K) \} \dots\dots\dots(2)$$

ここで、T: 蒸散速度、a: 土壌水分がTを規制しないときにTが限りなく近づく値、b: 正の定数、K: 有効水分量や有効水分残存率など土壌水分状態を表現する変数である。そして、a, bの値が大気放射状態や接地気層の温湿度条件によって変化する。北海道北部における牧草の蒸発散速度を推定する経験式は次のように与えられている (佐久間, 1982)。

$$ET = PET \{ 1 - \exp(-2.5 \cdot K) \} \dots\dots\dots(3)$$

ここで、ET: 蒸発散速度、PET: ペンマン式から推定した土壌水分不足がないときの蒸発散速度、K: 根圏土層の各層における有効水分残存率の重みつき平均値である。また、ペレニアルライグラス、トウモロコシ、ダイズなどについて海外で得られた同様の経験式も紹介されている (古藤田, 1982)。

これらはいずれもある特定の土壌、作物、気象条件のもとで得られた経験式である。条件が変化してもこの式

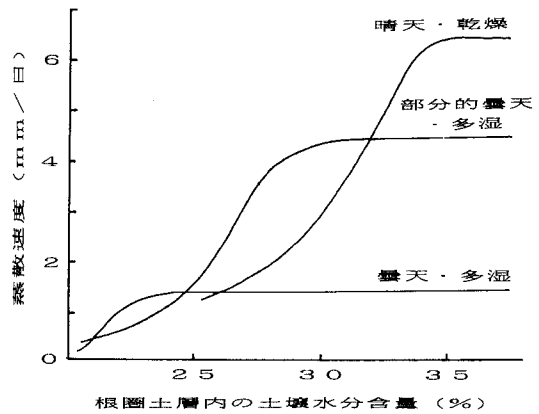


図-6 土壌水分含量と蒸散速度の関係 (Denmead and Shaw, 1962)

Fig. 6 Relationships between soil water contents and transpiration rates as affected by weather conditions (Denmead and Shaw, 1962).

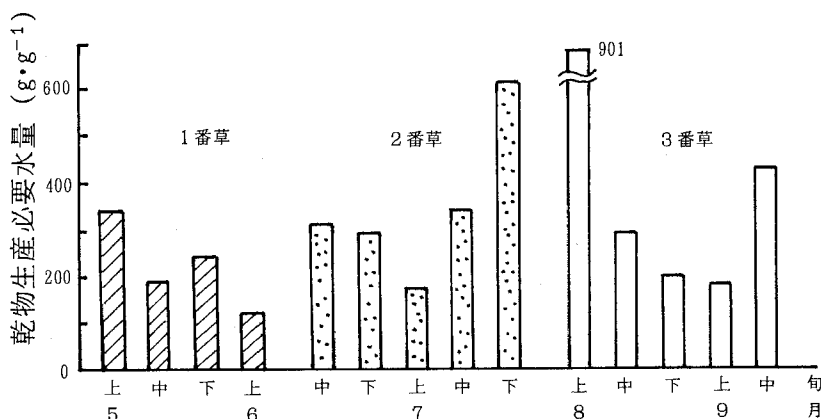


図-7 オーチャードグラスの生育時期別乾物生産必要水量

Fig. 7 Changes in water use for dry matter production at various growth periods of orchardgrass.

が適用できるかどうか、また適用できなければどこに原因があるのかを検討、整理し、ある式が適用できるときの条件を明確にすることが重要である。

4) 吸水量を乾物生産量へ変換するために必要な要水量

要水量は「作物の生育期間中の蒸散量を全乾物重で割った値」と定義されている(農学大事典訂正追補版, 1977)。表現を変えると、要水量は蒸散作用と光合成産物の比である。したがって、両作用を増減させる外的条件によってその値は変動する。

筆者らは、オーチャードグラスについて、蒸散散量を刈取部乾物重で除した値を乾物生産必要水量と定義し、それを生育時期別に求めた。その結果、オーチャードグラスの乾物生産必要水量は生育時期によって変化し、一定ではなかった(図-7)。各番草生育期間を通しての乾物生産必要水量は、1番草は $225 \text{ g} \cdot \text{g}^{-1}$ 、2番草は $342 \text{ g} \cdot \text{g}^{-1}$ 、3番草は $398 \text{ g} \cdot \text{g}^{-1}$ であった。この筆者らの測定例も含め、これまで北海道において測定された牧草の要水量(三木ら, 1986; 佐久間ら, 1975)は変動が大きい(表-3)。しかし、現時点ではその変動要因が十分に検討されていない。要水量を変動させる要因の整理と変動の機作を草種ごとに解明することが必要である。

4. おわりに

土壌-牧草-大気の動的関係を表現する手法としてモデルの重要性を指摘した。そして、既往の水収支・乾物生産モデルの概略を説明し、モデル化にあたって現在不足していると思われる知見を抽出した。

不足している4つの知見は、(1)土壌と牧草が接する場としての根圏の把握、(2)根圏内と根圏に向かう水の流れを記述するための不飽和透水係数の測定、(3)牧草が大気

表-3 既往の牧草の要水量 ($\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$)

Table 3 Water requirement of grasses.

佐久間ら (1975)	2番草: 370~440
	3番草: 330~380
	オーチャードグラス・チモシー主体
三木ら (1986)	1番草: 469~662
	2番草: 252~951
	オーチャードグラス

に接する場における蒸散変動要因の解明、(4)蒸散を乾物生産に結び付けるための要水量の整理である。これらは、土壌、牧草、大気が互いに接する場における問題である。

すなわち残された問題は、土壌物理学、農業気象学、植物生理学などの学問分野の境界領域である。それぞれの分野の研究者たちが一筆の草地を対象に、連携しながら研究をすすめてゆくような体制が今後必要であると思う。

謝 辞

本シンポジウムでの発表の機会を与えてくださった土壌物理研究会編集委員会の方々に深謝致します。また、天北農業試験場長菊地晃二博士ならびに同土壌肥料科長松中照夫博士には、本稿をまとめるにあたりご指導をいただきました。記して謝意を表します。

引用文献

- Belmans, C., Wesseling, J.G. and Feddes, R.A. (1983): Simulation model of the water balance of a cropped soil: SWATRE. *J. Hydrol.*, **63**: 271~286.

- de Jong, R. and Kabat, P. (1990): Modeling water balance and grass production. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, **54**: 1725~1732.
- Denmead, O.T. and Shaw, R.H. (1962): Availability of soil water to plants as affected by soil moisture content and meteorological conditions. *Agron. J.*, **54**: 385~390.
- 土壤物理性測定法委員会編 (1975): 土壤物理性測定法, p 194~197, 養賢堂, 東京.
- Feddes, R.A., de Graaf, M., Bouma, J. and Van Loon, C. D. (1988): Simulation of water use and production of potatoes as affected by soil compaction. *Potato Research*, **31**: 225~239.
- Gardner, W.R. (1958): Some steady state solutions of the unsaturated moisture flow equation with application to evaporation from a water table. *Soil Sci.*, **85**: 228~232.
- Garwood, E.A. and Williams, T.E. (1967): Growth, water use and nutrient uptake from the subsoil by grass swards. *J. agric. Sci., Camb.*, **69**: 125~130.
- 波多野隆介 (1990): 土壤中の水とイオンの移動とその不均一性解明へのアプローチ, 土地利用型農業の高度化に対応した土壌および土地資源の評価と利用上の問題点, 北海道農業試験会議平成2年度設計会議, 土壌肥料・環境保全部会, 32~36.
- 井上光弘・矢野友久・吉田 勲・山本太平・筑紫二郎 (1982): 土壌水分特性曲線に基づく不飽和透水係数の計算, 土壌の物理性, **46**: 21~29.
- 岩間秀矩・小川和夫 (1981): 定常法による不飽和透水係数測定法の問題点とその改善, 土壌の物理性, **43**: 43~47.
- 岩間秀矩・渡辺治郎・小川和夫 (1983): 寒冷地域における重粘土草地の灌漑 (I)—北海道オホーツク沿岸地域における重粘土の水分特性と牧草の生育—, 農上誌, **51**: 197~203.
- 近藤 熙・木村 武・小山雄生 (1985): アクチバブルトレーサー法を用いた牧草根の養分吸収活力の評価, 土肥誌, **56**: 245~248.
- 古藤田一雄 (1982): 耕地における水収支, 土壌の物理性, **45**: 14~17.
- 松中照夫・三枝俊哉・松原一實・菊地晃二 (1985): 北海道根釧地方に分布する主要火山性土の理化学的性質, 北海道立農業試験場集報, **53**: 81~92.
- 三木直倫・高尾欽弥・西宗 昭 (1986): 天北地方重粘土草地の生産力と気象, 土壌水分特性の関係, 北海道立農業試験場集報, **54**: 21~30.
- 野口弥吉監修 (1977): 農学大事典訂正追補版, p 735~736, 養賢堂, 東京.
- 大崎亥佐雄・奥村純一・関口久雄 (1975): 根圏土壌の理化学性が牧草生育に及ぼす影響 第2報 鈣質土壌における牧草根の発達分布, 北海道立農業試験場集報, **32**: 35~44.
- 佐久間敏雄・小林信也・吉田 亨 (1975): 畑地における水分および熱の動態 第1報 牧草畑の熱収支と蒸発散量, 土肥誌, **46**: 507~513.
- 佐久間敏雄 (1982): 水・熱収支モデルとそれによる2・3の数値実験, 水田転換畑における養水分環境の計算モデルに関する研究, 編著 岡島秀夫, 11~33.
- 佐久間敏雄 (1994): 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, 土壌の物理性, **69**: 49~54.

(受稿年月日 1994年12月2日)



圃場の水分環境と土壌病害の発生

赤 司 和 隆

Effect of Soil Moisture on the Outbreaks of Soil-borne Diseases Caused by Zoosporic Fungi

Kazutaka AKASHI

Hokkaido Prefectural Kitami Agricultural Experiment Station
Yayoi 52, Kunneppu, Hokkaido, 099-14 Japan

Abstract

Zoosporic fungi such as *Pythium*, *Aphanomyces* and *Phytophthora* depend on high soil moisture for infection, disease development, and rapid spread. The invasion of root tissues by these fungi is made by motile zoospores which are produced in water.

This report is dealing with the occurrence, and control(soil solarization) of soil-borne diseases of spinach caused by zoosporic fungi, especially outbreaks mechanisms of root rot caused by *Aphanomyces cochlioides* Drechsler which is one of the most serious diseases of spinach in growing areas in Hokkaido, Japan.

Outbreaks mechanisms of spinach root rot in relation to soil moisture and nitrate nitrogen are summarized as follows.

- 1) High soil moisture conditions from rainfall or excess irrigation promote the production of zoospores of *A. cochlioides*, and such conditions are conducive to the spread of secondary zoospores.
- 2) Due to leaching and dilution by stagnant water, high soil moisture also causes decrease in mineral salts, especially nitrate nitrogen that inhibits zoospore production from zoosporangia, and causes the encystment and death of secondary zoospores. Consequently, the inoculum potential remains high, and disease outbreaks occur.
- 3) Severe outbreaks occur in fields of sandy soil where nitrate nitrogen is readily leached, and of heavy clay soil or soils with compact subsoil where nitrate nitrogen concentration is readily diluted by stagnant water.
- 4) The outbreaks mechanisms of spinach root rot apply to cases of the diseases caused by some zoosporic fungi, *A. euteiches* and *P. aphanidermatum*.

Key words : Soil moisture, Zoosporic fungi, Zoospore infection, Outbreak mechanisms, Control.

1. はじめに

土壌中には、作物の根の組織や地上部を侵す寄生性の糸状菌および細菌が生息している。これらを病原とする土壌伝染性病害(土壌病害)は、主に根部の腐敗、地上

部の立枯れなどの生育障害をもたらす。一般に、土壌病害の発生程度は、気象および土壌条件に左右される。なかでも、降雨後などの多湿土壌条件下で多発する土壌病害は、湿害の一つの原因にもなっている。

現在、このような土壌病害の病原として、*Pythium*,

Aphanomyces および *Phytophthora* 属菌などの一群の鞭毛菌類が生産現場において問題視されている。とりわけ、連作ないし短期輪作が浸透し、専作化が進んでいる野菜作において、これらを病原とする土壌病害の被害は大きい。分類学上、*Pythium* と *Phytophthora* 属菌はツユカビ目に、*Aphanomyces* 属菌はミズカビ目に各々属しており、土壌水分はこれらの鞭毛菌類の生理生態と密接な関係にある。

今回、これらの鞭毛菌類による土壌病害の発生と水環境との関係、並びに生態的防除法について紹介する。なお、多湿土壌条件下でこれらの鞭毛菌類による土壌病害の被害が著しいホウレンソウの事例を軸に言及する。

2. 多湿土壌条件下で多発するホウレンソウの土壌病害

一般に、土壌病害は連作圃場において多発する。同一圃場における年間の作付回数の多いホウレンソウでは、土壌病害の被害は大きく、廃耕に追い込まれることも少なくない。現在、全国の産地でその被害が問題となっている鞭毛菌類によるホウレンソウの土壌病害は次の通りである。① *Aphanomyces cochlioides* Drechsler による根腐病 (国永ら, 1975), ② *Pythium* spp. による立枯病 (Naiki *et al.*, 1986), ③ *Phytophthora* sp. による根腐れ症状 (福西, 1978)。

これらの土壌病害は、圃場の水管理が出来ない露地圃場で多発しており、とりわけ、*A. cochlioides* による根

腐病の被害は大きい。1984年から1987年にかけて札幌市近郊のホウレンソウ畑において行われた土壌病害の実態調査でも、次のような鞭毛菌類による土壌病害が多湿土壌条件下で多発することが明らかにされている。

(1) *Pythium* spp. による葉柄腐敗症状 (赤司と鎌田, 1988) 降雨後の生育後期のホウレンソウで多発を見る。地際に近い葉柄から水浸状の褐変が現れ、しばしば葉部にまで及ぶ (写真-1)。罹病部位は地表面に接している葉柄とその先の葉に限られており、症状が株全体に及ぶことはない。根の異常および生育抑制はほとんど認められない。症状から海草のわかめが連想されるらしく、現地では「わかめ」と呼ばれている。

なお、*Pythium* spp. による立枯病の発生が子葉期のホウレンソウで認められるが、間引き前の株数が多い時期のため、実害は小さい。

(2) *A. cochlioides* による根腐病 (赤司, 1991)

子葉期のホウレンソウの罹病個体では地上部が立枯れ症状を呈し、胚軸部が水浸状に褐変する。生育中期以降の罹病個体では地上部が萎ちよう黄化する。根部は全体的に根腐れ褐変して細くなっている。しばしば、地際から主根が切れるために、現地では罹病株は「鎌いらず」と呼ばれている (写真-2)。露地栽培では降雨後 (表-1)、ビニールハウス内における雨よけ栽培では雨水が浸入し易い最も端の畦で多発を見る。

これらの発生事例からもわかるように鞭毛菌類による土壌病害は多湿土壌条件下で多発する。これは、病原菌

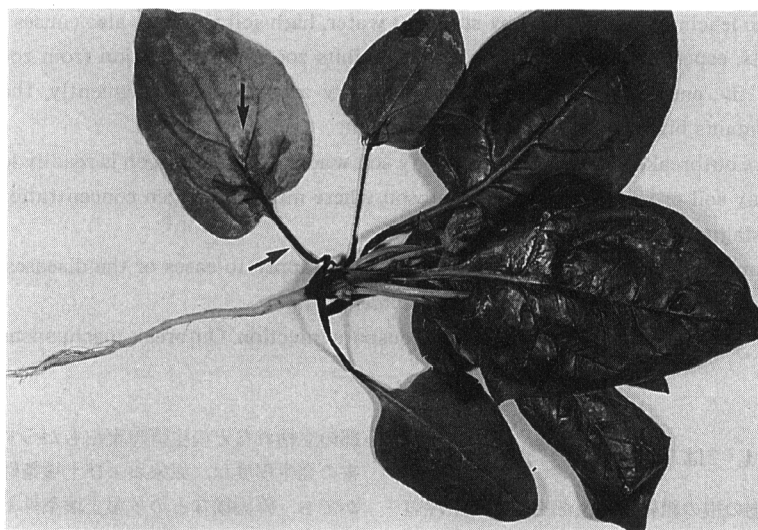


写真-1 *Pythium* 属菌によるホウレンソウの葉柄腐敗症状

Photo. 1 Symptoms of spinach petiole soft rot caused by *Pythium* sp.

矢印：腐敗，褐変が観察される

写真-2 *A. cochlioides* によるホウレンソウ根腐病の病徴（生育中期）Photo. 2 Symptoms of spinach root rot caused by *A. cochlioides* (middle growing stage)

表-1 ホウレンソウ根腐病の発生に及ぼす降雨の影響

Table 1 Effect of rainfall on outbreaks of spinach root rot in open field infested with *A. cochlioides*

調査日 ¹⁾ (月/日)	土壌水分吸引圧 (-kPa)	立枯れ株率 ²⁾ (%)	根部褐変株率 ³⁾ (%)	糸状菌の検出率 ⁴⁾ (%)		
				<i>A. cochlioides</i>	<i>Pythium</i>	<i>Rhizoctonia</i>
降雨前 (8/ 5)	77.9	0.3	10.0	16.7	0	0
降雨後 (8/10)	6.2	15.3	66.7	66.7	4.2	0

- 1) 北海道立中央農試圃場において調査（1987年）。調査時のホウレンソウの生育時期は子葉期。8月5日から10日までの降水量は33.5mm。
- 2) 調査個体数：降雨前347，降雨後287。
- 3) 調査個体数：降雨前30，降雨後24。
- 4) 根の褐変を調査後に糸状菌を検出。供試根部切片数は3)の調査個体数と同じ。

表-2 ホウレンソウ根腐病の発生に及ぼすNO₃-N施用量の影響Table 2 Effect of nitrate nitrogen level on severity of spinach root rot in soil infested with *A. cochlioides*

N 施肥量 (mg/kg)	土壌溶液中の NO ₃ -N 濃度 (ppm)	各種接種源における発病株率 ¹⁾ (%)						草丈 ³⁾ (cm)
		遊走子 (個/g 土壌)		菌糸 ²⁾	卵胞子 (個/g 土壌)		無接種	
		10	10 ³		20	200		
0	14	36.7 ^a	86.7 ^a	31.7 ^a	73.3 ^a	98.3 ^a	0	4.4 ^a
200	178	5.0 ^b	48.3 ^b	5.0 ^b	0 ^b	5.0 ^b	0	8.2 ^b
400	236	tr. ^b	20.0 ^c	tr. ^b	0 ^b	0 ^b	0	7.1 ^c
800	650	tr. ^b	5.0 ^d	tr. ^b	0 ^b	0 ^b	0	5.9 ^d

- 1) 接種時のポット当りの子葉期ホウレンソウの株数は15個体（4反復）。遊走子と菌糸接種区は接種後10日目に、卵胞子接種区は接種後30日目にそれぞれ調査。肩について文字はダンカンの多重検定（ $p < 0.01$ ）の結果を表し、同じ文字を含む場合には有意差無し。
- 2) ポット当たり1ペトリ皿分（径9cm）の含菌寒天を接種。
- 3) 無接種区の調査結果（播種後40日目）。

の感染形態と密接に関係している。すなわち、感染源である遊走子（鞭毛を有する）が多湿条件下で生理的に多く放出され、また物理的に宿主へ移動し易いことに起因する。そのため、*Pythium*, *Aphanomyces* および *Phytophthora* 属菌などの鞭毛菌類による病害は、水媒伝染性病害とも言われている。なお、*Pythium* 属菌の中には、遊走子の生成が確認されていない種もある。

3. ホウレンソウ根腐病の発生と土壌環境

現地実態調査および接種試験の結果から、根腐病は土壌の無機成分、とりわけ硝酸態窒素の欠乏条件下で多発し、硝酸態窒素の施用により土壌溶液中の硝酸態窒素濃度が約 200 ppm 以上になると発生が顕著に低下することが判明した（表-2）。硝酸態窒素の発生抑制効果を *in vitro* で検討した結果、発生抑制の原因として次のことが明らかにされた。① *A. cochlioides* の遊走子生成は、硝酸態窒素の高濃度域で著しく阻害される。② 硝酸態窒素濃度が 300 ppm 以上の高濃度域では運動性を有する 2 次遊走子の被のう化（鞭毛が消失し、運動性を失う）や、死滅が起り、感染ポテンシャルは著しく低下する（図-1）。③ さらに、こうした 2 次遊走子の運動性の低下は、硝酸塩の浸透圧の影響ではなく、硝酸塩のもつ毒性によることが推察された（赤司, 1991）。また、硝酸態窒素による 2 次遊走子の被のう化および死滅といった感染ポテンシャルの低下は、豆類の根腐病を引き起こす *A. euteiches* や各種作物の立枯病を引き起

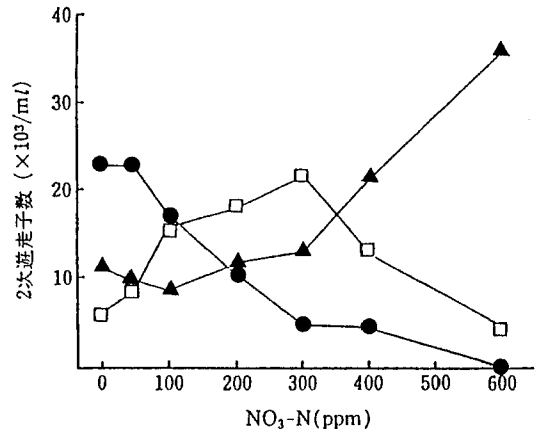


図-1 *A. cochlioides* の 2 次遊走子の運動性に及ぼす $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度の影響

Fig. 1 Effect of nitrate nitrogen level on motility of *A. cochlioides* secondary zoospores.

実験開始時の 2 次遊走子数 $40 \times 10^3/\text{ml}$ （運動性あり，34，被のう 6）。

実験開始から 1 時間後に各形態の遊走子をカウントした。

死滅遊走子数 ($\times 10^3/\text{ml}$) = $40 - (\text{運動性あり} + \text{被のう})$ 。

●：，運動性あり；□，被のう；▲，死滅。

表-3 溶脱処理と湛水処理がホウレンソウ根腐病の発生に及ぼす影響（ポット試験）

Table 3 Effect of leaching and submergence treatments of soil infested with *A. cochlioides* on severity of spinach root rot (pot test)

養水分処理 ¹⁾	発病株率 ³⁾ (%)	接種 ²⁾ 後 7 日目	
		土壌溶液中の $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度 ⁴⁾ (ppm)	
		土層：0~4.5 cm	土層：4.5~9.0 cm
適灌水処理 ⁵⁾ (対照)	30.0	265	367
溶脱処理 ⁶⁾	90.0	39	219
湛水処理 ⁷⁾	100.0	151	

1) 同一土壌（淡色黒ボク土，土性：S）に対して処理を行った。

2) ポット当たり子葉期株 6 個体（5 反復）に対して *A. cochlioides* の遊走子を 10^3 個 /g 土壌の割合で接種。

3) 各処理区につきホウレンソウ 30 個体を調査。

4) 接種前に $\text{NO}_3\text{-N}$ を液肥の形態で 300 mgN/kg 土壌の割合で施用。溶脱および適灌水処理区では土壌を 2 層に分けて 3.1~630 (-kPa) までの土壌溶液を分析。湛水処理区では地表面の滯水を分析。

5) 有底のポットを用い、滯水しない程度に灌水した。

6) 無底のポットを用い、灌水により $\text{NO}_3\text{-N}$ が溶脱し易くした。

7) 有底のポットを用い、地表面に深さ約 2 mm の水が溜るようにした。

こす *P. aphanidermatum* などの鞭毛菌類でも同様に観察された。

一般に、土壤の無機成分含量は水を介して土壤の物理性の影響を受ける。すなわち、無機成分とりわけ硝酸態窒素は、砂質土壤の圃場では溶脱により減少し、重粘質土壤や透水性の悪い下層土を有する圃場では滞水により希釈され易い。したがって、根腐病発生に対して抑制効果の高い硝酸態窒素が減少、希釈され易いこれらの土壤を有する圃場では根腐病の多発が予想される。

そこで、これらの土壤に特有な水分挙動を想定した水分管理を行い、根腐病の発生を観察した(表-3)。その結果、砂質土壤を想定した溶脱処理区および重粘質土壤を想定した湛水処理区では根腐病が多発し、適灌水区の発病株率30%に比べて高く、それぞれ90、100%であった。これらのことから、硝酸態窒素が減少、希釈され易い土壤を有する圃場では根腐病が多発することが示唆された。さらに、道内主要産地における実態調査でも、砂

壤土を主体とする札幌市の有明地区における発生圃場数は多く、調査圃場30筆の56.7%を占めていた(表-4)。

4. 水の動態と鞭毛菌類による土壤病害の発生機構

前述した知見から、根腐病発生の引金は、降雨や灌水によってもたらされる水にあると結論される。そこで、水を媒体として発生に関与する諸要因を有機的に関連づけると、ハウレンソウの根腐病をはじめ、遊走子で感染する *A. euteiches* および *Pythium* 属菌を病原とする土壤病害の発生機構は、次のようにとりまとめることが出来る(図-2)。

水は生理的に遊走子の生成を促進し、物理的に遊走子の宿主への移動に対して好条件をもたらす。同時に、溶脱や希釈に伴う土壤の無機成分濃度の低下、とりわけ硝酸態窒素濃度の低下を招くため、遊走子の生成阻害、被のう化および死滅が起こらなくなり、感染ポテンシャル

表-4 土壤の種類を異にするハウレンソウ産地における根腐病の発生状況

Table 4 Occurrence of spinach root rot in growing areas with various soil types

調査地	主な土壤の種類	土性 (作土)	調査圃場数	根腐病の 発生圃場数	発生割合(%)
札幌市 (有明)	褐色低地土 (粗~中粒質)	SL	30	17	56.7
札幌市 (新琴似・篠路)	褐色低地土 (中粒質)	CL	12	0	0
鷹栖町	泥炭土、灰色低地土 (中~細粒質)	C~CL	11	1	9.1

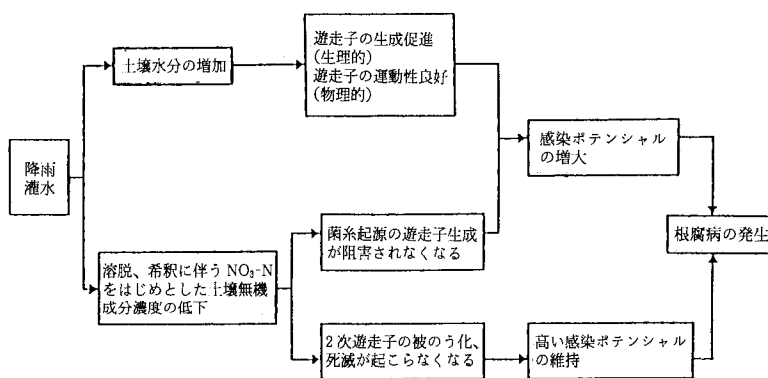


図-2 圃場における水の動きからみたハウレンソウ根腐病の発生機構

Fig. 2 Mechanisms of outbreaks of spinach root rot caused by *A. cochlioides* in relation to soil moisture.

NO₃-Nをはじめ土壤無機成分が溶脱し易い砂質土壤の圃場や、滞水により希釈され易い重粘質土壤あるいは透水性の悪い下層土を有する圃場では根腐病は多発する。この発生機構は、*A. euteiches* や *P. aphanidermatum* などの鞭毛菌類による土壤病害にも適用出来る。

表-5 鞭毛菌類による土壌病害の発生と土壌要因

Table 5 Soil factors influencing incidence of soil-borne diseases caused by zoosporic fungi

土 壤 要 因	発生	病 原	宿 主	引 用 文 献
土 壤 水 分	多	<i>A. euteiches</i>	エンドウ	Jones (1925 A)
	多	<i>A. cochlioides</i>	テンサイ	築尾 (1986)
無機要素の施用	窒 素	<i>A. euteiches</i>	エンドウ	Haenseler (1931)
	窒 素	<i>A. euteiches</i>	Grey peas	Geach (1936)
	窒 素	<i>A. euteiches</i>	エンドウ	Walker (1939)
	磷 酸	<i>A. cochlioides</i>	テンサイ	Kotila (1940)
	無機塩の浸透圧	<i>A. euteiches</i>	エンドウ	Smith (1941)
	窒素, 磷酸	<i>A. cochlioides</i>	テンサイ	Afanasiev (1942)
	カリウム	<i>A. euteiches</i>	エンドウ	Wade (1955)
	Al, Ca, Cu, Zn	<i>A. euteiches</i>	エンドウ	Lewis (1973)
	高土壌EC	<i>P. aphanidermatum</i>	ホウレンソウ	内記 (1983)
	高濃度水耕培養液	<i>P. butleri</i>	ホウレンソウ	草刈 (1986)
土 壤 型	Red clay soil & sandy soil	<i>A. euteiches</i>	エンドウ	Jones (1925 B)

表-6 ホウレンソウの病原糸状菌の死滅に必要な温度と加温日数

Table 6 Temperature and time of heating required for killing pathogens of spinach

病 原 糸 状 菌 (供試菌株)	加 温 温 度 ¹⁾ (°C)	死滅に要した加温日数 ²⁾								
		1	2	3	4	5	6	7	8	14
<i>Pythium</i> sp. (Py-1)	37	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	40	○	○	○	●					
	45	●								
	50	●								
<i>P. ultimum</i> (Py-11)	37	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	40	○	○	○	●					
	45	●								
	50	●								
<i>R. solani</i> AG-4 (R-1)	37	○	○	○	○	○	○	○	○	●
	40	○	○	○	○	●				
	45	●								
	50	●								
<i>A. cochlioides</i> (A-K-1)	37	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	40	○	●							
	45	●								
	50	●								
<i>F. oxysporum</i> f. sp. <i>spinaciae</i> (F-98)	37	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	40	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	45	○	○	○	○	○	●			
	50	○	●							

1) 1日のうち8時間を所定の高温で, 残りの16時間を25°Cでそれぞれ加温。

2) ●: 死滅, ○: 生存

が高く維持される。これらの結果、病害が発生する。とりわけ、土壌の無機成分や硝酸態窒素が溶脱し易い砂質土壌の圃場、および滞水により希釈され易い重粘質土壌あるいは透水性の悪い下層土を有する圃場では多発する。

なお、この発生機構は、鞭毛菌類による土壌病害の発生要因に関する既往の知見と整合性がある(表-5)。さらに、それらの知見を有機的に関連づけていることが読み取れる。すなわち、鞭毛菌類による土壌病害の発生は、次のような土壌要因の影響を受けることが明らかにされている。①多湿土壌条件下で多発する。②無機要素を土壌に施用することにより発生が抑制される。なかでも窒素施用による事例が多い。③重粘質土壌ないし砂質土壌で多発する。

5. 鞭毛菌類による土壌病害の生態的防除

A. *cochlioides* を病原とするハウレンソウ根腐病の発生軽減を目的とした窒素施肥法が開発されている。しかし、根腐病が多発する砂質土壌の圃場、および水はけの悪い圃場では、土壌の物理性改善を主体とした抜本的な対策が必要であると考えられる。

太陽熱による土壌消毒も鞭毛菌類による土壌病害に対して有効である。ハウレンソウから分離された病原糸状

菌の死滅に必要な温度とその積算時間は、40℃以上、50時間前後であった(表-6)。このような温度条件を満たすのに、ビニールハウスにおけるマルチ+トンネルの2重被覆処理では、必須の気象条件として最高外気温が25℃を超えかつ晴の日が約7日間必要であった(表-7)。

北海道のような寒冷地では、十分な防除効果を得るためには、気象条件に恵まれた適期に処理を行うべきである。気象条件は地域によって異なるので、地域別の適期を設定することが望ましい。写真-3は、北海道農務部が開発した「気象情報活用システム」を利用して、上川管内の鷹栖町のハウスにおける太陽熱処理の適期を約1km平方のメッシュ毎に1/25000の地図上にマッピングしたものである。なお、適期は最高気温が25℃を超える初日から25℃以上の日が維持される8月上、中旬までの期間とした。このような気象情報を利用することにより、地域別の詳細な処理適期や適地の把握が可能になると考える。

また、太陽熱処理期間中は、地温(地中深10cm)が40℃以上の高温で推移するため、土壌中の無機態窒素含量の変化が起こる。脱窒による硝酸態窒素の減少量に比べて、有機態窒素の無機化に伴うアンモニア態窒素の増加量が多いので、土壌中の無機態窒素含量は増加する。したがって、処理後のハウレンソウ栽培では、窒素の減

表-7 根腐病をはじめとしたハウレンソウの土壌病害に対する太陽熱利用による土壌消毒法

Table 7 Soil solarization for the soil-borne diseases, especially *Aphanomyces* root rot of spinach grown in summer and early autumn

対象圃場	太陽熱処理				効果の期待できる 必須気象条件		処理後の 肥培管理
	灌水処理	畝立て方法	被覆方法	処理適期 (月/旬)	最高外気温 (晴の日)	同左日数	
ハウス	有り	小 畝	マルチ マルチ+トンネル	7/中~8/中	25℃以上	約7日	①処理後の耕 起深は浅め にする。 ②窒素減肥
			マルチ マルチ+トンネル	7/中~8/中 6/中~8/中	25℃以上 20℃以上	約10日 約8日	
露地	無し	平 畝	マルチ	7/下~8/上	27℃以上	約10日	①不耕起栽培 ②熱処理前に 窒素減肥

- 注 1) 夏~初秋どり栽培において多発する土壌病害の防除を目的とする。
 2) 約2週間を処理(被覆)期間の日安とする。
 3) 中~完熟の堆肥10 ton/ha, 石灰窒素500 kg/haを土壌改良資材の施用量の目安とする。施用後、土壌とよく混和する。
 4) 高水分条件下で病原糸状菌は死滅し易いので灌水設備を有するハウスでは灌水処理を実施する。頭上灌水を2時間程度行い、作土層に水が浸透していることを確認する。灌水設備の無い露地では、土壌の含水比が30~50%の時(降雨後など)に処理を行う。露地のマルチ被覆では地温の上昇の面からみて含水比が約30%の時に処理を行うのが望ましい。
 5) 昇温・保温効果の低い露地のマルチ被覆では、気象条件によっては殺菌効果が劣るので、主な対象病害は *Pythium* spp. による立枯病と *A. cochlioides* による根腐病とする。

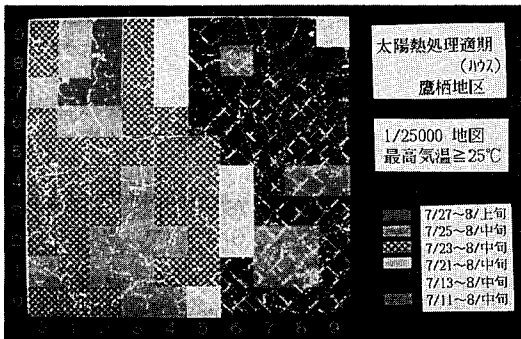


写真-3 ハウスにおける太陽熱土壌消毒の処理適期 (北海道 鷹栖町)

Photo. 3 Mapping out of optimum time for soil solarization at a vinyl green house in Takasu town of Hokkaido prefecture.

北海道農務部が開発した「気象情報活用システム」を利用して、処理適期を約1km 平方のメッシュ毎にマッピングしたもの

肥が可能である。

6. おわりに

土壌病害の病原菌とその拮抗菌は土壌中に生息していることから、病原菌の感染ポテンシャルに対して土壌環境は少なからず影響を及ぼしている。したがって、土壌環境の面から土壌病害の発生生態を明らかにすることは、薬剤を使用しない新たな防除法開発にとって思わぬ近道となるかもしれない。この種の研究は、土壌学と植物病理学の両山脈の谷間にあたる学際研究であるため、遅れていることは否めない。しかし、今後の発展次第では意外と面白い分野だと思われる。

とりわけ、こうした土壌環境と土壌病害の発生に関する知見は、次に示すように「情報に関する最新の研究課題」と接点を持つことにより、更なる展開が期待される。すなわち、新たな「適地適作論」の構築が可能になる。衛星リモートセンシングによる作物・土壌情報およびアメダスによる気象情報に、土壌病害の発生に関する情報を重ね併せることにより、①ある土壌病害の発生要因(土壌, 気象条件)が抽出される。②作物の冷湿害および生育不良の解析を行う際に、土壌病害の面からブラックボックスの考察および解明が可能であると考えられる。

引用文献

Afanasiev, M.M. and Carlson, W.E. (1942): The relation of phosphorus and nitrogen ratio to the

amount of seedlings diseases of sugar beets, Amer. Soc. Sugar Beet technol. Proc. (3d Gen. Mtg.): 407~411.

赤司和隆・鎌田賢一 (1988): ホウレンソウの土壌病害と土壌理化学性の関係(第7報)―葉柄腐敗症状(俗称: わかめ症)の原因について, 土肥講要集, 34: 38.

赤司和隆 (1991): ホウレンソウ根腐病の発生機構と生態的防除法に関する土壌肥科学的研究, 北海道立農業試験場報告, 74: 1~100.

築尾嘉章・内藤繁男・杉本利哉 (1986): テンサイ黒根病の発生におよぼす土壌温度と水分の影響(講要), 日植病報, 52: 142.

福西 務 (1978): ホウレンソウ根腐症状株とその土壌から分離される病原菌(講要), 日植病報, 44: 86.

Geach, W.L. (1936): Root rot of grey peas in Tasmania, Austral. Council. Sci. and Indus. Res. Jour., 9: 77~87.

Haenseler, C.M. (1931): The use of fertilizers in reducing losses from pea-root rot caused by *Aphanomyces euteiches* (Abstract), Phytopathology, 21: 116~117.

Jones, F.R. and Linford, M.B. (1925 A): Pea disease survey in Wisconsin, Wis. Agr. Expt. Sta. Res. Bul., 64: 1~31.

Jones, F.R. and Drechsler, C. (1925 B): Root rot of peas in the United States caused by *Aphanomyces euteiches* (n. sp.), Jour. Agr. Res., 30: 293~325.

Kotila, J.E. and Coons, G.H. (1940): *Aphanomyces* root rot of sugar beets as influenced by phosphate application, Amer. Soc. Sugar Beet Technol. Proc. (2nd Gen. Mtg.) (pt. II): 223~225.

国永史朗・久保庭 孝・寺中理明・若井田正義 (1975): ホウレンソウ根腐症状株からの *Aphanomyces cochlioides* の分離およびその病原性(講要), 日植病報, 41: 118.

草刈真一・田中 寛 (1986): 高濃度水耕培養液中における *Pythium butleri* 遊走子の被のうとホウレンソウ苗立枯病発生への影響について, 日植病報, 52: 1~7.

Lewis, J.A. (1973): Effect of mineral salts on *Aphanomyces euteiches* and *Aphanomyces* root rot of peas, Phytopathology, 63: 989~993.

内記 隆 (1983): ホウレンソウ根部病害とその病原菌の生態, 土と微生物, 25: 9~16.

- Naiki, T., Gonda, Y. and Kageyama, K. (1986) : *Pythium* species causing damping-off of spinach seedlings under plastic-house cropping, Ann. Phytopath. Soc. Japan, **52** : 772~778.
- Smith, P.G. and Walker, J.C. (1941) : Certain environal and nutritional factors affecting Aphanomyces root rot of garden pea, Jour. Agr. Res., **63** : 1~20.
- Walker, J.C. and Musbach, F.L. (1939) : Effect of moisture, fertility, and fertilizer placement on root rot of canning peas in Wisconsin, Jour. Agr. Res., **59** : 579~590.
- Wade, G.C. (1955) : Aphanomyces root rot of peas—the effect of a potassium fertilizer on the severity of the disease in a potassium deficient soil, Austral. Inst. Agr. Sci. Jour., **21** : 260~263.

(受稿年月日 1995年1月5日)

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」

座長 菊地晃二（北海道立天北農業試験場）
伊藤純雄（北海道農業試験場）

座長（菊地）：

今日の講演の内容は大きく3つに分けることができる。1つは農業気象学の話として堀口先生より、平成5年度の異常気象と基本的な熱収支の解説を基に冷害対策についての考えを示して頂いた。2つ目は、作物の面から平沢先生が関東の例で、作物の水生理と水環境問題について話して頂いた。そして3つ目には土壌を中心として、いわゆる土壌、作物、大気の動的関係解明が重要であるという天北農試の中辻さんの話、北見農試の赤司さんからの土壌病害と水環境、リモートセンシングを用いて、十勝のてんさいの収量予測や異常気象の予測についての北海道中央農試の安積さん。土壌物理的条件とは、今日の講演にあるように気象状況と関連し、実際の農業では重要な条件だと思うが、土壌物理研究はある面でかなり停滞気味である。その辺の打破のためにも今日の論議、皆さんから色々出してもらいたい。最初に堀口先生の、平成5年度の話ばかりでなく、後半にお話頂いた熱収支の基本的事項とそれに基づいた冷害対策について質問なり、意見をお願いしたい。

志賀（中央農試）：

圃場レベルでの水田の話を伺ったが、もうちょっと大きい、例えば10kmぐらいのスケールで考えたときに、石狩平野などでは畑と水田がモザイク状にあるわけだが、その中の湛水面積の比率などによって、微気象がどの様に影響を受けるかということを教えて頂きたい。

堀口：

現在、衛星データを使って1kmメッシュ位で、土地利用面積比率と表面温度の関係についてやっている。面積比が1kmメッシュで全部畑の場合と全部水田の場合とどの位表面温度が違うか。数字は忘れたが、植生が無い場合に確か5℃位違ってたと思う。日中の温度が高くなるということ。だから植生がある場合とか、水田がある場合、それから裸地の場合で、温度も少し違ってくる。

志賀：

ということは例えば昼夜通して見た場合、周りに水田がある畑は、冷害年には恩恵を被っているか。それとも足を引っ張られているのか。どの様に解釈できるのか。

堀口：

水があると平均的には少し温度が高くなる。ただ、圃場条件によって違うが。というのは、洞爺湖のそばは水体が有るわけで、夜間の温度はそんなに下がらない。

松原（北見農試）：

こういう気象の場合は、極値、極端な低温だとか高温と同時にその持続期間が問題になると思う。北見で水田をやっている人の話を聞くと、去年は7月から8月の大事な時期に温度も低かったけど、その持続期間が長かったのが他の冷害年に比べ特徴であった、という話を聞いた。例えば13℃以下の気温がある程度以上続くと、そちらの影響の方が一時的に10℃より下がるよりも大きいという事もある。このことから考えると、例えば水の様な熱容量の大きいものが、下げないという意味では良いが、逆に言えばある温度をいつまでも保つ事も考えられる。例えば13℃になっていた水温がいつまでも上がらないという場合もあると思うが。

堀口：

湖のような水体が大きい場合はそうだが、水田のような場合はどうか。3日も4日も水田の低温がその為に持続するというような事は考えられないかと思うが。実際に測ったわけではないが、1日か2日位で解消するのではないかと思う。それから、低温の持続については、去年の冷害の場合は2カ月位、一番低いのは1カ月位なのだが、過去の冷害では大体2カ月位の7、8月の低温というのはたまに出ている。少し話した第2種冷夏という時には、低温の時期が1週間から10日位で、非常に強い低温があった。

成田（中央農試）：

冷害の対策として深水の効果があるというのがよく分かった。防風網は近くから遠くになるに従い効果が低くなるという話だったが、高さは何mか。

堀口：

防風網は普通1.5~2m位あると思う。

成田：

それで近場と遠くであんなに効果が違うものか。

堀口：

効果の範囲は、高さの何倍かということを出てる。大

体風速が減風するのが高さの20倍。それは防風垣の2分の1の高さで風速が2分の1になるような高さが大体20倍ということ。だから効果の範囲というのは、防風網とか防風林の高さに影響する。

座長 (菊地):

北海道中央農試の前田さんから畦畔問題で畦畔自体の透水性が良すぎて水が抜け易いという話があったが、その辺、現場で実際経験されている方に、色々お聞かせ願いたい。今井さん何か。

今井 (中央農試):

今年、去年の冷害の事もあり、普通のメーカーが作った機械なのだが、畦塗機というのが出た。これは去年、深水がとれないということで、大体15~20cmしかない畦畔を少しでも高く盛ろうということで出来た機械。それを施工した現場を見せてもらった。できた時は良かったが、1回土をのせて表面を叩いて一見良さそうに見えるが、時間が経つとクラックが結構あった。昔の教科書に畦畔の漏水を調べる図が出てた。早速それを作り、畦畔漏水を調べた。普通24時間で見ると、完全に水が抜ける箇所が結構あった。縦浸透だけ見ると、一桁の数字しか落ちていないが、畦畔の悪い所では、殆ど水が無いような所があって、畦畔が相当傷んでいるということを実感した。話はそれるが、畦畔の築造というのは従来は、代かき時に農家が畦を塗って漏水を少しでも抑えることであった。経営面積が増えると代かき時にそういう作業も出来ないし、畦畔の手入れも草刈りもやっこって感じで漏水の事についての意識が薄れたと思われる。それと、高く盛って水を入れられるという事だけで満足して、漏れるかどうかという確認はなかなかしない。常に水が入っているから、抜けてる分だけ水も入ってくるから水深さえあれば深水が出来ると理解してる人が多く、土木の方でも畦畔の漏水に関しては色々見ていきたいと思って、今少しづつデータを集めてる最中だ。

座長 (菊地):

やはり真面目にやる気があれば出来るだろうし、そういう研究もやられて、機械ないし農業土木がやる気になってやれば解決できる問題であると僕は解釈してるが。

今井:

畦畔の管理についてだが、今はなかなか農家レベルの営農の範疇できちっとそこまで管理するというのはちょっと難しいという気がしている。それで、本当にきちっと整理しようとする結構お金がかかる。事業かなんかできちっとした畦畔を重機でもって填圧しながら

造っていかないと。形を造るだけでは畦畔の効用を果たすのは難しい。特に今年の例を見てると感じる。

堀口:

昔は畦畔塗りをきちんとやって漏水しないようにしたが、今は無理。だからそれに代わるような畦畔からの漏水防止の事を考えなければならないと思う。いわゆる現在の社会情勢を反映してると思うが。

座長 (菊地):

どうも。

伊藤 (北海道農試):

以前から疑問に思っていたが、先生のお話の中で湿田は排水をよくしてやると温度が上昇して良くなること、それから一方で床締めをして排水を抑えると温度が上昇する、これは私ども土壌の方からするとちょっと矛盾する点も有るような気もする。湿田というのは排水性が悪く減水深が殆ど無いような田で、排水すれば減水深が出て、床締めすると減水深が止まる。それでどちらも温度上昇に効くという。何が効いてるのでどうなるのか、あるいはこの辺までの排水性ならばこっちが効くという事なのか。その辺整理していただきたい。

堀口:

漏水防止をやれば、水田の温度は上がると思うが、排水という事は私もあまり良く考えないで書いた。湧水とかそういう特別なことじゃないか。

座長 (菊地):

どうも。先生に是非というご質問があったらどうぞ。

佐久間 (北大):

今日、堀口先生の話は主に水田だったが、熱収支と関係しての話。畑の場合は、土壌温度を調節するのに色を変えるというのは気象の方ではやられているか。アルベドを変えるということ。

堀口:

実際の場面ではあまり行われていない。いわゆる春先にフライアッシュみたいなものを蒔いて、その結果としてアルベドを変えるということも行われている。大々的に表面の反射率を変えるということはあまり聞いたことはない。ただ実験結果は色々出ている。

佐久間:

実験は色々あるのか。土壌改良材として木炭を使ったら良いという話があちこちで出てきている。それで最近、エロージョンとの関係もあり、剥げた土が多くなって相当明るい感じの耕地土壌が増えてきている。もう少し大々的にやったら、どういう事になるのかと思っている。

堀口：

効果はあると思う。作物が繁茂する前の雪解け促進剤に、少し黒いやつをまいて、それで地温を上げるという事はやられている。

座長（菊地）：

平沢先生、中辻さん、赤司さんに関して質問、意見を。それぞれの3人の演者同士でも結構。

中辻：

水と根と地上部の生育という事で非常におもしろい話で、勉強になった。それで1つ質問。少し心配だと感じるところがある。土壌水分のコントロールをする場合、乾いているやつと乾いてないやつを作っている。乾かすやつはある程度乾かすと、1回水をやって、ざばっと湿らせてまた乾くのを待って、水をざばっとやってというようにやってると思ったのだが。そうすると、乾いてるところから湿らせたところの極値がなんか効いてくる事はないのか。もし僕がやる時は、ずっとその位のレベルに保つというような事をしてやると思う。極値が出るということについてはどうか。

平沢：

極値ってというのは例えばどんな。

中辻：

乾かしてpFが上がる。水をかけると、その時点で急激にpFが下がる。そうすると一気に水が入った時点で残ってた肥料成分などが溶けて一気に植物に吸われるというように、その時点でころっと状況が変わるようなことが起きてくるような気がする。

平沢：

具体的な栽培として、どういう問題が生じるかということはもちろんあると思う。とにかく1番やりたかったのは、根が発達するとそのことが根の機能というものを介して地上部にどのような影響を及ぼすかという事。それで今言われたような、土壌水分が減って、急に土壌水分が増えた時に、色々な土壌の養分が有効化して吸われるという事もあるかもしれない。しかし、そこは今は考えていない。ただ、窒素などが有効化する場合、おそらく葉の色が一時的に濃くなるなどの地上部に何等かの影響が出てくると思う。葉の色を計ってみた限りでは、そういった影響は認められない。

志賀（中央農試）：

似たような質問。湿潤区というのは割と頻繁に少量灌水されている。表面から灌水していると、湿潤区の場合は常に表面が湿っていて、下はかなり乾いた状態で推移してると思うが。乾燥区だと、どばっとやると割と下まで一気に浸透するため、土層の水分分布はかなり両区で

違い、根張りに影響してる事はないか。

平沢：

湿潤区も土壌の1m位までテンシオメータを埋めて計ってる。水分張力だとやはり上の方が大きくて下が小さい。灌漑水の量も、20mmとか30mmと何日かおきに比較的に大量にやっているので、特に下の方が乾くというような事はないと思う。

竹内（北見農試）：

今の質問に関連して1つ確認して頂きたい。この湿潤区というのは湿害が出るほど湿潤ではないということか。

平沢：

はい。そのように考えている。小麦の場合は通常の降水量の条件でやっているし、土壌の表層も時々乾くので、適湿かどうかは良く分からないが、特に生育盛期に下葉が枯れあがるなどの過湿の時に現れる症状というのは生育が盛んな時には見られない。もちろん老化していくと、老化速度の違いが出てくるので、そのような時には湿潤区と乾燥区で違いが出てくる。葉面積がかなり多くあるときには、過湿によって現れる症状というのは見られなかったと思う。

竹内：

だとすると、乾燥した方が良いという結論、非常に目新しく伺っていた。この湿潤、乾燥といっても、中辻さんが言ったように強い水分ストレスを与える少し前の段階で水をばっと与える、つまり基本的に少し水分ストレスがかかっていて、時々使うだけの水をやるというのが作物にとって良い条件になるということか。

平沢：

それは実験上やむおえないこと。考えているのは、どのようにして大きな根系を作るかという事。1番てっとり早いのは、圃場などでは乾かすこと。根がよく発達するので、そういう条件を作りたかった。それで乾くと、地上部の生育が大豆などの場合は抑制されるので、後で根が張ることによって乾物生産が盛んになっても、最終的な乾物生産の差はそれ程大きく出ない。小麦の場合は、少し土壌水分が減少しても地上部は抑制されず、地下が伸びるので、そういう材料を使えば根の張り方が地上部にどのような影響を及ぼすのかということ、かなりはっきり出てくると思う。

長谷川（農環研）：

皆の意見とも共通してるところもあるが、根が深く入ったという問題は別にして、収量をとろうとした時に、ある一定の適正な水分に保った方が良いのか、水分の変動があった方が良いのか。作物の方からどの様にお考か。

平沢：

一般的にはどうか分からないが、私の考えでは地上部の生育にとってはとにかくオプティマム、水がいつも十分保たれるような、葉とか光合成を行う器官なんかで見れば、そういうのが一番良いかと思う。ただ、圃場に生育してる作物の場合などは、気象条件かなり変動する。その時に本当に地上部がオプティマムな条件を保てるかという事があると思う。その時に水について言うと、例えば天気が良くて日中ものすごく蒸散が盛んな時には、蒸散が起こるたびに葉の水を下げなければいけない。葉の水分状態が下がると色々な生理的なプロセスが影響を受ける。例えば生長の抑制、気孔の閉鎖に伴う光合成の低下。そういう時にオプティマムな条件を保つ様な水分を圃場に与えたとしても、実際は保てないというような事になる。だから、地上部をオプティマムな条件に保つ為には、水からいけばやはり地上部に水を供給する器官である根の働きが重要な役割を果たすという事になる。それから、葉が長生きすればそれだけ光合成は高く維持できることになる。水ストレス、色々な養分の欠乏、高温などの色々な環境のファクターが植物体に影響し、老化が速まるというような事がある。という事はやはりオプティマムな条件が無いと、老化が速まるというような事になるかと思う。だから、地上部の状態をいかにオプティマムに保つかということが生産上大事で、そのために根がどのような役割を果たしているのかという事を考えないといけないと思っている。

座長(菊地)：

長谷川さん、質問だけじゃなく、もしそれに対する意見があったら。

長谷川：

今までは、適当に水をやってれば良いという、だから drip irrigation が未来の考えみたいな格好で、常に適度に水を供給してやるのが一番良いんだというように考えていた。外的環境が非常に変化する中では、一概にはそうとは言えないという事なのか。

平沢：

そう思う。drip irrigation の場合もあのような極限的な条件の中で作物を育てているわけで、本当にそれが作物にとってオプティマムなのかどうかという事があると思う。それを判断するのはなかなか難しいが、drip irrigation の場合にはよく言われるように、本当に根圏の範囲にしか水をやらない。根というのは土に埋まっているが、ポットの中で生育してる様にもものすごくコンパクトに詰まっているという事になる。それが本当にいいのかどうかという事があるのではないかと思う。根の機能

というのは、地上部を支持する、養分や水分を吸収する、老化とか色々な事に関係する植物ホルモンを合成して地上部に送るなど色々あるわけだが、そのような機能を十分に考えた上でやられているのかということになると、あまりにも根に関する研究、それから根と地上部に関する研究が少なすぎ、まだ言えないと思う。

成田(中央農試)：

成育の前半に根の伸長を促進して繁茂させた場合に、後半の水が多いか少ないかは乾物生産に余り影響がないと理解してよいか。

平沢：

いいえ。先程申し上げたのは、成育後半に同じ水分条件にあった時に成育前半、前歴がどのような影響を及ぼすかということ。成育後半に水が無ければある程度水ストレスがかかり、水がある条件に比べればやはり成育は劣るのではと思う。

座長(菊地)：

平沢先生の講演が終わった後で松中さんの方から意見をいただいたが、もうちょっと言っていたければ。

松中(天北農試)：

根の発達の有無と収量の関係については、非常に明快で説明の通りと思った。しかし少し見方を変え、大豆の場合だと成育前半の水条件は、いわゆる収量構成要素には影響を与えていないから、後半の水環境に影響を受けたと理解すれば、根のこもを持ち出さなくても話ができるのでは。それから小麦の事について言えば、どうも根の発達と収量との関係、特に収量構成要素との関係がうまく説明がつかない。出穂前1ヶ月間、乾燥させたり湿潤にさせたりした結果、どうしてこのように穂数に大きな影響がでてくるのか。逆という処理した後、乾かそうと乾かさまいと、その効果が穂数にこんなに差がでてくるわけがない。もし根がよく張って養水分吸収が十分に良く行われて、それが収量に影響するのであれば、おそらく登熟期間中の千粒重に影響してくるはずで、止め葉だとか第2葉の窒素濃度も高まってくるはず。だから光合成も盛んになって、登熟も良くなるはず。そうすると粒重に影響を与えるはずだが、粒重はほとんど差がない。そうすると根が多い少ないということと収量との関係は、今僕が言ったような見方をすると良く分からなくなってくる。色々な見方ができ、色々な見方をすればおもしろいのでは。

平沢：

私は水が専門だから、水に関してはかなり整理できている。しかし全体の成育ということになると、根の発達が老化にどう影響を及ぼすかは、今のレベルではや

はりまだ因果関係ができてない。現象的に根が発達すれば老化が遅くなるということが色々ところで出されつつあるが、それがどういうプロセスを経ているのか全く分からない状況。先ほどの穂数との関係だが、小麦の場合にご存知のように有効茎部が低くなる。先ほどの例では、無効分けつ化するときに乾燥した場合と乾燥しない時に違いがでる。根との関係で考えられることは、老化などが無効分けつ化に関係しているのではないか。それで莖数が増えればそれだけ相互遮蔽が増えるということになり、相互遮蔽が大きくなってもおかつ葉面積を高く保っているということは、根がなんらかの老化に影響しているのではないか。大豆の場合も落花、落莢はかなり大きな問題で、咲いた花に対して実の着く割合が少ない、先程のデータでも莢数が増えることによって収量が増える。これも落花、落莢が植物ホルモンに関係するとかしないと言われていたが、もしサイトカイニン等の植物ホルモンが関係するならば、根で植物ホルモンが作られるので、あながち無関係ではないということになる。ただこれはお互いを結び付けるデータがないので、推測の域でしかない。そういう事も含め、根の機能と地上部の育成との関係をみていく必要があると思う。

沢口（中央農試）：

先生の話の中で、湿潤化が根系の発達を悪化させるとあった。その理由として、一つに過湿で酸素不足が考えられる。他に、結果的に地温の低下、これが大きいと思う。地温の低下が大きいということになると、その対策として土壌の排水等が大事になる。あのような培養器のように絶えず水が供給される条件では、排水をいくら進めても結果的に地温低下は起こらざるえない。その時、それに対する対応として一つに作物サイドからの対応がある。今の話と関係するが、よく育種の方で耐冷性という言葉を使う。根系の発達から考えた場合、耐冷性という意味はないのではないか。これだけ農業が進められ、品種改良が進められ、それもあくまでも日本という気象条件の中で進められている育種の中で、その培養器の問題が基本的な問題であるということになると、今まで育種は何やってたか、ということになる。作物サイドの方からその対応というのは進んでいないのだろうか。このような実験条件では、確かに根系の発達は悪かったかもしれない。しかし、実際の現場ではそんなにシビアに現れるのものだろうか。

平沢：

実際の現場でどうかということは、スライドで示したように、試験場の落花生のデータが一番実用サイドに近いと思う。空梅雨の年は夏、干ばつにあっても収量が高いという結果があり、このことから我々が考えて設定し

た実験もあながち的外れでもなかったと思う。

座長（菊地）：

平沢先生に対する諸質問はこれで一応終り、次に中辻さんへの質問、意見を。

志賀（中央農試）

作物生産モデルということでお話されたが、もっと大きい枠で見ると作物生産モデル自体も日射量の方からモデルを作る方法と、水を主なパラメータとするものと、主に2種類あると思う。水からのモデルを用いたは、たまたま天北に居られるからなのか、お聞かせ願いたい。

中辻：

モデルのタイプは今回説明したような、水がどう動き、それが作物生産にどうつながっていくかといった、プロセスをつなげていく比較的、論理的に現象を押さえて積んでいくタイプがある。他に作物の成長曲線のある式で作って、それについて雨が降るとこの時期これがマイナスされるとか、ある時期の温度が高いと上向きになるとかという工夫をして、式が変わってくるような形に作る、という2つを今僕は考えている。どうして今回このように水でつなげていくモデルを話したかということ、このほうが理論的な裏付けがきちっとできていると思ったから。例えば CGR のような曲線がある要因できゅっと変わるといようなものは、現場でデータを押さえればできるが、その裏にどういうことが起きているのかということとは明らかにならない。好みの問題かもしれないが、僕としては、今回話したような積み上げ型の方が好きだと言う事。

志賀：

例えば、群落の光合成有効放射量の吸収量を日数積算していくというものでも、それはそれで理論的積み上げモデルだと思う。結局、容水量というのは変換係数という形で書かれているが、非常にマクロに見ると係数なのかもしれないが、実は色々な条件で相当大きく変わる。このようなものは、モデル化として早道なのかどうか。

中辻：

今志賀さんが言ったような乾物生産式を日射だとか光合成の方から引っ張ってくるという方法は、昔から草地試の山地支場におられた方々がやられていて、草地学会報に10報から12報書かれている。あれは、土壌水分の影響をなかなか組み込みづらいモデル。水を吸えばそれが地上部に効いて、土の中の水が減ってそれがまた乾物生産に効いてくるという形にするには、光合成のやつで行くのはちょっと難しいと思う。どうしても水に目が行くのでこういうモデルのほうがいいと思った。

波多野（北大）：

私は志賀さんの意見に賛成ですし、中辻さんの言われ

たモデルを作って、冷害対策をしようと考えてるのであれば、温度の影響を絶対入れなければいけないと思う。温度の影響はどこに入るかというところと光合成に入る。簡単に考えれば、光合成はだいたい20~30℃ぐらいに適温があり、それ以下になると低下し、それより高くなると煮えてしまってだめになる。ようするに煮えないように水を吸って蒸散しているのだから、それが干ばつ時の影響であるし、冷たすぎて酵素活性がうまくいという時もある。その気象条件に対応するモデルを作ろうというのであるから、我々はもう少し光合成の影響のことを考えなければいけないのではないのかと思っている。その点に付いて平沢先生に補足していただきたい。

座長 (菊地):

平沢先生、作物的サイドからアドバイス何かあれば。

中辻:

光合成のところに温度の影響を入れる、それでどこに入れるかというところ、それは容水量のところに入ってこないか。だから容水量というは、その状況によっては数字が違ってきたりして難しい。容水量というのは色々なものをごっちゃまぜにした数字ではないか。容水量のところ、光合成が入っていると思うが。

波多野:

それは当然入ってる。しかしそれならば温度がいくつで日射量がいくつの時の容水量を全部計らないといけないことにならないか。

中辻:

そうだ。

波多野:

光合成の学理をもう少し追及すれば、なぜ蒸散をしているのか、なぜ適温が存在するのか、なぜ気象条件に適応した作物が熱帯から温帯に分布しているのかということ、これを理解できる。昨年佐久間先生が土地利用のことで話していただいたFAOのモデルなどは、そこが初めの基礎になって動いている。その結果として容水量が出てくるのであり、自分達の調べた容水量がこれぐらいであるということ、我々の環境条件はこれぐらいであるということ、これを逆に認識できると思う。今日の話しのなかで作物、いわゆる畑の方の話で温度に関するところがどうもちょっと抜けている。水田は温度でいく。畑は水で、その水は爆発的に効いている。このことは事実だと思うが、初めに温度がどこに効いて、それに土壌の水分が何をしているのかということだと思う。モデルを作るということは、そういう整理が必要ではないか。

長谷川 (農環研):

去年もモデルがどうこうという議論があった。ここで

中辻さんはまず2つのことを最初考えなさいと。根圏と水の流れ。まず2つを明らかにしようということなのだが、根圏の中にあるためには水の動きを知らなければいけない。根圏の吸水項のことになると思うが、それも少し単純化しないとこういうモデルはなかなか適用できないと思う。それともう一つ水の移動だが、根圏に入る水というのは、pFでいうと2.0から2.3で考えれば良い。私もクロボクで計っているが、夏の最盛期は根群の深さが80cmとすると、そこに毎日1mmぐらいの水が上がってくる。こういうことは押さえる必要がある。それから根圏内で直接吸水するときの不飽和透水係数というのは、萎れまで、pF4.2までであるのか分からないが、僕はもう無視して良い、透水係数がネックになることはないと思う。もう1つ根圏からの水分吸水で水分消費型というものがある。それをどこまで考えるかによって水分消費型も変わると思う。5tの収量を取りたいなら、そんなに乾かすことはできないから、一般的に言われている4:3:2:1でいくというはある。異常気象ということを考えて複雑になるので自分の設定する条件を単純化して考えるのが良いと思う。

中野 (東大):

大変良い suggestion がたくさん出た。私は質問でも何でもなく、コメントを申し上げたいと思う。私の印象だとこの講演で得たことは大変ごもっともなことばかり、論理的に筋道の建方も大変クリアーで良い方向を向いていると思う。温度の点、光合成速度、根と土壌の接点のことなど色々あったが、それは中辻さんの明快でクリアーな頭でスパッと整理して、大いにこの方向で進めてほしい。早いうちに一つの試案を作って下さることを期待している。

松原 (北見農試):

中辻さんに。去年の低温、今年の干ばつとか一喜一憂する前に、根本的なところを押さえれば良いということ、今日の話しをされたが、私としてはやはり異常気象下の作物成育と土壌物理という今日のテーマに沿って、あの地域の草地が去年あるいは今年のような異常気象下になどどのような状態だったか、そのような情報が欲しい。

中辻:

去年は、名寄以北の天北地方は寒かったけど雨が比較的少なかった。寒さに対する牧草の成育を考えると、思ったほどシビアに影響を受けない感じ。水稲でのそのような状態にはならなかった。それはやはり、牧草の成育の下限温度がかなり低いこと、稲科草だと5℃位、によると思う。ただアルファルファは温度反応性が非常に高い牧草で、温度の影響を受けて平年よりも少ない。今年は今のところ雨が少ない。天北地方で言われているよ

うに、多くのデータが示すように、やはり雨が少なくと
牧草の収量が少ないというのは、観面にみられている。

座長（菊地）：

それでは赤司さんの方へ移りたい。

成田（中央農試）：

硝酸体窒素と発病との関係はきれいにデータに示され
ていたが、最後のほうの土性と発病との関係について。
砂質土壌では硝酸体窒素が流れやすく、低濃度になる
から発病するとのこと。土壌の物理性との関連で見ると
Aphanomyces の遊走子塊は50ミクロンぐらいあるが、
砂質土壌だと等量直径が100ミクロン以上ぐらいで容易
に遊走子が移動し、感染して発病する。一方、粘質土壌
では等量直径が10ミクロン以下で、遊走子の塊を作る
こともできない。砂質土壌で発病しやすいということに
は、こういう物理的な面もあると思う。

赤司：

その通りと思うが、遊走子が物理的に動きやすいた
めには、土壌中にある程度間隙がないとだめだ。確かに砂
質土壌では間隙が大きいから遊走子が移動しやすいと思
う。話しは飛ぶが、安積さんの話とかなり整合性があると、
今日聞いて分かった。今日私が話したハウレン草の
根腐れ病の病原菌、*Aphanomyces cochlioides* というの
は、てん菜の湿害の原因となる。苗立枯れ病とか黒根病
の原因となる。私は北見農試で今年36年を迎える輪作
試験をやっている。そこの連作圃場では、てん菜では6
月の雨は負に働く。その原因として *Aphanomyces*
cochlioides に結論付けることができると思う。そうする
と安積さんの話だと、湿害の時、去年の場合にはグライ
土壌あるいは灰色低地土で湿害が多かった。その1つの
原因は病原菌を共通とする、てん菜の苗立枯れ病、黒根
病の影響があったのではないか。だから私は安積さんの
仕事を見て、私の仕事とかなり整合性があると。私は湿
害のブラックボックスをある程度明らかにしたが、全体
的、地域的なものを鳥瞰的に明らかにし、ミクロの解
析と立体的な解析が同時に進んでいけば、病気の出やす
い圃場のマッピング等が可能になるのでは。土壌の物理
性と病害の発生とが非常に関連あるということで今日は
意を強くした。

座長（菊地）：

他にどなたか。

佐久間（北大）：

後の方で言われた温度処理について、具体的に。

赤司：

地中深10cmの温度が40℃あれば、40℃というのは

ハウレン草の病原菌を殺すのに有効な地温という定義だ
が、40℃得られれば病原菌は死ぬということ。

佐久間：

下層の方に残っているものがあつた。高畝にして温度
処理してやるとか、少し水分を落としてから温度処理す
るとか、そのようなことでかなり下層の方のやつも相当
殺することができることにならないか。

赤司：

先生の言われるように少し高畝にして熱効率をよくす
るのが、全国的な太陽熱の公定処理法になっている。あ
るいは、平畝でやりその後不耕起でやるということも必
要だと思う。例えば根腐れ病の場合、遊走子の集まる場
所が子葉の胚軸の地表面に近いところだから、地表面の
温度を高め、地表面の病原菌密度を下げればある程度立
枯れ性の成育初期の病害は抑えることができる。それか
らハウレン草の場合成育期間が短いから、ある程度成
育の初期に病原菌の感染を抑えれば後は逃げきりだ。エ
スケープ可能で、ある程度の収穫は可能であると考え

石渡（北海道開発局）：

湿害はほとんどが土壌病害なのか。それともてん菜の
場合だけなのか。

赤司：

今日、なぜハウレン草のことを喋ったかということ、一
つに私がハウレン草しかやっていないということと、ホ
ウレン草は軟弱小物であり、湿害に弱い。他の畑作だ
ったら結構水があっても病気による湿害があまりないこ
ともあり、作物によって湿害の原因がそれぞれ違うと思
う。ところがこと軟弱な野菜に限っては、私は湿害はほ
んど病気であると思う。

石渡：

てん菜の湿害も病害か。

赤司：

てん菜の連輪作の仕事もやっているが、やはり6月に
雨が降ると、特に輪作区に比べて連作区の収量は落ち
る。それから成育も悪くなる。これは何かということ
で調べたところ、これはやはり石塚先生がもうだいふ前に
言われた通り *Aphanomyces* による苗立ち枯れかある
いは黒根病の影響があると思う。だから作物によりそれ
ぞれ違うと思う。それから豆科の場合、これは連輪作の
北見農試の連輪作に限っての話だが、大豆は雨が降って
も落ちない。むしろ気温の影響のほうが大きいようだ。
だから作物によってその湿害の中身というのはそれぞれ
違う。まず野菜のように走菌類によってやられやすい物
というのは、ほとんどが湿害の中身は病害ではないか。
今日、後ろの方に病理の専門の方もいるので、補足をお
願いたい。

座長 (菊地) :

失礼ですが高桑さん、何かコメントなり感想なり、今の赤司さんの事に関して。

高桑 :

今日の赤司さんの話、非常にクリアで、はっきりと分かり良かった。それからビートの湿害との関係は、低温多雨の年にやはり黒根が出て最初の生育が悪くなる。それが後半まで引きずる。後半になって雨が多いと、収穫物が全部黒根になってしまう。去年の場合、あまりそれで騒がれなかった。秋の天気割と良かったのかもしれない。それで安積さんに、関連あることを伺いたい。地帯的に、あのようなクリアな収量の状況は分かったが、昨日作物学会に行って聞いたら、去年の大冷害でも青森で41俵とった人がいる。その一人の人だけがそれだけの物をとっていたという。それをよく調べてみると、基本技術をよく守っている。特に土づくりで有機物を入れた土壌管理をやっていて、作物の生育が良くて収量が良かった。あのような大きい地帯的な状況の中で、ひどい条件の中でも土づくりが良くて収量が割にあった圃場が無いのか。あるいはランドサットの解析の中からとれるのか疑問。ビート畑の地上データは沢山あると思うが、その辺のことも含めて解析していただくと良いと思った。

座長 (菊地) :

どうも突然で。それでは今、安積さんの話がでたので、高桑さんのことに関して何か意見があったら。

安積 :

今回の解析はあくまでも広域的な比較ということでやっているの、個々の農家の技術的な問題というのはいささかあまり反映してないと思う。大体95%の話をしており、かなり飛び離れた点という形で出てきてしまうと思う。ただし、ランドサット自体は非常に解像度が高いので、地域を限定して現場での地上データと比較しながら行うとか、その様な事をしていけばそれなりに地域的な微地形、農家個々の傾向というのは見えないわけではないと考えられる。例えば防風林の周辺で収量が多いなどの報告もリモートセンシングを使った事例で幾つもある。このような対応で出来無くはないかと思う。

広田 (北農試) :

初歩的な質問。作物のシーズンの中に、去年だったらおそらく2回しかリモセンデータが使えなかったと思うが、普通何回ぐらいのデータが取れるものなのか。

安積 :

ランドサットは16日に一回飛んでくる。その時に暗れてないとダメ。だから、北海道の道央部だと毎年5月

の下旬から6月の下旬にかけては少なくとも1回位は撮れている。その他に夏から秋にかけて調子の良い年は1回くらい撮れるという状況。北海道だと作物の生育期間中に2回が多い方ではないか。

広田 :

冷害の年だから少ないというわけではないのか。

安積 :

ただし、今回帯広の真上を飛んでる軌道のシーンは1回も撮れてない。ちょっとずれていて旭川の方とか空知の方をカバーしてるシーンに、偶然十勝も半分入っていたので何とか利用できたといった状況。

広田 :

そうするとビートだったら生育初期でかなり収量が分かるという話だが、1回撮って何らかの気象要素と組み合わせれば何とかいけるという話になるが、他の作物の場合もそういう整理はされているか。

安積 :

現在までに中央農試の方で水稲と麦で収量の推定の検討を行っている。麦の場合は大体5月から6月のデータが取れる時期について、圃場の分光反射値からその年の夏の収量との関係は大体得られている。これは現在4年ないし5年程度について検討が行われてるが、いずれも同じ様な傾向を示しているの、麦は大体5月末から6月にかけてのシーンで推定が可能である。水稲の場合は、大体9月の収穫期前位のシーンがあればほぼ収量の推定は出来るといったような状況。

中野 (東大) :

リモセンの将来への利用は、世界的に関心が高く、色々な方向で使っていこうと研究してる。今日の課題との関係で、私は冷害対策を考えたい。このようなビートの冷湿害の解析に際し、はっと気がついたのは、こういう衛星写真から得られる地上情報を巧く使って、冷湿害の予測が出来るのではということ。普通物理的な発想をすると、現状分析から始まり、最終的には未来への予想というところに進んでいく。その可能性がこの衛星による地上情報から得られると考えられる。通常の天気予報官の仕事だと、地上情報が雲、圧力、温度、風の情報などを使うが、私共の研究の中ではその他の地上情報が諸々入ってくる。ただ収量予測と冷湿害発生予測とは全く質が違うと思う。で、今私が問題にしてるのは冷湿害の発生予測。これは、時期的にいつ頃予測が出されるのか。その確率はどの位のものなのか。そういう方向で既に考えあるいは実行されているなら、簡単に紹介頂きたい。

安積 :

大変難しい話。現在のところ人工衛星のデータは、先

程述べた様に非常に取得が不規則。だから現地の調査の様に、調査したいという日にデータが取得されるわけではない。そのような状況で、その年の衛星データからその年の冷湿害の程度を予測するというところまでは、まだ具体的には到達できないと思う。例えばランドサットだと、85年以来ほぼ10年間に渡ってデータが蓄積されているので、気象経過との関連で押さえていくことで危険地域をあらかじめチェックしておくという事は出来ると思う。今後人工衛星の種類が増え、定期的、安定的にデータが供給されれば、そのようなこと可能になると思う。ちなみにランドサットデータは、受信後最低でも2週間経たないと提供されない。それで解析にやはり2週間位。よって、結果が出るのには1カ月弱、という状況。

中野：

1ヶ月もかかるのか。もしデータ数が増え、解析までの時間が短縮できればどうか。

安積：

今後提供されるような衛星の中には、数日に一度のペースで観測が可能だとかいうのも予定に挙がっている。また、データの提供についても、今後はほぼリアルタイムで提供が可能になる。非常に速やかに解析が進めば、その結果を受けて、この辺は今状況が悪いとか、そういう診断結果を提供していくことは可能ではないか。

菊地：

同じ質問に志賀さんのコメントをいただきたい。

志賀（中央農試）：

ちょっと補足したい。今のは、ランドサットを使う上での問題点だが、ここ半年くらい、例えばロッキード社とかがホクレンなんかに売り込みきてるような衛星がある。それはスパイ衛星技術を使ったもの。大体3m位の地上分解能で、海を外して見たいエリアだけ、契約したエリアだけ斜めに撮るといった機能がある。これだと1つの衛星で3日に一回位観測が出来る。2つ上げれば1.5日に1回出来る。ただ年間契約だから多額のお金がかかる。技術的にはこのようなものができ、これを使えばある程度安定した、光学センサーの限界はもちろんあるが、例えば植生指数が今年は何月現在どの位で、このままいけばどうなるということが、水稻の初期生育とか、甜菜、主要な作物についてかなり出来る様になると思う。研究レベルでは、現存の衛星でノウハウを蓄積して、そのような物が出てきた時に対応できるようにと、農業団体にもアドバイスができるように進めていきたいと考えている。

座長（菊地）：

堀口先生何かアドバイス頂ければ。

堀口：

今の事が全て。私もランドサット、ノア、ひまわり、色々な衛星を使っている。今、話があったようにランドサットは大体作物の生育期間に2つくらい。ノアだと約10くらい。ひまわりだと100なんぼ。ただ解像度がひまわりとかノアというのは悪い。私の持論として、あまりデータが取れないものは地上の動かない物の解析に向く。例えば土地利用とか。今、十勝地方の伏流水の調査にランドサットを使っている。先のスパイ衛星のように同一地点を観測する周期が短い物だとある程度地上の動く物、生育とか解析できると思う。だから状態により使い分けていく必要があると思う。

佐久間（北大）：

今日は、地温にこだわってる。リモートセンシングの技術を使って地表面温度あるいは作土層の温度を、どの程度の精度で把握できるか。

堀口：

これは難しい。分解能は、ノアで0.1℃、ひまわりで0.5℃。地表面温度を計算すると、それが果たして地上の真の温度かということそれは分からない。苫小牧の演習林で、地上で測ったデータとノアで測ったデータとを合わせたことがある。大体は合っていた。1℃も違わなかった。変換式を巧く使えば。だから割に合うと思う。ただ、衛星から見る地表面温度は、ほんの地表の薄い層、土壌のほんの薄い層。それが面積的に広いから、その平均状態というのが出る。色々な変換式を使っても、あるバイアスがついている場合はあるが、大体比例するというのが一般的。その変換式をどう使うのかが問題。

座長（菊地）：

今回は皆さんから色々な意見を出してもらい、皆さんで考えていただく。そして明日からの物理研究に役立てていただく。特に最初に話ししたように土壌物理というのは他の要因と気象状況をつなぐ大きな役目を果たしている。結局、色々肥料をやっても、水や温度などとの兼ね合いで十分発揮できない場合、土壌物理の人方がちゃんとやってもらわにゃ困る。僕は土壌の物理性の巻頭言に、去年のような異常気象でもやはり土壌物理の人達がちゃんとしていけば、かなりの部分で冷害は防げたと言った。今もそう思っている。そのような面で大変勉強させて頂いた。最後に、今日遠くから参加された方に何か言ってもらいたい。最初に宮崎先生から。

宮崎（東大）：

私が今日のシンポジウムの議論を全体を通して学びと

ろうと思っていたことがある。それは次に冷害が来たときに土壌物理はどの位役割を果たせるだろうか、お役に立てるだろうかということ。そのような目で色々な発表、議論を聞いて、参加させてもらった。その意味では幾つかの具体的な技術的寄与を講演の中からずいぶん学ぶ事が出来た。また、討議の中でも幾つか関連する事項を聞くことができた。私自身がどうこうという事ではなく、土壌物理の分野で寄与できる事、次の収量に統計のデータになって現れる様な寄与はちょっと、とてもとてもという気がするが、何らかの前進は出来るという感じがした。モデルの進展にしても、個別の現象を押さえるという点についても。ただ、そういう事を押さえた上で、しかし土壌物理が次の冷害あるいは次の干ばつ、次の異常気象に対して出来る力量というのは、非常にまだ弱々しいというか不十分であるということは、自分自身も分野の人間として含めて反省せざるをえない気持ちがいっぱい。どうしたらそのような力量を高めることが出来るだろうか、という点について本当はさらに議論が必要だった気がする。次回あるいは次々回という事で積み重ねていけば何らかの進展があるのではないか思われた。

座長 (菊地) :

後、山形大に行かれた粕淵さん。道立の若い人を何人が育ててくれた。でも未完成であって、これからもう少しと面倒見ていかないと。後あんまり付き合いが少なくなると思うので。

粕淵 (山形大) :

質問1個もしないで申し訳なかったと思う。聞きながら、もっと僕がしっかり仕事しなければと改めて思っているところ。最後に中辻さんが言われたように、やはり物理屋だけでなく、生理をやっている方、あるいは土をやっている人達などか、本当に共同してやっていける様な状態を早く作らないといけないと思う。病院に入ると分かるが、心電図、血圧、体温、とにかく全部が同時にモニタしながらチェックするという状態であるわけ。植物も生きてるわけで、最後には物を作っていく。その最後の形になるまでに、どういう光が来ていて、温度状態がどうなっていて、根が何処まで伸びていて、どれだけ水を吸って、あるいはその時の植物体の温度は何度になっていたのかという事を、それこそ時々刻々捉え、評価できるという状態が無いと結局分からない。分

からない事はないが、本当に最終的なところまではなかなか詰められないことがあるような気がする。でも、もうそのような事がやれる時期に来てると私は思う。だから、どうやって早くそれに到達できるか。技術的な問題はかなりもう解決されてきていると思う。まあ、お金が無い事は原因の一つになっているが。出来るだけそういう事に早く近づけるような、技術的な面ももちろんまだ色々残ってると思うが、やって行かなければならないと思う。これから土壌物理を、僕なんかほんの少ししかやっていないが、出来るだけそういうところに近づけるように努力していきなさいと思った。

座長 (菊地) :

どうも。

座長 (伊藤) :

座長ということで座ったが、弁当を頂いただけで、なにも喋っていない。一樣最後の一言だけ。私の感想だが、今日の講演の中であるいは後の討論の中で、個人的に一番面白かったのは、平沢先生の意見。根へ投資しておくことは異常気象の克服の鍵だと言葉の外の方で言ったように思う。これは実は土壌物理にとって、大変魅力的な提案であろう。その割には質問の方々の評判はさほど良くなかった様にも思う。それは土壌物理の言葉としては了解されてないからではないか。例えば、別の見方という意見があったが、地温が下がるとか、通気が減るとか、根粒活性にも影響するであろうとか、あるいは溶脱も起こるかもしれないとか、色々他のメカニズムも考えられるから、今すぐそれに全部乗ってしまうのはどうかという気分も、実は私個人としてはしていた。ただ、大変魅力的でもあるし、今、粕淵先生が言われた様に色々な分野が共同して、きっちりした見解が表明できるような方向に進むという事が今日の異常気象、自然災害と土壌物理という言葉と作物生産とのつながりにあるのではないかという感想を持った。この言葉で私の弁当に対する領収書にしたい。

座長 (菊地) :

どうも皆さん長い間有り難うございました。これで今日のシンポジウム終わりたいと思います。

土 壌 侵 食 雑 感

石 塚 喜 明

本紙 71 号に佐久間会長を始めとし土壌物理の専攻の方々の土壌侵食論に興味深く読ませていただきました。それと同時に急に 70 年前の学生の頃を思い出し時の流れの早いのを感じました。

それは皆さんが侵食という文字を使っておられる事があります。もちろんこれは自然科学の知識に乏しい人々が制限漢字とか言って、象形文字の本質から離れ、発音合わせをしたためだと思いますが、偶然本質をついている点もあるような気がしたからであります。それは自然現象の浸蝕が、何時の間にか人為現象としての侵食にかわっていることでケガの功名と言うか真に面白い現象を示していることであります。

私の子供の頃、大正の初期は考古学の発展の時でもありました。子供心にも不思議でならなかったのは、昔の文明の跡は必ず地中から出ることでありました。旧石器時代の様に古いものばかりでなく、ごく近い奥羽藤原三代の居住跡も地中から出てくることでありました。この土は一体どこから来たのかという疑問がありました。火山灰がその時期に多量に降ることもないし、ゴビの沙漠（これも近ごろは砂漠と書いていますが、砂ではなく水が少ない方が正しいと思います）から飛んで来たのでは量的におかしいし、なんとも不思議に思いました。

これに対する学校の先生の説明は、我々は地質時代の区分では沖積期に生活していると言うのでありました。この時期は水の力により山が崩れ地球が平準化する時代である。惑星では稀な水を持つ地球の宿命である。これ故に古代文明は川の近くで起こり、沖積地を中心として農業が成立したのであると教えていただいた。

しかし自然界にはルシャテリアの法則があり、自然の平準化に対してはそれを防ぐ力が同時に進行するものである。それは植物であり、特に樹木、即ち森林である。山紫水明の国土であると教えられ治山治水の必要性を強く教えられたものである。

しかし幸か不幸か人類は火を使うことを覚え、これにより一大文明の発展を遂げたが、同時にその運命を決定付けた最も簡単な熱源は樹木である。これに真っ先に飛びついたのは文明国では英国であり、木を切りそれを消

費しつくすと、木の化石であるニューカッスル石炭を掘りまくり、環境汚染の先進国となった。

ついでこの現象は米国に移り、メイフラワー号で清教徒が米国東海岸に到着した時は、米大陸は森林で覆われ、東海岸で木に登ったリスは地上に降りることなしにシカゴに到着できたと言われています。清教徒はそこで先ず木を切り、インディアンに教えを受けてトモロコシを植え、その切った木は灰にしてカリ肥料として欧州に送り、当座の生活に最小限必要な物を買ひ、かくして西へ西へと進み、今日の農業国の基礎を作ったと言われています。

その結果として西部の大地は乾燥し、風が吹けばダストボールが発生、雨が降れば表土は流亡し、見逃す事のできない事態になってきました。約 45 年前程、私がアリゾナの沙漠を汽車で通った時、一天にわかにかき曇り、しのつく雨が降ってきて汽車が立ち往生したことがあります。見る見る内に数條の黄色い水の流れができ、表土が流されてしまうのを見てその偉力に舌を巻いた程でした。

このままでは、米国の農業は大変なことになると言うので土壌保全局を作り、強力な指導力を發揮して防風林を育成、ダストボールの発生を防ぎ、牧草やカバークロップを植えて裸地を最小限にし、上下耕を等高線耕に変え、いわゆるドライファーマーミングシステムを創案し、森林を育成保護し、今日の米国農業を復活させたことは歴史に新しいところであります。

こう見てくると、沖積期の宿命としての浸蝕と、これに人工が関わったいわゆる加速的侵食は厳密に区分して、今後の農耕地の開拓と保全対策を建てる必要があります。これを混同すると再び対策を誤るのではないかと思います。今後、土壌物理学の専攻の方々がエロージョンを研究する場合は、浸蝕を論じるのか、侵食を論じるのかをある程度明確にいただいた方が、農業の立場からは望ましい様に思いますがいかがでしょうか。

(受稿年月日 1995 年 4 月 25 日)

HOKKAIDO・田園の旅ガイド オホーツク大地を歩く —網走・北見・紋別地方—

網走ニューカントリー 21 研究会 編
北海タイムス社・109 頁・平成 4 年 1,000 円

わが国の歴史において、農村景観や自然環境について、現在ほど関心が持たれたことはないであろう。国民の価値観の変化を背景として、主として都市住民に自然や農村の有する多面的機能・役割への期待がみられる。一方、農村地域においては、地域活性化を目的として、農村景観をはじめとした地域資源の活用方策を探る動きが活発になってきている。わが国の社会と地域の維持・持続のため、これら双方の期待のクロスする所に、都市と農村の手段としての交流、目的としての共生がある。

しかし、西欧に比し、意識・実態ともに生産に特化している農村空間を国民共有の財産として維持・持続していくには多くの努力を要する。この理論的枠組みとしては、農村空間の社会的共通資本としての位置づけ・整備が検討されている。しかし、一方、実際的には国民的合意の基礎となる農村の理解・交流の方策が手探りの状況にあるといえよう。都市住民の農村へのアプローチを例にとっても、農村景観資源の所在の多くは不明であろうし、農業・農村の持つ業の理を解く機会さえ多く有していないのが実態であろう。もちろん、このような取り組みは、都市側の単なる片思いではなく、地域自らの判断による内発的取り組みを基礎に展開されることが望まれよう。

このような中で、本書は、北海道の農地・農村の持つ固有で豊富な資源性とそれらへの期待に注目し、農村景観、食、遊び等に関する情報を豊富な美しい写真と地図を交えて提供している。

本書は 5 部から構成されている。すなわち、「大地を歩く前に」「大地を見渡す」「大地を食らう」「大地と遊ぶ」と「26 市町村別ガイド」である。

一言でいえば、従来型の名所・旧跡の観光というより、名もない（失礼）農地・農村との全人格的交流ガイドブックである。

北海道の観光地の多くにすでに価値・評価を与えられた農村地域が含まれているが、明確な意思を持って（そうとしか考えられない）平凡な農地・農村に焦点をあてたものは、少なくとも北海道においては類書をみない。

さて、本書のフィールドであるオホーツクの農地・農村を農業土木・土壌物理的視点から眺めると、数多くの

成果が見いだされる。重粘土の改良をはじめ、軽しような火山灰地土での春から初夏にかけての風害・風食害に対応する畑地灌漑、防風林と客土、さらには寒冷地特有の土壌の凍結・融解現象に助長される土壌流亡に対応する上層改良と圃場の傾斜修正、また近年では畑地灌漑をより有効にするための圃場灌水技術の確立などである。

すなわち、土壌物理研究の進捗とその成果に支援された各種事業と、農業者による営農の持続とが、農地と自然を調和させオホーツクの風土を形成した。そして、それがなじみ深い農村景観、大地の恵みである健全な食、多種・多様な活用の可能性を秘めた農村空間を提供しているのである。

本書を片手にゆとりを持って、これらの農地・農村をめぐる時、調査・研究の際の農地めぐりとは異なる新たな発見をするだろう。それは単に調査・研究と農村を享受するという立場の差異のみではなく、ミクロからマクロへ科学の分野を越え、すなわち土壌物理から景観生態学的認識への橋渡しの可能性を示唆するものでもあろう。

編集・協力は地域の「網走ニューカントリー 21 研究会」、学際的なグループの「北海道農村環境研究会（代表北大農学部教授 梅田安治）」であり、いずれも農地・農村への深い思い入れを持ち、研究・実践に取り組んでいる人たちである。それだけに、都市と農村との真の交流、共生方策の哲学が垣間見られるのであろう。

欲をいえば、より充実したそれらの表現と農の理の説明を期待したいが、ガイドブックとしてのコンパクト性、視線の固定化の回避を考慮すれば致しかたないであろう。

本書は、オホーツク地域を対象としたものであるが、他地域においても続編が逐次刊行されることを期待する。

蛇足ではあるが、本書の版は世界的に有名なミシュラン版旅行ガイドを範としたとも思われ矜持の高さが伺え、実際面でも、たたずみながら片手でも見開き可能なのもうれい。

（財団法人北海道農業近代化コンサルタント 野本 健）

1. 第1回幹事会

日時：1995年3月7日

会場：東京農業大学総合研究所ゼミナール室

出席：穴瀬，平野，三原，東城，西村，倉持，成岡

議事：幹事役割分担について，会誌原稿取り扱い手順について，総会・シンポジウムについて，会計監査委嘱について，会長委嘱評議員について，第1回評議員会開催について

2. 第1回（1994年度・1995年度）評議員会

日時：1995年4月7日

会場：東京農業大学総合研究所大講義室

出席：評議員 矢沢，原，渡辺，石渡，佐久間，粕淵，古賀，岩田，岩間，加藤，宮崎

前事務局 柏木，倉持，波多野

事務局 穴瀬，足立，平野，三原，東城，西村，成岡

議事：1) 評議員・会長委嘱評議員・会計監査・事務局・編集委員会体制

2) 入会者および現会員数について

3) 1994年度・1995年度事業について

4) 1994年度・1995年度会計について

5) その他

・編集委員会報告

・シンポジウム開催準備状況

・研究会名称および事務局の所在地について

・会誌発送について

・国際会議・他学会研究会との連絡について

・業者広告について

・会員拡大について

3. 第1回編集委員会

日時：1995年4月7日

会場：東京農業大学総合研究所大講義室

出席：委員会 河野，駒村（中村代理），青木，安中
前委員会 波多野，柏木，倉持
事務局幹事 東城，西村，成岡

議事：第72号の原稿取り扱い状況について，編集委員会での原稿取り扱い手順について，現在投稿原稿について，次期編集委員会開催について

4. 第2回編集委員会

日時：1995年6月16日

会場：日本大学農獣医学部東京校舎農業工学科連絡室

出席：委員会 河野，青木，安中，加藤，軽部，中村（駒村代理）

幹事 東城，西村，平野，三原，成岡

議事：(1) 第72号発行について（編集状況，印刷フォーマット，印刷日程）

(2) 編集委員会の作業項目等（委員会の各種作業確認，閲読方法）

(3) 第73号の原稿（投稿状況，小特集について，閲読者について）

(4) 総会・シンポジウムについて

(5) その他（入会の促進，英文投稿の扱いについて，投稿規定の改訂について，投稿の促進について，次回委員会9月中旬開催予定）

5. 第1回総会/第37回シンポジウム

日時：1995（平成7）年10月3日（火）

会場：東京農工大学農学部講堂

シンポジウムテーマ

「乾燥・半乾燥地一現場における土と水一」

6. 会員の動向

(1) 会員数（1995.3現在）

正・学生会員 537

北海道 83

東北 47

関東 188

中部 44

近畿 42

中・四国 74

九州 57

海外 2

購読会員 62

賛助会員 8

合計 607

(2) 新入会員（1995.4.7現在）

吉迫 宏（正）

〒765 香川県善通寺市生野町2575 四国農試南雲不二男（学）

〒060 札幌市北区北10条西5丁目

北海道大学大学院地球環境科学研究科

県立滋賀大学（購）

（有）エム・シーエス（賛）

〒064 札幌市中央区南4条西10丁目1004-1

会費早期納入のお願い

今回の会誌発行にあたり，一般・学生会員の皆様には，会費送金用の郵便振替用紙を同封しました。本会の運営は会員の会費でまかなわれています。早期納入にご協力下さるようお願いいたします。（事務局会計幹事）

第2回アジア学術会議開催される

平成7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、新規に学術研究総合調査費などを計上した平成7年度予算及び2月に開催された第2回アジア学術会議の概要についてお知らせします。

平成7年度日本学術会議予算

平成7年度政府予算(案)は、平成6年12月25日に閣議決定されましたが、日本学術会議関係の予算決定額は、11億2,339万4千円でした。その概要については次のとおりです。

【主な経費の概要】

(1) 学術研究総合調査

15百万円(平成7年度新規)

科学研究者の研究環境の改善と研究意欲の向上に関して、国内において意識調査及び実情調査を行う

とともに、外国においても実情調査を行い、結果を整理・分析し、日本学術会議において問題解決のための有効な方策について提言するもの。

(2) アジア学術会議の開催

22百万円(昨年度同額)

アジア学術会議は、アジア地域の各国を代表する科学者が一堂に会し、アジア地域において学術の果たす役割、学術交流の在り方等について討議することにより、相互理解を深め信頼関係を築くとともに、アジア地域ひいては世界の学術の発展に資するため実施するもの。

平成7年度日本学術会議関係予算決定額表

(単位：千円)

事 項	予算決定額	備 考
日本学術会議の運営に必要な経費	1,123,394	対前年度比 93.5%
1 審 議 関 係 費	292,820	重要課題の特別検討, 移転準備委員会, IGBPシンポジウム, 公開講演会, 学術研究総合調査(新規)等
2 国際学術交流関係費	208,750	
(1) 国際分担金	69,505	
(2) 国際会議国内開催	66,211	7年度開催(神経生理学, 健康教育, ロボット, 憲法, 真空物理学, 獣医学の6会議) 8年度開催(理論・応用力学, 国際関係, 熱帯医学, 地域学会, 化学熱力学, 畜産学の6会議)
(3) 代表派遣	44,006	
(4) 二 国 間 交 流	6,823	
(5) アジア学術会議の開催	22,205	
3 会員推薦関係費	20,000	
4 その他の事務費等	601,824	一般事務処理費等

第2回アジア学術会議～科学者フォーラム～の概要について

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2月6日(月)から9日(木)までの4日間、三田共用会議所(東京都港区)において第2回アジア学術会議～科学者フォーラム～を開催しました。

会議には、中国、インド、インドネシア、日本、大

韓民国、マレーシア、フィリピン、シンガポール、タイ、ベトナムの10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20名が出席し(日本からは伊藤正男日本学術会議会長及び利谷信義副会長が出席)、「アジアにおける学術交流のための方策」をメインテーマとして活発な討議を行いました。

初日の6日には、タイのチュラボン王女殿下、イン

ドのメノン博士による特別講演が行われたほか、高岡総理府次長(内閣総理大臣あいさつ代読)、藤田学術院院長をはじめ、国会議員、関係学協会の方々約200名をお迎えし、開会式及び歓迎レセプションが開催されました。

翌7日からは、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、熱心な討議が行われました。

その結果は、次項議長サマリーとして取りまとめられ、9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。

議長サマリー (要約・仮訳)

第2回アジア学術会議～科学者フォーラム～

1995年2月6日～9日、東京

1. 第1回アジア学術会議(1993年11月、ACSC)の提案に基づき、第2回アジア学術会議が日本学術会議の主催により、アジアの10カ国から20名の科学者を集めて開催された。参加国として新たにベトナムが加わり、暖かく迎えられた。開会式において、タイ王国のチュラポン王女殿下及びインドのメノン博士による「アジアにおける学術交流のための方策」をテーマとした講演が行われた。また、村山総理大臣及び藤田学術院院長から祝辞が送られた。
2. 前回の議長サマリ－の諸原則を議論の出発点とし、最近の科学の動向、21世紀に向けた世界の状況を踏まえ、アジアの科学者の継続的かつ効率的な学術交流のためのテーマを巡って総合的な検討がなされた。
3. 討議の中で、参加者は、経験に基づくユニークで示唆に富むアイデアを紹介し、幅広い観点から意見を交換した。要点は次のとおりである。
 - (1) 科学分野における協力は、人々の「生活の質」の向上だけでなく、アジア地域における「持続可能な発展」も目的としなければならない。
 - (2) 環境破壊、人口爆発等の地球的課題への取組みに際し、人文・社会学者と自然科学者が密接に協力していくことが重要である。
 - (3) アジア地域においてとりわけ重要な「持続可能な発展」を確保し、国際的な共同研究を促進するために、人材育成が重要である。このための国際協力は、平等互惠の原則の下に推進されなければならない。
 - (4) 化学、農学、医学等の特定の分野において現在行われている、また、将来行われるであろういくつかの試み(「アジア化学推進機構」、「アジア応用システム分析研究所」、「アジア伝統医学推進機構」、「自然災害の緩和のための科学協力」)が地球的課題を解決するための方策として紹介された。また、「共生」という概念に関して議論があった。
4. 参加者はACSCにおける中長期的な研究目標として「持続可能な発展」を取り上げた。このテーマは、さらなる検討を通じて、より扱いやすいサブテーマへと細分化される必要がある。また、21世紀を見据えつつ、アジアの知の伝統を生かし、人文・社会科学及び自然科学の融合を図るという、新たな観点から研究を行っていくことも将来の目標である。
5. これらの問題を議論する場として、ACSCのあり方は大きな関心を集めた。

将来の展開としてACSCを恒久的な組織にすることの可能性についても議論があった。参加者は別紙に示された基本理念、目的及び活動に概ね同意し、各自、持ち帰って関係方面とさらに議論することとなった。
6. ACSCの目標を達成するため、参加者は努力を続けることに同意し、少なくとも新組織が確立するまでの間は日本学術会議によりACSCが毎年開催されること、また、将来的には日本以外でも開催されることが望まれた。なお、日本学術会議が新組織の事務局となり、また、各国は各々の窓口となる機関を決めるべきであるとされた。

新組織について

1. 基本理念

- a. アジア共通の課題について審議、建議する組織
- b. アジアの知の伝統を踏まえ、人文・社会・自然科学の融合を図る組織
- c. アジア域内各国各地域に広く開かれ、他の国際学術団体とも連携を図る組織

2. 目的

「持続可能な発展」と「生活の質」の向上を目指して国際学術協力を推進するため、人文・社会・自然各分野の科学者が国籍や専門を超えて意見、情報の交換を行う場となること。

3. 活動

- a. 科学者に関する提案とそのフォローアップ
- b. 学術情報の収集・解析・普及
- c. アジアの学術界の連携強化
- d. 進行中の研究活動の評価・調整
- e. 総会の開催、シンポジウム・ワークショップの支援

日学双書の刊行案内

日本学術会議主催公開講演会の記録をもとに編集された次の日学双書が刊行されました。

日学双書No.22 「草薙死の在り方」

〔定価〕 1,000円 (消費税込み、送料240円)

※問い合わせ先

(財)日本学術協力財団 (〒106 港区西麻布3-24-2
交通安全教育センタービル内 ☎03-3403-9788)

戦略研究と高度研究体制の構築を

平成7年5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、4月に開催された第121回日本学術会議総会の概要と総会第二日に行われた会長基調報告の内容に自由討議の議論を踏まえて修文した「我が国の学術体制を巡って」の一部を紹介します。

日本学術会議第121回総会報告

日本学術会議第121回総会は、平成7年4月19日から3日間にわたって開催されました。

総会初日の午前中は、①「阪神・淡路大震災調査特別委員会の設置」、②「国際農業工学会（Commission Internationale de Genie Rural : CIGR）への加入」の2件が提案され、いずれも賛成多数で可決されました。

阪神・淡路大震災調査特別委員会は、平成7年1月17日に発生した阪神・淡路大震災が、日本学術会議として緊急に対応すべき課題であるとの結論に達したので、3月27日の第843回運営審議会において新たな臨時（特別）委員会として設置され、総会で承認することとしたものです。審議事項は、阪神・淡路大震災が提起した問題点について、地震学、災害工学等自然科学分野のみならず、人文・社会科学分野を含め総合的に検討することとしています。

また、国際農業工学会への加入は、従来、日本学術会議が日本の科学者の代表機関として、国際学術連合ICSUを始めとする46の国際学術団体に分担金を支払って加入していますが、今回の新規加入の承認によ

り、その数が47となり、国際農業工学会に対応する国内委員会は、農業土木学研究連絡委員会となります。

総会2日目は、伊藤正男日本学術会議会長から、「日本学術会議の課題～高度研究体制を目指して～」と題した基調報告が行われ、会長が提起したさまざまな課題について、会員間の自由討議が繰り広げられました。

この報告は、昨年の第120回総会において第16期活動計画を定めてから既に半年を経過しており、この間の多彩な活動を通じて伊藤会長が考えてきた問題、特に、我が国の学術体制の問題を中心に適宜取捨選択したいいくつかの課題について、伊藤会長自身の見解を述べ、人文・社会科学分野から自然科学分野わたる幅広い会員各位の意見を聞き、会員に共通の基本認識を深めることを目的として行われたものです。

なお、伊藤会長が、基調報告の内容に、自由討議の議論を踏まえて修文した「我が国の学術体制を巡って」は、序文の他7項目から構成されていますが、そのうち2項目について紹介します。

我が国の学術体制を巡って（抄）

一戦略研究と高度研究体制一

日本学術会議会長 伊藤 正男

〈「戦略研究」とその意義〉

大学では知的興味に基づく基礎研究を、企業では実用上の重要性を持つ応用研究を、という古典的な役割分担はもはや成り立たなくなっている。最近英米両国で基礎研究と応用研究の間に設けられた「戦略研究」のカテゴリーは、工学、農学、医歯薬学系の研究室では意識しないまま基礎研究として行われてきたものを多く含み、また企業において「目的基礎研究」と呼ばれるカテゴリーとはほぼ対応している。研究者の知的興味と実用価値とは一般的にあって相反するが、そのいずれかに限定せず、両方の要素を両立させるカテゴリーである。研究費を受ける側にとっても、出す側にとっても受容しやすい論理を提供し、科学政策上甚だ有効

な整理概念である。（中略）

我が国においては、応用研究に優れる一方、基礎研究は一般に貧弱であり、我が国の応用研究はむしろ国外の基礎研究を基盤とすることが少なくなかった。この点は英国とはちょうど事情が逆であるが、解離した基礎研究と応用研究の間を埋める必要があるのは同様である。この解離の社会的背景にはやはり我が国独自のものがある。我が国の大学においては、研究の自由の主張と産学協同の弊害に対する危惧が強かった一方、企業の方では、我が国の大学の基礎研究にあまり大きな利用価値を見い出さなかったといっは言い過ぎであろうか。率直に言って、今日でも多くの企業家は、大学等で行われる基礎研究に利用価値を認めるのでは

なくて、基礎研究に対する精神的な共感ないし慈善（チャリティ）の気持ちから、人材供給のパイプをつなぐ目的のため、あるいは基礎研究只乗りの非難をかかわすために、これを支援する必要があると考えておられるように見受けられるといえれば誤解であろうか。企業等から大学への奨学寄付金が平成4年度501億円に及んだのはまことに喜ばしいことであるが、受託研究費が53億円に止まっているのは、依然として企業にそのような潜在意識のあることを示唆するように思えてならない。「戦略研究」の概念は、大学等でこれまで基礎研究として一括されてきたカテゴリーの中で、近い将来に応用される可能性を持つものに特別な照明を当て、その企業との近縁性を意識させる効果がある。また、会社等で使われる基礎研究費は、年間6千50億円にのぼるが、これは実際には大部分が「戦略研究」に向けられていると推測され、ここに大学等の研究者との協力の大きな素地が十分にあることが示唆される。（中略）

「脳の科学と心の問題」特別委員会が4月18日の連合部会で中間報告された問題を例にとると、脳がいかにか働いて心を生み出すのかの謎を解くことは、基礎科学の最終問題といってよいほど根源的な人間の知的興味である。140億といわれる膨大な数の神経細胞の働きがいかにかして一つの意識というまとまった働きに統合されるのかは、それ自体極めて深遠な基礎科学の問題である。しかし、脳の研究はその物質的なメカニズムの解明により、脳神経系の病気を根絶し、脳の老化を防ぐといった医療上の大きな「戦略性」を孕んでいる。また、将来脳の情報処理の仕組みが解明されれば、ニューロコンピュータのような新たな原理を持つ情報機械を生み出す工学上の「戦略性」も極めて大きい。さらに、心のレベルについても、育児や教育の参考になり、産業心理学を助け、災害時の特異な心理状態への適切な対処を示唆するなど、人文・社会科学の広い分野での「戦略性」がある。米国の研究者がいち早く議会で働きかけ、1990年に始まる脳の10年Decade of the Brainが決議され、ブッシュ大統領が行政機関に対して脳の研究への支援を要請したのも、これらの戦略性に着目してのことに他ならない。

このように、「戦略性」に注目して強力な研究支援を行うことは、基礎科学としての脳研究にとっても、助けになりこそすれ妨げになるとは思われぬ。一般的にも「戦略研究」への支援からその基盤である純粋基礎研究への波及効果が期待できるが、ただ、必ずしもそれが望めない分野も少なくない点は注意を要する。研究者の中には、「戦略研究」を重視すると純粋基礎研究が圧迫され、置き去りにされる恐れがあるとして警戒する向きも少なくない。基礎科学の源は人間本来の知的興味にあり、応用とは無縁のところから始まることは確かな事実である。このような知的興味に基づく基礎研究を重視し、支援することが知的な文化的社会にとって有意義であることはもちろんである。あるいは、レーザーの発見のように純粋基礎研究の成果が長い時間の間に周辺技術の進歩により大きな戦略価値を持つようになった事例は数多くあり、基礎研究に潜在

する戦略性を予見することの困難さも指摘される。最近漸く基礎研究への理解を深めてきた我が国の社会に「戦略研究」の概念を持ち込んで、逆効果を招くことは私の本意ではない。私が強調したいのは、我が国においては本来基礎研究が弱体であったのに加えて、「戦略研究」もまた明確に意識されず、大学と企業の間が空白のままに置かれてきたことである。この空白を埋めるために、基本的なコンセプトにまで遡って大学と企業との関係を再構築することの必要性である。

〈我が国に「高度研究体制」を〉

歴史的な変化の時に当たり、学術の格段の推進が待望される今日、世界と我が国の学術体制にまつわる多くの問題を指摘した。我々は、多くの現実的な制約の下、先行きの不透明さに悩みながらも、次の世紀に向けての見通しを明らかにしようと努力しているが、ここにおいて、特に研究者の立場からの発想を基に「高度研究体制」とも呼ぶべき我が国の将来の学術体制を構想することが重要と考える。

この体制を実施するためには、まずともかく大きな研究資金が必要である。ゆっくりながら堅実に改善を図っていく我が国得意のグレードアップ方式では、この競争的な世界の中で生き残ることは難しい。すでにすっかり体制を整え直し、急速に進みだした世界の進度に遅れないようにするだけでも容易ではない。激しい先取権争いから脱落すれば、すぐ遠く置き去りにされてしまう。これまでのように、他国が多額の犠牲を払って開拓した路を安全に辿っていくことはもはやできない。誰にとっても始めてのフロンティアで、世界と互角に公正に競争していかなければならない。これまでのように、最小の投資で最大の効果を挙げることは望むべくもない。最大の効果は最大の投資をするものにしか保証されない。（中略）

このような「高度研究体制」は、前期において日本学術会議が提案した国際貢献のための新システムの構想を包含し、昨年9月我々が採択した第16期活動計画の精神を凝縮して現するものである。恐らくは我が国の研究者の多くが抱えている強い願望の表現であるが、ただの願望ではなく、このようなものがなければ、我々研究者の未来はありえないという厳しく強い要請を含んだものである。研究者本来の自由で創造的な学問的興味を追求しながら、国や社会の強力な要請に応え、深刻な地球規模問題の解決に尽力することを可能にするためには、なくてはならない体制である。

戦後50年間、嘗々として築いてきた我が国の学術の現状が、このような要請にどのようにに接近し、あるいはどのようににまだ遠いのか、今こそ冷徹に分析すべき時である。日本学術会議の審議の中から、この「高度研究体制」のあるべき姿をより具体的に現せば、それは今日我が国の学術体制の現状を映し出し、それがいかに高度とはいいがたい状態にあり、むしろ至る所に危機的な状況が伏在していることを示すだろう。そして今後、我々が努力を結集すべき明確な目標を与えてくれるであろう。

（全文は、日本学術会議月報平成7年5月号参照）

土 壤 物 理 研 究 会

会長・副会長・評議員・会計監査・幹事

(1995年度～1996年度)

事 務 局

会 長	穴 瀬 真	(東京農業大学農学部総合研究所)
副 会 長	足 立 忠 司	(岡山大学環境理工学部環境管理工学科)
会 計 幹 事	平 野 繁	(東京農業大学農学部農学科)
	三 原 真智人	(東京農業大学農学部農業工学科)
編 集 幹 事	東 城 清 秀	(東京農工大学農学部環境・資源学科)
	西 村 拓	(東京大学農学部農業工学科)
庶 務 幹 事	成 岡 市	(東京農業大学農学部総合研究所)

会 計 監 査

	藍 房 和	(東京農業大学農学部農業工学科)
	安 富 六 郎	(東京農工大学)

編 集 委 員 会

委 員 長	河 野 英 一	(日本大学農獣医学部農業工学科)
委 員	青 木 正 雄	(日本大学農獣医学部農業工学科)
	安 中 武 幸	(農業工学研究所水田整備研究室)
	加 藤 誠	(東京農工大学農学部環境・資源学科)
	軽 部 重太郎	(茨城大学農学部農業工学科)
	駒 村 正 治	(東京農業大学農学部農業工学科)
	竹 迫 紘	(明治大学農学部農芸化学科)

評 議 員

会 長 委 嘱	原 道 宏	(岩手大学農学部農業生産環境工学科)
	矢 沢 正 士	(北海道大学農学部農林地情報研究室)
	渡 辺 兼 五	(東京農工大学農学部環境・資源学科)
北 海 道	石 渡 輝 夫	(北海道開発局開発土木研究所)
	佐久間 敏 雄	(北海道大学名誉教授)
東 北	柏 淵 辰 昭	(山形大学農学部生物環境学科)
	古 賀 潔	(岩手大学農学部農業生産環境工学科)
	藤 井 克 己	(岩手大学農学部農業生産環境工学科)
関 東	岩 田 進 午	(茨城大学農学部農業工学科)
	岩 間 秀 矩	(農業環境技術研究所土壤保全研究室)
	加 藤 英 孝	(農業環境技術研究所土壤物理研究室)
	久保田 徹	(農業環境技術研究所)
	宮 崎 毅	(東京大学農学部農業工学科)
中 部	溝 口 勝	(三重大学生物資源学部)
近 畿	斉 藤 万之助	(京都産業大学国土利用開発研究所)
中国・四国	赤 江 剛 夫	(岡山大学農学部総合農業科学科)
	三 野 徹	(岡山大学農学部総合農業科学科)
九 州	井 上 久 義	(九州農業試験場基盤整備研究室)

一編集後記一

土壌物理研究会への期待を感じています。

1992年10月岡山大学の足立先生から編集委員長を引継がせていただいた時、土壌物理研究の衰退、すなわち投稿論文の少なさを強く言われました。もちろん土壌物理は土壌学の一分野で方法論の一つにすぎないのですが、それは農業の根幹である土を通しての循環速度を決定する使命を持っており、それは現在論じられている環境問題に最も密接であることから、信じられない気持ちでございました。私はちょうど、オランダ、ワーゲニンゲン農科大学で硝酸汚染解明のプロジェクトの一部に指定されていた「土壌構造が水移動に及ぼす影響」を共同研究して帰国したばかりだったので、日本で土壌物理研究が試験研究機関で十分に浸透しない理由が理解できませんでした。衰退が何によるのか、基礎にかたよりすぎているのか、事例研究にかたよりすぎているのか、いろいろ考えていましたが、もしかしたら衰退しているのではなく、日本ではまだ成熟していないのではないかと思

うようくなりました。理論を追えば現場のことはなかなか解らない。農業を考えれば、自然はなかなか観察できないものです。しかしタコツポにはまりこんではいけない。

土壌物理研究会はこれまでも確かに学会であったが、学会としてのビジョンが不足していたように思います。私はこれからの学会だと強く思います。循環速度を支配する因子とその学理を追求する学会として重要な役割を持っていてと思います。

はでな活動はせずとも、地道な研究報告をこつこつ重ね農業を支えていこうではありませんか。土壌物理に関わる土壌肥科学、農業土木学、作物学、農業機械学に身をおく会員にはそれぞれの役割りを果たしていただきたくお願い申し上げるとともに、この2年間余り皆様から頂いた刺激に対して改めてお礼申し上げます。

前編集委員長 波多野隆介（北海道大学）

土壌物理研究会

事務局構成	会 長	穴瀬 真（東京農大）
	副 会 長	足立 忠司（岡山大）
	会計幹事	平野 繁（東京農大）、三原真智人（東京農大）
	編集幹事	東城 清秀（東京農工大）、西村 拓（東京大）
	庶務幹事	成岡 市（東京農大）
編集委員会	委 員 長	河野 英一（日本大）
	委 員	青木 正雄（日本大）、安中 武幸（農工研）
		加藤 誠（東京農工大）、軽部重太郎（茨城大）
		駒村 正治（東京農大）、竹迫 紘（明治大）

土壌の物理性 第72号（会員配布）1995年4月30日発行

発行 土 壌 物 理 研 究 会

〒156 東京都世田谷区桜丘1-1-1 東京農業大学農学部総合研究所内

電 話 03-5477-2540 FAX 03-5477-2634

振替口座 00150-2-17794

銀行口座 さくら銀行世田谷通支店（店番号199）

口座番号（普通預金）6367846「土壌物理研究会代表 穴瀬真」

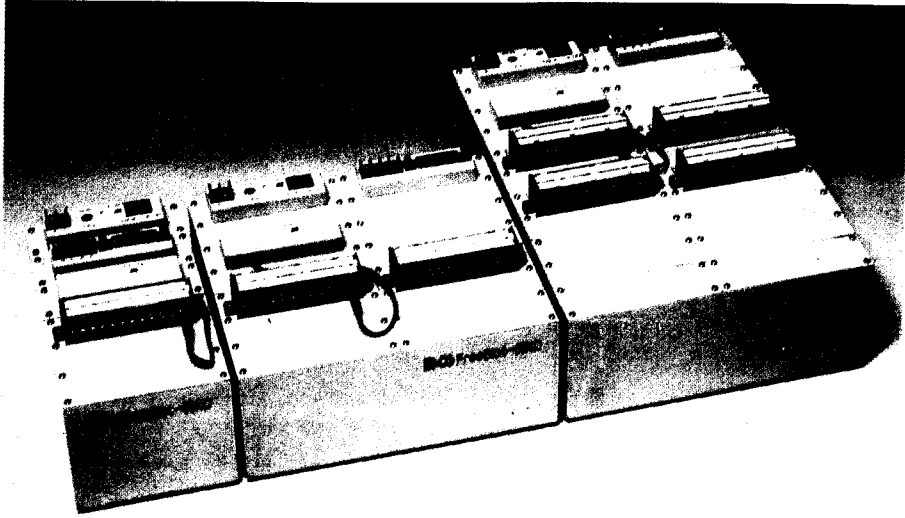
印 刷 創文印刷工業株式会社

〒116 東京都荒川区西尾久7-12-16

新製品

多機能・多チャンネル・データロガー

FreeSlot-68KDシリーズ



FreeSlot-68KDは、優れた通信機能により各種遠隔監視/制御システムに使用できる多機能データ収集・伝送装置です。(特許申請中)

特長

▶優れた拡張性

16bitCPU(68000)、MCUバスラインにより、フリースロットを実現、汎用4チャネル・メモリ・各演算ボード等豊富なオプションを簡単に増設できます。(オプションボードを自由に組み合わせで使用できます)

▶多様なセンサ出力に対応

電圧(8レンジ)・電流・温度・歪みが入力できます。標準でパルス入力を2ch装備しており、雨量計等のパルス出力タイプのセンサを接続することができます。

▶広い動作温度範囲

広い温度範囲で(-20℃~+60℃)動作できます。-40℃~+80℃仕様・防水筐体(防水コネクタ)仕様もお客様の希望により承ります。(受注生産)

▶多様な測定インターバル機能

チャネル単位、測定期間により二段階の測定インターバルを設定でき多様な測定ができます。

▶パソコンで簡単にデータ回収

付属の基本ソフトでデータ回収・データ表示・テキスト変換等ができます。(オプション追加でデータ処理ソフトアップ可)

▶RS-232C通信機能

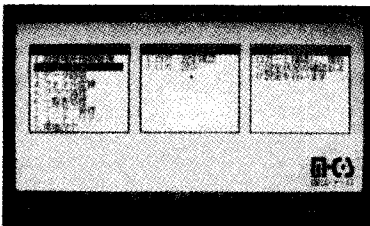
モデム(オプション)を使用し、NTT回線でパソコンと通信ができます。

▶3電源方式

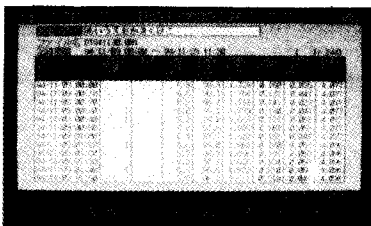
AC100V、外部電池(DC12~24V)、内蔵電池(オプション)で動作可能です。

FreeSlot-68kd 基本ソフト例

メニュー画面

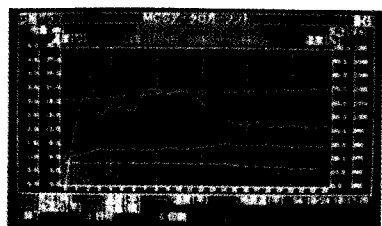


測定データ表示



FreeSlot-68KD オプションソフト例

グラフ表示(オプション)



製造・発売元



有限会社 エム・シー・エス

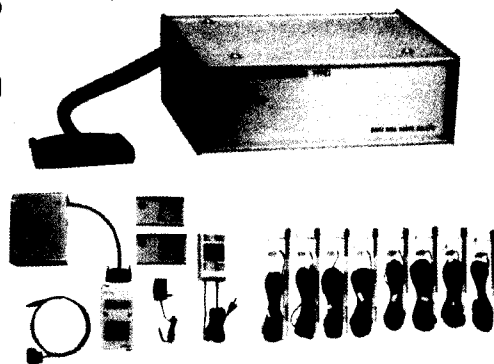
〒064 札幌市中央区南4条西10丁目1004番1
南4条ユニハウス
TEL 011-562-5547 FAX 011-563-2555

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。

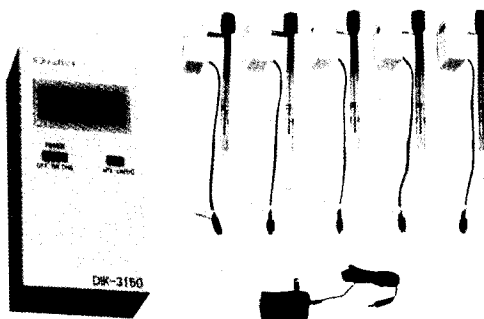
(測定点数8、測定範囲 pF 0~3)



テンシオメータ 表示タイプ

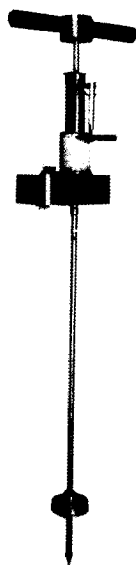
DIK-3150

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

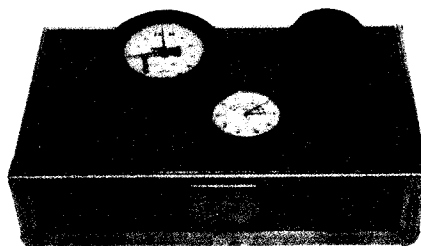
DIK-5520



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 壤 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。

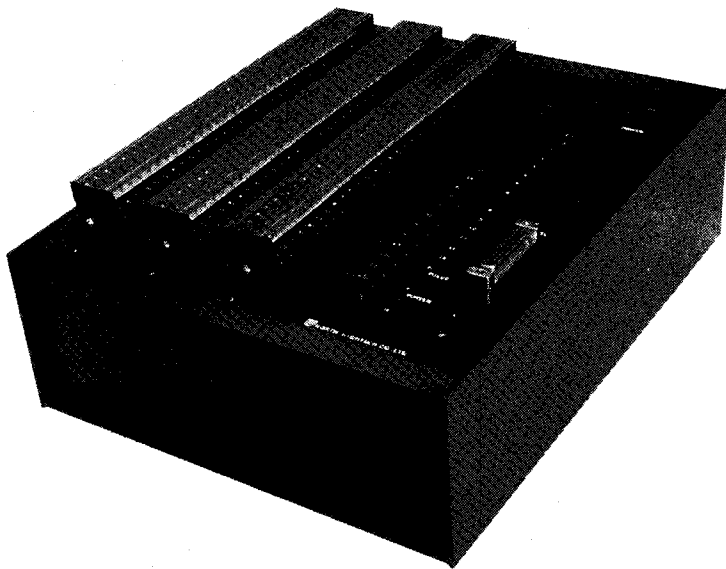
SPAD[®]開発製品



ダイキ

大起理化学工業株式会社

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ィショナ内蔵。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。各機には転倒降雨量パルス入力が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 数きい値積算 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

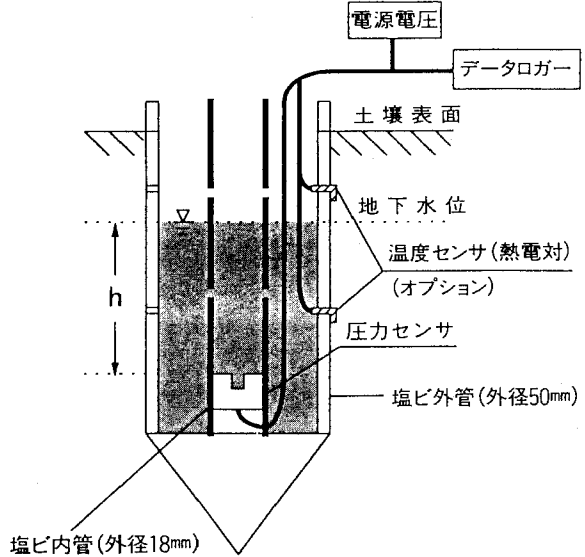
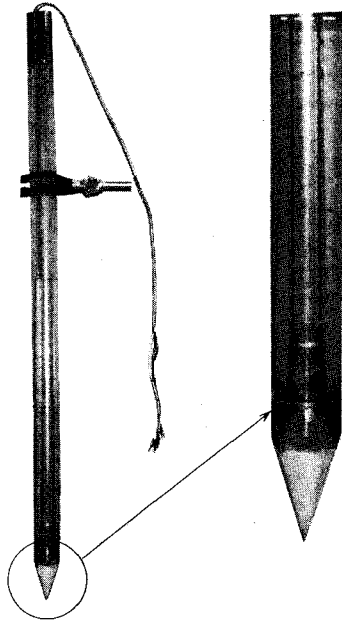
〒060 札幌市中央区北2条西3丁目数島ビル3F

TEL.011-232-3388 FAX.011-232-3288 ☎0120-053388

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



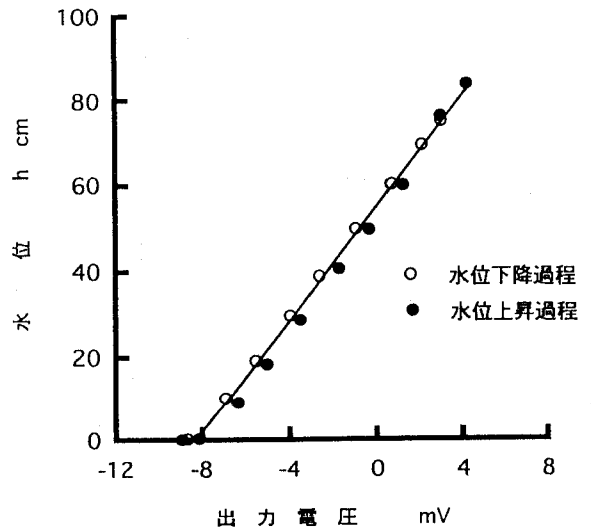
2. 圧力センサ (拡散型半導体圧力変換器)

1)仕様

定格圧力	0~9.81×10 ⁻² MPa (0~1000cmH ₂ 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 (0MPa)
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0cm)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

土壌物理研究会のお知らせ

総会と第37回シンポジウム

と き : 1995年10月3日(火)

と ころ : 東京農工大学農学部 講堂

東京都府中市幸町3-5-8

総 会 13:00~13:30
シンポジウム 9:30~16:30

シンポジウム・メインテーマ

乾燥・半乾燥地 —現場における土と水—

1. 中国東部の沙漠をリモートセンシングで観た
農業環境技術研究所環境管理部資源・生態管理科環境立地研究室 今川 俊明
2. 裸地の教えてくれること—西アフリカに鼠をかついで土壌調査—
北海道大学大学院地球環境科学研究科地球生態学講座 南雲 不二男
3. 在来農法に学ぶ土と人間のつきあい方—西アフリカ・マリとインドでの事例から—
京都大学農学部土壌学研究室 田中 樹
4. 農業農村開発と砂漠化防止—西アフリカ・ニジェールで進めている実証調査—
農用地整備公団海外事業部情報整備課 名和 規夫
5. トレーサを用いて地下水の歴史を調べる
清水建設㈱技術研究所未来技術研究部沙漠グループ 井伊博行・大塚義之
6. 総合討論

2. 原稿執筆要領

- 1) 原稿の執筆は、日本語原稿の場合、400字詰横書き原稿用紙を用いる。ワードプロセッサを使用する場合は、A4判で横25字、縦23行とし、上左右30mm、下端に50mmの余白をとる。英語原稿の場合は、A4判ダブルスペースで作成する。
- 2) 原稿枚数は、図表を含めて刷り上がり6ページ以内とする（日本語原稿では、刷り上がり1ページは、2300字で、ワードプロセッサ使用の場合は4枚が1ページに相当する。英語原稿では、刷り上がり1ページは、4600字）。

表題・著者名・キーワード

- 3) 表題は内容を簡潔に表すものとする。
- 4) 日本語で原稿を作成する場合には、表題、著者名の順に記す。次に英語で表題、著者名（フルネーム）、所属機関（住所）を記す。原稿1ページ目の脚注に、日本語で所属機関（住所）を記入し、ついで5個以内のキーワードを記す。
- 5) 英語で原稿を作成する場合には、表題、著者名、所属機関の順に記す。ついで300語程度のABSTRACTを記し、その下に5個以内のキーワードを記す。

本文

- 6) 本文は、1. はじめに、2. 実験方法、3. 結果、4. 考察のように章に別けて見出しをつけ、必要に応じて、1), 2), 3) …と節に分け小見出しをつける。章・節の番号はアラビア数字を用いる。
- 7) 文体はひらがな漢字混じりの横書き口語体とし、できるだけわかりやすい表現にする。
- 8) 術語以外は常用漢字を用い、かなは現代かなづかいとする。
- 9) 句読点・括弧・ハイフンは普通1画を与える。数字・小数点・ローマ字は1画に2字をあてる。
- 10) 数字はアラビア数字を用い、漢数字は普通の字句にのみ用いる。
- 11) 外国人名は欧字とし、最初の文字のみ大文字とする。ただし中国人名などは漢字でよい。術語になっている外国人名は、カタカナ書きとする（例：ダルシー則、ストークスの法則）。
- 12) 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。中国等の地名は漢字でもよい。日本語の地名も周知されていないものは、ひらがなを併記する。
- 13) ゴシック、イタリック、ボールドの字体は鉛筆で指定する。ギリシャ文字、上付き、下付き文字、あるいは1(エル)と1(イチ)のようにまぎらわしい文字が混在するときにも、誤植防止のため鉛筆で指定する。
- 14) 述語は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。
- 15) 略語、略号を使うときは、はじめにそれが出る箇所、正式名称とともに記す（例：液性限界(LL)）。
- 16) 動植物の名称はカタカナ書きにし、必要に応じてラテン語学名をイタリックでつける。

- 17) 数量の単位は原則としてSIを用いる。
- 18) 文献の引用は著者名、年号をつける。著者が2名の場合は、両者の名字と年号を記す。3名以上の場合は、以下の例に従う（Tanaka *et al.* (1994) は・・・；竹中ら (1960) は・・・；・・・(Tayler *et al.*, 1945).)。
- 19) 図・表・写真番号は図-1、表-1、写真-1のように書く。
- 20) 謝辞は本文末尾につける。
- 21) 英文原稿も上記に準じる。ただし英文の適正化は、著者の責任において行うこと。

英文要約

- 22) 報文には300語以内の英文要約をつける。
- 23) 英文要約の下に、5個以内のキーワードを記す。

図・表・写真

- 24) 図、表、写真は必要最少限度とし、同一事項を表と図に重複させることはできるだけ避ける。
- 25) 図、表、写真1つごとに、A4判で作成する。事故を避けるために、余白に著者名を鉛筆で記す。図、写真にはその番号も鉛筆で記す。
- 26) 図はそのまま印刷するので、白紙に黒インクできれいに書く。これと同程度の鮮明さを持つ、プロッタ、プリンタによる図は受け付ける。製版に適さない図は書き直しを要求することがある。
- 27) 図は刷り上がりの大きさを指定し、2倍くらいに大きく書く。図中の線の太さ、文字の大きさは、刷り上がりの大きさを考慮して決める。なお図および写真中の文字は希望があれば写植する。その場合には、図中の文字は鉛筆で薄く記入する。
- 28) 地図には定尺をつけ、何万分の1などの縮尺を指定しない。顕微鏡写真などには定尺をつけ、何倍などの拡大率を指定しない。
- 29) 日本語報文原稿の図・表・写真の表題には日本語と英語を併記する。
- 30) 図、写真の表題は別紙にまとめて記す。

引用文献

- 31) 文献は本文のあとに、著者名のABC順に書く。未発表・私信は引用文献として記載しない。
- 32) 書き方の様式は以下のようにする。
Bouma, J. and Dekker, L. W. (1978) : A case study on infiltration into dry clay soil, I. Morphological observations, *Geoderma*, **20** : 27~40.
Cambell, G.S. (1974) : A simple method for determining unsaturated hydraulic conductivity from moisture retention data. *Soil Sci.*, **117** : 311~314.
FAO (1988) : Revised legend of the FAO-UNESCO Soil Map of the World. p. 119, FAO, Roma.
岩田進午 (1970) : 土壌物理とペドロロジー, ペドロロジスト **14** : 28~33.
山崎不二夫監修 (1969) : 土壌物理, p. 55, 養賢堂, 東京.
竹中 肇 (1965) : 収縮挙動よりみた土の工学的性質, 農土論集, **14** : 32~35.



Soil Physical Conditions and Plant Growth, Japan

No. 72

April 1995

Contents

Forward	H. IWAMA	1
Originals		
The Influence of Nitrate Concentration and Plant Condition on the Nitrate Removal in the flooded Soil	T. TABUCHI, K. KUBOTA	3
Note		
Handling of peat for measuring density, matric potential and hydraulic conductivity	T. KASUBUCHI	9
Miscellanea		
Studies on the Improvement and Maintenance of Soil Physical Properties of a Hardened Soil in an Orchard Field	H. KIMURA, T. FUJIWARA	13
from the 36th Symposium "Plant growth and Soil Physics under cold and wet summer in1993"		
The Meteorology for Cool Summer Damage and it's Micro-meteorological Control	I. HORIGUCHI	19
The use of LANDSAT TM data for estimating the interaction of sugar beet yields damaged by cold and wet weather in 1993 with soil properties	D. ASAKA	27
Effects of Soil and Atmospheric Moisture Condition on Ecophysiological Characteristics in Crop Plants	T. HIRASAWA	39
Study subjects for modeling water balance and grass production	T. NAKATSUJI	47
Effect of Soil Moisture on the Outbreaks of Soil-borne Diseases Caused by Zoosporic Fungi	K. AKASHI	55
Discussions		65
Readers column		
What is Soil Erosion	Y. ISHIZUKA	75
Book Review		76
Announcement		77

Published by
Research Association of Soil Physics, Japan
NODAI RESEARCH INSTITUTE (NRI)
TOKYO UNIVERSITY OF AGRICULTURE
1-1-1 Sakuragaoka Setagaya-ku, Tokyo 156, Japan
President Makoto Anase