
巻 頭 言

野外科学としての土壌物理学

佐久間 敏 雄*

土壌を独立した自然体として認識し、その発達と衰退の法則を研究することによって近代土壌学の基礎が築かれたことはよく知られている。この立場は、土壌に関する基本的問題が全てその土壌断面に刻み込まれていることを前提にしており、土壌にまつわる全ての科学的研究は野外における土壌の詳細な研究に源を発することを主張するものである。土壌は、それがおかれている環境から分離して別の場所に移動させると、その重要な性質の大部分が変化してしまう。

北海道には、いわゆる重粘土が広く分布している。その土壌タイプ別、生成的層位別の飽和透水係数を比較研究したいと思いついて、はじめ、100~1,000cm立方の小容量サンプルによる測定を繰り返したが、多くの重粘土では、級内変動が 10^4 倍にも達し、どう処理しても意味のある結果にはならなかった。それでは、サンプルサイズをどこまで大きくすればいいのか。重粘土の下層土に限っていえば、30cm立方のサンプルを用いても、飽和透水係数については満足できる結果を得るには至らなかった。これらの小容量サンプルは、重粘土の飽和透水係数を支配する粗孔隙系のスケールに比べて明らかに小さく、それを適切にサンプリングできていない。一方、土壌の深さ方向の不均一性は層位の分化と発達にともなって次第に大きくなっていく。雨滴による表面皮殻、すき床層、踏圧による圧縮層などは、厚さ2~3cmでも土壌の物理的挙動に深刻な影響を与える。すなわち、深さ方向にはcmオーダーのサンプリングも必要である。両方の要求を充足するサンプリングは不可能に近く、画一的なサンプリングは誤った理解をもたらすおそれ大きい。野外における研究の手法を真剣に研究しなければならない。

土壌の物理性は、時間的な変動も顕著である。土壌温度や水分の変動はいうまでもないことであるが、マトリックスの物理的状態も年により、また、季節によってかなり変化するようである。こうした変動が事実とすれば、その季節的パターンはどうか、また、ある時点のサンプルが時系列のどの状態を示すかが明らかにされない限り、得られたデータは定量的な意味をもたないものになってしまう。温度や水分だけではなく、他の物理的特性についても、その変動を野外でモニタする手法を早急に体系化しなければならない。

土壌の物理的性質はその本質において構造依存的で、層位による変動が著しい。現実の土壌過程、土壌-作物系の物質循環は、こうした不均一な場でおこっている。均一化した「理想」モデルについての論議だけでは、その法則性を解き明かすには不十分である。土壌物理の研究は、実験室的な均一系から一步踏み出したところで停滞しているように思われる。この停滞を打ち破って、不均一なダイナミックシステムへアプローチすることは、基礎研究と応用研究を橋渡しする上で避けて通ることのできない道である。野外科学本来の姿に立ち帰って、フィールドにおける土壌過程について基礎的な研究を深めるとともに、土壌現象の観測網を整備して精度の高い情報を蓄積することが急務である。

*北海道大学農学部

低温期における施設野菜の生育異常と水管理

荒 木 陽 一*

Water Management for Greenhouse Vegetables under Low Temperature
and Light Deficiency Conditions

Yoichi ARAKI

National Research Institute of Vegetables,
Ornamental Plants and Tea

1. 低温期における施設野菜の生育異常

施設野菜の中でも特に集約的な管理がなされる果菜類は、生育の極初期を除き、栄養生長と生殖生長が同時に進行する作物である¹⁾。したがって、両者のバランスが崩れ、生長がどちらに片寄っても収量は減少する。この両者のバランスが崩れた結果として最も問題となっているのが、茎葉の過繁茂である。栽植密度の高い施設栽培では、茎葉の過繁茂は日射に対して相互遮蔽を引き起こす。これは日射量の多い時期の栽培では問題は比較的少ない。しかし日射量の少ない時期の栽培では光合成を抑制し、花芽分化、着花（着果）、果実の肥大等に影響を及ぼし、低収量、低品質の原因となる²⁾。したがって、野菜の施設栽培では、茎葉が過繁茂に陥らないよう生育を周到に制御する必要がある、特に低温・寡日照期を経過する促成作型における定植直後の栽培管理に大きな注意が払われている。

2. 生育制御手段としての環境調節

施設野菜を取り巻く環境要因は、地上部と地下部の2つに分けることができる。この内、地上部環境要因としては、日射量を初めとして、温度、湿度、CO₂濃度、風速等がある。これに対し、地下部環境要因（土耕栽培を対象とした場合）は、さらに、土壌の固さ、水分、通気性、温度等の物理性と、pH、EC等の化学性ならびに小動物、糸状菌、細菌等の生物性に分けられる。これらの環境要因は、直接ならびに間接的に野菜の生育に影響を及ぼす。したがって、野菜の施設栽培においては、これらの環境要因の調節は、誘引、整枝、摘心、摘葉、

摘花（摘果）等の作物管理とともに、野菜の生育を制御する手段である。しかし、先にあげた環境要因のすべてが野菜の生育制御に利用できるわけではない。生育制御に有効でありながら経済的な面から利用できないもの（日射量、地温等）、あるいは生育との関係が十分解明されていないもの（土壌の生物性等）、あるいはまた制御方法の確立していないもの（土壌の化学性、一部の物理性）もある。これらの環境要因については制御の対象から除き、好適と思われる範囲を変動するに留めておく。残された環境要因として気温、湿度、CO₂濃度、土壌水分ならびに風速等がある。

3. 施設栽培における水管理の持つ意義

果菜類の中で最も茎葉の過繁茂を引き起こしやすい作物はトマトである。そして、その原因としては窒素肥料の多施用、多かん水、高夜温、若苗定植ならびに寡日照があげられている²⁾。したがって、トマトの過繁茂対策としては施肥、かん水ならびに夜温の適正化、適期苗定植、補光が考えられるが、環境調節から見た場合、トマトの生育初期の栄養生長を抑えるには低夜温あるいは水分ストレスが効果的であると言われている³⁾。しかし、両者の作用特性は異なり、個体ないしは各部器官ごとの全生長過程を、時間の関数として乾物増加曲線によって示した場合、低夜温はその初速度（スタート時の速さ）を抑制するのに対し、水分ストレスはその加速度（生育中の速度の変化）を抑制する⁴⁾。このことは、例えばトマトの第10葉が伸長盛期にあり、15葉が展開直後の場合、低夜温は葉齢の若い15葉の生長を抑制するのに対し、水分ストレスはより齢の進んだ10葉の生長を強く抑制する

*野菜・茶業試験場

低温期における施設野菜の生育異常と水管理

ということを意味している。また、低夜温は茎葉の分化をも制御するのに対し、水分ストレスは器官分化に対する影響は小さく、しかも比較的弱いストレスで生育が抑制される⁵⁾。トマト定植直後の生育制御を考えた場合、株全体の生育ステージを遅らせることなく、現在伸長しつつある茎葉の生長を抑制して希望とする草姿へともっていく必要がある。したがって、定植直後のトマトの生育制御は水管理の方が温度管理よりも適していると考えられる。

4. 施設野菜に対するこれまでのかん水試験

施設内の水管理を温度管理と比較すると、温度管理は設定温度だけを決定すれば十分であるのに対し、水管理はかん水開始点とともに、1回のかん水量をも決定しなければならない。また、設定温度は普遍的(地域差が小さい)であるのに対し、かん水開始点ならびに1回のかん水量は栽培する土壌によって異なる。さらに、温度は単一のセンサーで広範囲にわたって計測可能であるが、土壌水分は単一のセンサーでは測定範囲が限られている。このような観点から施設野菜に対する過去のかん水試験を眺めると、まずかん水開始点を決定するのにテンシオメータが用いられてきた。この場合、同じ土壌水分吸引圧でも作物に対する影響は土壌によって異なること、また、生育制御の際には、土壌水分吸引圧はテンシオメータの計測範囲外になることなどが問題となる。次に、1回のかん水量については十分考慮されている試験が少なく、かん水開始点が異なっても1回のかん水量が同じという試験が一般的であった。これは、かん水量が消費水量に見合っている場合は問題ないが、かん水量が消費水量より少ないとかん水によって湿る土壌が徐々に浅くなる。逆にかん水量が消費水量より多い場合はかん水によって湿る土層は徐々に深くなる。これは、深さの異なる土壌を対象に栽培していることになる。したがって、得られた結果は土壌の深さの影響を受けており、かん水開始点ならびに1回のかん水量を決定する際に誤った判断を下す原因となる。

5. 施設野菜の水管理に対する最近の考え方

施設野菜に対するかん水時期の判定は、これまでは専ら土壌の水分状態に基づいていた^{6), 7), 8)}。しかし、野菜に限らず作物の生育に密接に関係しているのは体内の水分状態である。したがって、野菜に対するかん水開始の指標としては、土壌水分よりも体内水分の方が、よ

り一層野菜の生育に適していると考えられる。ところが、従来の体内水分測定法⁹⁾¹⁰⁾は時間を要する割に精度が低く、また圃場で簡便に使用できないために、野菜の体内水分をかん水開始の指標にすることは、これまでのところ実現していない。しかし、Sholanderら¹¹⁾によって紹介されたプレッシャーチャンパー法(作物の水ポテンシャルを測定)は、その取り扱いが簡単で、短時間に多数のサンプルを処理できることから、野菜の体内水分をかん水開始の指標にすることは可能と考えられる。

一方、1回のかん水量については、まずかん水対象土層深を決定し、かん水時に対象とする土層を圃場容水量の状態に戻すのに必要な量のかん水すれば、栽培土層深を一定に保つことが可能と考えられる。

6. 体内水分状態を指標とした水管理

茎葉の過繁茂発生機構は大体次の様に考えられている。すなわち、光合成によって生産された炭水化合物は他に用途がないと、いわゆる組織デンプンとして茎葉中に積蓄される。一方、養水分吸収が旺盛で窒素肥料が過剰に吸収されると、吸収された窒素は十分同化されずに、組織デンプンとともにタンパク質が作られるのに使われ、これが茎葉の伸長の素材となり、やがて茎葉ばかり茂ってくることになる¹²⁾。

ところで、光合成産物の分配の優先度は、果実>茎葉>花らしい順である¹³⁾。この事は、果実が肥大を開始すれば、光合成産物は優先して果実に分配されるために、茎葉中に貯蔵される量が減少して、茎葉が過繁茂になる可能性が低下するという意味している。

したがって、水分ストレスによるトマト定植直後の生育制御は果実肥大開始までと考えられるが、それはちょうど定植から第3花房開花までの期間に相当する。すなわち、かん水制限期間がそれ以上長くなると総収量ならびに良果収量とも減少する。これはかん水制限期間が長くなることにより肥大不良果が増加するためである(表-1)¹⁴⁾このことから、定植後のトマトの一生は、第3花房開花までの生育前期とそれ以降収穫終了までの生育後期に分けることができる。

各生育時期毎のかん水開始点(かん水開始時の水ポテンシャル)とかん水対象土層深のうち、まず生育前期のかん水開始点であるが、総収量は-5 barの時が最大で、かん水開始点がそれよりも低下すると総収量も減少する。また、不良果も-5 barの時が最大で、かん水開始点の低下につれて減少する。その結果、良果収量は-10 barの時が最大で、かん水開始点がそれよりも高くても低く

表-1 生育前期のかん水制限期間が収量に及ぼす影響²

処 理 区	良 果				不良果		総 計	
	果数	果重	1果重	t/10a	果数	果重	果数	果重
1. 第3花房	200	37.4 kg	187g	14.6	82	7.8kg	282	45.2kg
2. 第4花房	204	34.4	168	13.4	92	7.7	296	42.2
3. 第5花房	161	27.4	170	10.7	113	8.7	274	36.1
4. 第6花房	158	27.7	175	10.8	122	9.9	280	37.5

²: 処理区とも2反復、8株の合計値表-2 生育前期のかん水開始点が収量に及ぼす影響²

処 理 区	良 果				不良果		総 計	
	果数	果重	1果重	t/10a	果数	果重	果数	果重
1. -5 bar	182	26.4 kg	145g	8.3	209	16.5kg	391	42.9kg
2. -10 bar	179	27.8	155	8.7	162	12.1	341	39.8
3. -15 bar	178	26.9	151	8.4	165	10.5	343	37.4
4. -20 bar	155	23.4	150	7.3	172	11.7	327	35.1

²: 各処理区とも2反復、10株の合計値表-3 生育前期のかん水対象土層深が収量に及ぼす影響²

処 理 区	良 果				不良果		総 計	
	果数	果重	1果重	t/10a	果数	果重	果数	果重
1. 40cm	276	48.9 kg	177g	12.7	80	9.6kg	356	58.5kg
2. 20cm	258	47.7	185	12.4	70	7.8	328	55.5
3. 10cm	259	46.1	178	12.4	82	9.1	341	55.2

²: 各処理区とも2反復、12株の合計値

低温期における施設野菜の生育異常と水管理

表一四 生育後期のかん水開始点が収量に及ぼす影響^z

処 理 区	良 果				不良果		総 計	
	果数	果重	1果重	t/10a	果数	果重	果数	果重
1. -5bar	172	30.9 kg	180g	12.1	116	9.9kg	288	40.8kg
2. -10bar	50	7.2	145	2.8	234	12.7	284	20.0
3. -15bar	14	1.6	117	0.6	246	10.8	260	12.4

* : 各処理区とも2反復、8株の合計値

表一五 生育後期のかん水対象土層深が収量に及ぼす影響^z

処 理 区	良 果				不良果		総 計	
	果数	果重	1果重	t 10a	果数	果重	果数	果重
1. 40cm	168	26.1 kg	155g	10.5	107	8.9kg	275	35.0kg
2. 20cm	121	17.4	144	7.0	180	11.8	301	29.2
3. 10cm	91	13.1	144	5.3	199	13.2	290	26.3

* : 各処理区とも2反復、8株の合計値

表一六 各試験項目における最高収量と葉面積との関係 (㎡)

試 験 項 目	処 理 区			
	1	2	3	4
生育前期のかん水制限期間	1.25*	1.18	1.02	0.90
生育前期のかん水開始点	1.73	1.44*	1.12	1.06
生育前期のかん水対象土層深	1.33*	1.16	1.12	
生育後期のかん水開始点	1.34*	0.90	0.77	
生育後期のかん水対象土層深	1.24*	1.05	0.93	

* : 各試験項目において最高収量を示した処理区を表す

表-7 各試験項目における最高収量と葉面積指数との関係

試験項目	処 理 区			
	1	2	3	4
生育前期のかん水制限期間	3.9*	3.7	3.2	2.8
生育前期のかん水開始点	5.4	4.5*	3.5	3.3
生育前期のかん水対象土層深	3.8*	3.3	3.2	
生育後期のかん水開始点	4.2*	2.8	2.4	
生育後期のかん水対象土層深	4.0*	3.4	3.0	

*: 各試験項目において最高収量を示した処理区を表す

でも良果収量は減少する(表-2)¹⁵⁾。

生育前期のかん水対象土層深については、40cmの時の良果収量が最大で、かん水対象土層深がそれよりも浅くなるにつれて良果収量は減少する(表-3)¹⁶⁾。

次に生育後期のかん水開始点であるが、総収量ならびに良果収量とも-5 barの時が最大で、かん水開始点がそれよりも低下すると総収量ならびに良果収量は大きく減少する(表-4)¹⁶⁾。

生育後期のかん水対象土層深については、40cmの時の総収量が最大で、かん水対象土層深がそれよりも浅いと総収量は減少する。一方、不良果はかん水対象土層深が浅いほど増加する。その結果、良果収量は40cmの時が最大で、かん水対象土層深が浅いほど減少する(表-5)¹⁸⁾。

以上から、促成トマト栽培において定植後の生育を2つに区分し、定植から第3花房開花までの生育前期はかん水を控え、生育後期は十分かん水する水管理が良品の多収につながる。それぞれの制御目標値は生育前期のかん水開始点が-10bar、かん水対象土層深が40cm、生育後期のかん水開始点が-5 bar、およびかん水対象土層深が40cmである。

なお、この水管理によって促成トマト1株当たりの葉面積を1.24~1.44m²、葉面積指数で3.8~4.5に持っていく必要がある(表-6, 7)。

7. 残された問題点

施設野菜の栽培においては野菜の生育を希望とする草姿へと導き、良品・多収を目指すために生育の制御がなされる。ここではそのための水管理について報告したが、体内水分の測定法は現在のところ破壊による方法しかな

い。しかし、かん水を自動化するには非破壊で連続的に測定する必要がある。それゆえ、この方面の研究が早急になされる必要がある。また、水管理により野菜の生育を制御するには、制御方法とともに制御しやすい土壌構造を作成、維持する必要がある。したがって、その方面の研究も必要である。また、トマト用の温室は大部分地下水の高い水田跡地に建設されている。このようなところでは水管理による生育制御はできない。積極的に地下水の遮断、暗渠排水等がなされる必要があるが、このような工夫がなされた温室は少ない。これまで温室を初めとして暖房器、除湿器、CO₂施用器等地上部環境条件を調節する設備にはかなりの投資がなされてきた。これからは地下部環境条件の改善にももっと投資される必要がある。

引用文献

- 1) 斎藤 隆 (1979) 農業技術体系, 野菜編, 2, トマト, p. 基1~基27. 農文協, 東京.
- 2) 正木 敬・大野 元 (1981) 野菜試報A, 9 : 115~131
- 3) 久富時男・藤本幸平 (1971) 奈良農試研報第3号 37~54.
- 4) 安井秀夫・本多藤雄 (1977) 野菜試報C・3 : 17~50.
- 5) BOYER, J. S. (1970) Plant Physiol. 46 : 233~235.
- 6) 五島 康・市川裕雄・荒木陽一・柴田 明 (1981) 野菜試報A, 9 : 133~141.
- 7) 五島 康・荒木陽一・柴田 明 (1982) 野菜試報A, 10 : 147~160.
- 8) 荒木陽一・五島 康 (1983) 野菜試報A, 11 : 177~187.
- 9) Stocker, O. (1929) Planta 7 : 382~387.
- 10) Weatherley, P. E. (1950) New Phytol.
- 11) Sholander, P. F., H. T. Hamml, Edde, D. Bradstreet,

低温期における施設野菜の生育異常と水管理

- and E. A. Hemmingsen (1965) Science 148 : 339~346.
- 12) 菅 洋 (1986) 作物の生理活性, 自立生育のしくみ, p. 114~116, 農文協, 東京,
- 13) 大原源二・内藤文男 (1987) 技会事務局編, GEP, III, No. 3 8~22
- 14) 荒木陽一・五島 康 (1986) 園学要旨, 昭61秋: 604.
- 15) 荒木陽一 (1987) 園学要旨, 昭62秋 : 310~311.
- 16) 荒木陽一・五島 康 (1986) 園学要旨, 昭61春: 276~277.
- 17) 荒木陽一・五島 康 (1986) 園学要旨, 昭61秋: 238~239.
- 18) 荒木陽一 (1987) 園学要旨, 昭62春 : 258~259.

Summary

The excessive growth of tomatoes cultivated in a greenhouse under low temperature and light deficiency conditions prevents photosynthesis due to mutual shading by the leaves, therefore the growth of tomatoes should be regulated to achieve optimum growth. Various aspects relating to water management which is one of the methods to control tomato growth, in the greenhouse under these conditions were analysed.

- ① Growth period of tomato after planting can be divided into two periods; 1, from planting to the opening of the third cluster and 2, from the opening of the third cluster to the end of harvest.
- ② The water potential of the tomato leaves and the depth of the soil receiving water were -10 bars and 40cm, respectively during the first period of growth.
- ③ During the second period of growth the corresponding values were -5 bars and 40 cm, respectively.
- ④ The leaf area index should range from 3.8 to 4.4 under such water management.

大里村における水稻の異常穂発生と 土壌の物理性

相 崎 万 裕 美*・日 高 伸*・細 谷 毅**

The Studies on the Soil Physical Conditions of Abnormal Rice Plant in OHSATO

Mayumi AIZAKI*, Shin HIDAKA* and Takeshi HOSOYA**

*Saitama Agricultural Experiment Station

**Saitama Prefectural Office

はじめに

昭和53年頃から、埼玉県大里村津田地区を中心に水稻の穂の奇形、不稔現象が発生した。埼玉県農業試験場では農林水産省農事試験場（現農業研究センター）と協力して、原因究明にあたり、合同調査を行った結果、ウイルス、線虫、除草剤、既知の病気などによる障害でないことが明らかにされた¹⁾。症状は穂に顕著に現れ、枝梗の退化、穎花数の減少、正常な穂は出るが不稔になるものがあり、最もひどいものは、草丈、稈長がわい化し、穂相に異常がみられた。

この症状は、北村ら^{2, 3)}のしんでんあおだち症に極めて似ているが、これは主に長く畑利用していたものを転換した初年目の水田に強く発生しており、大里村の発生圃場のように長年水田として利用していた圃場であり、しかも広範囲に継続して発生したのは初めてである。

異常穂は、近年の栽培様式や作業・管理の変化に伴う土壌状態の変化、有機物量などの増加の組合わで発生すると推察された。^{5, 6)} 埼玉農試では、昭和59年に栽培管理面からの異常穂の防止対策を示した⁴⁾が、継続して障害発生機構の解明、発生地帯水田の土壌条件について調査を行っている。その結果、異常穂が発生しやすい土壌条件が明らかにされたので報告する。

1 異常穂発生地域の概況¹⁾

大里村津田地区は、東を荒川、南を和田吉野川が流れしており、荒川の氾濫による水積土からなる。さらに昭和13年台風の襲来によって荒川堤防が決壊し、泥土が堆積した。その後、耕地整理が行われ桑園の陸田化が進んだ。

排水は小排水路で荒川堤防沿いの排水路に導かれるが、水田期間中の地下水位が高いこともあって、積極的な排水は行われず、全体に排水が悪い。

本地域の土壌は、半湿田～乾田で、細粒灰色低地土・灰色系、宝田統に属し、作土の土性は壤質～粘質、次層は壤質～強粘質である。

異常穂はその症状により、便宜的にA、B、Cの3タイプ¹⁾にわけられたが、圃場によっては、AB型またはBC型の混在型も観察される。

A型：草丈、稈長がわい化して、穂も短く極端に奇形化する。穎花数が減少し長大化し、稔実も不良となる。

B型：草丈、稈長は正常であるが、止葉が長く直立し、穂は奇形化する。

C型：外観、穂数はほぼ正常であるが、不稔粒が多く30～90%の不稔を示す。

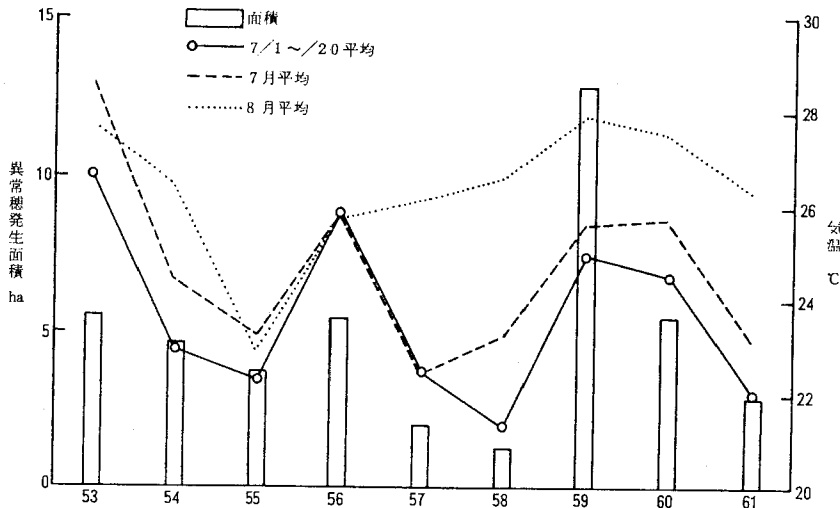
同一圃場内3タイプの症状が混在して発生することは少なく、圃場内の発生状況は圃場全体に不均一に発生する、畦状に細長く発生する、坪状に発生するなど、圃場によって症状の程度、発生の分布が大きく異なった。

2 異常穂の発生条件

異常穂の発生と気象の関係は生育前半の温度の影響が大きく、二毛作水田は特に7月1～20日の高温条件で発生しやすく、53年、56年、59年の高温気象年に発生が多くみられた。54年、55年は、6月下旬を除き比較的低温で推移し57年、58年、61年も7月中の平均気温は、21～23℃と低温であり、いずれも発生は少なかった。穂相の形態から作用を受ける時期は穎花分化期から減数分化期まで、長時間継続していると考えられるが、特に田植え

*埼玉農試 **埼玉県庁経営普及課

大里村における水稲の異常穂発生と土壌の物理性

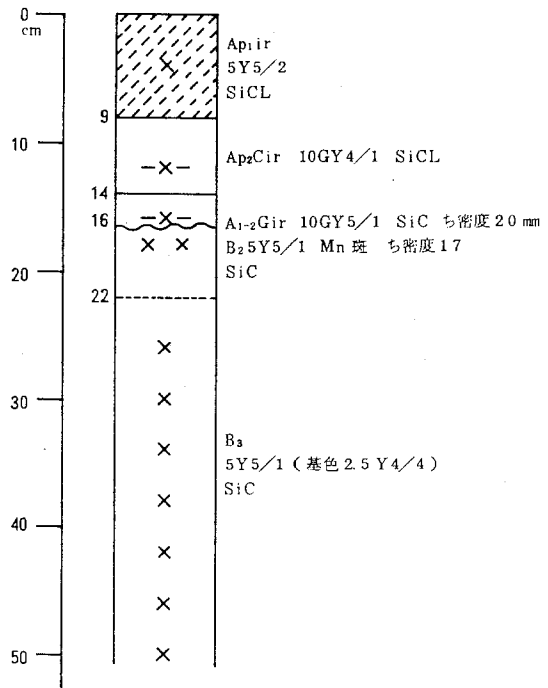


第1図 異常穂の発生と気温

後20~30日の気温が高い年に発生しやすい傾向が認められた。(第1図)

異常穂常発地帯である大里村津田地区の水田土壌は、麦稈が添加されていない条件下でも酸化還元電位の低下が急激であり、強還元になりやすい。田植後20~30日には-200~-350mV付近まで低下した。落水処理を行わない状態では、9月下旬まで低電位状態が続いた。幼穂形成期前の平均減水深は、1.5~5.6mm/日であった。

異常穂常発田に耕深を普通耕10cm、深耕15~18cmとし、水管理を常時湛水と、早期落水(7月20日から8月11日までの約20日間を中干)、これに麦稈持ち出し、すき込み(0.5t, 1.0t/10a, 1tの乾物重343kg)を組み合わせ、品種むさしこがねを昭和60年6月25日に移植した。その結果、普通耕・麦稈倍量すき込み常時湛水区は、異常穂の発生率が高く47%であった。同じ条件で早期落水区は、異常穂発生率4.5%と激減した。一方、深耕・麦稈倍量すき込み常時湛水区の異常穂の発生率は、6.7%、同じ条件の早期落水区は、異常穂の発生は認められなかった。



第2図 異常穂発生水田の土壌断面
昭和60年10月20日調査

3. 異常穂発生土壌の物理性

異常穂発生下の土壌断面(第2図)はA層, B層にわけられる。A層は地表より16cm, 作土層(Ap₁)は0~9cm(平均作土深11.5cm), 作土グライ層(Ap₂)は9~14cm, すき床層(A₁₋₂)は14~16cmでグライ化しており, ち密度は20mmであった。すき床を含めたグライ層は, 舌状あるいは波状で, 厚い部分と薄い部分が存在し

た。すき床上部には膜状斑鉄がすき床に沿うように観察され, 縦浸透を示すような糸根状などの斑鉄は認められなかった。16cm以下はB層となり, ほぼ一層で明確な分化はしていなかった。16~22cmの部分にマンガン斑が多くみられ, 明瞭な斑鉄は認められなかった。

異常穂の発生しやすい水田はグライ層が発達し、作土の下に未分解の麦稈が多く、その直下にはち密なすき床層の存在が認められた。

普通耕区の異常穂発生直下の固相率、仮比重(第1表)は、A層からB層に移行する層位で高く、15~20cmではそれぞれ53%、1.41であった。室内透水係数は10~15cmの層位が 2.3×10^{-6} 、15~20cmが 1.4×10^{-4} であった。深耕区の0~20cm間はほぼ同程度の固相率(42~43%)、仮比重(1.1~1.2)を示し、また透水係数も 3.6×10^{-3} で $\sim 1.3 \times 10^{-4}$ であり深耕によって固相率、仮比重、透水係数の低下が認められた。20cm以下は普通耕区、深耕区ともにほぼ変わらず固相率49~50%、仮比重 1.3~

1.4、透水係数 $1.9 \times 10^{-4} \sim 2.7 \times 10^{-5}$ であった。普通耕区は10~20cmにすき床層の三相分布と透水係数に対する影響がみられたが、深耕区ではすき床層の破壊が確認された。

発生分布とすき床層の厚さ、グライ層の厚さの分布(第2表)は比較的一致した。異常株直下のすき床層の硬度は、 $14 \sim 15.5 \text{ kg/cm}^2$ (正常株7~9 kg/cm^2)、すき床層の厚さ6~9cm(正常株0/5cm)、グライ層の厚さ3~7cm(正常株1~4cm)であった。

昭和61年11月上旬に大里村津田地区の全圃場の中から35筆の圃場について自記式貫入硬度計で作土深、作土硬度、すき床厚さ、すき床硬度などについて調査した。

第1表 耕うんと土壌の物理性

普通耕区								深耕区							
		深さ cm	気相	液相	固相	仮比重	室内透水 係 数			深さ cm	気相	液相	固相	仮比重	室内透水 係 数
		1	5.7	56.6	37.7	0.98	5.5×10^{-4}			1	7.9	54.9	37.2	0.99	1.3×10^{-4}
		5								5					
	グライ層	1	9.8	54.7	35.5	0.92	5.0×10^{-4}	17	グライ層	1	7.0	50.6	42.4	1.11	3.6×10^{-3}
		10								10					
14	鋤 床	1	8.5	47.4	44.1	1.16	2.3×10^{-6}	23	Mn 集積	1	8.7	48.5	42.8	1.15	4.1×10^{-4}
		15								15					
16	Mn 集積	1	2.7	44.8	52.5	1.41	1.9×10^{-4}			1	5.4	51.2	43.4	1.17	1.4×10^{-4}
		20								20					
22		1	3.4	45.4	51.2	1.37	5.3×10^{-5}			1	2.2	48.2	49.6	1.34	2.7×10^{-5}
		25								25					
		1	7.0	44.6	48.4	1.30	1.9×10^{-4}			1	4.8	46.2	49.0	1.32	4.3×10^{-5}
		30								30					

第2表 異常穂発生株直下の土壌の特徴

普通耕区							深耕区						
	地点	鋤 床 深さ cm	硬 度 kg/cm ²	グライ層 厚さ cm	鋤床層 厚さ cm	作土層 厚さ cm		地点	鋤 床 深さ cm	硬 度 kg/cm ²	グライ層 厚さ cm	鋤床層 厚さ cm	作土層 厚さ cm
	2	16	16.0	5	7	10		2	15	13.0	6	8	13
常	3	13	15.0	3	9	13	常	3	14	19.5	7	7	13
	4	14	14.0	7	8	12		4	15	13.5	6	7	12
株	5	13	15.5	6	9	14	株	5	21	16.0	6	7	16
正	1	14	8.0	2	5	13	正	1	20	9.0	12	0	20
	2	15	7.0	1	3	10		2	19	5.5	6	0	14
常	3	13	8.5	2	3	11	常	3	21	7.0	11	0	16
	4	12	8.5	2	4	9		4	23	5.5	9	0	17
株	5	13	9.0	4	0	13	株	5	22.5	6.5	8	0	14

第3表 大里津田地区の作土深及び次層の硬度 (SR-II型)

	作土深 ① ^{cm}	すき床厚さ ③ ^{cm}	変曲点 ⑤ ^{cm}	硬 度 kg/cm ²			
				作土②	すき床④	30~40cm⑥	40~50cm⑦
最小	6.8	2.4	3.7	1.0	6.5	9.1	10.3
最大	15.3	9.5	17.3	12.0	25 <	25 <	2.3
平均	11.5	5.2	13.1	3.9	18.1	16.9	16.0
CV%	16.3	26.6	15.7	50.6	23.4	16.4	13.8

注) 調査圃場35筆 n=10の平均

大里村津田地区の平均作土深は、11.5cm、作土硬度は3.9kg/cm²、すき床の厚さ5.2cm、すき床の硬度18.1kg/cm²、30~40cmの硬度16.9kg/cm²、40~50cmの硬度16.0kg/cm²であった(第3表)。大里村津田地区全体の水田作土深は浅く、すき床の硬度は固い傾向がみられた。

土性(第4表)は作土層L~CLで、その組成は砂44~48%、シルト40%、クレイ13~16%で、砂とシルト含量の多い中粗粒質土壌であった。下層ではSiCLで、組成は砂28~29%、シルト50%、クレイ21~22%で、シルト含量の多い細粒質土壌であった。表層、下層ともシルト含量が多く40~50%を占めていた。

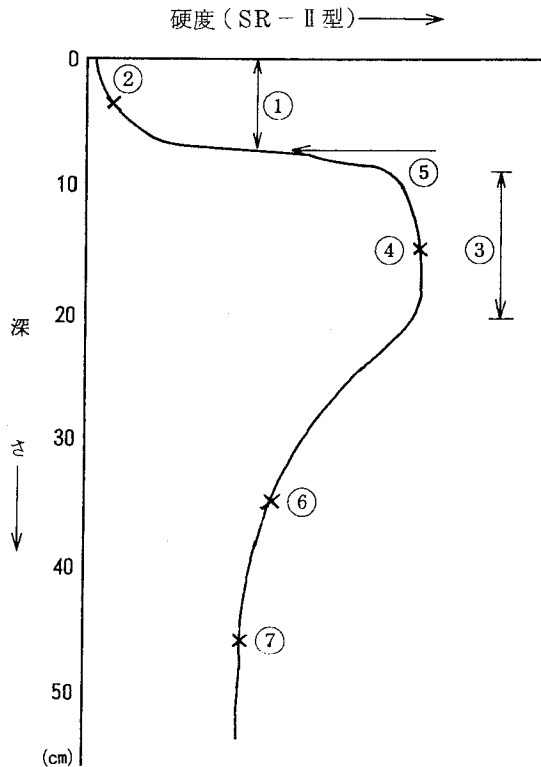
水分散比(第5表)を、カルゴンで分散させた値に対する百分率で示すと、異常穂発生田の作土は水分散率が42.2%と非常に高い値を示した。作土のグライ以下の下層及び深耕した土壌あるいは正常穂水田では、2~4%と低い値にとどまった。また、pHをかえて測定した分散率(第3図)は、異常穂発生田の土壌は不規則ながらもいずれのpH域でも高い分散率を示した。同じ土壌統群に属する玉井土壌とは異なった分散率を示した。

収縮性(第6表)については、100ml円筒で土壌を採取し乾燥後の直径を実測し調査した。表層は、1.4~2.5%と比較的収縮したが、すき床層以下の下層は0.8%と収縮率が劣った。

以上の結果から、異常穂が発生しやすい地域は夏期に地下水位が高く透水不良である。

常発水田の土壌物理性は作土深が浅く、次層のち密度が硬い。作土の分散性が高く、収縮の小さい、構造の発達しにくい特徴がみられた。従って、還元条件下で生成される原因物質の拡散移動、溶脱等を妨げるような条件が形成されやすい土壌であると推定された。

第3表の(凡例)



第 4 表 大里・玉井土壤の粒径組成

地区	層位	区分			土 性
		砂 %	シルト %	クレイ %	
大 里	A _{p1}	47.6	39.6	12.8	L
	A _{p2}	44.6	39.8	15.5	CL
	A ₁₋₂	45.9	39.6	14.5	L
	B ₂	29.1	50.4	20.5	SiCL
	B ₃	27.9	50.5	21.6	SiCL
玉 井	A _{p1}	46.2	28.0	25.8	LiC
	A ₁₋₂	43.9	30.8	25.3	LiC

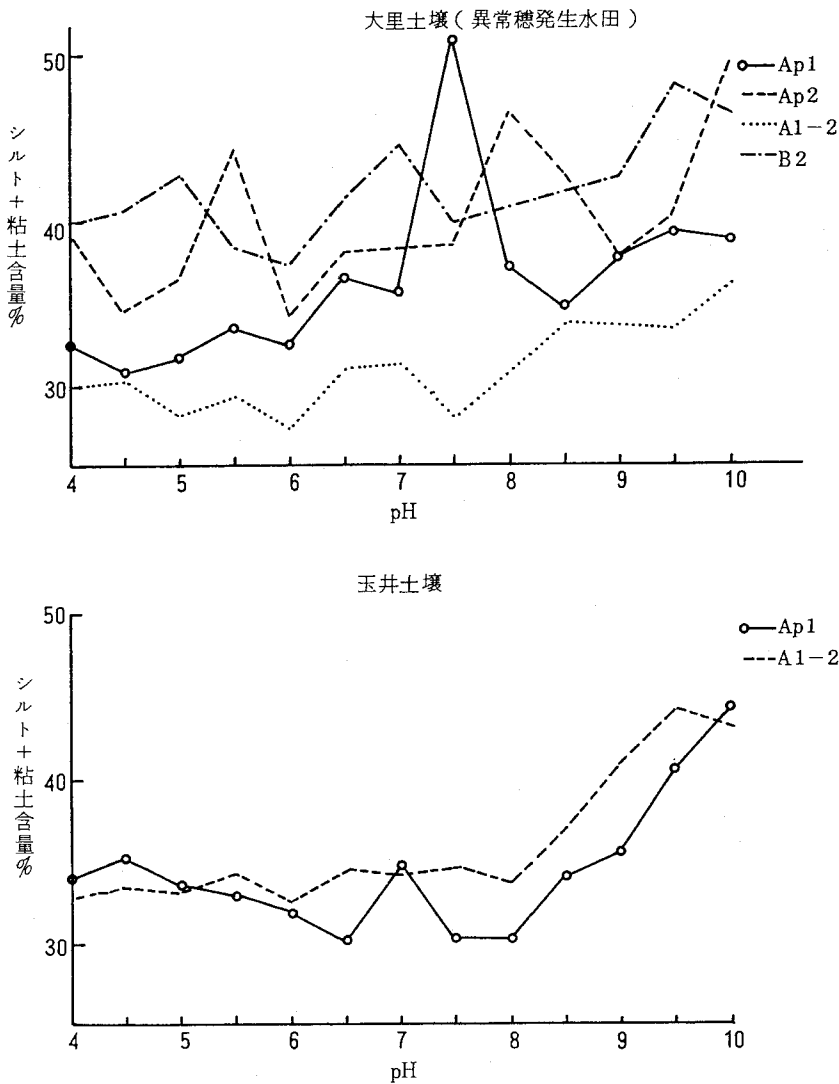
第 5 表 大里土壤の分散性（水・カルゴン比）

層 位	普通耕（異常穂水田）					深 耕			正常穂水田		
	A _{p1}	A _{p2}	A ₁₋₂	B ₂	B ₃	A _{p1}	A ₁₋₂	B ₂	A _{p1}	A ₁₋₂	B ₂
分散率 (%)	42.2	3.3	3.7	2.6	2.4	2.8	2.8	2.8	2.2	2.6	2.6

第 6 表 大里・玉井土壤の収縮性

層 位	大 里					玉 井			
	A _{p1}	A _{p2}	A ₁₋₂	B ₂	B ₃	A _{p1}	A ₁₋₂	B ₁	B ₃
収縮率 (%)	2.5	1.4	0.8	0.8	0.8	2.6	2.0	2.6	2.0

大里村における水稻の異常穂発生と土壌の物理性



第3図 pHと分散性の関係

文 献

- 1) 農事試・埼玉農試・埼玉県経営普及課熊谷専技室・熊谷農改：埼玉県における水稻異常生育（とくに異常穂あるいは不稔）に関する調査・試験成果（中間報告）（1981）
- 2) 北村英一：畑地転換水田における水稻の異常発育に関する研究（第1報），中国農業試験場報告，A12 p.43~55（1966）
- 3) 北村英一・松下光夫・木下東三：畑地転換水田における水稻の異常発育に関する研究（第2報），中国農業試験場報告，A12 p.57~92（1966）
- 4) 埼玉農試：作物部試験成績書 p.16~21（1984）
- 5) 鈴木正昭：麦わら施用をめぐる諸問題—異常生育について，—土肥講演要旨集，31集，シンポジウム，p.185~186（1985）
- 6) 志賀一・大山浩雄・鈴木正昭：三毛作水田における水稻の異常穂発生の要因，土肥誌，54 p.383~388（1983）

Summary

In 1987, abnormal panicles were observed on rice plants cultivated in paddy fields located in Tsuda, Ohsato, Saitama prefecture, where rotational cropping is being implemented.

It was considered that the abnormality of the rice panicles was associated with the considerable hardness and dispersion as well as insufficient shrinkage of the paddy soil.

大豆根の伸長・分布および根粒活性と土壤水分

桑 原 真 人*

Soil Moisture Effects on Soybean Root Development and Nodulation

Masato KUWAHARA

National Agriculture Research Center

作物の根系は土壤の化学的、物理的および生物的要因により、いろいろと変化する。このうち、土壤水分が根系の発達に与える影響は大きい。大豆の栽培を世界的に見た場合、土壤の水分欠乏、あるいは不足が大豆の生育・収量面での制限要因になっている地域・土壤が非常に多い。また、日本においては従来畑作栽培大豆が主体であったが、1978年からは水田転作がはじまって転換畑での作付が増加し、1986年には大豆作付面積の63%が水田転換畑である。東北南部以南では播種期が梅雨期にかかるため、畑作大豆ではほとんど問題とならなかった、播種期から生育初期の過湿条件が水田転換畑では大きな問題となり、排水を主体とした水管理が重要な問題となってきた。一方、梅雨明け後は圃場が乾燥条件に陥るのが一般的であり、乾燥ストレスにたいする対応も必要である。

大豆が他のマメ科以外の作物と異なる主要な点は、根に根粒を着生させ、それが固定する窒素を利用することである。そのため単に根だけでなしに根粒に対する水ストレスの影響も重要である。

1. 大豆根の伸長と土壤水分

大豆根の伸長は土壤水分が過多でも過少でも抑制される。生育初期の土壤水分状態は根系形成への影響が大きく、作物のその後の生育に大きく影響する。生育初期に過湿の場合、根系は表層に多く分布し、その後、乾燥状態になると、下層への根の伸長が阻害されていたことから、吸水が阻害され、生育が抑制される。根群は下層に適当な水があれば、深い層にまで分布する。

水田転換畑では良好な生育をさせるために排水が必須である。多くの転換畑では地下水位の低下にともない根

群域は下方にまで達し、地上部の生育も向上する。柴田ら(1976)はTable-1に示すように、沖積土を用いて根の分布に及ぼす地下水位の影響を調べた。地下水位の低下にともない根は下方にまで伸長する。収量に対する地下水位の影響は50cm区の収量を100とすると35、20、5cm区でそれぞれ100、86、53%であった。一般的に言って、大豆栽培にとり地下水位は50cm以下が望ましいとされている。しかし、この条件は土壤によって異なり、水が移動しにくい土壤では生育旺盛時の水供給の面から、地下水位がもっと高い条件で増収となる。

Table-1 地下水位の相違によるダイズ根の垂直分布*

層 位	地 下 水 位 (cm)			
	5	20	35	50
cm	%	%	%	%
0-5	77.9	39.9	23.4	18.5
6-10	18.9	29.7	29.3	35.6
11-15	2.9	24.2	13.3	15.2
16-20	0.3	5.7	14.4	10.7
21-25		0.4	12.1	8.5
26-30		0.4	6.7	7.8
31-35			0.6	2.5
36-40			0.2	1.0
41-45				0.2
46-50				0.0

注. 1) 全重を100としたときの指数

2) 品種: ライデン(47年)

*農業研究センター

2. 耐湿・耐旱性に対する品種間差

水分ストレスに対する耐性には品種間差が認められる。Mederski(1973)は Table-2 に示すとおり、水分ストレスに品種間差があることを示している。ここで用いられている品種は生育期間の最も短い Acme で90日、長い Clark63 で132日である。高ストレス処理は7～8月の平均降水量の半分以下であり、低ストレス処理は有効土壌水分の80%に保たれた。灌水による収量増加量は早生種で大きく、生育期間が長くなれば低下する。低ストレス処理に対する高ストレス区の収量比%Yを見ると、水分ストレスの影響は晩生種で小さく、早生種で大

きい。このように熟期の違いにより耐性が異なり、晩成品種のほうが早性の品種よりも耐性が強いとしている。大豆の場合、ストレスのかかる時期がいつであるかによって収量を構成する形質への影響は異なる。一般的には、生育期間の長い品種、あるいは開花期間の長い品種の方が、生育期間中に被ったいろいろな種類のストレスにたいして補償作用が大きいいため、ストレスにたいする耐性が強いと考えられる。水ストレスに対しても同様なことが言える。

排水不良条件での大豆の初期生育の品種間差を調べた。排水不良により明らかに根の伸長速度は低下する。この反応は Table-3 に示すとおり品種間で大きな差が認め

Table-2 Yield (kg/ ha) of soybean varieties as affected by soil moisture stress⁶⁾

Vartety	Stress level		Δy	%y
	High	Low		
Acme	1,025	1,645	620	62
Chlppewa	1,829	2,481	652	74
Monroe	1,794	2,468	674	73
Blackhawk	1,910	2,564	654	75
Lindarin 63	2,074	2,667	593	78
Ross	2,448	2,948	500	83
Shelby	2,632	2,908	276	91
Clark 63	2,786	2,928	142	95

Table-3 Average rates (Days 15 to 21) of taproot and lateral root extension¹¹⁾

Cultivar	Taproot rate		Lateral root rate	
	Well-drained	Poorly drained	Well-drained	Poorly drained
	mmd ⁻¹			
Hawkeye 63	39.3	24.2	29.6	18.8
Beeson 80	39.0	19.6	30.5	21.0
Premier	38.0	16.1	38.9	22.1
Wayne	35.8	24.1	32.3	24.3
Kentland	33.8	17.7	35.2	21.3
Harosoy 63	33.7	14.3	33.6	16.7
Amcor	30.7	14.4	32.3	18.6
Corsoy	28.8	24.6	30.0	26.7
LSD 95%†	4.7	5.2	4.8	4.6
LSD 95%‡		3.4		3.4

† Between cultivars within drainage treatments.

‡ Between drainage treatments.

大豆根の伸長・分布および根粒活性と土壤水分

Table-4 根粒数および乾物重におよぼす湛水処理の影響⁴⁾

品 種 名	処 理 区 別	根粒数 (個/株)				乾物重 (g/株)				枯死率 (%)	被害程度 (7月28日)
		7月30日		8月11日		7月30日		8月11日			
		健全	死滅	健全	死滅	茎葉	根	茎葉	根		
黄 宝 珠	湛 水	134	9	166	17	21.5	5.0	33.4	6.1	1	0.3
	対 照	170	—	162	—	25.4	5.5	33.8	5.9	—	—
トヨスズ	湛 水	111	15	98	5	27.1	3.4	34.9	4.8	14	0.3
	対 照	134	—	126	—	23.5	5.6	42.1	6.8	—	—
コガネジロ	湛 水	88	23	118	10	24.7	3.8	34.6	3.8	48	0.5
	対 照	116	—	173	—	16.2	4.0	36.1	8.0	—	—
スズヒメ	湛 水	48	20	124	7	23.4	2.9	29.3	3.7	9	0.3
	対 照	57	—	115	—	15.6	3.7	30.4	5.9	—	—
ヒメユタカ	湛 水	14	45	0	1	17.3	2.6	11.7	1.4	98	2.5
	対 照	81	—	75	—	22.5	5.3	41.3	7.7	—	—
キタコマチ	湛 水	21	32	0	4	19.0	2.2	13.0	0.9	99	2.5
	対 照	76	—	53	—	22.5	5.2	42.4	6.6	—	—
白鶴の子	湛 水	6	31	0	0	13.8	2.1	13.5	0.9	99	3.3
	対 照	75	—	53	—	36.3	5.8	44.9	7.3	—	—
つるまめ	湛 水	39	2	95	6	10.4	1.5	12.4	3.2	0	0.3
	対 照	59	—	121	—	16.4	2.7	32.8	4.6	—	—

注) 枯死率の調査は8月24日。

られる。また、表層の側根数は処理によって差は認められないが、top/root比は排水不良区で大きくなっているとされている。これは地上部の生育よりも根の乾物重が少ないことによる。北海道中央農試の耐湿性の品種間差の検討結果によると、湛水処理により、耐湿性の弱い系統は根の障害により枯死する (Table-4)。この試験でみると、過湿に対しての抵抗性は実際の圃場条件下では水分生理の問題でなく、ツルマメのような野性種にみられるとおおり、茎疫病に対する抵抗性の強弱の面が強いと考えられる。耐湿性の強い系統は弱いものに比べ、湛水処理後の根粒数が多く、生育の回復も早い。過湿障害からの回復には根粒の着生肥大の能力差が大きい。このことはcowpeaの根粒についても報告されている。cowpeaを8日湛水条件においたあとの窒素固定能と栄養生長量の回復程度を調べた結果、湛水ストレスからの回復は地上部の生長よりも根粒の回復を優先させる結果が得られている²⁾。

生理的機能の面でも耐湿性の検討が行われているが、報告は少ない。

3. 根粒と土壤水分

根粒の着生・肥大および窒素固定活性は、土壤の水分状態によって影響される。根粒は過湿な土壤条件では着生しない。根粒の窒素固定活性 (以下はアセチレン還元活性で測定した活性) は土壤条件が過湿でも過乾でも低下する。Mahler ら(1981)により大豆と根粒の生育に対する根粒菌株と灌水の効果が検討された。用いられた土壤は有効保水量の非常に小さい土壤である。この結果では地上部の生育に対して灌水、根粒菌株の種類の効果は明らかでない。しかし、Table-5 に示すとおり、地上部への効果がないにもかかわらず、根粒の生育に対する効果は大きい。すなわち、根粒菌は灌水されるような良好な条件において、その能力の発揮が可能になると考えられる。

Sprent(1971)は根粒の水分ストレスについて詳細に検討し、根粒の水分含有率が低下すると窒素固定活性が急減すること、一定の水分以下になると、再給水しても活性は回復しないことを明らかにした⁹⁾。根粒の活性が土壤の水分不足により、低下する理由として、光合成能の低下をあげた報告が多い。光合成能が低下すると、根粒への炭水化物の転流が阻害され、根粒の活性も低下する。しかし、Sprent (1976) は土壤水分の不足による根粒の窒素固定能力の低下は、光合成能の低下よりも大

Table-5 Effect of irrigation and inoculation on nodule weight data from soybeans grown in a Lakeland sand. ⁵⁾

Treatment	Nodule dry weight		
	28 days	42 days	67 days
	g/ 5 plants		
Irrigated, strain 110	0.19 ab*	0.40 a	0.58 a
Irrigated, strain 122	0.15 ab	0.38 ab	0.54 a
Irrigated, strain 31	0.21 a	0.32 abcd	0.50 a
Irrigated, strain 76	0.18 ab	0.35 abc	0.48 a
Nonirrigated, strain 122	0.16 ab	0.30 bcd	0.36 b
Nonirrigated, strain 76	0.15 ab	0.33 abcd	0.34 b
Nonirrigated, strain 110	0.15 ab	0.28 cd	0.33 bc
Nonirrigated, strain 31	0.13 ab	0.27 cde	0.33 bc
Irrigated, noninoculated	0.11 b	0.25 de	0.29 bc
Nonirrigated, noninoculated	0.10 b	0.19 e	0.23 c

*Means followed by the same letter within a column are not significantly different at the 5% level using least significant differences.

きいと結論している¹⁰⁾。

Huangら (1975) によれば、根粒の水ポテンシャルはFig. 1に示すように土壌の水ポテンシャルより2 bar低い値ではほぼ1:1の対応をするが、葉身では根粒よりも低い水ポテンシャルを示す。Bennetら (1984) のポットによる過湿及び過旱条件を与えた試験によると、湛水処理により窒素固定活性は低下する。一方、土壌が乾燥すると根粒の水分が低下し、その低下の度合は葉身の水ポテンシャルよりも低くなるという結果を報告している。土壌の乾燥により、根粒の水分が取り去られ、窒素固定活性は急速に低下したが、再給水により急速に回復した。HuangらとBennetらの試験結果に違いが認められるが、Bennetらの場合、急速に根粒から水分が土壌に取り去られるような条件での測定のため、このような違いになったものと考察している。いずれにしても、根粒の水ポテンシャルと窒素固定能の関係はFig. 2に示すように高水分域で高く、乾燥にともない低下する。

Weiszら (1985) は乾燥にともなって窒素固定能が低下する原因を、圃場に生育させた大豆を用いて、水供給を断つてからの根粒のアセチレン還元能、表面積、ガス透過性等を検討して次のように報告している。根粒のアセチレン還元能とconductanceは $r=0.97$ という高い相関関係にある。根粒のconductanceは根粒の表面積とガス透過性の積である。そこでアセチレン還元能と根粒の表面積との関係を見るとFig. 3のようになる。水分のストレス条件下における両者の相関は $r=0.66$ と低い

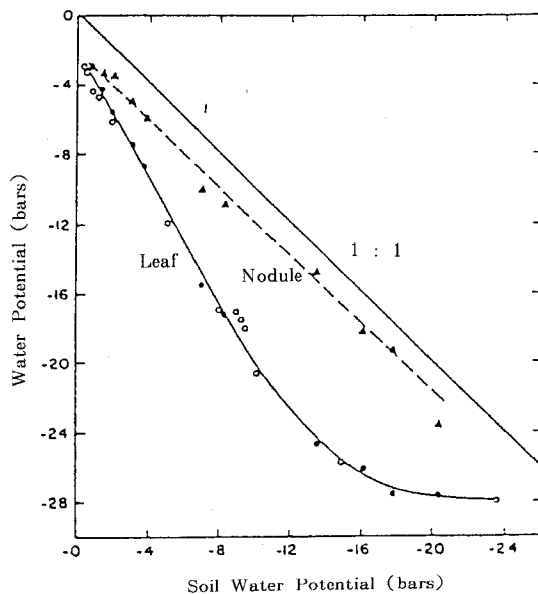


Fig. 1 Effect of soil water potential on leaf water potentials and nodule water potentials of soybean plants that had been exposed to the conditions for measurement of photosynthesis, transpiration, and acetylene reduction for at least 6hr. Leaf water potentials obtained from those plants utilized for daily measurements are shown by (○). Leaf water potentials taken from a separate group of plants are shown as (●). These latter plants were destroyed for determining the nodule water potentials (▲). (Huangら, 1975)

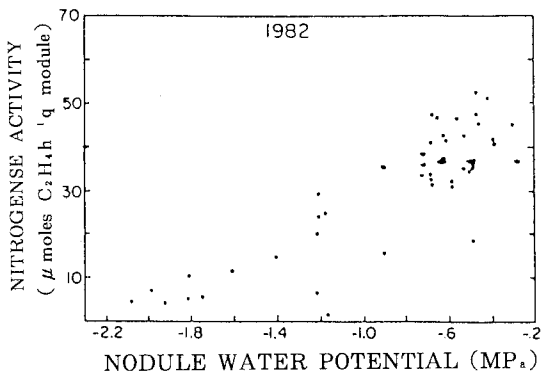


Fig. 2 The relationship between midday soybean nodule water potential and midday nitrogenase activity. (Bennetら, 1984)

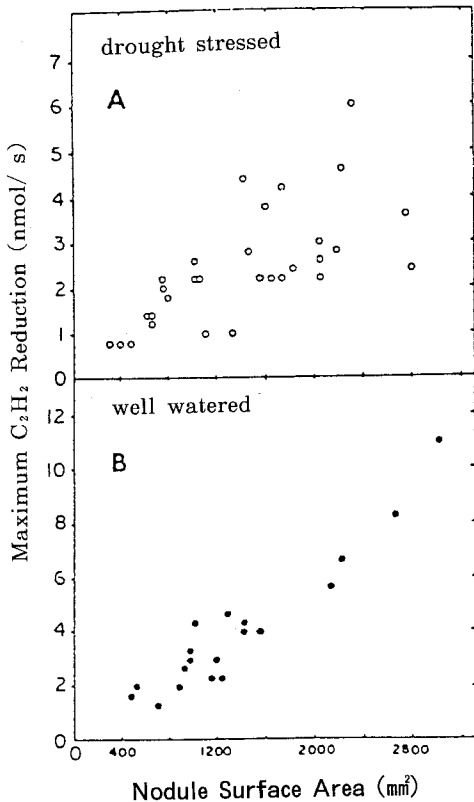


Fig. 3 Maximum acetylene reduction *versus* nodule surface area for (A) drought-stressed plants and (B) well-watered plants. (Weiszら, 1985)

が、良好な条件下では $r=0.94$ と非常に高くなる。表面積が同じでもアセチレン還元能に差があるのは、良好な水分条件と乾燥条件では根粒表面のガス透過性に違いが

あるためである。根系の乾燥状態が長引くと、水分ストレスは根粒の表面積を減少させ、それに引続き根粒のガス透過性を減少させる。圃場状態では土壤水分がストレス状態でも良好な状態でも、根粒中への酸素の拡散が窒素固定速度を制御する最も大きな要因であるとしている。

4. 根および根粒の経時推移と土壤水分

根の伸長・分布や根粒の着生肥大が土壤の水分条件に強く影響されることは多くの研究で明らかである。しかし、生育に伴う両者の変化を経時的に追跡した報告は少ない。著者らはリゾトロンに設置した根箱を用いて、大豆根系の発達と根粒の着生分布に対する、土壤水分の影響について検討した。土壤は湿性黒色火山性土（以下火山性土）と低位泥炭土（酸性褐色森林土を6 m³客土、以下泥炭土）を用いた。ここで用いた泥炭土壌の圃場は数年にわたり、4 t/ha以上の多収例を示した圃場である。土壤水分は根箱内の水位を地表面から35cm（高水位）および55cm（低水位）に保もつことにより調節した。土壤水分は、経時的にコアで土壤をサンプリングして測定した。根粒数の推移は、根箱の観察面から肉眼で観察可能な根粒の数を計測した。

用いた2種類の土壤の間では根及び根粒の分布に差が認められた。地表から10cm毎の土層別の根重をみるといずれの処理でも表層10cmで多く、下層にいくほど減少する。火山性土は高水位で10cm以下、低水位は20cm以下で急激に減少する。一方、泥炭土では水位の15~20cm上まで同様に分布し、下層での減少程度は少ない。これは火山性土の方が泥炭土よりも水の易動性が大きく、根箱内での水分環境が大きく異なったためである。根粒の着生は根重の分布よりもさらに両土壤間あるいは水位間で異なる。火山性土の場合、根粒は表層に多く、下層になると急減する。一方、泥炭土では下層にまで広く分布し、Fig. 4の低水位の例に見られるとおり、いずれの水位でも水面の15~20cm上部での着生が最も多い。根粒は過湿な条件では着生せず、過湿な層が根による吸水によって、土壤の水分が低下し始めると、着生を開始した。したがって根粒が着生するために好適な土壤水分域が存在すると考えられる。根粒の着生・肥大が認められた液相率の範囲は、火山性土で22~45%、泥炭土で20~55%であった。これらの値を両土壤のpF水分曲線によりpF値を推定すると、火山性土では1.4から3.8、泥炭土では1.4から4.0の範囲であった（Fig. 5）。泥炭土は火山性土に比べ根粒数の増加速度が早く、また、根粒着生が可能な水分範囲も広い傾向にあった。

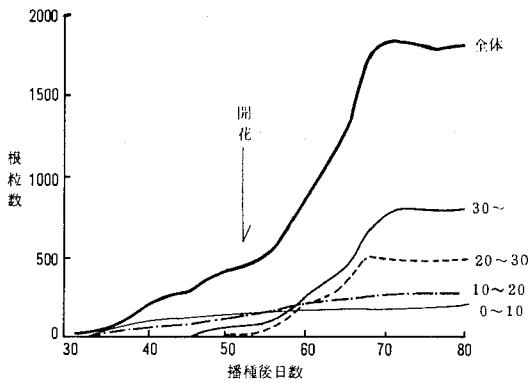


Fig. 4 根粒数の層別経時推移 (泥炭低水位)

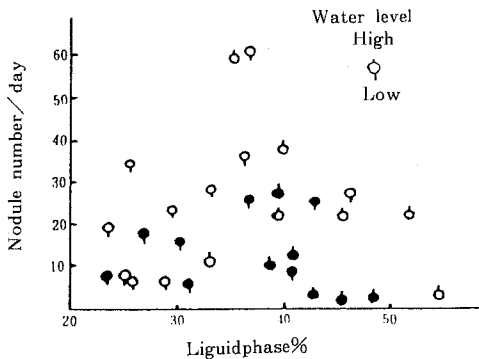


Fig. 5 Relation between increasing rate of nodule number per day and percentage of liquid phase of soil in root chamber

●Ando soil ○Peat soil (桑原ら, 未発表)

大豆の生育には土壤の水分環境が非常に重要であることは明らかである。とくに現在のように水田転換圃場で大豆の栽培が行われるようになってから過湿,あるいは夏季の乾燥が収量制限の大きな要因になっている。大豆の場合,単に大豆植物体のみでなく,共生関係にある根粒は大豆以上に水分環境の影響を受けるため,水の問題は非常に重要である。しかし,湛水の作物も同様であるが,作物に好適な水分環境条件に関してはまだ未知のことが多い。大豆の伸長や吸水に好適な土壤水分域と,根粒の着生肥大や活性が高い水分域とは異なることも考えられる。そのため大豆と根粒それぞれにとって好適な土

壤水分条件の解明が必要である。実際の農業場面を考えた場合,現在主体となっている水田転換畑では,生育初期の過湿条件から開花期以降の乾燥条件まで種々の水ストレスにさらされると考えられる。収量レベルが低い場合には収量結果に現れにくい種々のストレスも,収量レベルが上昇すれば顕在化して来る。水の問題も,今後安定多収を目指す場合に重要である。現在では蒸発量,土壤の水分測定等により灌水時期を判断する方法がとられているが,土壤の種類,作物の根域,生育程度等で植物の受けているストレスの程度が異なるため,これらの測定値が植物の水分生理状態を必ずしも反映していない。今までも試みられてきたが,植物の水分生理状態を把握して,灌水時期や灌水量を簡易に判定するような測定法の開発が,植物の水分生理状態を把握できる土壤水分測定法の開発と共に,灌水技術上必要と考えられる。

文 献

- 1) Bennet, J. M., and S. L. Albrecht : *Agron. J.* 76, 735-740 (1984)
- 2) Hong, T. D., F. R. Minchin and R. J. Summerfield : *Plant and Soil*, 48, 661:672 (1977)
- 3) Huang, C-Y, J. S. Boyer, and L. N. Vandernoff : *Plant Physiol.*, 56, 222-227 (1975)
- 4) 北海道立中央農試畑作第1科:大豆試験成績書, 86-93 (1982)
- 5) Mahler, R. L. and A. G. Wollum II : *Agron. J.*, 73, 647-651 (1981)
- 6) Mederski, H. J., D. L. Jeffers and D. B. Peters : In B. E. Caldwell, ed, *Soybeans: Improvement, Production and Uses*, 239-266 (1973)
- 7) Patterson, R. P., C. D. Raper jr. and H. D. Gross : *Plant Physiol.*, 64, 551-556 (1979)
- 8) 柴田悳次, 遠藤武男:東北農業研究 18, 104-107 (1976)
- 9) Sprent, J. I. : *Plant and Soil*, Special Vol. 225-228 (1971)
- 10) Sprent, J. I. : In T. T. Kozlowski, ed, *Water Deficits and Plant Growth*, Vol. IV, 291-315, Academic Press, New York (1976)
- 11) Stone, J. A : *Agron. J.* 77, 787-789 (1985)
- 12) Weisz, P. R., R. F. Denison, and T. R. Sinclair : *Agron. J.* 78, 525-530 (1985)

Summary

The relationships between soil moisture and soybean root development and nodulation were analysed.

Water stress, whether caused by flooding or drought, injured the root systems and affected the plant growth.

There were differences among the cultivars in their ability to recover after water stress. Nodule growth and nitrogen fixing ability of cultivars tolerant to the water-logged stress were able to recover after the stress. Stress associated with drought resulted in a decrease in the nodule gas permeability followed by a decrease in the nodule surface area. The diffusion of oxygen in the nodules is an important factor for the regulation of nitrogen fixation rates in field-grown soybeans.

The range of the ratio of the liquid phase of soil enabling the infection to occur and the nodules to develop was 22-45% for the volcanic ash soil and the 20-55% for the peat soil. The rate of increase of the nodule number within a day in the peat soil was higher than that in the volcanic ash soil.

畑作物生育のための地下水位制御

— 傾斜地転換畑の地下水位制御の事例 —

永 石 義 隆*

Control of Ground Water Level Using Underdrainage System Terraced Paddy Fields

Yoshitaka NAGAIHI

Land Utilization Division, Shikoku National Agricultural Experiment Station

1. まえがき

水田の基盤条件は本来、水をためて利用するように整備されている。しかしながら、最近では水田再編対策に伴って水田の畑作利用が進められ、水田を畑として利用する場面が多くなっている。そのため、これからの水田基盤は水田と畑の両方に使用できる条件、すなわち汎用的な性質を持った水田基盤に整備する必要がある。傾斜地における汎用化水田では、地下伏流水による湧水の処理が不可欠な整備作業の一つである。この湧水処理には、一般に暗渠排水が利用されている。

暗渠排水は土壌中の水を吸水管によって吸水・排除し、地下水位を下げ、圃場を乾燥させ、農作業を容易にすると同時に、作物の生育・収量を向上させる。しかし、傾斜地水田では一般的に圃場の山側及び道路側の地下水位が高く谷側及び排水路側が低くなるなど、圃場全体の土壌条件は著しく不均一を呈する。また、谷側及び排水路

側は地下水位が低く、土壌がよく乾燥するので、土壌構造がよく発達する反面水田復元時には、漏水の原因になったり、また豪雨時にはあぜ崩壊などの災害発生が懸念される。

本研究では、暗渠を効果的に利用し圃場の地下水位を制御することにより、作物の生育に好適な土壌条件を維持すると同時に、あぜ部の土壌構造の発達を抑制し、各種あぜの崩壊等の災害を未然に防止しようとするものである。

2. 試験方法

試験場所は香川県三豊郡三野町大見地区で、1981年度に圃場整備が施工された。地区面積は約12haで、平均傾斜は1/30である。地区の上方に国道11号線が走り、その上にため池があり、地区の下方にもため池がある。

試験圃場の平面と暗渠の配置を図-1に示した。圃場

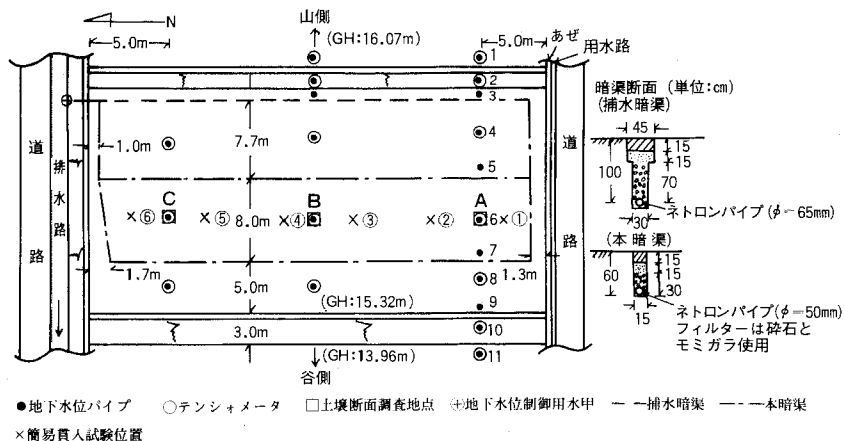


図-1 試験圃場平面図

* 四国農試土地基盤研究室

畑作物生育のための地下水位制御

は、長辺が45m、短辺が25mの面積11.3haの圃場である。圃場の標高差は山側で0.75m、谷側で1.36mであり、平均勾配は1/25である。

山側の湧水処理用の本暗渠は、圃場整備時に施工したものを補修して使用した。圃場内の本暗渠は施工間隔約8m、深さ約60cmで施工し、本暗渠はすべて周囲を連結した。暗渠構造は本暗渠がモミガラと碎石を組合わせたものであり、また補助暗渠はパイプロドレーナーによって（セン孔体径65mm）、間隔1.5m、深さ30cmで、本暗渠と直角に施工した。暗渠排水口には、図-2に示した様に地下水位制御用の水甲を設置した。地下水位は田面より30cm、45cm、60cm、112cmの4段階に調節可能とした。

圃場の排水管理及び作物の栽培は農家への委託管理とした。なお、圃場の物理性、地下水位、土壤水分並びに収量調査については筆者らが測定した。

栽培作物は夏秋キュウリ（青力5号）を用い、施肥及び防除は香川県の栽培基準に準じて実施した。試験圃場の栽培条件を図-3に示した。

栽培密度は畦幅150cm、株間45cmとし、10a当たり1481株植した。なお、畦高は21~24cmの範囲であった。作畦様式については株元を中心に両サイド37cmをビニールマルチで被覆した。地下水位は畦高の中間位置から30cm下に制御した。

水分補給は畦間灌漑と地下水からの供給によった。なお、土壤水分の土面蒸発はビニール被覆を併用したことから圃場面積のおよそ半分から行われる。この例で、キュウリ1本当たりの土壤容積を概算すると、およそ80ℓとなり（図中点線部分）、上床栽培の13倍、隔離栽培の3倍強となる。

該当地域の一般的な作付体系は水稻とキュウリの1年ごとの輪換栽培であるが、試験圃場は2年連続してキュウリを栽培し、翌年水稻、次年度にキュウリを栽培した。

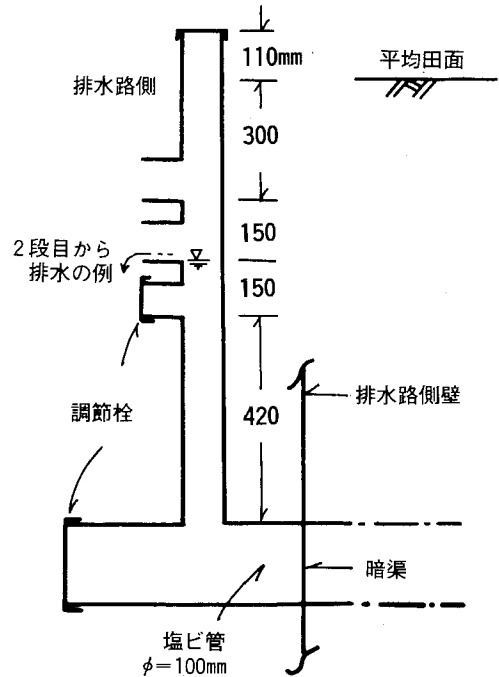


図-2 地下水位制御用水甲

水稻栽培時の代かきは2~3回行い、暗渠を利用して除塩を実施している。

地下水位の測定は直径50mm、長さ1.5mの塩ビ管を用い、土壤水分はテンシオメータを深さ10cmと25cmに埋設して測定した。測定位置は図-1に示したとおりである。

キュウリの収量は農家が農協へ出荷した箱数から算出し、標準収量は農協で算出した地区の平均収量を使用した。

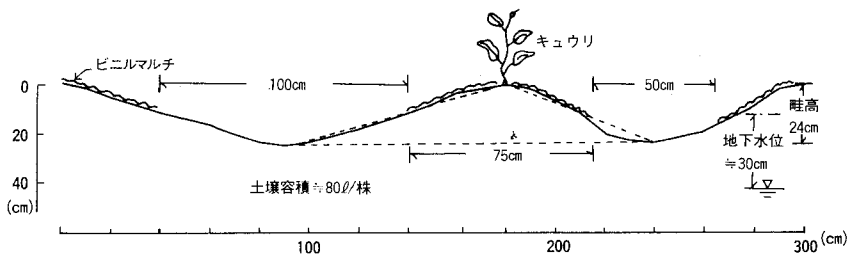


図-3 栽培圃場の断面図

3. 試験結果

(1) 土壌の物理性

試験圃場の土壌断面を図-4に、土壌の物理性を表-1に示した。

土壌断面は道路側(A)は切り土されており、排水路側(C)は大きく盛り土され、構造が非常に複雑で、よく締まっていた。

土性は重粘土(HC)であり下層土の固相は55%以上で、排水に寄与する粗孔隙は極めてわずかであった。また、すき床層以下の飽和透水係数は 10^{-6} cm/secオーダー以下で、全くの不透層となっている。

(2) 土層改良の効果

図-5に、土層改良後における土壌き裂の状態を示し

た。

図示した様に、細かい土壌き裂は少なかったが、連続した大きなき裂は確実にできていた。

土層改良後、1年経過した土壌き裂の状態は図-6のとおりで弾丸暗渠の中間部ではき裂の発生が少なかったが、施工位置ではき裂がよく発達していた。

表-2は土層改良による土壌物理性の変化を調べた結果である。

破碎後の粗孔隙は、破碎前にくらべ約4倍程度増加した。このため飽和透水係数は 10^{-2} cm/secのオーダー(約100倍)増加した。

以上の結果から、粘質土壌では工学的手法による土層改良によって土壌き裂の発生を促すことが必要であることが指摘された。

測点 深さ (Cm)	A				B				C			
	土性	土色	ち密度 mm	記 事	土性	土色	ち密度 mm	記 事	土性	土色	ち密度 mm	記 事
10	SiC	7.5YR 4/2	24.9	作土部	SiC	10YR 3/3	8.3 18.1	作土部	SiC	7.5YR 4/2	24.2	作土部
20	〃	〃	26.1	この層まで 表土扱い部分	〃	2.5Y 3/3	23.4	この層まで盛 土部かなり密 酸化斑多し	〃	10YR 4/3	25.2	酸化斑多し石 礫混る
30	〃	10YR 5/3	24.2	酸化斑多し石 礫混る	〃	7.5Y 5/1	20.9	マンガン斑が 存在するが、 土色は青色が かる	〃	5Y 4/2	18.3	グレイ斑が存 在 この層まで盛 土部
40	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃
50	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃
60	〃	5Y 4/2	25.9	酸化斑多し石 礫やや少ない	〃	〃	〃	〃	〃	2.5Y 3/1 または 5Y 3/1	—	この層以下旧 水田基盤
70	〃	〃	〃	〃	SiL	5Y 5/3	26.3	非常に締っ ている	〃	〃	〃	〃

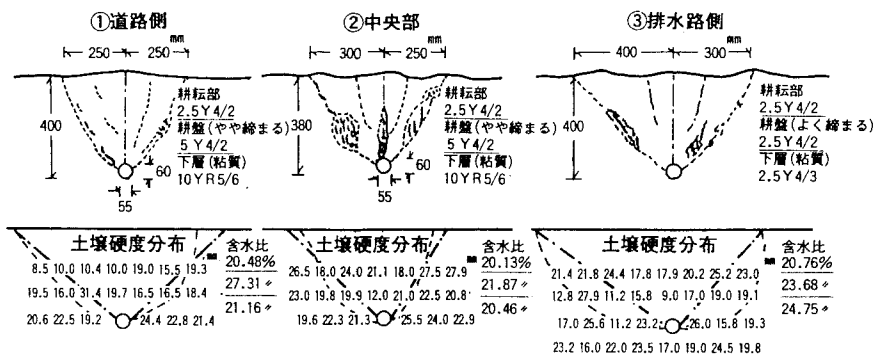
注: 1) A及びCは1982年7月調査、Bは同年4月調査
2) 波線は土壌の移動境界

図-4 土壌断面図

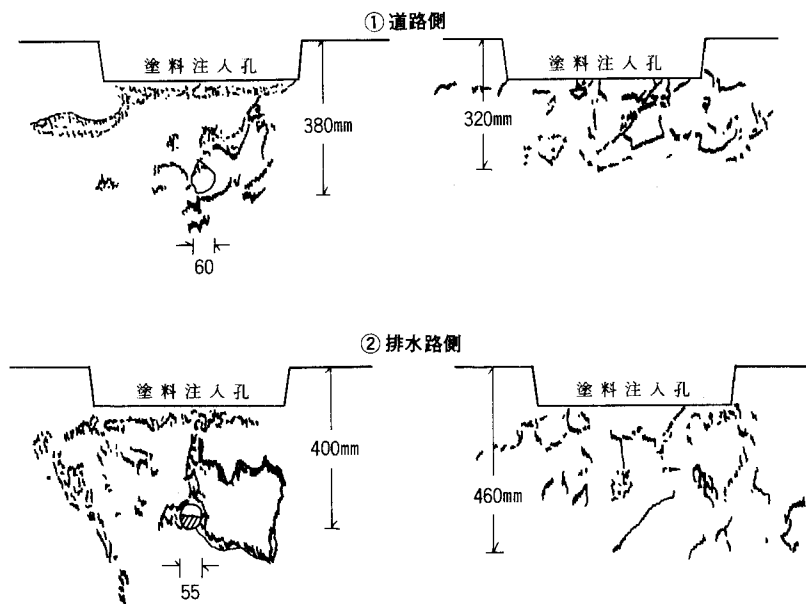
表-1 土壌の物理的性質一覧

測点	深さ (cm)	粒度分布(%)				土性	真比重	仮比重 (g/cm ³)	3相分布(%)			コンシステンシー(%)			飽和透水係 (cm/sec)	
		礫 2mm 以上	砂 2.0~ 0.074	シルト 0.074~ 0.005	粘土 0.005 以下				固相	液相	気相	粗孔隙 (%)	液性	塑性		指数
A	0~13	7.3	35.4	21.0	36.3	粘土	2.59	1.49	57.5	29.1	13.4	5.6	41.1	22.0	19.1	1.30×10^{-4}
	13~26	4.5	35.6	23.6	36.3	〃	2.59	1.68	64.7	33.2	2.0	0.4	41.1	22.2	18.9	4.15×10^{-7}
	26~45	15.0	30.2	13.9	40.9	〃	2.64	1.53	58.0	39.8	2.2	0.7	55.6	20.1	35.5	1.47×10^{-6}
B	0~15	3.9	35.6	21.5	39.0	〃	2.63	1.12	42.4	21.7	35.9	2.6	42.0	24.5	17.5	3.53×10^{-3}
	15~33	0.0	7.1	20.9	72.0	〃	2.69	1.53	56.8	41.9	1.3	0.0	66.6	21.8	44.8	9.69×10^{-7}
	33~63	0.3	19.3	21.2	59.2	〃	2.68	1.57	58.5	39.4	2.1	0.5	56.9	20.4	36.5	8.11×10^{-7}
C	0~15	4.7	34.5	25.6	35.2	〃	2.59	1.58	60.8	36.1	3.1	0.9	41.0	24.4	16.6	1.83×10^{-3}
	15~30	6.8	36.5	21.0	35.7	〃	2.63	1.66	63.0	35.3	1.7	0.5	42.8	20.2	22.6	8.39×10^{-7}
	30~55	4.8	32.7	20.4	42.1	〃	2.64	1.60	60.4	39.3	0.3	1.1	49.1	17.9	31.2	2.37×10^{-6}

畑作物生育のための地下水位制御



図一 5 白色塗料による土壤き裂 (1983年施工時調査)



図一 6 土層改良後1年経過した土壤き裂 (1984年11月調査)

表一 2 破砕による土壤物理性の変化

部位	項目	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6	No.7	平均
破砕部	固相 (%)	48.76	42.41	48.92	56.65	56.95	57.43	59.94	52.72
	液相 (%)	34.51	36.29	33.94	40.38	38.50	32.48	34.36	35.07
	気相 (%)	16.73	26.30	17.14	4.97	4.55	10.09	5.70	12.21
	粗孔隙 (%)	10.09	19.04	12.11	2.71	2.65	4.72	3.48	7.83
	飽和透水係数 (cm/sec)	2.18×10^{-3}	1.32×10^{-3}	6.45×10^{-5}	7.06×10^{-5}	7.06×10^{-5}	5.30×10^{-3}	1.18×10^{-5}	2.99×10^{-3}
非破砕部	固相 (%)	55.98	49.72	62.36	60.23	61.11			57.88
	液相 (%)	38.83	36.86	35.57	35.65	34.89			36.36
	気相 (%)	5.19	13.42	2.07	4.12	4.00			5.76
	粗孔隙 (%)	3.58	0.00	2.01	2.05	2.01			1.93
	飽和透水係数 (cm/sec)	5.96×10^{-5}	8.39×10^{-8}	2.54×10^{-5}	1.89×10^{-7}	5.09×10^{-8}			1.71×10^{-5}

(3) 地下水位の変化

図-7に、キュウリ栽培期間における地下水位の変化を示した。

土層改良前の地下水位は山側から谷側に向かって漸次

低下したが、土層改良後はあぜ部を除き、圃場全体の地下水位はほぼ均一化した。また、道路側から排水路の方でも同様な傾向が認められた(図-8)。

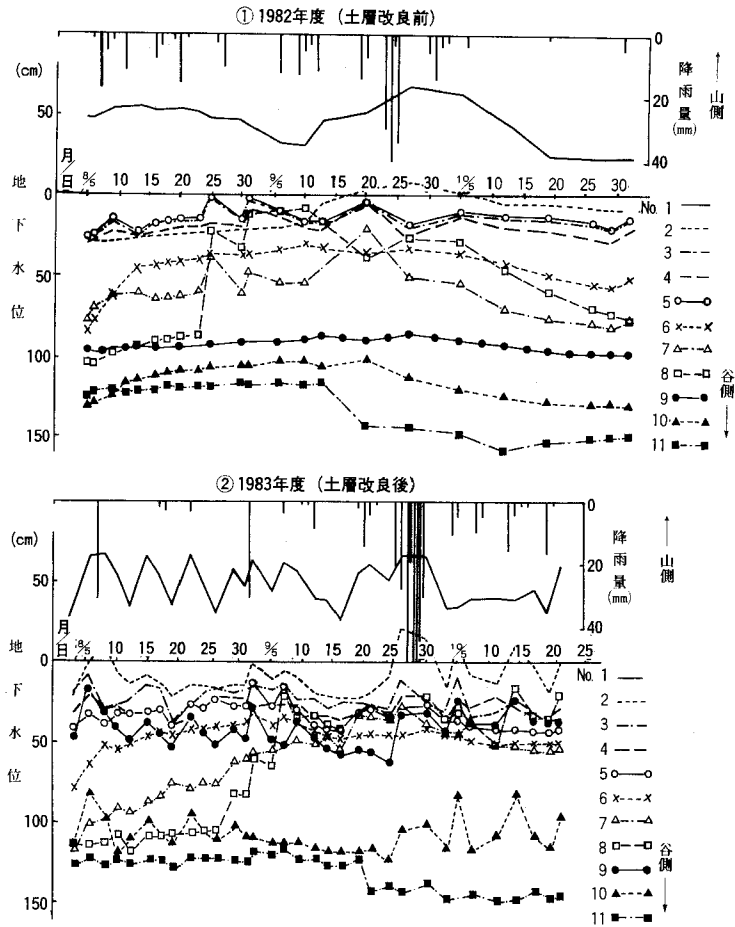


図-7 地下水位の経時変化

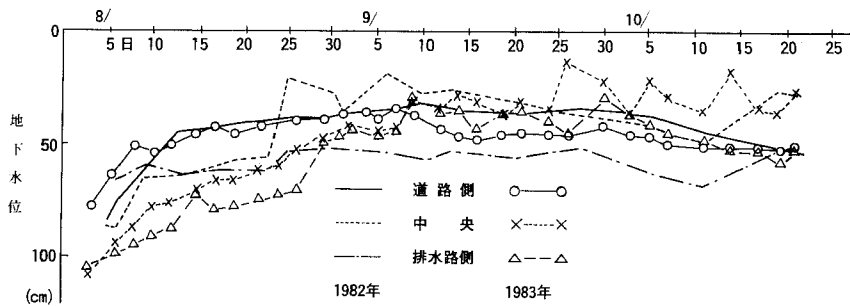


図-8 道路側から排水路側方向の地下水位の経時変化

(4) 土壌水分の変化

図-9並びに10に、キュウリ栽培期間中の土壌水分の変化を示した。

測定深さ10cmの水分張力は土層改良前では、山側ほど小さく、谷側は大きく、山側が湿り、谷側が乾燥することを示唆している。土層改良後は圃場全体の水分張力の差が縮まり、特に深さ25cmではほぼ圃場全体の土壌水分

変化が均一化することが認められた(図-10)。

(5) キュウリの収量

表-3に、キュウリの収量を示す。

試験圃場のキュウリの収量は標準収量に対して、24~63%の範囲で増収した。ちなみに、1985年度は試験農家が管内農協で最優秀賞を獲得しており、本方式の有利性を立証した。

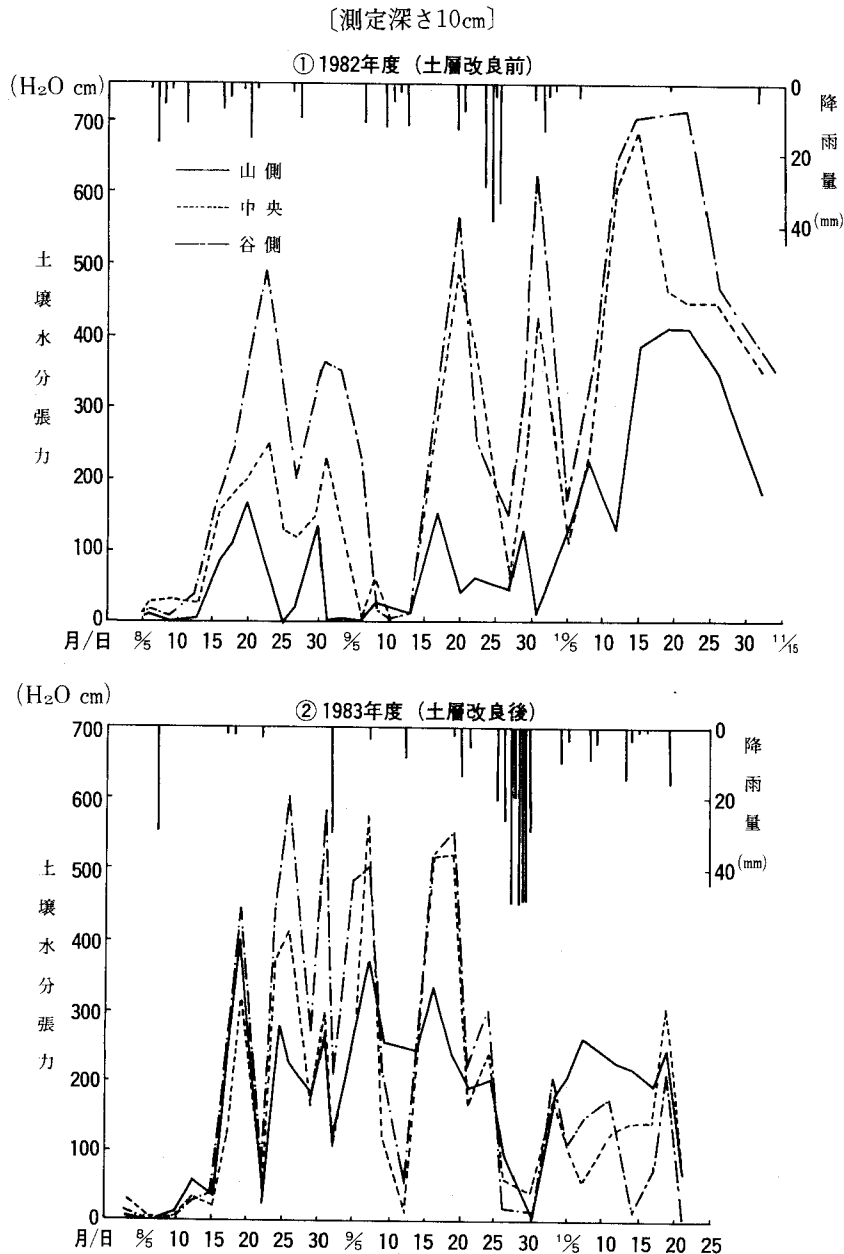


図-9 土壌水分の経時変化

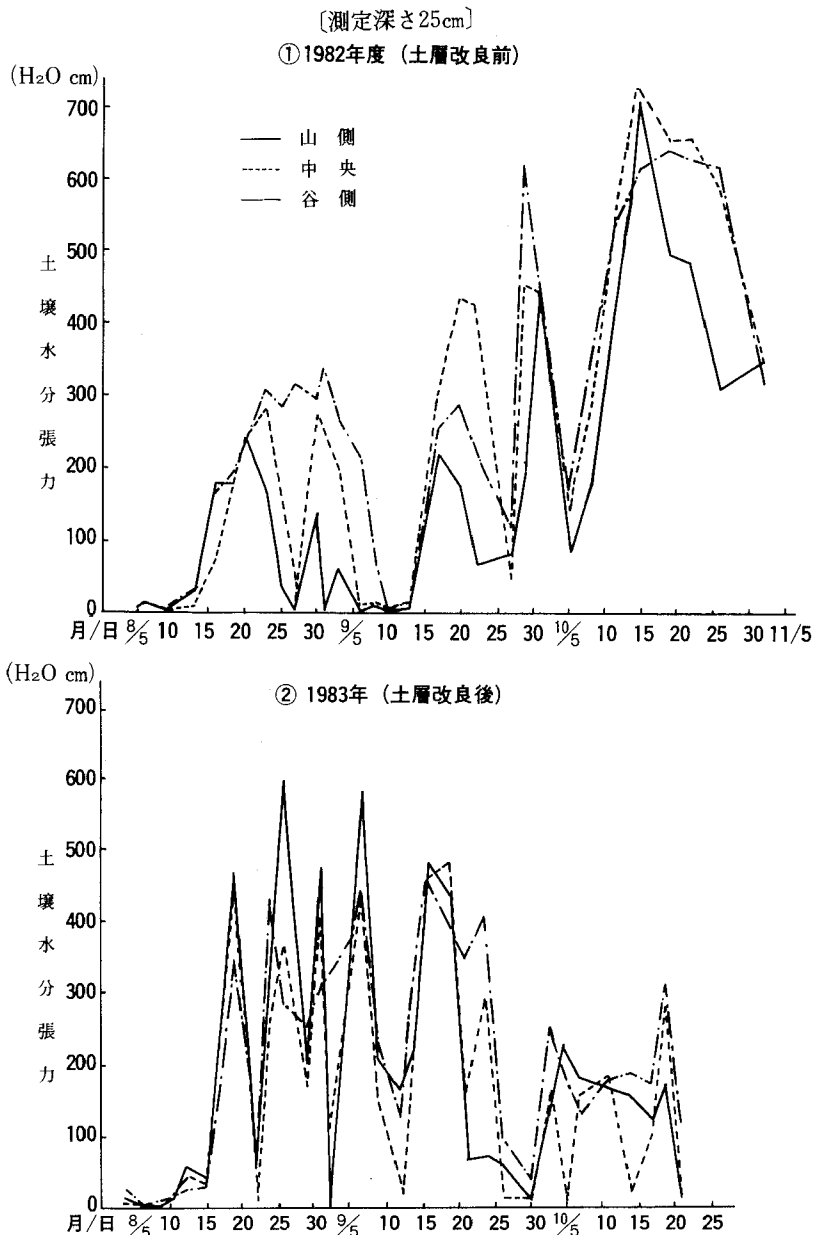


図-10 土壌水分の経時変化

表-3 キュウリの収量

年 度	1982	1983	1985	備 考
試 験 圃 収 量	6,500	6,000	7,250	10 a 当たり
標 準 収 量	4,000	4,850 *	5,000	の換算値 (kg)
比 率	1.63	1.24	1.45	

注) *印は近くの輪換畑で調査した値

畑作物生育のための地下水位制御

4. 考 察

地下水位の定義は農業土木標準用語事典によれば²⁾、地下水位とは大気圧と等しい圧力をもち、大気に接している地下水面の位置とされている。排水不良圃場の地下水位は一般に、土層の比較的浅い所に不透水層があり、圃場面に降った雨、あるいは圃場に流れこんだ水が下層へぬけきれないで不透水層上に滞留して水面を形成する場が多い。これを擬似の地下水位ともいい、不透水層を破碎することによって著しく変化する。すなわち、不透水層がうすく、地下水面が低い場合は擬似地下水面は消滅する。一方、不透水層が厚い場合は破碎しても大きな変化はない。地下水位の制御は一般的には、後者のような条件で考えるのが妥当であろう。

本例の場合は伏流水が山側から圃場面に湧出し、下層土が不透水性であるため、圃場面に滞留して排水不良となっている。そして、不透水層が比較厚いため、破碎しても下層への水の流入損失はなく、地下水位の制御が容易な条件である。このような条件下では、水補給が十分であれば、地下水位制御が可能であることを実証したものと見える。したがって、地下水位制御を目的とした基盤整備も十分現実的なものとして考慮されてよいと考えられる。

地下水位の適正值は各作物によって異なる。図-11は茨城県農試で行われた各種作物の好適地下水位のまとめである³⁾。この値は地下水面を一定としたときのものである。

地下水位の最低値はサトイモの20cmで、最高値は夏まき6条オオムギの85cmであり、大方の作物は30~60cmの範囲である。この結果から、地下水位を一定に制御できる条件下では、地下水位は田面下50cm程度であれば、大方の作物は栽培可能であると考えられる。したがって、汎用化水田の地下水位は田面下50cmに制御できる条件に整備すればよいことになる。

5. 地下水位制御からみた問題点

(1) 作物根の緩衝能と地下水位

作物は一定の地下水位で栽培すると、比較的浅い水位でもよく生育する。しかし、一たん降雨があり地下水位が上昇し、ある時間湛水すると生育障害を起こす。この生育障害は湛水に対する作物根の抵抗性の強弱によって決まる。これを作物根の緩衝能とすれば、緩衝能は作物の種類によって異なるが、気温、あるいは地温などの環境条件も影響するのであろう。この緩衝能が解明される

ならば、地下水位制御技術は大きく前進するものと考えられる。

また、作物の有効土層は深いほどよいといわれるが、経済効果から考えても限界を示す必要がある。そこで、作物根のおかれている環境条件、いわゆる根圏環境を急変させないような地下水位制御を考えるとよいと思われる。したがって、有効土層は最小限の厚さにして、地下水位を制御することによって根圏環境を整える技術が要求される。

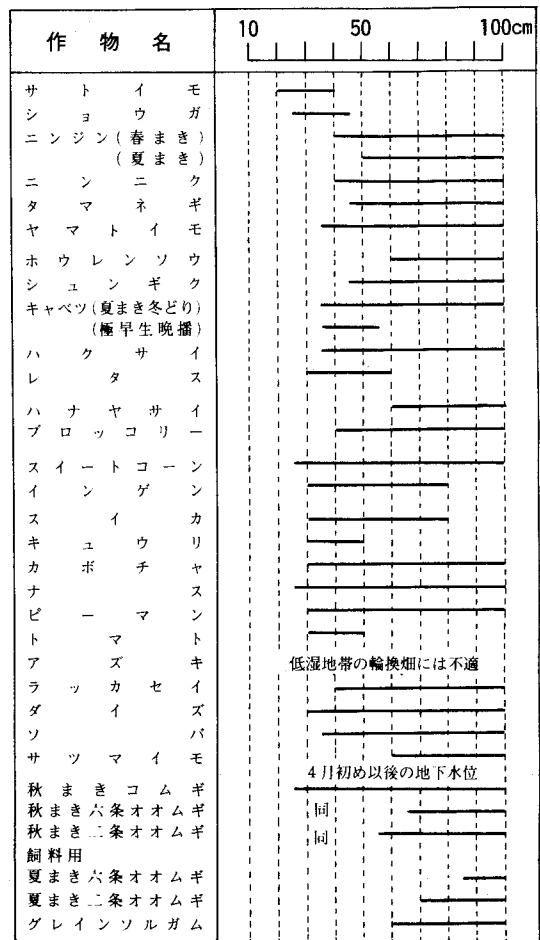


図-11 作物の好適地下水位 (茨城農試)

(2) 不耕起栽培と地下水位

圃場は作土と下層土の2層からなる。図-12は本試験圃場の作土と下層土のP F~水分曲線の例である。このように、作土と下層土は水分保持特性並びに水分の移動特性は著しく異なる。これを地下水位制御技術の方から考えると、可能な限り両者の性質を近似させる方が有利である。したがって、作土は耕耘せずに下層土との連続

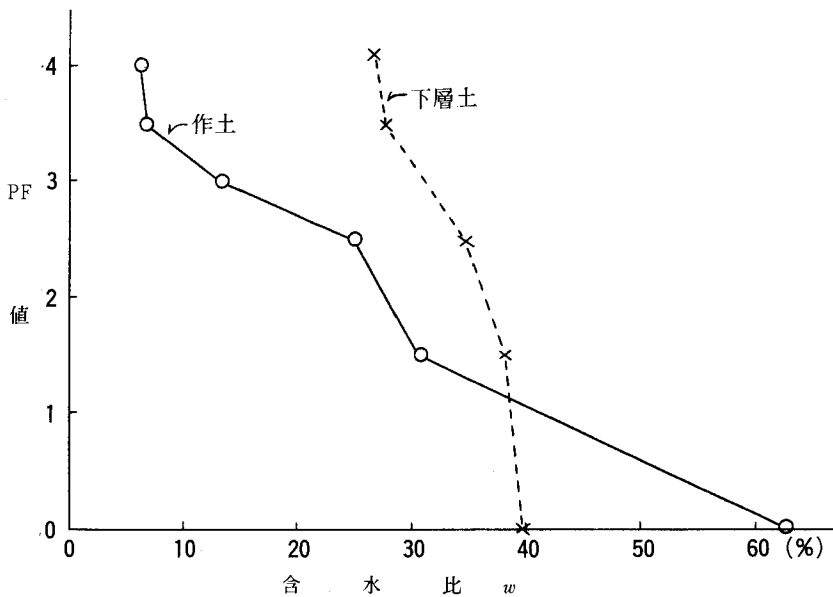


図-12 pH～含水比曲線図

性をもたせ、土壤水の移動をスムーズにする必要がある。

作物の生育・収量からは不耕起栽培は不利とされているが、現実には26年間も不耕起穴まきで、稲、麦の連続栽培を実施している例も認められている。

表-4 は不耕起穴まきと耕起栽培の収量比較、表-5 は土壤3相の比較である¹⁾。

水稻は不耕起栽培をはじめて5年程度までは耕起栽培よりやや増収するが、6年以降は漸減する。しかし、その差は3～4%の範囲であり、生産費等を考慮すれば問

題にならない数字である。麦は不耕起栽培が耕起栽培より10～20%の範囲で増収となっている。

土壤の気相は不耕起栽培の初期においては、耕起栽培より少ないが、開始3年後からは逆転し、不耕起栽培が多くなっている。とくに、下層土での増加が著しい。このことが、作物生育へ好影響を与えているのであろう。

以上のことから、地域の土壤条件並びに水利条件によっても異なるが、不耕起栽培が解決されれば、地下水位制御技術も大幅に前進するものと思われる。

表-4 不耕起栽培と耕起栽培の稲・麦の収量比較

種 別	1964年		1965年		1966年		1967年		1968年		1969年		1970年	
	稲	麦	稲	麦	稲	麦	稲	麦	稲	麦	稲	麦	稲	麦
稲・麦共耕起	450.5	375.0	545.1	350.0	585.9	430.0	608.7	450.0	609.6	544.0	613.0	245.0	560.0	
	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
麦不耕起、稲耕起	483.0	403.0	590.8	434.0	586.6	467.0	592.6	451.0	609.0	538.0	605.0	259.0	568.0	
	107	107	108	124	100	109	97	100	100	99	99	105	101	
稲・麦共不耕起	516.0	432.0	552.9	416.0	601.7	475.0	621.6	523.0	584.2	599.0	594.0	265.0	540.0	
	115	110	102	119	103	110	102	116	96	110	97	108	96	

注) ① 不耕起栽培の開始は1962年である

② 香川農試；不耕起栽培が土地生産力に及ぼす影響試験成績より抜粋

畑作物生育のための地下水位制御

表-5 3相分布の比較

種別 深さ (cm)	1964年			1965年			1966年			1969年			
	固相	液相	気相	固相	液相	気相	固相	液相	気相	固相	液相	気相	
耕起	0~6	31.6	44.5	23.9	34.0	42.3	23.7	36.1	48.3	15.6	37.8	53.0	9.2
	6~12	37.6	44.0	18.4	34.7	44.5	20.8	34.8	55.9	9.3	37.0	56.7	6.3
	12~18	42.0	42.0	16.1	41.1	43.3	15.6	44.7	51.0	4.3	46.0	48.8	5.2
不耕起	0~6	39.6	42.0	18.5	39.2	40.0	20.8	37.3	47.2	15.5	34.0	47.7	18.3
	6~12	37.0	47.0	16.0	42.2	38.5	19.3	44.3	43.5	12.2	44.1	43.8	12.1
	12~18	43.4	41.0	12.2	42.1	41.0	16.9	44.2	43.0	12.8	45.9	44.0	10.1

6. まとめ

以上、畑作物生育のための地下水位制御について、現地試験例を中心に述べた。その結果をまとめるとつぎのようになる。

(1) 立地条件さえ整えば、暗渠による地下水位の制御は十分に可能であり、土壌水分は圃場全体にほぼ均一化され、本技術の実用性が実証された。

(2) キュウリの収量は標準に対して、24~63%の範囲で増収し、作物栽培の上からも本技術の有利性が立証された。

以上の結果、立地条件を整備すれば、水資源の有効利用の面からみても本技術の有利性が認められる。なお、

地下水位制御の方から栽培面に向けての問題の幾つかを提起した。

引用文献

- 1) 永石義隆・原川暢朗; 暗渠を利用した傾斜地輪換畑の地下水位制御について, 四国農試報告, 48, 50~64 (1987)
- 2) 農業土木学会; 改訂農業土木標準用語事典, 92 (1974)
- 3) 幸田浩後; 野菜類と普通作物による低湿地帯の田畑輪換栽培に関する研究, 第1報, 茨城県農試研報, 22, 25~63 (1982)
- 4) 香川県農試; 不耕起栽培が土地生産力に及ぼす影響, 昭和39, 40, 41, 42, 43, 44, 45各年度夏作・冬作試験成績書 (1964~1970)

Summary

In this report, experiments on the control of ground water in terraced paddy fields were carried out. The results obtained were as follows :

1. If the location of the paddy fields is favorable, the underdrainage system can be used to control the ground water level. The effectiveness of this technique was verified experimentally by field tests.

2. The effect of the underdrainage system on the control of ground water was studied in relation to the adjustment of soil moisture.

3. The yield of cucumber increased from 25 to 60%, confirming the effectiveness of this technique. The cultivation problems associated with the control of the ground water were also discussed.

土壤管理用水量について

三 野 徹*

On the Requirement for Soil Improvement

Toru MITSUNO

Faculty of Agriculture, Okayama University, Okayama

1. はじめに

土壤管理用水や除塩用水は、現在のところ土地改良事業の計画・設計において、必ずしも一般に認知されているとは言えない。しかしながら、実際の営農においてその必要性は広く認められており¹⁾、灌漑施設の容量がこのような用水利用のために大きく不足をきたしているところもでてきている²⁾。このような土壤管理のための用水は、今後、農業水利計画上で重要な意味を持つてくるものと思われるが、それには多くの要因が複雑に係わっており、一般的取り扱いにはきわめて難しい。

ここでは二つの側面、すなわち、①灌漑水による溶解物質の移動と土壤の吸着反応との相互関係、ならびに、②灌漑水による塩分集積と除塩に関する課題を取り上げ、土壤管理用水量の決定のための基礎理論について整理を行うと共に若干の考察を行う。

塩類土壤と灌漑との関係については、既に古くから研究が進められてきており、現在ではほぼその理論体系は確立しているとみられる³⁾。しかしながら、それらの研究はいずれも乾燥地域を対象としており、わが国のような湿潤地域において、かならずしもそれらの理論がそのままの形で適用できるとは限らない。本文は、そのような乾燥地を対象として展開してきたこれまでの理論を踏まえながら、わが国の気候・土壤環境のもとで適用できる理論の展開方向の模索を目的としてとりまとめたものである。

2. 土壤中の可溶性成分の移動と吸着平衡

1) 土壤中の可溶性成分の移動に係わる基本要因

土壤中の可溶性成分の移動と分布を検討するに際して、以下の三つの特性を考慮に入れることが基本となる。①土壤はCECで特性づけられる大きなカチオン吸着能力を持っている。②土壤中には多種類の溶解イオンが存在し、相互に影響を与えながら共存している。③それらのイオン類は主として土壤水に溶解した形で輸送される。

このような条件の下で、与えられた土壤特性と土壤水分の移動状況に応じて、土壤中の可溶性成分の移動・集積と分布が決まる。これらの関係を定量的に把握し、人為的に制御できるパラメータを調節して、設定した土壤の管理目標値を達成することが、土壤管理の基本となる。以下ではそのための基礎式を整理し、若干の考察を加える。

2) イオンの吸着平衡

土壤に吸着しているカチオンと溶液中に存在するカチオンの間には一定の平衡の関係が成立する。多種類のイオンが共存している場合には、次のGapon式として知られる実験式によってその関係を表すことが出来るといわれている⁴⁾。

$$Q_1 + \sqrt{Q_{2+}} = K_G \cdot C_1 / \sqrt{(C_{2+} / 2)} \quad \dots\dots (1)$$

ここで、 Q_1 、 Q_{2+} ：それぞれ、1価、2価の吸着カチオン量、 C_1 、 C_{2+} ：それぞれ、1価、2価の溶液中のカチオン濃度、 K_G ：Gapon定数。

この系内に1価と2価のカチオンのみが存在しているとする、電気的中性条件から次の2式が成立しなければならない。

土壤中の吸着カチオンについて、

$$Q_1 + Q_{2+} = \text{CEC} \quad \dots\dots (2)$$

溶液中の溶解カチオンについて

$$C_1 + C_{2+} = C_0 \quad \dots\dots (3)$$

* 岡山大学農学部

ここで、 C_0 : 溶液中の全アニオンの濃度。

この三つの関係式は、土壤中に存在する複数種のイオンが共存する状況の下での吸着平衡関係を表現する基本式である。ただし、現代の溶液理論ではもっと正確な理論式も提案されているが、少なくともここで目的とするような土壤管理用水量の決定のための工学的取り扱いとしては、これらの関係式で十分と言える。

いま、土壤中の1価カチオンの代表として Na^+ を、2価カチオンの代表として Ca^{2+} を考えることとする。上の三式から Q_1 および C_1 を消去して整理すると、次のような関係式にまとめることができる。

$$(1-N)/N = K_G \cdot 2C_0 \cdot (1-f)/\sqrt{f} \quad \dots\dots (4)$$

ここで、 $N = Q_{2+}/CEC$, $f = C_{2+}/C_0$ であり、それぞれ、CECならびに全陰イオンに対する Ca^{2+} の占める比率を表す。

溶液濃度 f にたいする吸着量の変化率は、後述するように、イオンの分布を計算する際に重要な意味を持つ。

そこで、 N の微係数を求めると次のようになる。

$$\begin{aligned} C_p &= dN/df \\ &= (2f+1) \cdot (1-N^2) \\ &\quad / \{ 2\sqrt{2} \cdot K_G \cdot \sqrt{C_0} \cdot \sqrt{f} \cdot (1-f) \} \quad \dots\dots (5) \end{aligned}$$

上の(4)、(5)式をもとに、 $K_G = 5 \text{ (mol/l)}^{-1/2}$ と置

いて、 $N \sim f$, $C_p \sim f$ の関係を整理すると、図-1を得る。

この図からいくつかの特徴を見いだすことができる。最も基本的な特徴は、非線形吸着特性である。溶液濃度が薄くなるにつれ、その非線形性はきわめて強くなる。曲線が上に凹であることは、吸着される Ca^{2+} の比率が溶液中の Ca^{2+} の比率よりも大きいこと、つまり、2価カチオンは選択的に土壤に吸着されることを示している。しかも、その選択性は低濃度ほど強く、とくに低濃度比率($f=0.3$ 以下)で急激に強くなるのが分かる。

吸着平衡特性に応じて N の微係数も非線形性を示すが、 f が0.3以上ではほぼ一定と見なせる。 f がそれより小さくなると、急激に増加して、数倍以上の値になるのが分かる。

取手は、最近、吸着平衡関係が土壤中では速やかに達成されること、 Na ベントナイトの Ca 化過程において、Gapon式がほぼ成立すること、さらにFreundlichの吸着式も成立することを報告している⁵⁾。Freundlich式はGapon式と同じように吸着平衡の非線形関係をうまく表現するが、パラメータに全溶液濃度(アニオン濃度) C_0 を含んでいないために、溶液濃度への非線形的な依存性を表現することの出来ないことが指摘できる。

3) 浸透水によるカチオンの輸送

浸透水による土壤中の溶解物質の輸送現象については、古くから多くの研究が進められてきている。それらの成

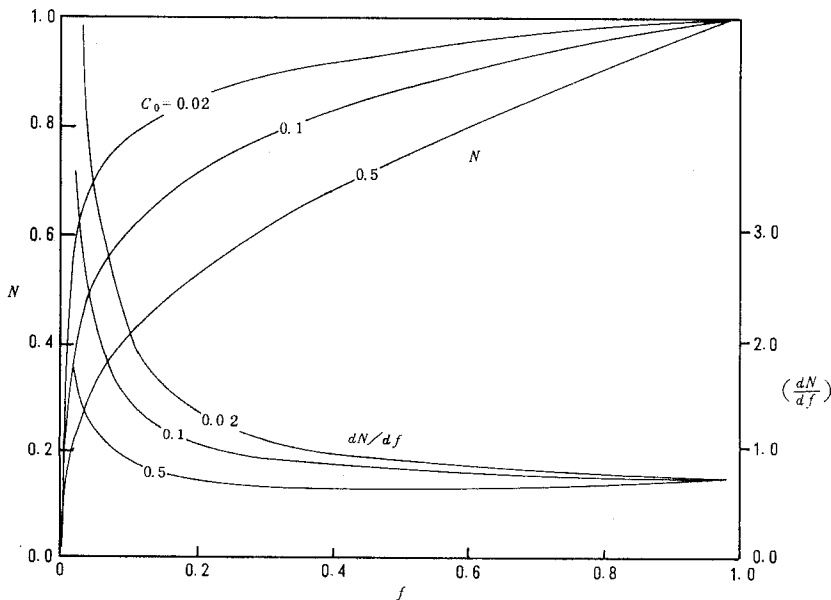


図-1 吸着平衡曲線とその勾配

(Gapon 式、 $K_G = 0.5$)

果によれば、浸透水による物質輸送は一般的に対流型輸送と拡散型輸送とに分けられ、次のように表されている⁶⁾。

$$J_i = C_i \cdot q - D \cdot \nabla C_i \quad \dots\dots\dots (6)$$

ここで、 J_i : i 物質の輸送フラックス、 q : 浸透流速、 D : 拡散係数、 C_i : i 物質の浸透水中の濃度

吸着がほとんど無い砂や、アニオン、また、比較的濃度の変化範囲が小さい場合の線形吸着については、(6)式の多くの解析解が導かれ、この解から予測される物質輸送と実際の現象の間により一致の見られることが確認されている。具体的課題への適用上の技術的問題はともかくとして、土壌間隙内での溶解状態のイオンの輸送については、ほぼ理論的説明は終わっているといえよう。

一方、吸着量が間隙内の溶解量に比してきわめて大きい一般の土壌については、問題はかなり複雑になる。例えば、CECが20 meq/100g、間隙率が60%、単位体積質量が1.04で、間隙が全て水で満たされ、そのイオンの濃度が0.1 eq/l であるような土壌を考えよう。この土壌の吸着イオン量と間隙水中の溶解イオン量は前者が後者の3倍強となり、また可動性の土壌水が全土壌水の数分の一であることを考えるとき、吸着イオン量と、浸透水と共に動くことのできる間隙中の溶解イオン量との間には、1 オーダ以上もの差が生じることになる。すなわち、一般的な土壌では吸着イオンを無視することが出来ず、逆に吸収イオンの取り扱いの方が間隙水中の溶解イオンの取り扱いよりもより重要となることがわかる。

以上で述べたことを具体的に示すために、吸着量を考

慮した次の式を考えてみよう。

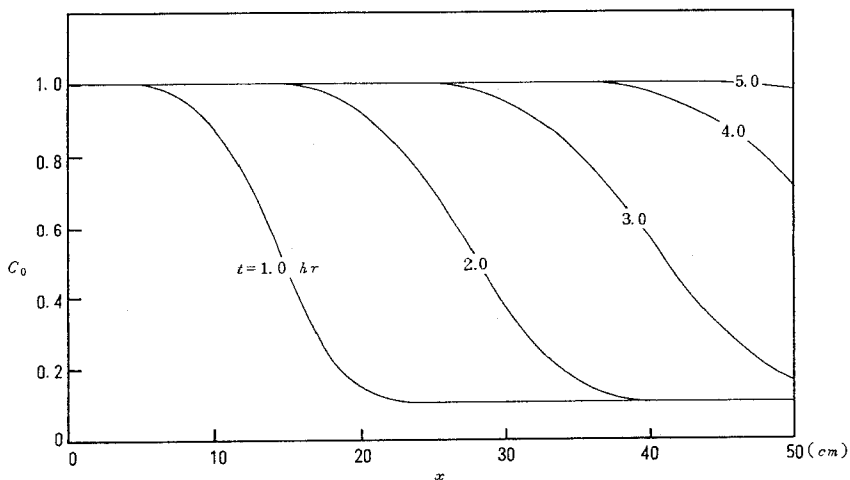
$$\partial S / \partial t = -\nabla J \quad \dots\dots\dots (7)$$

ここで、 S : 吸着量 ($\rho \cdot N \cdot \text{CEC}$) と間隙中の溶解イオン ($\theta \cdot f \cdot C_0$) の合計値で、土壌中の総カチオン量である。 ρ は土壌の単位体積質量、 θ は間隙率である。この式は土壌水による輸送量 J と吸着量及び間隙中に存在する交換性カチオンの総量 S についての収支関係を整理したものである。

先に示したように、吸着平衡式は強い非線形特性を持つために、解析的な解法は一般的には適用できないので、数値解によってこの式が持つ意味を検討してみる。ここでは数値解法として、数値分散を巧みに利用した方法⁷⁾を基本として、先ず土壌に吸着されないアニオンの輸送式を解き、ついでカチオンの吸着平衡式を用いてそのアニオンに対応する共存カチオンの比率を吸着平衡式 (Gapon式) を用いて配分する方法を適用した。したがって、複数カチオンの共存下で土壌の吸着平衡関係(5)式と、土壌水によるイオン輸送(6)式、そしてカチオン収支式(7)式を連立させて解くことになる。

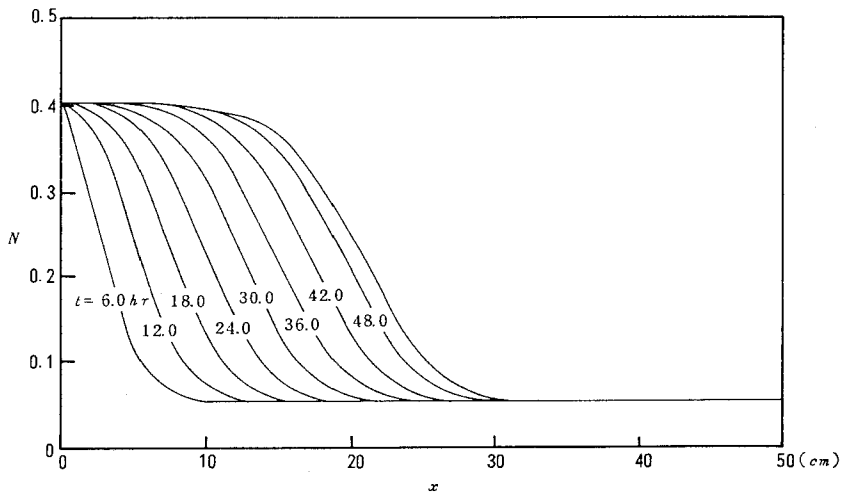
結果の一例を図-2に示す。この図から次のことが分かる。

- ① アニオンは土壌に吸着されないとしているために、きわめて速やかに移動する。その際に水理学的分散の影響を受けて、前線は次第にぼやけて行く。
- ② それに対してカチオンは、1 ポアボリューム (カラム内の総間隙水量) に相当する浸透水の積算量が通過しても、その交換前線はカラム長の1割にも達

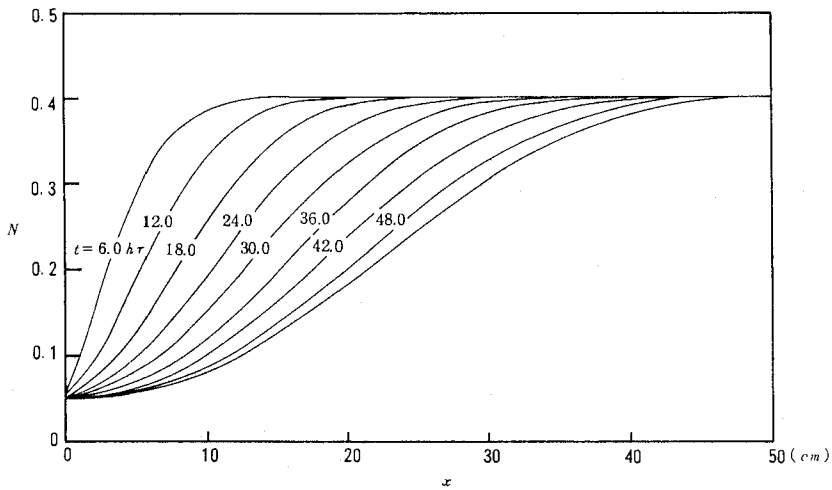


(a) アニオンの輸送状況

土壤管理用水量について



(b) Ca^{2+} による置換状況



(c) Na^{+} による置換状況

計算条件

$$\left[\begin{array}{l} D = 0.1 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}, \quad q = 0.02 \text{ mm}/\text{s} \\ \rho = 1.4 \text{ t}/\text{m}^3, \quad \theta = 0.4, \quad CEC = 20 \text{ meq}/100\text{g} \\ C_0: \text{初期条件 } 0.01 \text{ N}, \text{境界条件 } 0.1 \text{ N} \\ N: 0.4 \sim 0.1 \end{array} \right]$$

図-2 数値解析結果の一例

しない。これは浸透水中の溶解イオン量がきわめて少量であるために、輸送量が吸着交換量に追いつかないためである。

- ③ カチオンのうちでも選択的に吸着を受けるCa²⁺の交換前線と逆に、選択的に吸着から離脱傾向にあるNa⁺の交換前線の形は大きく異なる。前者では曲線が立っており、いわゆるピストンのように進行して行くのに対して、後者では横に広がっており、時間経過とともにますます広がって行く傾向にある。

結局、土壌の吸着特性を考慮すると、浸透水によるカチオンの輸送はアニオンとは全く異なった現象を呈することが分かる。土壌による吸着の選択性が高いカチオンではピストンのように置換前線が進行してゆくが、その速度は土壌による吸着イオン量によって決まる。とくに置換前線の分散はカチオンについては、アニオンのように水理学的な分散効果を直接反映したものではなく、主として吸着平衡曲線の非線形特性に由来して発達することが分かる。

4) 交換前線の取り扱い法について

土壌改良用水量や除塩用水量を検討する場合には、浸透水による吸着イオンの交換前線の進行が問題となる。この吸着イオンの交換前線の進行は、吸着平衡関係から溶液中のイオン組成と密接に関係することになる。すでに前項で検討したように、交換前線の平均的進行状況は、主として浸透水による対流輸送と土壌と間隙水との間の吸着平衡関係に規定され、拡散輸送の効果は主として交換フロントの分散形状を規定すると考えて良いことが分かった。とりわけCaイオンによるNa土壌の改良に関しては交換前線の立ち上がり急であり、前線の分散形状はあまり問題とはならないこととなり、対流輸送項と吸着平衡特性のみを取り上げて十分であるといえる。

以上のような仮定のもとでは、交換前線の鉛直一次元方向の進行は、先の(7)式に(6)式を代入して得られる次の偏微分方程式で表現できる。

$$\partial(\rho \cdot dQ/dC + \theta) / \partial t + q \cdot \partial C / \partial x = 0 \quad \dots\dots\dots (8)$$

この式はクロマトグラフィー過程を表す方程式に他ならない⁸⁾。この(8)式は次の二つの常微分方程式(特性曲線)に分解できる。

$$\left\{ \begin{aligned} dt/dx &= (\rho \cdot dQ/dC + \theta) / q & \dots\dots\dots (9) \\ dC/dx &= 0 & \dots\dots\dots (10) \end{aligned} \right.$$

この式は、濃度一定(dC/dx=0, あるいはdC/dt=0)の点で、(9)式の逆数である次式に従って、一定速度で進行して行くことを示している。

$$dx/dt = q / \{\rho \cdot dQ/dC + \theta\} \quad \dots\dots\dots (11)$$

つまり、地表面で与えられた境界条件(地表面での浸透水の濃度)は、時間経過とともに一定の速度で地下へ向かって進行して行き、その速度は浸透速度q、土壌の単位体積質量ρ、間隙率θそして土壌の吸着平衡曲線の勾配(dQ/dC)によって決まることが分かる。

ここで(dQ/dC)は、吸着平衡関係にGapon式を適用すると解析的に求めることが出来る。すなわち、先の(5)式で示した(dN/df)を適用すると、CECとC₀から次のように計算できる。

$$dQ/dC = (CEC/C_0) \cdot (dN/df) \quad \dots\dots\dots (12)$$

(12)式はG. H. Boltらのいう『平均浸透距離: xp』⁹⁾の進行状況を表し、(11)式は『分配比: R₀』¹⁰⁾の定義に対応するものである。

この関係式から分かるように(dQ/dC)あるいは(dN/df)によって、交換フロントの進行速度が変化する事になる。(dN/df)は図-1に見るように、全溶液濃度が薄くなるにつれ、また、Caイオン比率fが0.3以下で強い非線形性が見られ、このような領域では低濃度点の進行速度は急激に遅くなる。したがって、Na土壌中にCa溶液を浸透させると、分散により前進する低濃度前線より、後からくる高濃度部分の方が速く進行して追い越す形となる。つまり前線の濃度分布は急激に立ち上がった、いわゆるピストンの『積極的交換』¹¹⁾の形となる。一方、逆にCa土壌をNa溶液が浸透する場合にはfの大きい部分(Ca²⁺濃度の高い部分)が分散によって前方に形成され、後方にfの小さい部分が残される。そして、前方に分散したfの大きい部分は速やかに進行し、後方のfの小さい部分は遅れるために、前線の分散はますます広がることになる。いわゆる『消極的交換』¹¹⁾前線が形成されることになる。

前線の平均的な進行速度は(11)式の分母、つまり、{ρ · (CEC/C₀) · (dN/df) + θ}によって決まるが、CEC、C₀、(dN/df)という土壌の吸着特性に関係する項とθという間隙水に関する項に分かれ、前者が後者に対して1オーダーほど大きくなるために、土壌の吸着特性によって置換前線の進行が規定されることになる。なお、アニオンについては、(11)式においてCEC=0と見なすことができ、その進行速度は(q/θ)、つまり、土壌水の真流速に等しくなることが分かる。

結局、土壌に吸着されるカチオンの交換前線の進行は、ほとんど土壌の吸着平衡特性(1)式によって規定されることになり、前線の分散の状況も、水理学的分散の効果というよりは、むしろ吸着平衡特性の非線形性に由来するものといえる。

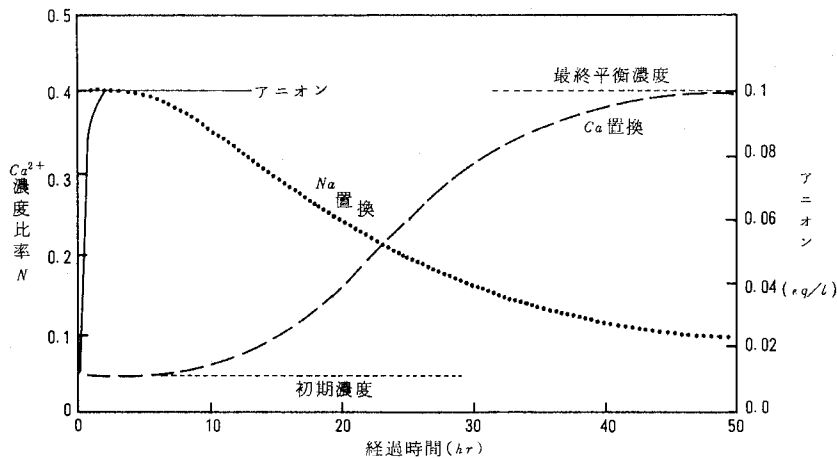


図-3 数値解析結果の破過曲線 (BTC) 表示 (10 cm 地点、実線：

アニオン、点線： Na^+ 置換、破線： Ca^{2+} 置換)

5) Ca イオンの吸着交換の段階

先のシミュレーション結果を基に、10cmの位置におけるカチオンの濃度の時間変化を整理すると、図-3が得られる。アニオンの前線は1時間程度で通過してしまうのに対して、カチオンは約10倍程度の遅れをともなってその点を通過する。さらに、 Ca 土壌の Na イオンによる交換と Na 土壌の Ca イオンによる交換とでは、その通過の形は大きく異なっている。 Ca イオンによる置換ではやや遅れて交換前線は到達するが、急激な濃度上昇となる。それに対して Na イオンによる置換では、比較的速く置換前線は到達するが、 Na イオン濃度の上昇 (Ca イオン濃度の減少) はゆるやかで長時間にわたり尾を引いている。

このようにアニオン、1価のカチオン、2価のカチオンは土壌中を通過することによりふるい分けられ、それぞれ特徴的な間隙水のイオン組成となって流下して行く。このイオン組成の変化は、10cm地点で回収した浸透水のイオン組成の時間変化に対応している (破過曲線)。

干拓地の Na 粘土を Ca イオンで交換することは、土壌の物理性改良に大きな効果をもたらす¹²⁾。 Ca イオンが溶解した用水を土壌中に通過させると、 Ca イオンの選択的吸着によって、すでに吸着されている Na イオンと交換し、その結果放出された Na イオンが浸透水と共に下方へ移動することになる。 Ca イオンの添加には、溶解度が比較的高くしかも経済的に入手できる石膏

(CaSO_4) が利用される。一方、土壌間隙水中には海水に起源を持つ Na イオンや Cl イオンが多量に存在している。これらのイオン類は Ca イオンを含んだ用水が土壌間隙を通過するにつれて吸着交換され、次第にふるい分けられて、特徴的な Na イオン組成を持つ間隙水を形づくってゆく。これらは吸着交換クロマトグラフィーの理論によって取り扱うことが出来る。その際、水理学的分散はどちらかというイオン組成を混合拡散させ、次第に平均的な濃度組成を持つ土壌溶液を形づくって行くのに対して、クロマトグラフィー理論ではイオン組成を分離する方向に現象を進行させることになる。

図-4は、K干拓地の土壌を長さ30cm、直径20cmの円筒に詰め上部の10cmの土壌に石膏を混入した後に、上部から水道水を浸透させ、下部から流出する水の電気伝導度を測定した結果である。電気伝導度は浸透水中イオンの濃度に対応して変化するが、その時間的変化の状況から、最初に、もともと間隙に存在した Na^+ と、陰イオン Cl^- 、 SO_4^{2-} を含んだ水が、ついで、交換された Na^+ 、 Ca^{2+} および SO_4^{2-} を含む水が、最後に、供給された灌漑水に平衡した浸透水が排除される3段階におよそ区分される除塩の過程があり、電気伝導度はそれらの段階に対応して不連続的に変化していることが分かる¹³⁾。

このように、吸着イオンの交換や間隙水の除塩にはいくつかの段階があり、これらの各段階を、浸透水による土壌吸着イオンや除塩の状況の管理の目安とすることが

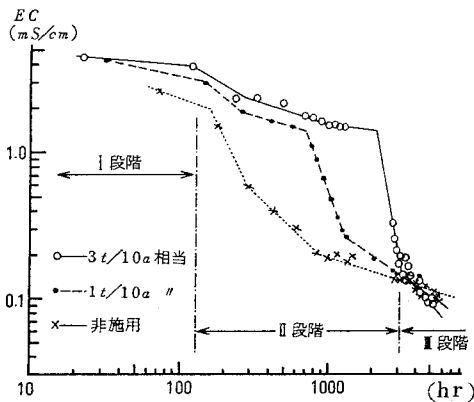


図-4 排水中の EC 変化と除塩の段階

可能となる。これらの段階の区分には、さきに述べた複数種のカチオン共存系における浸透水によるイオン輸送現象の定式化が重要な意味を持つてくるのである。

3. 塩類集積と除塩

1) 湿潤地帯における土壌中の塩分の動態

地表面近傍では、土壌水はきわめてダイナミックな動きをする。降雨時や灌漑時には下方へのフラックスが生じるが、干天時には蒸発によって上方へ向かうフラックスが生じる。1年間に数十回から数百回にわたる激しいフラックスの上下方向の逆転が生じ、それにとまって塩分は洗脱や集積を繰り返す。湿潤地帯の土壌は常にかなり多量の土壌水分を含有しているとともに、降雨や灌漑水による土壌への供給量は蒸発散による消費水量をはるかに上回っており、平均的には上方から下方へ向かうフラックス成分が、卓越することになる。したがって長い年月を経れば、当然塩類の集積よりも洗脱が進むことになる。

しかしながら、実際に循環水が通過する土壌の有効間隙は、塩分の挙動から推定すると、全間隙量の%程度である。残り全間隙の約%を占める土壌水は通常は動かない水で、浸透水によって除塩できない。とくに、干拓地では深層には塩類を多量に含む土壌が存在し、また堤体の下部を通じて塩水が絶えず侵入し、蒸発によって高濃度の塩分が上部の土壌層へ供給される危険性を常に秘めているといえる。このように、干拓地を典型として、沖積低平地では図-5に示すように上層から下層へ向かう塩分の輸送力と、下層から上層へ向かう塩分の輸送力のバランスの下に、一つの平衡分布が形成される。この

平衡塩分分布をマクロな塩分の混合拡散という観点からモデル化する。そして、土壌水による浸透フラックスをコントロールするという視点から、除塩用水量の決定について検討を進める。

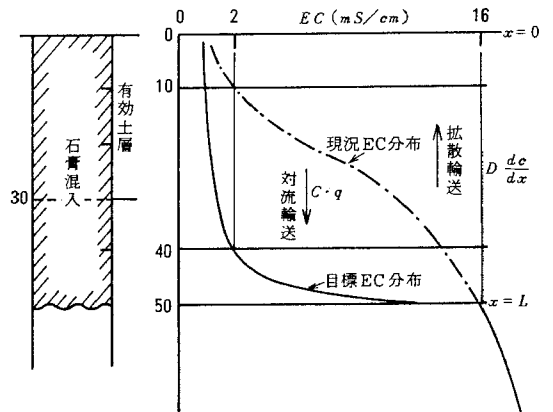


図-5 現況の EC 分布と目標分布

2) 灌漑に伴う塩類集積と除塩についてのこれまでの考え方

有効土層中の水収支と塩分収支から、塩分の集積・洗脱傾向は、図-6を参照して、次式によって判定される。

$$\Delta EC_e = (EC_R \cdot R + EC_i \cdot I - EC_D \cdot q) / (L \cdot \bar{W} \cdot \rho_s / 100) \quad \dots \dots \dots (13)$$

ここで、 ΔEC_e : 土壌中の年間の EC 値の増加量, EC_R : 降雨の EC 値, EC_i : 灌漑水の EC 値, EC_D : 排水中の EC 値, ρ_s : 単位体積当りの土壌の質量, R : 降雨量, I : 灌漑水量, q : 排水量, \bar{w} : 平均土壌含水比である。

排水量 q は、土層中の水収支式から、図-6の記号を参照して、次のように表される。

$$q = R + I - ET \quad \dots \dots \dots (14)$$

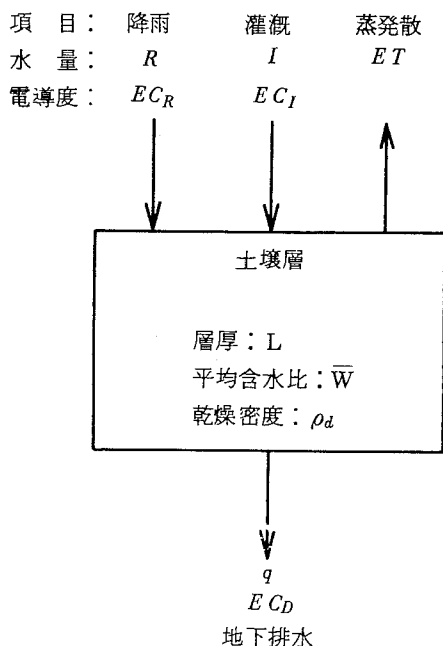
上式の ΔEC_e を用いて、 $\Delta EC_e > 0$ であれば塩類集積傾向、 $\Delta EC_e < 0$ であれば洗脱傾向、 $\Delta EC_e = 0$ であれば塩類は収支が均衡して、一定と判定される。最後の塩分平衡条件を満足するように灌漑水量 q を設定するのが、一般に従来から用いられてきている除塩用水量の算定理論である。この式は、次のような限界を持っている。

- ① 地下水による塩分供給が考慮されていない。
- ② 土壌間隙中の循環水と不動水の区別がない。
- ③ 有効土層中の平均的な塩分濃度は算定できるが、その分布については取り扱えない。

3) 降雨と蒸発に伴う塩分の平衡分布

干拓地では下層には海水と同じ塩分濃度をもつ土壌水

土壤管理用水量について



図一六 土壤水収支、塩類収支記号図

が無限に存在する。上述のような循環性の土壤水の激しい動きによって土壤水の強制的な混合が生じ、見かけ上で濃度の高い下方から上方へ向かう塩分の拡散輸送が生じる。

一方、蒸発散量より降雨量が大きいため、重力により見かけ上、平均的に下方へのフラックスが生じる。これによって運ばれる対流輸送と上述の混合拡散輸送の平衡式は次のように表される。

$$q \cdot C + \bar{D} \cdot (dC/dz) = 0 \quad \dots\dots (15)$$

ここで、 \bar{D} ：見かけの拡散係数、 q ：下方への過剰浸透量である。

平衡塩分濃度の垂直分布は、(14)式の解から次のようになる。

$$C = C_s \cdot \exp \left\{ -(\bar{D}/q) \cdot (L-z) \right\} \quad \dots\dots (16)$$

ここで、 C_s は、 $Z=L$ 地点、すなわち、暗渠深さにおける塩分濃度であり、干拓直後の土壤水中の塩分濃度である。

有効土層中の塩分濃度を規定濃度以下に維持するためには、 q を大きく取ることによって、塩分分布を下方へ押し下げればよい。このようにして求められた過剰灌漑水量が、塩分遡上防止用水量の算定基礎となる。

4. 土壤管理用水量について

K干拓地における除塩と土壤改良のために、上述した

理論を適用して、土壤改良並びに除塩用水量、1,150mm、塩分遡上防止用水量3mm/dayが必要と計算された¹⁵⁾。これらの基礎緒元をもとに、気候条件を考慮に入れて土壤水収支計算を行い、従来の畑地灌漑用水計画基準で定められた補給灌漑目的に加えて、除塩や土壤改良を図るための用水量が付け加えられた。

わが国の畑地灌漑用水計画の理論体系は、蒸発散で消費される水量のうち、自然降雨によって供給される水量を差し引いた残りの不足量を補うという基本的な考えの上に組み立てられている¹⁶⁾。しかし、作物の生産にとっては、単に植物が蒸散によって消費する水だけでなく、さらに作物の生産環境を整えるために様々な形の用水を必要とする。とくに生育場の土壤環境を形成する上で水の果たす役割は大きい、水が持つそのような役割をもっと積極的に評価し、用水計画に反映できるような理論体系の一層の整備が必要であろう。

5. おわりに

土壤管理用水量の決定に関する基礎理論として、二つの現象を取り上で、現象の解釈という視点より、むしろ工学的、計画・設計論的視点から整理を試みた。一つは灌漑用水による土壤の吸着イオン制御問題であり、もう一つは、作土層の間隙水中の塩分濃度制御のための用水量問題である。いずれも、灌漑用水量としての決定を念頭において、かなり簡略化した条件下で、浸透水との関わりを中心に整理したもので、ここでの取り扱いには多くの問題を残していることは否定できない。例えば除塩用水について、ここでモデル化したようなマクロな強制混合というモデルが成立するかどうかについては、シンポジウムの終了後に個人的にも多くの意見を賜ったし、また、筆者自身も問題を含んでいると思っている。また、CaイオンNaイオンとの吸着交換現象について、最近わが国においても優れた研究成果が発表されはじめている¹⁷⁾。それらの点について今後十分検討する必要があると思われる。

しかし、ここで意図したのは、分析的手法による個々の現象のより深い理解の方向ではなく、土壤物理と深い関わりを持つ農業土木事業上のトピックスとの関連の下に、どの様な土壤物理現象を取り上げねばならないか、また、各々の個別現象をどの様に結合し、一つの目的論的思考体系の中で調和を図って行けば良いかという視点にたって、取りまとめたものである。とくに物理特性の非線形性の効果と、水文循環の枠の中での平衡条件という点に重点をおいて、整理を行ったつもりであるが、所

期の意図に反し必ずしも十分な整理が出来なかった。ここで述べてきたことをもとに、今後、さらに補足修正し、展開を図って行きたい。

〔引用文献〕

- 1) 例えば, 島田永生: 施設園芸における塩類集積と除塩問題, 農業土木学会土壌物理研究第23回シンポジウム資料, (1984)
- 2) 西出 勤, 千家正照: 施設園芸圃地における水管理と組織容量-畑地帯における水利体系の確立について (ii) -, 農士誌 54 (4), pp. 5-10 (1986)
- 3) 例えば, U. S. Salinity Laboratory Staff: U. S. Dept. Agric., Handbook 60 (1954)
- 4) G. H. Bolt, M. G. M. Bruggenwert 編著: 土壌の化学 (岩田, 三輪, 井上, 陽訳), p. 73, 学会出版センター(1980)
- 5) 取手, 瀬尾, 中野: ベントナイトの $Ca^{2+}-Na^+$ イオン交換について, 昭和63年度農士学会年次講, pp. 252-253 (1988)
- 6) E. Blesler B. L. McNeal, D. L. Carter: Saline and Sodic Soils (Principles-Dynamics-Modeling), pp. 58-89, Springer-Verlag (1982)
- 7) G. S. Campbell: パソコンで学ぶ土の物理学 (中野政詩, 東山 勇監訳), pp. 106-107, 鹿島出版会(1987)
- 8) 前出6), pp. 95-98
- 9) 前出4), p. 143
- 10) 前出4), p. 65
- 11) 前出4), pp. 147-150
- 12) 天谷, 長堀, 三野: 当面する物質移動の課題, 土壌の物理性, 49, pp. 3-8 (1984)
- 13) 天谷, 長堀, 三野: 笠岡湾干拓地における除塩と Na 土壌の改良工法(2) - 石膏施用に伴う除塩段階の分析, 昭和59年度農士学会年次講, pp. 387-388 (1984)
- 14) 三野, 長堀, 天谷: 笠岡湾干拓地における除塩と Na 土壌の改良工法(3) - 灌漑水による吸着カチオンの制御, 昭和59年度農士学会年次講, pp. 380-381 (1984)
- 15) 長堀金造: 農地整備学, pp. 224-236, 西日本法規出版(1985)
- 16) 農水省構造改善局: 土地改良事業計画設計基準 (畑地かんがい), pp. 2-3 (1982)
- 17) 例えば, 取手伸夫, 中野政詩: 昭和61年度, 昭和62年度農士学会年次講 (1986, 1987)

Summary

Water requirement for soil management or leaching for desalinization has not been analysed in relation to irrigation planning and design criteria in Japan. However, farmers actually use the irrigation water for those purposes and the capacity of the water conveyance or distribution systems tend to become insufficient, especially in the districts where intensive agriculture such as horticulture is practiced. The determination of the water requirement for soil management will become important in Japan in the near future.

In this paper two subjects relating to soil physics are discussed with a view addressing the desalinization problem in humid regions.

(1) The interaction between the transport of soluble substances associated with irrigation and exchange reaction in soil.

(2) Salt accumulation associated with irrigation in relation to leaching for desalinization.

総合討論

座長 久保田 徹（農環研），渡辺春朗（千葉農試）
石田朋靖（山形大農）

座長：皆様方の講演には、下層土の状態がどのような点でいずれも共通したものがあるように感じます。

荒木さんのお話では、灌漑対象土層を変えることによって、水管理がし易くなったり、それが浅いと水管理がしにくくなる。深いほうが収量がよい。これらのことは下層土に関係していると思います。

相崎さんのお話は、非常に明瞭に壤土質で構造のないようなところに特徴的に異常穂が出るという現象の講演で、物理性が効いているという印象で伺いました。

桑原さんの「大豆根」につきましては、土壌の種類を変えると根の張りや下層への根粒の到達の様相が違う。当然、水管理も違う。何か下層における展開というものが違う。それが品種間、作物間で当然違いがあると。

永石さんの「傾斜地の地下水管理」では、有効土層のようなものについてです。深さ30センチぐらいに地下水を保って、土壌の水分状態が変化しない状態にしてやれば、根は浅いほうが結構扱いやすいし、実利があると。

最後の三野さんのは「土壌管理用水」、これはどのようにして除塩を予測するかということです。また、乾燥・湿潤の交替が除塩の効果を上げるのにかなり影響しているということ。3ミリの上乘せの水が数字として出てきても、実際にそれだけ水が漏るのかということなどで、下層土が関係しています。以上のことを踏まえて、3つの枠にくくって討議を進めます。

初めに、「制御管理する前に」ということです。本日には、種々の作物が出ましたが、その作物の好適土壌条件、作土もですが、できるだけ視点を下層土において、それには一体どういうものがイメージとして描かれているのかをもう少し浮き彫りにしたいと思います。

制御するにあたっては、例えば、根を考えれば、水とガスと固さといったものの持続性が直接的に響くわけで、それらがどのようなレベルであれば良好で、どういう好適条件というのが描けるのか。必要な土層深はどれほどかということに少し時間を割いては如何かと思います。

2番目には「制御管理」そのものです。演者の方からの問題を踏まえて、どのような方向にどのように制御したらいいのか、その際にどのような技術的な問題が

あって、どのような解決がわれわれに要請されているかという点の討議ができればと思います。

最後に「予測」ということです。講演としては、三野さんの除塩予測だけですけれども、三野さんを中心にして予測ということを少し掘下げていただけたらと思います。

これらのことに入る前に、質問がまだあるかと思しますので、お受けしたいと思います。

駒村（東京農大）：荒木さんに。かん水開始点における作物体内水分がマイナス5パールとか、マイナス10パールという時に、土壌水分張力はどのぐらいになるのですか。

また、マイナス5パールでかん水開始して、かん水対象土壌深が40センチという場合に、1回のかん水量はどの程度になりますか。間断日数は何日ですか。

荒木：葉の水ポテンシャルがマイナス5パールのときの土壌水分張力は、例えば、土壌の深さ5センチ、10センチぐらいのところでpF2.7以上でした。

また、1回のかん水量につきましては、栽培するときの状況によって若干変わりますが、例えば、かん水対象土壌深が40センチの場合、ほぼ20ミリ前後ぐらいでした。

対象土層にかん水してから、マイナス10パールで次のかん水となりますから、10パールですと生育前期40日間のうち、かん水したのは1回です。この場合は定植前のある程度まとまった量をかん水していますので、それを考えると、20日に1回、20ミリぐらいのかん水ということになると思います。

駒村：生育後期のほうはどのぐらいのかん水量ですか。

荒木：マイナス10パールで考えてみますと、生育後期にはかん水回数は13.5回で、かん水量は総量が336ミリです。ですから、1回のかん水量は20ないし25ミリ程度でしょう。間断日数は、後期が5か月間ですから、150日の間に13.5回ということで、10日強という程度です。

軽部（茨城大農）：相崎さんに。水田土壌の中で有機酸のようなものが発生した場合に、それらを排除しないと具合が悪いということですが、もし、有機酸のようなものが停滞しているとすれば、土壌のpHは下がるのでしょうか。異常穂の発生したところのpHというのは、

どのぐらいの値でしょうか。

相崎：水稲作期間中のpHは計っておりません。異常穂が発生した地帯のpHについては、作付けしていない時期のものを計ったのがあるのですが、あまり傾向といえそうなものは出ておりません。

有機酸が関与しているかどうかという点については、いま検討中です。しかし、有機酸を計ってみますと、異常穂の発生に関与する何かが変われる時期に有機酸のピークがちょうど重なるという傾向はありました。

小川（農環研）：三野さんに。土壤管理用水というのはどのような概念でしょうか。また、除塩用水の他に、土壤管理用水として考えられるものがありましたら、いくつか挙げていただけないでしょうか。

三野：現在の畑地用水計画体系では、土壌を通過させる、あるいは下層から排除するということが、ロスという格好で扱われています。必要なものであれば、それを土壤管理用水という概念に入れて、むしろ取り扱っていくべきではないかと思っています。

その典型的なものが、除塩をもとにしたものといえます。例えば、線虫の駆除のための用水などもそうです。その他、蒸発散にかかわる水以外に何らかのどうしても必要な水というのが現実には使われているのではないかと思います。このようなものをひとつひとつ掘り起こして、それらを基に、いままでの体系をもう一度再編していくというようなことが必要でしょう。

石井（農研センター）：永石さんに。転換畑での地下水の再利用に関してです。キュウリなどを作った場合にはかなり多肥栽培となるので、地下水の水質に及ぼす影響が無視できないと思います。それについてのデータ、また、その水質の変化が、畑作物にどのような影響を及ぼすかについての御意見を伺いたいのですが。

永石：一番問題になるところだと思います。しかし、実際には把握しておりません。

問題点として、石井さんの言われたようなことがらが存在するのではないかということ指摘しただけのところでは。

座長：桑原さんに。液相率が火山性土では22~45%、泥炭土では20~50%の範囲で、すなわち泥炭土ではより高い水分でも根粒の着生が良い。この泥炭土の気相率というのはどのぐらいでしょうか。

桑原：この泥炭土の気相率は非常に大きく50%を超えます。

中野（東大農）：相崎さんに。異常穂の中にA、B、Cと3つの型がある。これと例えば土壌の物理性、例えば、固さ、有機物、粒径組成などの中で、A型はどれにかか

わっていきそうだとか、B型はこれにというようなことが印象としてあったでしょうか。

相崎：難しい御質問ですけれども。A型、B型、C型というのは、一応表面の状態に分けられたものです。異常穂を発生させる物質が何かあるとすれば、その物質を長期間吸っていたとか、濃度が濃かったとかなどのファクターが強く稲に影響したということが把握できていれば、そこから物理性に関連するようなことが考えられるのかもしれませんが、それらの点は詳しく把握できておりませんので分かりません。また、異常穂の出方というのばらばらでして、最近では異常穂はよく探さないと分からないという状況です。昭和53年、54年、55年と温度の高い時期には、素人でもすぐ分かるという状況でした。今年もかなり高温が続いたのですが、目を皿のようにしないと分からないという状況でした。一つにはそれに対する軽減対策が広がったということもあります。徐々に消えつつあるというところでは。

座長：各演者の方に、例えば、講演の中で取り扱われた作物が望んでいる土層として、どのようなものを書いておられるかというところを御披露いただけたらと思います。

望む土層を達成するためには、何が障害になるかという点も含めてお願いします。

荒木：どのような環境要因でもそうでしょうが、制御対象、制御範囲が狭ければ狭いほど制御がしやすいといえましょう。例えば、土壤水分を考えて見ると、かん水対象の土層というものが、浅ければ浅いほど制御はし易いといえましょう。しかし、作物の生育から見ると、やはりある程度の根を張らすために、ある程度の土層厚が必要となりましょう。制御のほうでよくても、作物の生育には駄目だということがあります。

そこで、私のイメージとしては、土壌が少量の水でもある程度深い土層まで均一に湿るような土壌構造を持っていれば良いと思っています。このような構造を持っている土壌が野菜の制御を行う場合に非常に適しているのではないかと考えております。

と言いますのは、多量の水を与えると、その水の消費されるまでにかかなり時間が掛かり、その間に生育が進むということで、目標とする草型に持っていくのに問題があるということ。もう一つ、低温期の栽培では、かん水によってあまり地温を下げたくないということがあります。この場合に、多量の水を与えると、地温が低下して、その後の生育に非常に悪い影響を及ぼすということです。これらのことから少量の水で深い土層まで湿るような土壌構造をもっているという条件が必要なわけでは。

場合の土壤構造が果たしてどんなものかというところは、できれば土壤づくりの専門の方にやっていただきたいと思えます。

座長：極端に言えば、砂土のほうが粘質土よりよい。

荒木：そうですけれども、砂土の場合は今度は保水量が若干少ない。ですから、今度は頻繁にかん水するというようになって、生育面での問題が出てくるのではないかと思います。

相崎：現在の状況ですと、機械が大型化されることや、田植え機械の影響もありまして、10センチ前後というのがだいたいの平均の作土深です。10センチでは少なすぎる、15センチぐらいということが適切な作土深といえます。しかし、15センチ程度にすると、田植え機械が入りにくいか、足元がぬかるというような作業的な支障があるといわれています。

埼玉県大里の場合ですと、それらの軽減対策として有機物を入れないほうがよいということを出したわけです。実際には水田に稲わら、麦わらを還元しています。しかし、それはそこで出来た有機物を元に戻すというぐらいの量です。それさえもしなくなると、まるで有機物が入らないということになってしまいます。今後、これ以外の方法で有機物が入られるような条件をつくらなければいけないとは思っております。

また、水田には、漏水をするようなところもあるわけです。このようなところでは床締めなどにより、減水深としては、10cm湛水深が3日でなくなるぐらい、1日約20ミリから30ミリ程度のものを確保できればと思います。硬度は、土性ですとか、調べるときの水分の状況によって違うわけです。やはり、それが25ミリ以上になると、かなり固いということです。埼玉県大里の場合ですと、水分状態がかなり高いときには柔らかくなるのですが、それでもなおかつ根が入ることを拒むという状態があるということです。この点は硬度だけでなく、何か他の原因物質の影響かもしれません。しかしながら、土壤構造が発達していない土壤はかなり植物に対してダメージを与えるということは確かだと思えます。

桑原：まず、根域は大きいほうがよいと思えます。これは、ストレス等に対する体制の面からも、大きいほうがよいと思えます。実際に作物がどのような条件で育つかということを考えますと、これは根域は小さくても生育は可能なわけです。ごく小さな径の中に根を押し込んでおいても、必要な養分量、あるいは空気を供給して行けば、地上部は立派に生育します。ですから、そのような制御が可能などころでは根域が小さくても生育するのです。しかし、実際の農業を考えたときには、根域は

大きいほうがよいであろうと思います。

それから、科学的に理想的な土壤は何かということになりますと、作物が必要とする養分を低濃度で、必要なだけ、速やかに供給できる土壤がそれであろうと考えます。実際にはどのような土壤になるかというところは、よくわかりませんが。

ただ、このようなものを日本の土壤の中から選ぶとなると、化学性では灰色低地土あるいは褐色低地土のような、物理性では気相率も大きく、水分保持力もよい、易耕性もよいという火山性土のような特性をもつものが、栽培上の理想のものに近くていいだろうと考えています。

永石：水分状態を急減させないような水田ができれば、非常に薄い土層でも良いのではないかと考えているわけです。

例えば、作土についても、多くの生育条件にマッチするようなコントロールの仕方がやりきれれば、それだけでも満足のいく栽培ができるのではないかと経験上思っています。

試験作物は、キュウリ、麦、イチゴでしたが、これらの作物の栽培から見て、地下水位は深さ30センチぐらいあれば、多収とはいかないまでも、標準の収量は得られるという感じがしています。したがって、地下水位はあまり深くはいらぬのではないかとことです。農業土木の立場では、出来るだけ安くつくということを考えなければいけないわけですので、そのような焦点の絞り方になります。

地下水位は確かに深いほうが良いのですけれども、どのぐらいに深くすれば良いのかということになるとなかなか答えが返ってこないというのが現実です。いろいろ思考錯誤的にやってみた感じでは、コントロールの仕方に課題はあるけれども、できれば浅くてもいいのではないかとというのが、私の考え方です。

三野：除塩に関しての制御の好適土壤条件としては、例えば、塩の濃度をEC値で見ると、2ミリモーター・パー・センチメートルというのが、USサリニティなどで出されていて、それ以下であればどのような作物でも選択できるということで、目標値として一応2ミリモーター以下を設定しています。

児島湾の干拓地でも、水田として利用されているものの表土については、2ミリモーター・パー・センチメートル以下を十分クリアしています。ただし、深さ50センチ土層、あるいは転換畑として利用しますと、4ないし5ミリモーター・パー・センチメートルぐらいになるようですが、とりあえず2ミリモーター・パー・センチメートルに目標を置いています。

もう一つ、気相率についてですが、30センチ厚ぐらいの根群層で、大きな亀裂を除いて、100ccサンプルを取ったときに、最低5%ぐらいあればなんとか生育するようです。

先ほど、除塩の経過を説明しなかったのですが、実は昭和52年に干陸されて、昭和54、55年ぐらいから作物を植え始めて、それらの年度には非常によく育ちました。しかし、昭和57年、58年、59年ごろ急に排水不良になってきました。それと共に、30センチ土層で5%という気相率がそれまではあったのですが、まったく0になってしまった。これは塩類土壌特有のもので、管理汽水の塩類濃度を下げたことによって、分散が生じてしまったわけです。特に、雨が降ったあと、深さ80cmの暗渠の出口を見ますと、ものすごく濁った水がそこからどんどん出てきます。ということは、土壌の分散化が進行してしまったということです。このことがカルシウム施用の大きな根拠になっているわけです。

この意味で、一つはカルシウムを入れてなんとか気相率5%ぐらいを確保したいということ。しかも、2ミリ以下に。両者が矛盾するところから、いろいろな石膏の施用を試みざるを得ないということです。

それから、制御管理の技術的な可能性についてですが、深耕ロータリーで深さ50センチまでかき混ぜるなどして、なるべく深くまで耕耘するものが最適だと思います。実際の営農では、そのようにはいきませんので、一応深さ30センチぐらいの耕耘で、制御管理していく。それ以下の層は、カルシウムの置換や、水によって制御していくしかないと考えております。

最後の予測に関しては、シュミレーションに載せて計算機で計算することで可能ではないかと思えます。特に、キャンベルの非常に優れた本が出ましたので。しかし、その際に2つの問題があると思えます。

一つはメカニズムに基づいていなくても、十分に予想として役立つようなものを方程式としてたてる。これである程度パラメータを現実即して決めておけば、後はそれからの外れを考えるとということで十分ではないかと思っております。

もう一つは、シュミレーションで何んでもかんでもということで複雑にしてしまうのではなくて、むしろ明快にメカニズムを説明する。多少現状に合わなくしも大枠をそれで説明していけるようなものをです。単に数値予測を行うだけでなく、そのことが工学的立場では必要です。

例えば、土質力学において、テルツァッキ式という有名なものがあります。これは、メカニズムや、物理性

から見ると、それほど根拠のある式とはいえないのではないかと考えております。しかし、圧密の予測という点では非常に優れた式ではないかと思えます。ちょっと偏見もあるかもしれませんが、以上のようなことを考えております。

河野（日大農獣医）：相崎さんに。水田土層の浸透についてですが。農業土木の立場では、1日当り20ミリから30ミリというのが最適減水深として、一応決められています。東南アジアの文献ですとか、中国の文献を見ても、10ミリぐらいがちょうどいいというように言われています。最適減水深というのは、何かとということをご吉田昌一氏著の『稲作科学の基礎』では、有害物質に焦点を当てると、有害物質がある一定のスピードで流れていくような水田土層で稲がたくさん取れるということになるという指摘がなされています。最適減水深よりも早く流れても駄目だし、遅く流れても駄目ということになってしまおうということです。

埼玉県大里村の例では、1.5から5.6ミリぐらいのところで異常穂が出るわけですが、これの大きな原因の一つとして有機物を入れたことがあるだろうと思われまます。良い圃場は何ミリぐらいの減水深ですか。10ミリぐらい。20ミリとか30ミリですか。

相崎：深耕区のデータを持ってこなかったのですが、異常穂が発生したところよりは大きかったと思えます。しかし、20ミリとか30ミリではありません。

河野：減水深10ミリぐらいでも十分な気が最近するんです。他の方で、もし何か知っておられれば、教えていただきたい。

岩田（農土試）：いまの話とも関連するのですが、ある量を制御して、収量を上げるというときに、ひとつ考えなければならないのは収量段階との関連があるということです。

米をヘクタール当り10トン取るというのか、5トンぐらいでいいというのかとでは、考え方が大部異なると思えます。現在の収量段階との兼ね合いでいろいろなことを考えることが大切だろうと思えます。逆に言えば、ある置かれた条件下で、ある制限因子があるわけで、それを取り除くという場合には、ある収量段階におけるその土地の問題になるわけです。

先ほどの減水深の問題も過年にIRRIの研究会で論議になったわけで、IRRIの人たちからは、熱帯とか、温度の高いところではそれは問題にならないということが出てきました。日本では、おそらく収量段階との関連の問題があったわけで、ヘクタール当り4トンぐらいなら減水深はあまり問題にならなかったかもしれないし、今

後、10トンを取るということになったら、有害物質の問題だけでなく、他にもいろいろな問題が出てくるだろうと考えます。

ですから、そここのところに考え方を合わせて検討しないと、農業というのは非常に地域性を持っているわけですから、かなり混乱することになると思います。

それから、桑原さんが言われた薄い濃度で、作物が要求するときに、いつでも養分を与えてやるという条件は素晴らしい条件だと思います。しかし、土壌では、これはほとんど不可能に近いと思います。

20年前に、溝口氏が極めて多収なお化け小麦を栽培したことがありました。氏は水耕でやったからこそ、少しの流れを与えて、それだけの収量を取ったわけです。もし、私たちが土の中の水を少しづつ動かせる技術を持っていたら、ものすごいことになるだろうと思います。これはなかなか難しいと思います。

相崎さんにもう一つ。おそらく最終的には物質の発生と物質の移動の問題になるとは思いますが、異常穂の原因の直接的なものをもう少し詳しくお願いします。

相崎：還元状態で何か中間代謝物質というものができるのであろうということまでは分かっています。中間代謝物質は非常に分解しやすいものようでして、その実態はまだつかめていません。有機酸の動きと非常に似てはいます。

中野：桑原さんに。根粒はあるステージに応じて出来る場所が次第に下層に移っていくということでした。そこで、根粒菌が移動するのかどうかについて御説明いただけませんか。また、もしこれが移動するということになると、そのメカニズムはどのようかということにもなると思います。

桑原：根粒菌は土壌中に存在しているもので、根が土壌中を伸びていって、ある密度の根粒菌群に当たると、それらが根にアタックし、取り込まれて根粒を着生するということになるわけです。

ですから、根粒菌を全く接種しなくても、土耕はもちろん、水耕でも根粒は付きます。これは空气中を飛んできたり、畑の場合には水の流れ等で来るのでしょうし、土壌中にあるものが着生するということになります。ただし、根粒菌の密度というのが着生には非常に影響しますから、いままで水田であったところを畑に転換して、大豆を植えますと、初年目では根粒の着生は非常に悪いです。しかし、日本の場合には、ほとんどのところで作付後半になると根粒は十分に着生します。

他方、いままで大豆を育てていなかったようなところで大豆を育てようというときに、根粒菌を種子に接種す

ることがあります。この接種した菌というのは根が伸びるにしたがって、広がっていくというのではなく、主根のあたりに付いて、側根等の末端の方には、土壌中に存在する菌が着生すると言われていました。

一般的には、土壌中に存在している根粒菌が根にインフュージョンして根粒をつくると言えます。

中野：土壌中に存在する根粒菌の密度変化が時間的に、場所的にありうるだろうか。これがどういう物理法則でいくか、これを移動論的に扱っていかどうかということについては如何がでしょうか。

桑原：根粒菌の密度は大豆を植えて、根が伸びていくことによって土壌中で増えるのです。ですから、初めは密度は小さいが、大豆の根が関与することで増えていく。大豆を植えなければ、土壌中の根粒菌密度はどんどん下がって行って、全く、植えていないときには、非常に低いレベルで推移しているということになります。

中野：溶質、例えば肥料成分や塩分は水といっしょに動いていく。根粒菌は根の生長とともに動くということの一つのメカニズムとして、少し乱暴かもしれませんが、それを方程式化してもかまわないかどうか。微生物の密度変化を水との移動、溶質の移動との関係で、移動方程式的に扱うという立場がひとつあるように思っているんです。今の説明では、根粒菌の場合は少し違うということですね。

桑原：空气中を移動するくらいですから、水によって当然移動します。ただ、根粒菌の増殖は10の何乗というようなオーダーで行われますので、そのような増えかたには、大豆の根が関与しているということです。

岩田：バクテリアの動きやすい水分というのがあるようですね。マイクロブの大きさの何十倍かぐらいのところの水で詰まっていると到達できるとか、ある程度土粒子が間に介在してとか、というようなことが少しづつ解明されつつあるようです。

桑原：好適土壌条件に関してですが。実際を考えた場合に収量レベルというのは、これは非常に問題だと思います。ただ制御して育てるといっているのであれば、これは水や養分を必要なだけ与えてやれば、それこそ拳ぐらいの根系で十分に地上のほうを生育させることができるわけです。

農業的な場で考えたら、そのようなことは不可能なわけです。濃度を低くして間断なく供給すればいいということが分かっている、それはできません。ですから、農業的には、濃度と実際に根が分布して吸うキャパシティとの関係が出てくることになります。いままでの養分吸収では、これを濃度と容量との積だけで考えていたわけ

です。しかし、今後、それに加えて、吸収に対して速やかに補給するという速度が考えられなければならないのではないかと思います。いままでの土壌中のリン酸等に関するものを見ましても、分析法には速度が考えられていません。

低濃度の供給が不可能ということですから、当然、土壌の根系のキャパシティが重要になってくるわけです。例えば、濃度が上がって行きますと、作物は自分で調節ができませんから、余分な養分を吸ってしまうということになります。そうなると、作物を制御しなければならなくなり、これは非常に難しいということです。このようなことから、収量レベルで、しかもどれだけの養分がどのように供給されるかというメカニズムをきちんと整理していくことは重要ではないかと考えます。

座長：運沢さんに。水の問題をその裏側にあるガスの問題に置き換えてみて、かなり酸素を欲しがるといえる根粒菌とか、大豆の根が火山灰土のガス拡散様式に合っているか、いないかというようなことが何かありまじょうか。

運沢（農環研）：火山灰土の物理生について見ますと、まず固相率が低いということがあります。一般には、通気性はかなり良いと思われています。ある意味ではその通りだと思います。しかし同じ気相率の他のものと比較した場合には、拡散は悪い方です。

通気性についても、火山灰土に比べて灰色低地土のほうが5倍ぐらい大きな値をとることが多くあります。火山灰土の場合は地下水位が高い状態では、他の土に比べて拡散や通気性がかなり悪くなるわけです。それがずいぶん乾いた状態では、火山灰土の通気性の悪さとか、拡散の悪さというのはあまり問題になりません。逆に、固相率が低いために、気相率が高い分だけ、封入空気を差し引いても、通気や拡散が良いということになっているわけです。

大豆の場合の根について見てみますと、やはり火山灰土の場合でも耕盤付近の通気性が悪くなっているようなところでは、中に入らずに表層を横に張っている根が多く観察されるので、空気を求めて上のほうで伸張するのではないかと思います。

座長：ご存じのように大豆というのは普通の畑作物に比べて、非常に水を必要とする作物です。水分が十分にあるという条件が大豆の根の生育を良くします。そして、根をよく生育させることが根粒の付きをよくするわけです。

それでは、根をよく生育させる物理的条件はどのようなものかと言いますと、湿害を受けないかぎり十分に水

分はあったほうがいい。ですから、加湿ではなくて多湿条件です。そして、ODR（酸素の拡散速度）だったら15以上あればいいし、気相率だったら20%以上あればいいわけです。通気がいいということは、確かに根粒が付く条件ですけれども、逆に言えば、水分が少ないという条件です。したがって、通気としては最低の条件でも水が多い条件のほうが、実態としては根がよく生育し、根粒もよく付くと考えられます。日本では、生産量の半分以上が水田大豆です。水田大豆が良くとれるというのは、かなり水が多い条件が与えられているということ、加えて窒素の供給量が高いということによるかと思われます。

最後に、三野さんに。乾湿を繰り返すと除塩の効率が上がるということを実験的にも求めておられるようですが、式の中で乾くということがいったい何なのであるのかというのが、時間の都合で十分な説明がおできにならなかったのではないかと思います。その点について何か現象としてははっきりあれば、われわれとしてもいろいろと使える場面があるので、そのことと理論との関係をもう少し説明していただければと思います。

三野：水さえ準備して水を沢山かければ、真水の回転率を上げれば、それに応じて塩分は抜けるのだらうということをやってきたのですけれども、マクロな大間隙を水が滑るような形で、大間隙の除塩が済んでしまうと、それ以後除塩が進まなくなる。全くと言っていいほど小間隙の水は動かないわけです。それを乾燥ということ引き出さないと、重力ではとても動かない。乾燥というものすごく大きなポテンシャルを掛けて引き出して、もう一度それを水で洗っていく。考えてみればそれは当たり前のことです。そのようなことが、自然界の中では、むしろ繰り返しの中で非常にうまく除塩がなり、物質の移送が進んでいるはずなのに、理論ということになると、平均的な形で取り扱われる。

確かに乾燥地であれば、それで良いのでしょうかけれども、土壌中の水循環の速度が非常に早いわが国では、その取り扱いにおいて、もう少し質的な仕分けをした上でのものが必要であるということをつくづくと感じたしだいなのです。もう少し具体的にということで、混合という概念の中で、マクロなポアとミクロなポアの間の混合力みたいなものによって除塩をなんとか評価して、理論式の中にほうり込みたかったというのが、狙いであったわけです。

座長：これで討論を終わりにしたいと思います。

（文責 河野英一）

資 料

インテーク・レート測定データ取り扱い上の
問題点とその改善

岩 間 秀 矩*
奥 山 武 彦**

Practical Presentation of Infiltration Data

Hidenori IWAMA and Takehiko OKUYAMA

* National Institute of Agro-Environmental Sciences

** National Research Institute of Agricultural Engineering

1. はじめに

インテーク・レート、特にシリンダーを用いた湛水法によるものは比較的簡便に測定できることから、かんがい方法の選択やかん水量の上限設定に⁴⁾、あるいは土壤の排水性・受食性の評価に⁷⁾、また、最近ではハウス土壤などにおける集積塩類の洗脱の難易の指標⁴⁵⁾として測定されている。現場におけるマクロな土壤物理性の測定法としても重要であり、土壤の物理性診断への活用が望まれている⁵⁾。しかし、シリンダー湛水法によるインテーク・レートの測定には問題点が多く、土壤の物理性診断測定法としては確立されていないのが実情である。その主な問題点は、

- 1) 測定値の変動が大きいこと、
- 2) シリンダーの打ち込みに伴う土壤の攪乱
- 3) 湛水することによる空気封入の影響や雨水の浸透との差異を評価出来ないこと、
- 4) 打ち込み深さ、湛水深、pre-wetting など測定方法に統一基準のないこと、
- 5) 測定データの整理法に問題のあること、

などである。このうち1), 2), 3)は、測定法の本来的意味が問われる問題点である。1)の測定値のバラツキの大きいことは^{6, 14)}、100mlコアサンプルよりスケールが大きい測定に対する期待を裏切るものであるが、透水性がマクロ孔隙の有無などに著しく影響されることや、成層条件による変動性など、フィールドにおける土壤の変動そのものが大きいことの反映である。測定数のみならず畑地における畦間と畦上のような不均一を前提にして、測定箇所を選択することが必要である。2)の問題については、油圧による静的圧入が土壤構造の乱れ

を最小限に抑えたとされているが¹⁴⁾、我国ではまだ検討されていない。湛水の問題については、封入空気の影響^{2, 3)}、湛水深の影響¹¹⁾、バッファポンドの効果¹³⁾等について理論的な検討がなされているが、測定法の具体的改善には至っていない。これらの問題点については、今後、更に検討を深めてゆく必要があるが、ここではそうした検討を行う際に問題となる、5)の測定データの整理法について考察した結果を述べる。すなわち、我国で戦後長く採用されてきたインテーク定数とベーシックインテーク・レートの問題点を明らかにし、より明確な指標を提案する。

2. インテーク・レート測定時間について

図-1は、黒ボク土畑地における浸透試験の測定例を示したものであるが、浸透開始後10ないし20分間は急速にインテーク・レートが減衰し、60分以内にはほぼ定常に近づくことが認められる。この傾向は、ブラジル畑土壤について雨期に測定した場合でも同様であり、下層土が湿っている土壤ではほぼ共通していると思われる。これは、我が国において浸透試験の測定時間が約60分とされていることが^{8, 9)}妥当であることを示している。他方、海外の文献^{6, 12)}では、3~5時間以上の測定時間を要するとしている場合が多いが、これは乾燥気候下の土壤や、膨潤性粘土鉱物を含むパーチソルなども対象としているからであろう。測定時間を短縮して測定数を出来るだけ増やすことが、浸透試験データの大きな変動性から望ましいが、60分間は最低限必要な時間といえる。

3. 初期浸透量について

* 農業環境技術研究所 ** 農業土木試験場

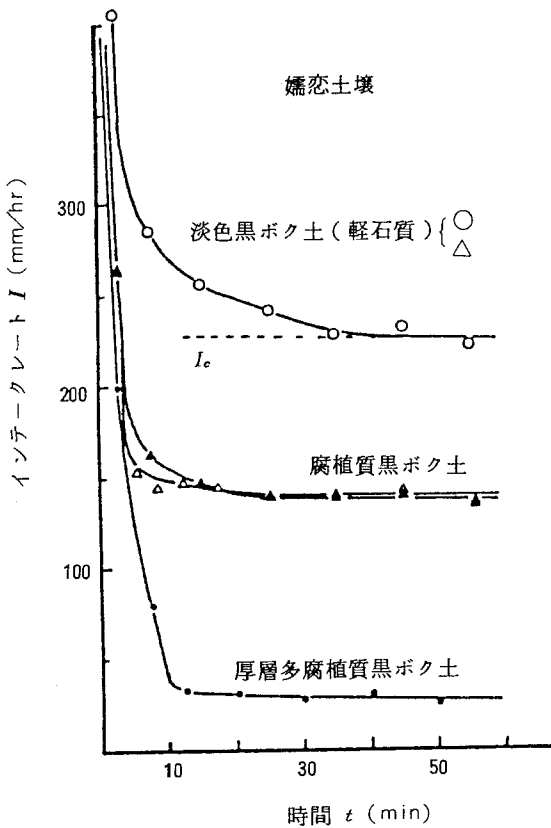


図-1 インテーク・レートの測定例

浸透開始後10分間前後には、急速な浸透が起り量的にも多い。当然、この初期浸透量は排水や降雨の貯留に対する意味が大きいと思われるが、これまでの浸透試験データの取扱いにおいてはあまり重視されていない。図-2は、我が国で一般化しているデータ整理法に従い、両対数紙に積算浸透量 (D , mm) と浸透開始後の経過時間 (t , min.) の関係をプロットし、Kostiakov の実験式を適用したものである。

$$D = ct^n \quad \dots\dots\dots (1)$$

c, n : const. 多くの場合 $1 > n > 0$

ここで、 c は浸透開始1分後 ($t = 1$ min) における浸透量を意味しているが、図-2に見られるように実測値より小さい値となることが多い。図-3は、ブラジル畑土壌並びに黒ボク土畑におけるインテーク・レート測定結果に(1)式を適用して得た c 値と、浸透開始1分後の浸透量の実測値との比較を見たものであるが、 c 値は浸透性が良い n の大きい場合ほど過小評価となっている傾向が認められる。ここで数式の適用によって実測データが生かされなくなることが問題と思われる。

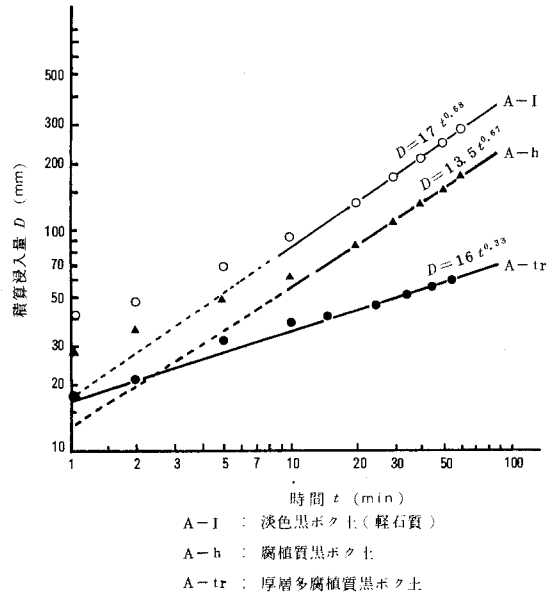


図-2 インテーク・レートの測定値への Kostiakov 式の適用

堀ら¹⁾は、転換畑において停滞水の消失日数と c 値に相関があり、初期浸透量が排水に関与していることを示したが、実測初期浸透量と c 値の差異については言及していない。

(1)式以外に浸透に良く適用される式にPhilip式¹⁰⁾がある。これは理論式であるが均質な土壌を想定しており、不均質な成層土壌に対してはひとつの実験式とみなされよう。

$$D = at^{1/2} + bt \quad \dots\dots\dots (2)$$

ここで ($a+b$) が給水開始1分後の浸透量に相当しているが、筆者の測定例では、実測値と差異の大きいもののがかなり認められた。また、第1項の係数 a は、sorptionityと呼ばれ土壌の浸透開始前後の水分差による毛管吸水性を示す係数とされているが、土壌水分が湿潤状態からスタートする我が国の場合には、初期浸透量は粗孔隙量と関連していることが予想された。図-4は、10分間浸透量 (D_{10}) と表層部0~30cmの粗孔隙量との相関を見たものであるが、一部、林地におけるデータを除いて正相関が認められた。

4. ベーシックインテーク・レートについて

ベーシックインテーク・レートは、アメリカのかんがい設計基準に準じて次のように定義されている^{8, 9)}。積算浸透量 (D) は(1)式で表され、インテーク・レート (i , mm/hr) は(1)式を微分して得られる。

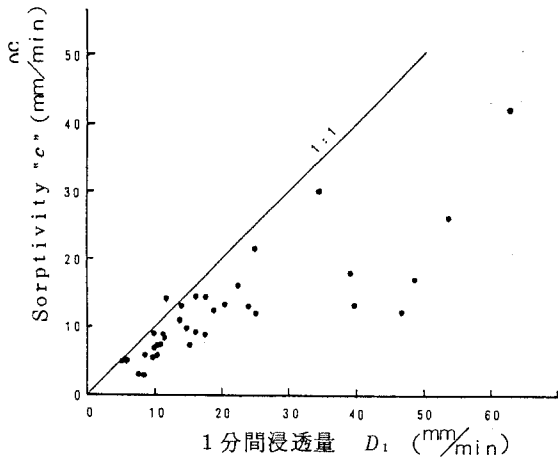
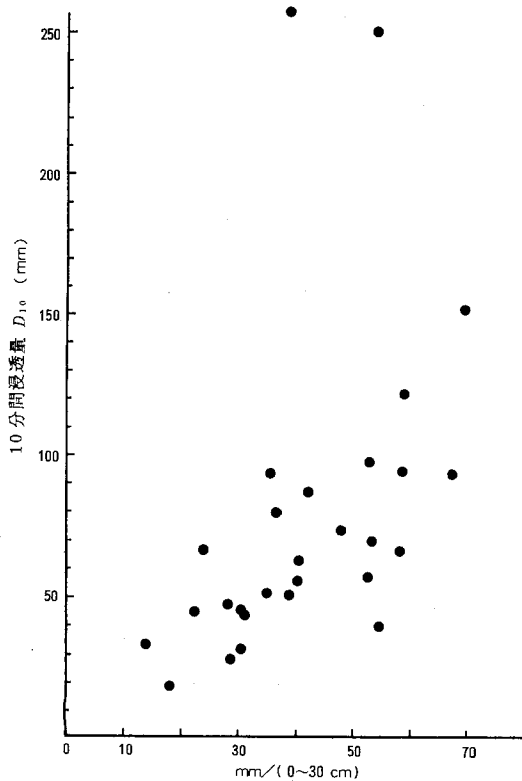


図-3 Sorptivity “c” と1分間浸透量 “D₁” の比較



表層(0~30 cm)の粗孔隙量 (pF<1.5)

図-4 表層(0-30 cm)の粗孔隙量 (pF<1.5) と10分間浸透量 D₁₀の相関

$$I = 60 \cdot cnt^{-n-1} \text{ (mm/hr)} \dots\dots\dots (3)$$

ここで、(3)式では時間の経過にもなると I 値が一定とならないので、「インターク・レートの変化率がインターク・レートの10%になった時のインターク・レートをベーシックインターク・レート (I_b) とする」と定義している。この定義の方程式を解くことにより、I_b に達する時間 (t_b) が得られる。

$$t_b = 600 (1 - n) \text{ (min)} \dots\dots\dots (4)$$

(3)式に(4)式を代入して I_b が得られる。

$$I_b = 60cn [600 (1 - n)]^{-n-1} \text{ (mm/hr)} \dots\dots\dots (5)$$

ここで、定義の方程式を解いて(4)式の解を得るには、時間の単位の取り方に注意する必要がある。すなわち、t は分単位であるので時間 (T: hr, t/60) 単位に変換する必要がある。

$$-dI/dT = 1/10 \cdot I \dots\dots\dots (6)$$

$$\begin{aligned} -d [60cn (60T)^{-n-1}] / dT \\ = -60^n cn (n-1) T^{-n-2} \\ = 1/10 \cdot 60^n cn T^{-n-1} \dots\dots\dots (7) \end{aligned}$$

(7)式から T_b = 10 (1 - n) (hr) が得られ、したがって t_b = 600 (1 - n) (min) が得られる。

ここで、分単位 (t) のまま定義方程式を解くと、t_b = 10 (1 - n) 分が得られる。すなわち、

$$\begin{aligned} -dI/dt = 1/10 \cdot I \\ -60cn (n-1) t^{-n-2} = 1/10 \cdot 60cnt^{-n-1} \\ \therefore t_b = 10 (1 - n) \text{ (min)} \end{aligned}$$

であり、10分間にベーシックインターク・レートに達することになってしまう。これは加速度が1分間に1/10づつ変化することと、1時間に1/10づつ変化することの大きな違いを思えば当然のことである。

したがって、前記のベーシックインターク・レートの定義は数式が分単位で表されていることから、時間 (hr) 単位であることを明確化する必要がある。また、(5)式は I = I_be^{-T/10} の形を取る Horton 式の変形といえる曲線であり、それと(2)式の曲線の交点が I_b ということになるが、その物理的意味は余り明確ではない。

以上のように I_b 値は適当に定められたものであるが、長い期間その是非が問題にされることなく用いられてきたのは、まさしく適当であることによるのであろう。図-5、は philip 式の(2)式を適用して得られた b 値 (時間無限大におけるインターク・レート) と I_b 値がほぼ 1:1 対応していることを示しており、その妥当性を示すものと考えられる。

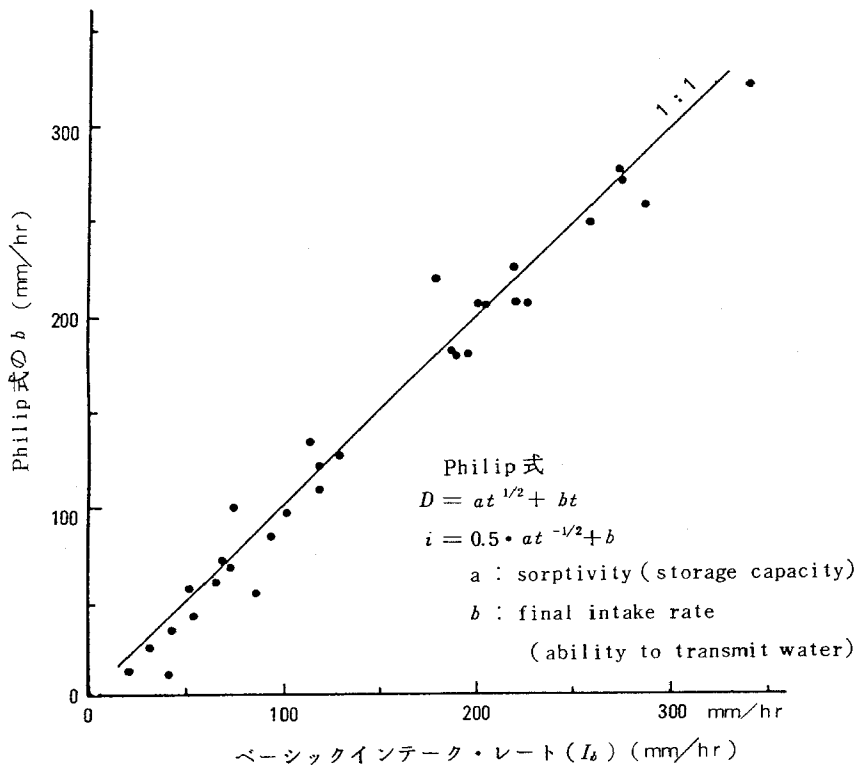


図-5 Kostiakov式による I_b とPhilip式の b の比較

あっても、 I_b に達する時間(t_b)は(3)式に見られるように、浸透性が著しく高く n が0.9前後の場合を除いて、2時間から数時間と長くなることである。このことはまず、前述のように我が国において測定時間は60分前後が普通であることから、1時間程度の実測データから2~3時間以上先を外挿することが適当なのかという疑問を生じさせる。さらに n が小さい場合、すなわち、浸透性が低い土壌では、 t_b は更に長く、 I_b は小さくなり、図-6に示すように実測によるグラフで求めたほぼ定常的なインテーク・レート($I_t = I_{60} \text{min}$)に対する相対的な比率も著しく小さくなり、 I_b 値では畑地の浸透性を過少評価することになると考えられる。

したがって、乾燥地におけるかんがい導入、あるいは畑地を水田化した後の浸透予測には長時間経過後の値が必要であるが、普通の畑地などではその必要は少なく、また、必要な場合には、外挿によらず実測すべきであると思われる。

5. まとめ

以上の検討から、これまで我が国において一般的に行われているインテーク・レート測定データの取り扱いには $D=ct^n$ 式が適用され、 c, n, I_b 等の値の比較や指標化が行われてきたが、一方では実測値の活用が不十分となっている傾向が明らかになった。従って、解析的な研究において浸透現象を数式化する必要のある場合を除き、土壌診断等においては、実測値に基づく指標を用いることが適当と思われる。

すなわち

D_{60} : 60分間の積算浸透量

I_{60} : 60分後における定常浸透能

D_{10} : 初期浸透量の指標として浸透開始10分間の浸透量

である。これらのうち I_{60} は c, n 値が求められている既存のデータから容易に読み換えることができる。

ここで従来から用いられてきた I_b 値を否定すること

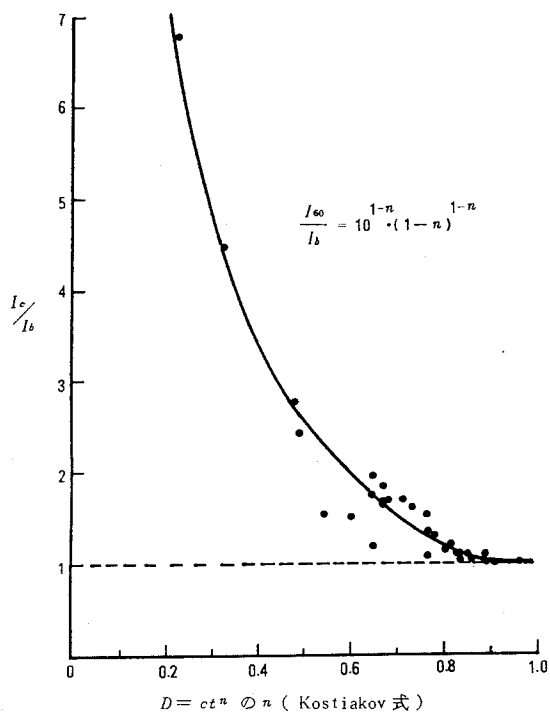


図-6 グラフによる実測定常浸透能 (I_c or I_{60}) とベーシックインテークレート (I_b) の比較

には、多くの異論があると思われるが、本論では I_b の物理的意味も明確にしてきた。主な問題は、実測値とのズレである。実用上の問題として、土壌侵食防止の観点からかん水量の許容最大散水強度が平坦地では I_b の $1/3$ 、傾斜地では $1/5$ されていることがある⁴⁾ これは I_b が I_{60} より小さい傾向にあることから安全率を大き目に見積もってきたことに相当しており、 I_{60} を用いる場合には安全率の低下となるのかを検討する必要がある。畑圃場整備設計において土壌の透水性の判定に n 値が指

標とされているが⁷⁾、これはかなり大まかな目安であり、 I_{60} による読み換えは容易と思われる。

さらに、インテーク・レート測定の一層の活用には、本論の最初に述べたように、シリンダー湛水法の基本的な問題点についても精力的に検討を進めて行く必要がある。

引用文献

- 1) 堀 兼明・大石達朗・山下春吉, 1983. 静岡農試研報, 28, 85-94.
- 2) 石原安雄・高木不折・馬場洋二, 1966. 京大防災研年報, 9, 551-563.
- 3) 石原安雄・下島栄一, 1976. 京大防災研年報, 19B, 99-121
- 4) 河野 宏, 1979. 土壌の物理性と植物生育, 土壌物理研究会編, 173-177, 養賢堂
- 5) 久保田 徹, 1987. 土壌の物理性, 55, 2-4
- 6) London, J. R., 1984. Booker Tropical Soil Manual, 58-72. Booker, London.
- 7) 農水省構造改善局, 1979. 土地改良事業計画設計基準・計画・ほ場整備(畑), 27-53. 農業土木学会
- 8) 松本直治, 1986. 土壌標準分析・測定法, 日土肥学会監修, 59-69. 博友社
- 9) 水之江政輝, 1972. 土壌物理性測定法, 土壌物理性測定法委員会編, 168-177. 養賢堂
- 10) Philip, J. R. 1957. Soil Sci., 83, 345-357
- 11) Philip, J. R. 1957. Soil Sci., 84, 278-286
- 12) Sanchez, P. 1976. Properties and Management of Soils in the Tropics, 96-98. John Wiley & Sons, New York
- 13) 島田 清, 1988. 農土論集, 133, 87-92
- 14) Smettem, K. R. 1987. Soil Sci., 144, 167-174.
- 15) 相馬 暁, 1988. 土肥誌, 59, 320-324

土 粒 子

 t 秒間に流出する水量は Q ?

ある本(例えば土質工学会編「土質試験法」)では、ダルシー式が次のように説明されている(ただし、SI単位とした)。

$$Q = KA t \frac{h}{l}$$

ここで、 Q : t 秒間に流出する水量 (m^3)、 K : 透水係数 (m/sec)、 A : 試料の断面積 (m^2)、 h : 水位差 (m)、 l : 試料の長さ (m)

この本の巻頭には記号の一覧表があって、そこには Q は流量 (m^3/sec) とされている。では、上の式の Q は流量を意味するのだろうか、それとも水量(体積)を意味するのだろうか?

式の Q の次元は L^3 だから体積である。では、体積ならば $V (m^3)$ の記号を使うのが一般的である(前述の記号一覧表にも明記されている)のに、流量の記号である Q を使うのはなぜだろうか。くせ者は「 t 秒間に流出する水量」という説明である。それは流量を意味するのだろうか?

もし、「単位時間に流出する水量」ならば、それは流量 $Q (m^3/sec)$ を意味する。本によってはそのように説

明してあるものもあり、その場合 t は Q に含まれるから式には出てこない。一方、「 t 秒間に流出する水量」とした場合は、流量 $Q (m^3/sec)$ ではなく体積 $V (m^3)$ を意味する。それは、「 t 秒間に走った距離」が速度ではなく距離であるのと同じである。

問題は、「 t 秒間に流出する水量」を $Q (m^3)$ と書くことである。これを V とし、流量 Q について $Q = V/t$ の関係認めればすっきりする。そうすれば、最初の式の中には t が出てこないか、または Q の代わりに V が使われる。

このように、流量 Q と水量 V が混同して使われている例が意外に多い。個々の説明の中に矛盾はなくても、前後のページで Q が流量 (m^3/sec) になったり水量 (m^3) になったりしていることもよくある。特に測定法の記述の部分でそのような例が多い。この混乱の原因は、「単位時間に流出する水量」 $Q (m^3/sec)$ から、測定法の説明で時間 t を分離する際に、 Q を (quantity の連想からか?) 「水量」の記号としてそのまま使ってしまったことにあるように思われる。

(茨城大学農学部 軽部重太郎)

 書 評

移 動 現 象

- 土 壤 を め ぐ る エ ネ ル ギ ー と 物 質 の 転 流 -

日 本 土 壤 肥 料 学 会 編

博 友 社 1987年

B6 版 188pp. 2,000円

本書は、昭和61年4月4日に開催された『土壌をめぐるエネルギーと物質の移動』と題するシンポジウムが基になって企画されたもので、以下の6編から構成されている。

I. 土壌中の水移動と根の吸収 (長谷川周一著)

不飽和条件下における土壌水の運動と根の吸収について概説し、植物根による水吸収について、マイクロモデル、マクロモデルなどの吸水モデルを述べるとともに、有効水分の下限值として成長阻害水分点の解釈を論じている。また、根の周辺の水分分布の経日変化を実験的に追跡し、興味深い結果を得ている。

II. 土壌中におけるイオンの挙動 (波多野隆介著)

拡散と分散について述べ、みかけの分散係数の決定方法を紹介している。また、イオンの挙動に関して、イオン吸着、交換および排除について総説するとともに、移動・分布の不均一性へのアプローチとして、粗孔隙のbypass効果、粒団のsource-sink効果を概括している。

III. 圃場における熱および水の移動と

その測定法 (粕淵辰昭著)

土壌中の熱と水の流れの基本的な特徴について述べ、地温、熱伝導率、水分ポテンシャル、土壌水分などの地象要素を自動計測する方法を紹介している。また、圃場の物理環境を総合的に測定する自動農地観測システムの確立を目指し、移動現象のモニタリングの重要性を強調している。

IV. 斜面の物質移動と土壌・地形発達

(佐久間敏雄著)

斜面における水と熱の移動現象について述べ、土壌物質

の移動および地形発達との関係について概説している。斜面の土壌水文学的な特性として、カタナ概念、土壌景観システムなどを述べ、土壌学と地形学・水文学等の境界領域の空白を埋めるべく、フィールドにおける実証的な研究と現実的モデルの探索の必要性を強調している。

V. 傾斜地における物質移動 [土壌侵食]

(前田乾一著)

土壌の移動現象として、不可逆的な損失となる土壌侵食を取り上げ、傾斜地農業の情勢変化によって生ずる問題の所在を概説している。降雨、土壌、地形、作物の被覆、耕作・保全等の土壌侵食発生要因に関する研究事例を紹介し、土壌侵食に関する現状と、土壌侵食防止対策のあり方を述べている。

VI. 問題点と将来への展望

(古畑 哲・佐久間敏雄著)

以上述べた研究以外に、①ダルシー則に従わない水移動、②ガスの移動、③非水溶性物質の移動、④懸濁高分子物質の移動、⑤土壌中の微生物の移動、⑥大規模農地造成と土壌保全、⑦農耕地における窒素の溶脱と浄化、について、移動現象の問題点を要約している。

この本は、自然界の数多くの要因が相互に関連し、極めて複雑な過程である土壌中のエネルギーと物質の移動と変化について、既往の研究をまとめ、豊富なデータを随所に用いて、平易に述べた農業生態系の研究序説と云えよう。現在、この分野で何が問題となって、どこまで研究が進んでいるのかを知る上で、若い研究者にとって活力を得る最良の書と思う。

(鳥取大学農学部 井上光弘)

日本学術会議だより No.10

第14期最初の総会開催される

昭和63年 8月 日本学術会議広報委員会

日本学術会議の第14期が7月22日から発足し、7月25日～27日の3日間、第14期最初の総会が開催されましたので、その総会等についてお知らせします。

日本学術会議第105回総会報告

7月22日の第14期の発足に伴い、同日付けで内閣総理大臣による日本学術会議会員の発令が行われた(辞令の交付式は、総会日程の関係で7月25日に挙行)。第14期の会員は、選出制度が学術研究団体を基礎とする推薦方式に変わって後、2回目の会員である。この第14期会員による最初の総会である、第105回総会が、7月25、26、27日の3日間、本会議場で開催された。

第1日目(25日)。午前中の新会員への辞令交付式に続いて、13時に総会が開会され、直ちに、会長及び両副会長の選挙が行われた。会員による互選の結果、会長には、第13期の会長であった近藤次郎第5部会員が再選された。また、人文科学部門の副会長には、大石泰彦第3部会員が、自然科学部門の副会長には、渡邊格第4部会員がそれぞれ選出された。選挙終了後、近藤会長から、「一生懸命務めるつもりなので、会員の方々の御協力をよろしく願いたい。」との就任のあいさつがあり、また、大石、渡邊両副会長からもそれぞれ就任のあいさつがあった。

総会終了後、直ちに、各部会が開催され、各部の役員である部長、副部長、幹事の選出が行われた。(第14期の役員については、別掲を参照)。

第2日目(26日)。10時に総会が開会され、始めに、近藤会長が、第13期の会長という資格で第13期の総括的な活動報告を行った後、3年間を振り返り特に印象の深いものとして、脳死問題に関する討議、ICSU 総会招致に関連する科学者の自由交流問題、学術会議の予算等について、その所感を述べた。続いて、会員推薦管理会報告として、久保亮五委員長の代理として事務総長が、第14期会員の推薦を決定するまでの経過報告等を行った。

引き続き、会長から3日目の総会で提案・審議する予定の「第14期活動計画委員会の設置について(申合せ案)」に関する各部での事前討議について並びに各常置委員会の委員定数の決定に基づく各部での委員の選出について、それぞれ各部へ付託がなされた。

総会終了後、直ちに各部会が開催され、前述の申合せ案の討議及び各常置委員会委員の選出等が行われた。

第3日目(27日)。10時に総会が開会され、会長から前述

の「第14期活動計画委員会の設置について(申合せ案)」の提案が行われた。この申合せ案は、第14期の活動に関する基本的計画の立案を任務とする臨時の委員会を次の定例総会までの間、設置するという内容を内容としている。この提案は、その構成等に関する若干の討議の後、原案どおり可決された。

総会終了後、直ちに各部会が開催され、設置が決定された第14期活動計画委員会委員の選出等が行われた。

なお、この第14期活動計画委員会は、総会期間中に第1回の会議を開き、全会員を対象にした第14期の学術会議の活動に関するアンケートの実施を決めるなど、早速その活動を開始した。

第14期日本学術会議会員の辞令交付式等について

第105回総会に先立ち、第14期日本学術会議会員の辞令交付式が7月25日(月)10時35分から、総理大臣官邸ホールで行われた。辞令交付式は、まず、第1部から第7部までの会員の氏名が順次読み上げられた後、会員全員を代表して最年長者である山本正男第1部会員が竹下登内閣総理大臣の代理としての小淵恵三内閣官房長官から、辞令の交付を受けた。その後、小淵長官から、第14期会員に対する期待を込めた内閣総理大臣あいさつの代読があり、続いて、山本正男会員から、会員を代表して国民の期待に沿うよう努力したい旨のあいさつがあって、式は終了した。出席会員は190人であった。なお、第14期日本学術会議会員の発令は、第14期の始期である7月22日付けであるが、総会日程との関係で、総会初日の7月25日に辞令交付式を行ったものである。

26日には、午後の各部会終了後、18時から、小淵内閣官房長官主催による歓迎パーティーが本会議のホールで行われた。小淵長官のあいさつがあり、続いて、脇村日本学士院院長の代理としての石井良助学士院会員から祝辞があった。これに対し近藤会長によるユーモアに富んだ答礼のあいさつがあり、沢田敏男日本学術振興会会長の乾杯の音頭でパーティーが進められ、活発かつ友好的な歓談が行われた。

第14期日本学術会議役員

会 長 近藤次郎 (第5部・経営工学)
副会長 (人文科学部門) 大石泰彦 (第3部・経済政策)
副会長 (自然科学部門) 渡邊 格 (第4部・生物科学)

〔各部役員〕

第1部 部 長 黒田 俊雄 (歴史学)
副部長 北川 隆吉 (社会学)
幹 事 一番ヶ瀬康子 (社会学)
" 肥田野 直 (心理学)

第2部 部 長 西原 道雄 (民法法学)
副部長 川田 侃 (政治学)
幹 事 経塚作太郎 (国際関係法学)
" 山下 健次 (公法学)

第3部 部 長 島袋 嘉昌 (経営学)
副部長 大石嘉一郎 (経済史)
幹 事 木村 栄一 (商学)
" 則武 保夫 (財政学・金融論)

第4部 部 長 中嶋 貞雄 (物理科学)
副部長 田中 郁三 (化学)
幹 事 樋口 敬二 (地球物理学)
" 平本 幸男 (生物科学)

第5部 部 長 岡村 総吾 (電子工学)
副部長 高村 仁一 (金属工学)
幹 事 市川 惇信 (計測・制御工学)
" 藤本 盛久 (建築学)

第6部 部 長 江川 友治 (農芸化学)
副部長 中川昭一郎 (農業総合科学)
幹 事 飯田 格 (農学)
" 水間 豊 (畜産学)

第7部 部 長 小坂 樹徳 (内科系科学)
副部長 水越 治 (外科系科学)
幹 事 伊藤 正男 (生理科学)
" 岡田 晃 (社会医学)

(注) カッコ内は、所属部・専門

「対外報告」について

本会議では、第13期になってから、その意思の表出の形態の一つとして、各部・委員会がその審議結果をとりまとめたものを、総会又は運営審議会の承認を得て、外部に発表する「報告」(通称「対外報告」と言っている。)というものができるようになった。ただし、この対外報告は、日本学術会議全体の意思の表出ではなくて、当該対外報告をとりまとめた部・委員会限りのものである。

第13期には、数多くの対外報告が総会又は運営審議会の承認を得て出されている。ここでは、すでに、この日本学術会議がよりで紹介されているものを除いた対外報告の題目のみを以下で紹介する。

- ・物理学研究連絡委員会報告—大型ハドロン計画の推進について
- ・化学研究連絡委員会報告—全国的視野に立つ化学の新しい研究体制について
- ・第5常置委員会報告—公文書館専門職員養成体制の整備について
- ・遺伝医学研究連絡委員会報告—「医学教育の改善に関する調査研究協力者会議最終まとめ」についての意見
- ・第4部報告—上級研究員制度(仮称)の新設について(基礎科学振興・充実のための一の方策)

第14期日本学術会議会員の概要について

この度任命された210人の第14期日本学術会議会員の概要を以下で紹介する。(カッコ内は前期)

- 性別 男子 208人 (207人)
女子 2人 (3人)
- 年齢別
50～54歳 5人 55～59歳 39人
60～64歳 85人 65～69歳 67人
70～74歳 13人 75～79歳 1人
〔最年長 76歳 (77歳)
最年少 51歳 (48歳)
平均年齢 63.1歳 (61.6歳)〕
- 勤務機関及び職名別
(1) 大学関係
国立大学 73人 (101人)
公立大学 5人 (6人)
私立大学 88人 (77人)
その他 1人 (3人)
計 167人 (187人)
(2) 国公私立試験研究機関・病院等 8人 (9人)
(3) その他
法人・団体関係 13人 (3人)
民間会社 7人 (3人)
無職 15人 (8人)
計 35人 (14人)
- 前・元・新別
前 会 員 109人 (41人)
元 会 員 4人 (6人)
新 会 員 97人 (163人)
- 地方別(居住地)
北 海 道 3人 (5人)
東 北 6人 (6人)
関 東 132人 (134人)
中 部 15人 (12人)
近 畿 42人 (40人)
中 国・四 国 4人 (6人)
九 州・沖 縄 8人 (7人)

(注) 詳細については、日本学術会議月報7月号を参照

- ・第5部報告—工学系の大学における産・官・学の研究協力の在り方について
- ・生命科学と生命工学特別委員会報告—生命科学の研究と教育の推進方策について
- ・情報学、学術文献情報、学術データ情報研究連絡委員会報告—情報学振興総合機構の構想について(中間報告)
- ・商学研究連絡委員会報告—大学における商学教育の課題と方向
- ・電子・通信工学研究連絡委員会報告—通信工学の体系化に向けて

御意見・お問い合わせ等がありましたら下記までお寄せください。

〒106 港区六本木7-22-34

日本学術会議広報委員会 電話 03(403)6291

— 編 集 後 記 —

本号は、昨年10月に開催されたシンポジウムの際の各講演の内容を、報文として執筆依頼申し上げたものが中心です。執筆者各位には、講演のみならず、御協力有難うございました。

総合討論の中で、制御するのに理想的なものに近い土層として、少量の水でもある程度深いところまで均一に湿るような土壌構造を持つもの、作物が必要とする養分を低濃度で、必要なだけ速やかに供給できるもの、土壌水分を急減させないものなどが上げられています。水田農業のあり方や名称だけが先行の汎用耕地の概念を考える上で、重要な示唆と言えるものではないかと思われま

す。さて、24年ぶりのアジアでのオリンピックがソウルで無事に終了しました。これを機にして、日本がそうであったように、韓国も産業、文化の両面で、その質が飛躍的に向上することでしょう。今後、益々、日・韓の良い意味での競争と親密なる協力とが、アジアの平和と安全を踏まえた発展にとって、重要になっていくと思われま

す。ところで、妙に、日本選手の多くに覇気が見られませんでしたね。ここ一番の強い集中力と思切りの良さが無かったようです。フォームというか、形というか、恰好の良さばかりを気にしていて、まあまあ結果にはなるような小手先の無難策で試合に臨んでいたとしか思えません。本国にても、当てることやフォームばかりを指導者や周囲のものが言い過ぎて、振り切りが悪くなって打てなくさせたり、相も変わらずにアウトコースへの無難なボールばかりを多投させ過ぎて自滅させたりで、優勝を逸した有力チームがありました。これらは、現在の日本の国民性から来ているのでしょうか。何か、日本の農林水産行政の有様もこれに似てはいませんか。食糧自給をどう考えるのか、農産物の自由化をどうするのか。会員諸氏、我々は、思い切りの良い振り切りと鋭いインコース攻めで行こうではありませんか。

会員諸氏の投稿を是非ともお願いします。

(河野英一)

土壤物理研究会

事務局構成	会 長	中野政詩
	副 会 長	岩間秀矩
	会計幹事	塩沢 昌
	〃	井本博美
	庶務幹事	宮崎 毅
	編集幹事	河野英一・加藤英孝
編 集 委 員	河野英一 (委員長)・加藤英孝・山路永司・渡辺 実・駒村正治・石川重雄	

土壤の物理性 第57号 (会員配布) 1988年10月 8日発行

発行 土壤物理研究会 (〒113) 東京都文京区弥生1-1-1 東京大学農学部農業工学科農業地水学研

究室内 電話 03-812-2111 (内5352) 振替口座 東京5-17794

銀行口座 第一勧業銀行根津支店 口座番号(普通預金)1036491

印刷(株)ジェイ・ピー・シー 〒105 東京都港区新橋5-25-6 山本ビル2F TEL 03-436-2124(代) FAX 03-578-7182

(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なう。
- (1) 研究発表会、討論会及び見学会などの開催
 - (2) 土壌の物理性 (Soil Physical Conditions and Plant Growth, Japan 会誌という) 並びにその他の印刷物の発行
 - (3) 内外の研究、技術の交流及び他の学会、諸団体との協力
 - (4) その他本会の目的を達成するため必要な事業
- 第4条 本会の会員は、正会員、学生会員及び賛助会員、購読会員の4種とする。
会員となるには評議員会の承認を受けなければならない。
- 第5条 会員は次の会費を所定の期日までに納めるものとする。
- | | | | |
|-----------|------|---|---------|
| 正会員 | 年 | 額 | 3,500円 |
| 学生会員 | 〃 | | 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 本会に次の役員をおく。任期は2年とする。ただし、3期連続の重任は認めない。選出方法は別に定める。
- (1) 会長1名、副会長1名
正会員の中から評議員会によって選出される。
 - (2) 評議員
イ 15名 正会員から互選する。
ロ 3名以内 会長が委嘱する。
 - (3) 会計監査 2名
正会員の中から評議員会によって選出される。
 - (4) 幹事 若干名
会長委嘱
- 第7条 会長は毎年1回以上総会並びに評議員会を招集する。
- 第8条 本会に次の委員会をおく。
- (1) 選挙管理委員会
正会員の中から評議員会によって選出され、本会の評議員選挙を管理する。
 - (2) 編集委員会
正会員の中から評議員会によって選出される委員によって構成され、会誌その他の印刷物の編集に当る。
- 第9条 本会の経費は会費その他の収入をもってあてる。
- 第10条 本会の会務執行に必要な規定は別に定める。

「土壌の物理性」投稿規定 (1988・4・2 改定)

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が決定する。編集委員会は要すれば文章の加除修正を行う。ただし内容については、これを著者に依頼することがある。
- 3) 投稿は以下に示す種別にしたがい、その内容は土壌の物理性に主体をおくものとする。
「報文」他誌に未発表のものに限る。書き方は方法、結果、考察ならびに総括(摘要)の体裁をとり、引用文献を明らかにすること。
「論説・総説」土壌の物理性に主眼をおき、広い視野に立って記述したもの。
「資料」既に発表した報文または発表予定の内容を各分野の参考資料となるよう書き改めたもの。
「解説」物理性に関する諸事項の理解を計るための平易な解説ならびに研究技術の普及交換を進めるための紹介を含む。
「その他」土粒子、書評などを含む。
- 4) 投稿には下記形式の送り状をつける。報文のみ初刷りは著者校正とし、印刷ずみの原稿は返さない。別刷りは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。

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

付記：投稿は下記宛のこと

〒252 神奈川県藤沢市亀井野1866

日本大学農獣医学部農業工学科

河野 英 一

電話 0466-81-6241 (内線377)

2. 原稿執筆要領

- 1) 原稿には400字詰横書きの原稿用紙を用いる。
- 2) 原稿の枚数は、刷り上がり6ページ以内(図表を含めて32枚程度)を基準とする。超過ページならびに写真、図表など、特に多額の経費を要するときは実費を申し受ける。
- 3) 文体 平かな漢字混りの横書き口語文として、できるだけわかりやすい表現にする。
- 4) 術語以外はなるべく当用漢字を用い、かなは現代かなづかいとする。
- 5) 句読点、括弧、ハイフンには一画を与える。数字、ローマ字は一画に二字までとする。
- 6) 数字 アラビア数字を用い、漢数字は普通の字句についてのみ用いる。
- 7) 外国人名は欧字とする。最初の文字のみ大文字とする。
- 8) 外国地名はカタカナを原則とするが、必要に応じて欧字を用いる。
- 9) 字体の指定は、ゴシック、*italic*、**bold** のように鉛筆で指定する。紛らわしい文字は誤植防止のための指示を鉛筆で記入する。(例：1-エル、1-イチ、1-アイ、xV、NaACQAなど)
- 10) 術語 原則として文部省編：学術用語集による。普通に用いられる外国語の術語、物質名などはカタカナで書く。
- 11) 略字、略号を使うときは、はじめにそれが出る個所で正式の名称とともに記す。例：液性限界(LL)
- 12) 数量の単位は原則としてSIを用いる。(但し、当分の間はCGSの併用を認める)
- 13) 表・図・写真などは必要最小限とし、同一事項を表と図に重複して示すことは避ける。
- 14) 表・写真は本文のあとに1枚ごとに原稿用紙あるいはこれとほぼ同大の別紙に書き、またははり付ける。1枚ごとに著者および表題を鉛筆で略記して事故の発生を避ける。本文中欄外に挿入位置を指定し空白はあけない。ただし指定の位置にはならないことがある。
- 15) 空欄の多い表は避け、注を使うなどして紙面の節約をはかる。
- 16) 表の番号は「表-1」のようにし、説明とともに表の上に記入する。
- 17) 図はそのまま製版にとれるようトレーシングペーパー等(白か透明)に黒インクで明確に書く。製版に適しない図は書き直しを要求することがある。図中の文字は鉛筆でうすく記入しすることにとどめる。図の番号は「図-1」のようにし、説明とともに図の下に鉛筆で記入する。
- 18) 図は刷り上がりの大きさを指定し、1.5~2倍ぐらい大きく書く。ただし必ずしも指定の大きさにならないことがある。図中の字の大きさおよび線の太さは刷り上がりを考慮して定める。
- 19) 地図には定尺をつけ、何万分の1などの縮尺を指定しない。
- 20) 文献は本文のあとにまとめて通し番号順に書く。通し番号は引用の順序または著者名のABC順とする。本文の引用個所の右肩に番号を片括弧で小さく入れる。論文名は記載しなくてもよい。
- 21) 題名、著者名、所属報文の図、表および写真の表題には英文を併記するものとし、さらに報文については、300語以内の英文要約をつけるものとする。
- 22) 英文原稿も上記の規定に準ずる。