

土 壌 の 物 理 性

第 61 号

1990年8月

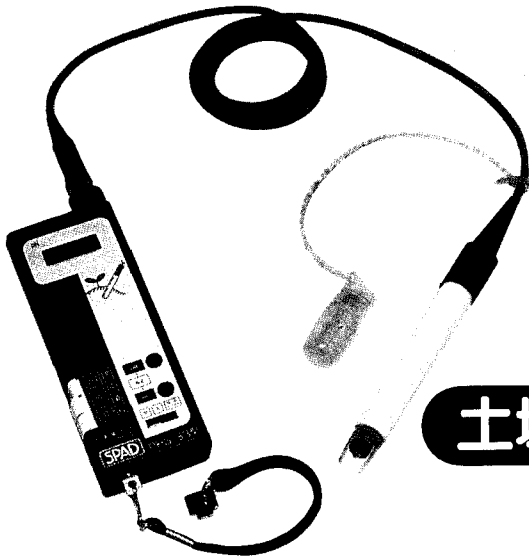
卷 頭 言	長田 昇	1
報 文		
畑作物の生活と「物理的肥沃度」	水落 勁美	3
気候的植物生産力モデルと土壌物理性 ——土壌水分の気候学的推定の試み——	清野 裕	11
異なる水分環境下における野菜栽培 新しい水耕法を求めて	今井 秀夫	19
造成草地の土壌形成に関与する生物因子 ——生態学草地造成法の提言——	鈴木 創三・小林 裕志	31
土壌病害の発生と土壌	駒田 且	43
土 粒 子		
日本沙漠学会の設立と土壌物理研究への期待	西村 裕	49
書 評		
土の100不思議	岡島 秀夫	52
粘土のはなし	八田 珠郎	53
会 務 報 告		58
編 集 後 記		

土 壌 物 理 研 究 会

土 壌 の 物 理 性 Soil Phys. Cond. Plant Growth, Jpn.
--

現地で土壌を管理する!!

土壌挿入式PH計



- 土壌のPHを現地で簡易に直読できます。
- 従来のガラス電極に比べて、破損しにくくなりました。
- 内部液を補充する必要がありません。
- 電池式。
- 専用ショルダーケース付。(現地での必要道具付)

土壌挿入式ECメーター

- 土壌溶液のEC(養分)を現地で簡易に直読できます。
- センサーだけを複数本埋設することにより、広範囲の測定も可能です。
- 温度測定もできます。
- バッテリー充電式。
- 専用ショルダーケース付。



セラミックス土壌水分計



- 土壌のpF値を現地で簡易に直読できます。
- 水分計が1台あれば、センサーは何本でも対応できます。
- 水銀などの有害物質は使用していません。
- 専用ショルダーケース付。



株式会社 藤原製作所

〒114 東京都北区西ヶ原1-46-16

TEL 03 (918) 8111(代)

FAX 03 (918) 8119

土壤物理研究会第32回シンポジウムのお知らせ

熱帯における持続的土地利用をめぐる 土壤物理的諸問題

土地利用のあり方が地球環境に深く係わることが明らかにされつつあり、特に熱帯における農林業生産の安定化と緑・土地資源の維持に対する関心が高まりつつある。本シンポジウムでは、最近の熱帯での土地利用にかかわる土壤物理的な調査・研究事例を紹介していただき、持続可能な農林業の創造のうえで果たすべき土壤物理研究の役割を考える。

と き：1990年11月9日（金） 10:00-17:00

と ころ：農業環境技術研究所 2階大会議室

《プログラム》

開会	10:00
講演	
1. 東北タイ砂質土壌のキャッサバ湿害と塩類化の実態 —傾斜畑における水・溶質の三次元移動計測の重要性— 谷山 一郎（農業研究センター）・三浦 憲蔵（熱帯農業研究センター）	10:10-11:00
2. インド重粘土壌の畑作利用 —土壌水、亀裂および根系の最適化を求めて— 有原 丈二（北海道農試）	11:00-11:50
総会	13:00-13:30
講演	
3. 沖縄島北部赤黄色土の土壌侵食の評価と対策 —USLEの熱帯圏適用の諸問題— 翁長 謙良（琉球大学農学部）	13:30-14:20
4. ニジェール河流域の砂漠化防止 —土壌条件からみたその可能性— 村山 忠一（農用地整備公団）	14:20-15:10
5. 熱帯低湿地開発の諸問題 久馬 一剛（京都大学農学部）	15:10-16:00
総合討論	16:10-17:00

主催： 土壤物理研究会（農業環境技術研究所土壤管理科内）
茨城県つくば市観音台3-1-1 ☎(0298) 38-8257
(交通) 常磐線牛久駅からバスで約20分（農業環境技術研究所下車）



巻 頭 言

土壌物理学の普及のために

長 田 昇*

土壌物理研究会も1959年3月「土壌の物理性」第1号を創刊してから、はや満30年を超える歴史をもつ学会となった。広い分野の方々の参加を願って、異なった専門分野の研究者たちが、「土壌の物理性」という一点に関心を集中してはじめられた学会であるが、30年前に比較して斯学の発展はまずまずであったといえよう。私自身も実に多くのことを本会から学び、学問的興味を引き出されてきたことを今にしてしみじみと思う。

しかしながら、いま振り返って周囲を見まわすと、「土」に対する関心の薄くなったことが気遣われる。最近入学してくる農業土木学コースの学生たちの中にも、水田での代かきや田植えの経験ないし知識の乏しさはもとより土に触れ、土を感じて生活した体験がきわめて少なくなっているのは事実である。工業化・都市化の進展の中で、人間の生活が自然から離れ、日常生活の中で土との触れ合いの機会が乏しくなっていることをはじめ、学校教育の中でも土の重要性を強調することがほとんどなくなっていることにも原因があると思われる。子供の頃の砂遊びや泥遊びの経験不足は勿論のことである。その辺の事情については、ペドロジスト懇談会の研究者たちによる「小学生、中学生、高校生、大学生を対象とした土に関するアンケート調査」(ペドロジスト第33巻第1号)によっても明らかで、若い世代の土への関心の薄らぎの進み方に驚かされている。

一方、ここ数年来世界的に地球環境の危機が叫ばれ、地球環境を守り、豊かな美しい自然を取戻すことが人類の生存にとって欠くべからざる急務として認識されつつある。酸性雨や熱帯雨林の問題とともに土壌環境の劣悪化はまたもっとも重要な関心事の一つでもある。この時に当たって、土壌の物理性に興味を持つ研究者の一人として、土への関心を呼び起こし、その中で土壌現象の基礎をなす土壌物理学への関心を高めていくことの必要性が痛感される。前記アンケート調査を契機として「土の世界」―大地からのメッセージ―(朝倉書店)が今春出版されたことの意義は大きい。土壌生成論が中心となった同書に対して、土壌物理研究会でも土壌物理を中心に据えて、土壌物理への関心を高めるような普及書が構成されたら面白いと思う。高校生程度の興味をひき、大学教養課程の教科書にでも使えるような「土の物理への誘い」というような普及書ないしは教科書を作ることがいま必要ではなからうか。土の物理を分かりやすく、基礎から組み立てて土に触れてみたいと誘惑にかられるような、そんな本を研究会の共同事業として進めることを夢みたい。

*三重大学 生物資源学部



畑作物の生活と「物理的肥沃度」

水 落 勁 美*

Crop Plant Life and "Physical Fertility" of Soils on Upland Fields

Tsuyomi MIZUOCHI

Laboratory of Plant Nutrition, Hokkaido National Agricultural Experiment Station

「麦を作れば麦になりきれ、米を作れば米になりきれ」と栗山町の篤農家、勝部さんは百姓の塔に刻んである。これは作物生産のための土壌物理学を志す人にたいしても当てはまる警句であろう。

土地の作物生産力は肥料の少なかった時代には土壌中の可給態養分量に支配されることが多かった。そして、土壌肥沃度は例えば Poth and Ellis⁴⁾ によると "the status of a soil with respect to its ability to supply elements essential for plant growth without a toxic concentration of any element" と定義され、「可給態養分」の量とバランスによって評価されてきた。しかし、土壌型、気象、作物種や栽培管理法などが変わると、化学分析による「可給態養分」の量は実際に作物が吸収する養分量と弱い相関しか示さなくなることが多い。これは土壌からの養分吸収において重要な役割を演じる物理的要因と生物的要因にたいする考慮が欠けていることに起因する。そこで、植物の養分獲得に関係する物理的条件の好適度を仮に「物理的肥沃度」と呼ぶことにする。「物理的肥沃度」は一定の物理学単位で表現することの困難な複合概念であり、少なくとも①マズフローや拡散のような養水分移動に関する側面、②土壌生物に異質・多様なマイクロ環境を提供し、土壌の物質代謝に影響する側面および、③根系の発達や生理機能など作物体の養分吸収能力に作用する側面を含んでいる。これらの側面を解析し、総合して、各植物にとって居心地のよい空間とはどのようなものかを定量的に表現し、改良可能な制限要因を抽出することが「物理的肥沃度論者」の使命であろう。この領域は多分に学際的であるので、作物栄養と施肥を担当している者の立場から、土壌物理研究者に取り組んで頂きたいと考えているいくつかの問題について述べる。

1. 作物と環境の相互作用

高収技術のカギは作物の遺伝要因 (G) と環境要因 (E) の総合的最適組合せを実現することにある。「物理的肥沃度」は E の重要な構成部分であるが、他要因との連携も忘れてはならない：

$$P = Y \cdot Q = \int (G \cdot E) dt$$

$$= \int (G_b \cdot G_a \cdot E_b \cdot E_{a1} \cdot E_{a2} \cdot E_{a3} \cdots) dt$$

P は作物の土地生産性、Y は収量、Q は品質、 G_b は制御困難な遺伝要因、 G_a は制御可能な遺伝要因、 E_b は制御困難な環境要因、 E_{a1} 、 E_{a2} 、 $E_{a3} \cdots$ は制御可能な個々の環境要因例えば養分、水分、土壌硬度など。

ここで重要なのは、作物生産は G と E とが複雑に相互作用し合う耕地生態系の中で、生育反応の連鎖として時間をかけて行なわれることであり、一つの要因が変化すれば最適組合せの内容も変化することである。たとえば、北海道の良質品種「チホクコムギ」は東北地方では低品質群に分類される⁵⁾。また、多収性品種を選抜するのに、現在の中稈穂数型品種に適合した標準肥培管理をしていたのでは、優れた形質を見逃してしまう。短強稈極穂重型コムギ系統「月寒1号」の生産能力を十分に発揮させるためには、現行の基肥重点 N 施肥法からこれまではタブーとされていた後期重点 N 施肥法へ転換することが必要であった (図-1)¹⁴⁾。

低レベル・単純系の現象の組合せだけから高レベル・複合系の現象を予測することはできないし、短時間反応から長時間反応を推定することはきわめて危険である。たとえば、数日間にわたる乾物生産の温度反応は、短時間の光合成と呼吸の測定値から予想される温度反応とは全く異なっていた¹⁰⁾。したがって、野外の生産現場に通用する農業科学を着実に発展させるためには、トップダウンとボトムアップの両方向の研究を一層連携させながら進めることが望まれる。

*北海道農業試験場 〒004 札幌市豊平区羊ヶ丘1番地
土壌の物理性 第61号 p. 3~10 (1990)

2. 温度ストレスの緩和

作物の養分吸収速度はかなり大きな日変化を示すが、その主因は根温の変化である¹¹⁾。気温の変化が養分吸収に反映するには時間を要するが、根温の影響は即時に現われる。根の吸収ポンプの温度感受性は作物種により大

きく異なる。限度を超えた不適温に曝されると、作物根は元の活性を取り戻すことができなくなり、ストレスが蓄積されていく(図-2)¹¹⁾。ストレス強度・持続時間効果の解析と表現法の研究が重要である。

低地温ストレスの緩和は養分の利用効率を著しく高める。それは地温が、上記のような単位根量当りの活性の

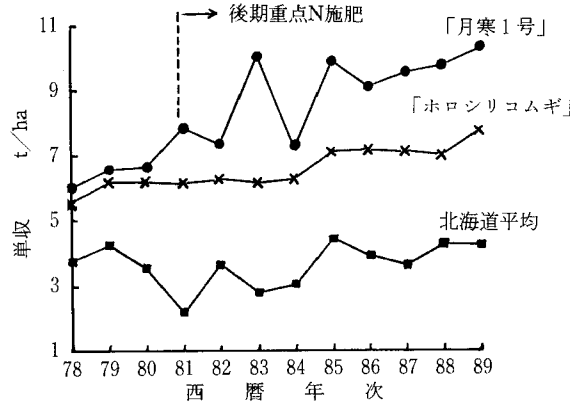


図-1 コムギの北海道農試多収記録と全道農家平均単収の推移

Figure 1. Mean yield of wheat in Hokkaido and the annual highest yields of two wheat genotypes at the Hitsujiogaoka field of National Agricultural Experiment Station.

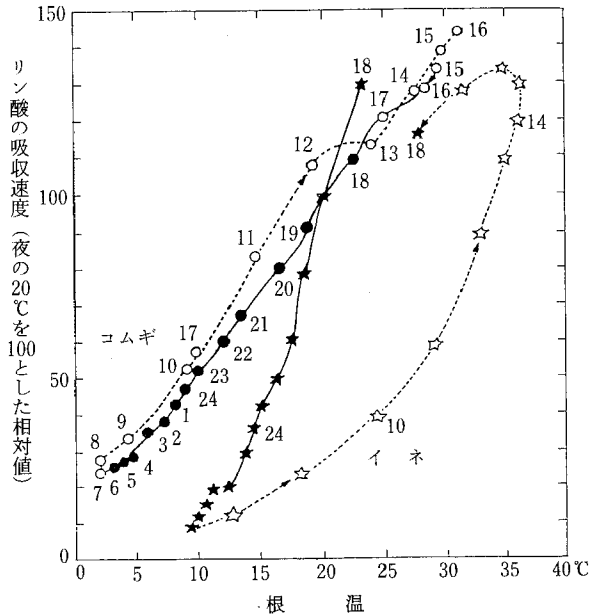


図-2 リン酸吸収速度と根温の関係

数字は時刻、黒印は夜間、白印は日中、低温に弱いイネでは夜の冷え込みがきびしいと、昼の温度が上がってもすぐには元の活性を取り戻せない。水落 1973¹¹⁾

Figure 2. Effects of root temperature on the rates of phoshate absorption by young plants of rice and wheat.

面だけでなく、根の伸長や新根の発生速度などの面でも大きな影響を及ぼすからである。個体の生長を伴う長時間の養分吸収過程においては、これらの相乗効果が顕著に現われるのである。

地温はコムギのような寒さに強い作物の場合にも重要である。分けつ期における根の伸長速度は地温に比例し、10℃では1日当たり約1.8 cmであったが、25℃では4.5 cmに増加した(図-3)。わが国の観測例では、コムギ根の伸長速度は2 cm/日以下の場合が多いが、その主因は播種後の地温の低さにあると考えられる。秋冬期におけるコムギの根の深さや総根長は播種後の積算気温²⁾あるいは積算地温²⁴⁾と高い相関を示す。寒地でコムギの多収を行なうためには、暖地よりもかなり地温の高い時期に播種し、根雪前に十分に根系を発達させ、同化産物を貯蓄しておくことが必要である。しかし、北海道では播種適期の9月上中旬に雨が多く、排水不良のために農作業のできない圃場がかなり見受けられる。また、翌春の再生長を早め、追肥の吸収率を高めるためには、融雪剤の散布と排水の促進により地温を上げることが望ましい。

アズキ、インゲンマメ、ダイズ、トウモロコシなどの冷害の現れかたは地形と土壌および圃場の管理法によってかなり異なるが、主要因の一つは地温の差にあると考えられる。冷害が湿害によって増幅されることはよく知られているが、本来の湿害が発生するほどの水分条件でなくても、多湿土壌では低温の影響を強く受ける。

岡島と石渡¹⁷⁾はダイズの初期生育にたいする地温の

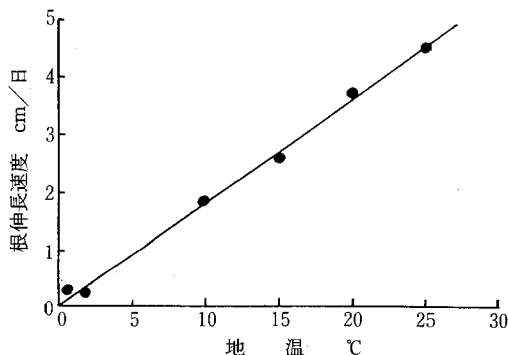


図-3 コムギ種子根の伸長にたいする地温の効果
「月寒1号」、リゾトロン実験(湿性黒色火山性土, Andic Humaquepts,の表土. Clay loam)
Figure 3. Effect of soil temperature on the elongation rate of the seminal root in winter wheat.

効果が土壌のリン酸肥沃度によって大きく相違することを示した。Bray1法による可給態リン含量が2mgP/100g以下の場合には、生育はきわめて悪く、地温の効果も小さい。可給態リン含量が4~13mg/100gに高まり生育がある程度改善されると、ダイズは地温の変化に敏感に反応するようになる。さらに17~31mgP/100gにまで高まると、ダイズの生育は軽度の地温低下によっては抑制されなくなる。この実験でみられた軽度の地温低下によるリン酸吸収と生育の阻害は主として土壌要因にたいする温度効果、すなわち固相からのリン酸放出速度や拡散速度の低下によってもたらされたものと岡島らは推論している。しかし、作物側からみれば、根温の低下が新根の発達と根活性を阻害し、その結果、吸収速度を維持するのに必要な根面のリン酸濃度が上昇したと考えることも可能である。

多窒素状態の作物は一般に低温障害を受け易いが、低温解除後の生育は旺盛で、回復が速い。そのため、開花期間の長いマメ類では、低温障害を免れた花の着実率が窒素多肥によって高められる²⁰⁾。イネの場合とは違って、畑作物の冷害では溶脱などによる窒素不足も被害を助長する要因であり、窒素追肥が減収防止対策として有効であったという事例が報告されている¹⁹⁾。

わが国のコムギの単収はヨーロッパ先進地域に比較すると、50~60%の水準を低迷しているが、この低収要因の一つはコムギの穂が高温ストレスに弱いこと、穂の活動期間が非常に制限されることにある^{14,22)}。SPACモデルによれば、水供給の改善によってどの程度の穂温低下が期待できるのだろうか。

いずれにしても、温度の効果は多面的であるので、土壌・作物両面からの解析が必要である。土壌構造、水熱状態、養分動態を含めた地象特性の解析と土壌物理的手段による温度ストレス緩和技術の開発を期待したい。

3. 水と養分の一体的管理

高生産性畑作の展開にともない、水と養分の需要が大幅に増加する(表-1)。北海道のコムギ作では近い将来において生育後半の水不足が問題になろう。水と養分の間には相互作用があり、畑作物の栽培では特に水とN供給の最適組合せが重要である(図-4)¹²⁾。バレイシヨのように乾燥年ほど豊作になるといわれている作物²³⁾においても、毎年短期間ではあるが一時的な水ストレスが発生しており、これが大きな収量制限要因となっている。多くの栽培試験の成績から、バレイシヨの収量限界は40t/ha程度であろうと結論されたこともある

表-1 コムギの多収化にともなう養水分需要の増加 (試算)

Table 1 Increase in the nutrient and water requirements of wheat crop with yield improvement in the future. (Tentative estimation)

収量水準 t/ha	吸 収 量 kg/ha							mm
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	SO ₃	S ₁ O ₂	H ₂ O※
平均 3.3	89	32	87	29	12	29	608	219
多収 10.0	250	97	270	47	31	84	1360	534

注：※北海道における融雪後の要水量，これに対応する降水量は277mm (網走) ~327mm (帯広)。
なお，多収コムギでは吸収養分の生産効率が約30%改善されると仮定した。

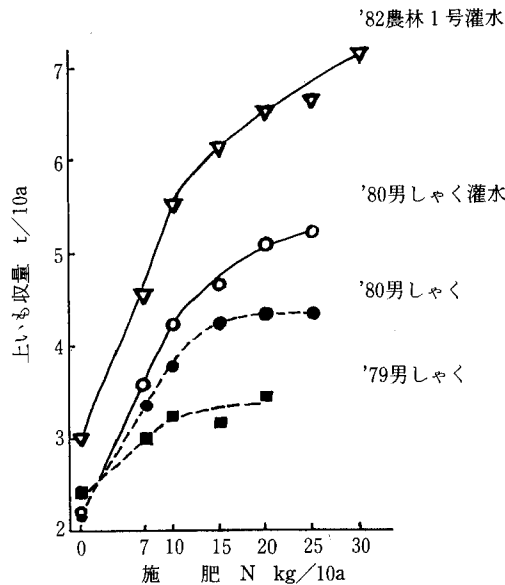


図-4 バレイショの収量にたいする窒素と水の相乗効果

(下層台地湿性黒色火山性土，表層clay loam，下層clay，Andic Humaquepts)

Figure 4. The synergistic effect of nitrogen and water on the yield of potato tubers.

が⁸⁾，当時は水と養分がそれぞれ独立に取り扱われ，最適組合せを追求するという視点が弱かった。Nの利用効率を高めるためには水の適切な管理が必要であり，水利用率を高めるためにはN施肥の適正化が必要である。

水分過剰の場合にはNの流失と脱窒があり，晴天が続くと無機Nの大部分が乾燥した極表層に集積する。その結果，N多施条件下でも作物根の活動域ではN不足が発生することがある^{18,13)}。土壌水分の低下は，溶質の拡散速度を激減させるので，作物根にたいする水分供

給の面だけでなく，PKその他の養分供給の面でも阻害要因となる^{3,7)}。

低収段階の畑地改良では過剰水の排除に重点が置かれていたが，これからは貯水機能を高めて，できるだけ過剰水が発生しない高性能圃場を造成する技術の開発が望まれる。これは施肥効率の改善と環境保全にもつながる課題である。土壌構造の周年的変動と層別水Nフラックスの予測も重要である。

4. 地下部生活空間の拡大と構造の改善

コムギ根は下層土の条件がよい場合には2 m以上の深さにまで伸びることが確かめられた。灌漑のないところで高収をあげるためには、下層土の理化学性の改良をさらに進める必要がある。作物根は土粒子を押し退けながら生長するので、土壤孔隙の大きさだけでなく、孔隙

の壁の肌ざわりにも敏感である。たとえば、コムギ根は団粒間孔隙を順調に伸長・通過するが、軽石砂粒間孔隙に入るとほとんど伸長できなくなる。作物根と土壤生物の生態を理解するためには、サイズ別孔隙量に加えて、孔隙壁の粘弾性や理化学特性に関する情報も必要であろう。

作土の表層部は根密度が最も高く(図-5)、根系の養水分吸収能力の最も高い部域である(図-6)⁶⁾。し

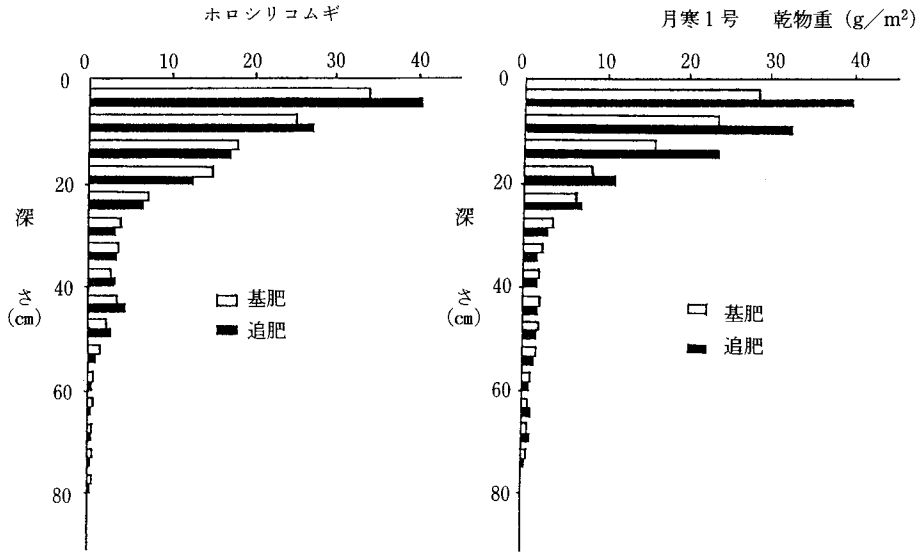


図-5 コムギ根系の土層別分布にたいする品種と窒素追肥の効果
(下層台地湿性黒色火山性土, Andic, Humaquepts) (川内, 1987)

Figure 5. Effects of genotypes and nitrogen top dressings on the vertical distribution of root mass in winter wheat at anthesis.

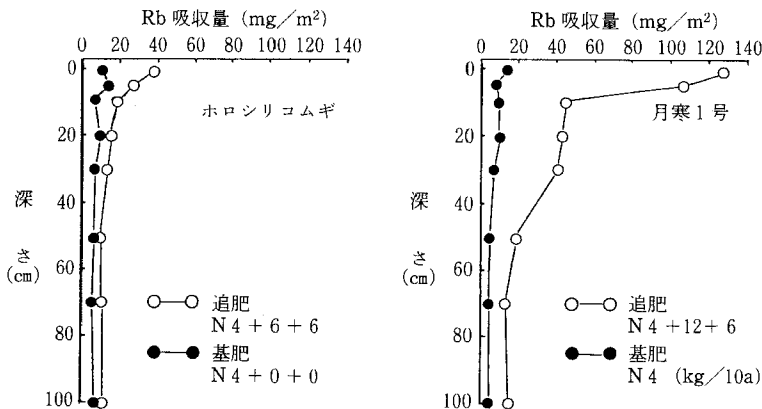


図-6 登熟期におけるコムギ根の土層別ルビジウム吸収能
(下層台地湿性黒色火山性土, Andic Humaquepts)

Figure 6. The vertical distribution within soil of the activities of rubidium absorption by winter wheat during the grain filling period.

たがって、この地域の「物理的肥沃度」の改善を特に重視すべきである。しかし現実には、大型農機の踏圧による土壌の緊密化、地面の凹凸の拡大、あるいは施肥播種精度の低下など、作土表層のストレスは人為によって増加している場合が多い。これを改善するためには、作物と土壌の特性に柔軟に適合できる農機の開発が必要であり、この部門への土壌物理学者の積極的な参画が望まれる。

5. 根圏・根内環境の好適化と輸送機作

作物にとって良い土壌とは根面環境が好適に保たれるような土壌であろう。なぜなら、作物根の原形質体 (sytoplasm) は非原形質的内部環境 (細胞壁とフリースペースからなる apoplasm) とそれに連なる根面環境を通してのみ土壌環境を感知することができるのであり、根とバルクの土壌との相互作用は根面と根圏の環境を介して行なわれるからである。最近までは、根面や根圏の環境を調査研究する方法が未発達であったために、根圏とそれ以外の土壌を混みにした全土壌の平均的な諸性質を指標として土壌の改良と管理がなされてきたが、ようやく根面・根圏と非根圏を連続的な系としてとらえるモデル^{1,16)}が提案され、根面・根圏の好適化に照準を当てた、より効果的な土壌管理技術の開発が展望されている。

これらのシングルルート・モデルは、作物の養分獲得において、根の養分吸収特性と土壌中の拡散性養分の含量だけでなく、養分の移動速度に関係する物理的諸要因がきわめて重要な役割を演じることを示している。たとえば、ダイズの生育初期におけるリン酸吸収の感度分析²¹⁾によれば、通常のP肥沃度を持つ土壌でのP吸収量は、根の吸収ポンプの性能 (単位根面積当りの最大吸収速度とPにたいする親和力) や吸水速度を高めてもあまり増加せず、根の伸長速度と太さ、土壌溶液P濃度 (P施肥)、土壌のP緩衝力、および有効拡散係数 (P緩衝力、土壌構造と水分率に依存) に大きく左右される。

このように物質移動の速度論に基づくモデルは土壌植物系の管理技術の開発にたいして多くの示唆を与えてくれる。しかし、現在のモデルはその構造が現実の系のものに比べてあまりにも単純に過ぎるので、実測値と対比させつつ改良を重ねる必要がある。そのさい、次の2点に特に注意を払うべきではなからうか。第1は輸送機作として乱流輸送を考慮すべき場面があるのではないかとということである。特にエネルギー交換や水の動きの激しい土壌域に根が密集する傾向 (図-5, 6) は輸送機作

と関連させながら解析すると面白いように思われる。第2は植物根が受動的固定的な存在ではなく、極めて積極的適応的な生物器官であるということである。後者の事例をいくつか挙げてみよう。

植物根によるリン酸吸収のpH曲線は単純なリン酸塩溶液においては $H_2PO_4^-$ の存在比率とほぼ平行し、pH 5付近に極大を示す。しかし、アンモニウムを含む完全水耕液では、至適pH範囲が著しく広がり、pH 8付近でも活発なP吸収が見られるようになる。このことはカチオン・アニオン吸収のアンバランスとプロトン放出によって apoplast と根面のpHが5付近にまで下げられたことを示唆する¹⁵⁾。アンモニウム塩の施用が根圏土壌のpHを低下させ、作物のP吸収を促進する現象はよく知られているが、植物の中には無窒素条件や硝酸塩施用下でも根圏pHを低下させることによってPその他の難溶性養分の吸収に有利な条件を作り出すものがある⁹⁾。植物根の土壌環境にたいする反応は多分に適応的かつ分業的である。1個体のなかに性格の異なる根が存在し、1本の根でも主軸と毛状の側根あるいは部域によって反応が異なる。鉄、マンガン、リンなどに欠乏すると、植物根は酸や溶解作用を持つ有機物の分泌活動を著しく強める。このような場合、ルーピンなどではプロテオイド根 (変形した特殊な側根) を発生させ、そこから特異的に酸と溶解物質を分泌する。培地のPレベルが低いほど、プロテオイド根の発生頻度が高くなる⁹⁾。土壌溶液P濃度の極端に低い火山灰土などにおいても、植物のP欠乏が意外に軽いのは、ミコリザとの共生のほか、このような植物側から土壌への積極的な働きかけがあるからであろう。

植物根の活発な栄養活動は養分の枯渇やアンバランス、酸素濃度の低下、排出物の蓄積など、根面環境の悪化をもたらす方向にも作用する。したがって、根面を終始好適に保つことは難しく、これまで正常と考えられてきた条件においても、根圏には何らかのストレス要因が集積している可能性がある。「正常な作物」の根圏に存在するストレス要因の解明はほとんど未着手の状態にある。そこで、流動水耕法により根圏環境を常に好適な状態に保ったところ、コムギ「農林61号」は通常の土耕や水耕の場合とは著しく異なる旺盛な生育を示し、通常の形質範囲をはるかに超える「お化けコムギ」となった (表-2)。この事実は、作物が遺伝的に持っている生産能力には未発現の部分がかなり残されていること、そしてその能力を引き出し、収量限界を向上させるためには、根圏ストレスの緩和による根機能の増進が必要であることを示している。

表-2 土耕および流動水耕コムギの個体当たり収量と関連形質 (農林61号, 1974-75年)
Table 2 The yield per plant and some related properties in the soil-grown and the flowing-solution-grown wheats. (Cultivar Norin 61, grown from 1974 to 1975)

栽培条件	穂重g	穂/わら	1穂重g	粒重g	千粒重g	
土耕	13.5	1.27	2.51	10.3	39.3	
群落水耕	外縁部	148.5	1.24	3.03	124.5	51.0
	中央部	96.5	1.18	3.27	80.5	50.3
孤立水耕	無処理	517.0	1.47	3.21	418.0	44.3
	茎制限	28.9	1.57	9.64	23.6	54.3

注: 茎制限処理では分けつを除去し, 1個体当たりの茎数を3本にした。

6. おわりに

以上のように, わが国の畑作物は物理的要因と関連した多くのストレスに悩まされており, 本来の生産能力を発揮していない。したがって, 「物理的肥沃度」の改善は高生産性畑作農業の展開にとって最も重要な条件の一つである。

圃場条件における根圏環境解析法の開発とそれによる動態把握, 根圏環境の時空パターンに影響する土壌物理的, 化学的, 微生物的, 植物的および地象的要因の評価に関する研究の進展を期待したい。

引用文献

- 1) Barber, S. A. 1984: SOIL NUTRIENT BIOAVAILABILITY. JOHN WILEY & SONS, New York.
- 2) Barraclough, P. B. and Leigh, R. A. 1984: The growth and activity of winter wheat roots in the field: the effect of sowing date and soil type on root growth of high yielding crops. *J. Agr. Sci.*, 103, 59-74
- 3) Day, W., Legg, B. J., French, B. K., Johnson, A. E., Lawlor, D. W. and Jeffers, W. De C., 1978: A drought experiment using mobile shelters: the effect of drought on barley yield, water use and nutrient uptake. *J. Agr. Sci.*, 91, 599-623
- 4) Foth, H. I. and Ellis, B. G. 1988: SOIL FERTILITY., P. 1, JOHN WILEY & SONS New York.
- 5) 後藤虎男・田野崎真吾 1983: 東北地方産小麦のめん加工適性 [2]. *農及園*, 59, 515-519
- 6) 川内郁緒 1989: コムギ根系の発達と機能. *北海道土壌肥料通信*, 91, 1-6
- 7) Kuchenbuch, R., Claassen, N. and Junk, A.: Potassium availability in relation to soil moisture. 1. Effect of soil moisture on potassium diffusion, root growth and potassium uptake of onion plants. *Plant Soil*, 95, 221-231
- 8) 串崎光男 1965: 北海道の馬鈴薯栽培について. *カリシンポジウム*, 112-134 加里研究会
- 9) Marschner, H., Romheld, V., Horst, W. J., and Martin, P. 1986: Root-induced changes in the rhizosphere: Importance for the mineral nutrition of plants. *Z. Pflanzenernahr. Bodenk.*, 149, 441-456
- 10) 水落勤美 1969: 植物計による気象生産力の評価. *農業気象*, 24, 169-175
- 11) 水落勤美 1974: 養分吸収の連続自動測定法—りん酸吸収について. 昭和48年度農技研究作物栄養科研究成績概要, 31-50
- 12) 水落勤美 1984: 作物栄養診断に基づく合理的施肥管理. *総合農業研究叢書*, 2, 54-65
- 13) 水落勤美 1986: 畑作物の栄養診断. *北海道土壌肥料通信*第33回シンポジウム, 36-44
- 14) 水落勤美 1988: 北海道におけるコムギ多収技術開発の可能性. *農業技術*, 43, 337-342
- 15) 水落勤美・吉野実 1974: りん酸吸収にたいする水素イオン濃度の効果. *植物学会発表記録*, 33, 182
- 16) Nye, P. H. and Tinker, P. B. 1977: Solute movement in the soil-root system. BLACKWELL, Oxford.
- 17) 岡島秀夫・石渡輝夫 1979: 土壌温度と作物生育—とくにリン酸肥効について—その1 大豆幼植物の生育と

- 地温. 土肥誌, 50, 334-338
- 18) 岡島秀夫・今井弘樹 1976: 畑土壌の水分状態と養分の可給性. 土肥誌, 47, 563-570
- 19) 大崎玄佐雄 1983: 十勝地方における冷湿害の実態と肥培管理. 北海道土壤肥料通信第30回シンポジウム, 1-12
- 20) 斉藤正隆・大久保隆弘編著 1980: 大豆の生態と栽培技術. 農文協
- 21) Silberbush, M. and Barber, S. A. 1983: Sensitivity of simulated phosphorus uptake to parameters used by a mechanistic-mathematical model. *Plant Soil*, 74, 93-100
- 22) 下野勝昭 1986: 秋播小麦の栄養生理と窒素肥培管理法に関する研究. 道立農試報告, 57, 1-80
- 23) 塩崎尚郎 1983: 寒地畑作農業における冷湿害の克服. 北海道土壤肥料通信第30回シンポジウム, 41-50
- 24) Vincent, C. D. and Gregory, P. J. 1989: Effects of temperature on the development and growth of winter wheat roots. 1. Controlled glasshouse studies of temperature, nitrogen and irradiance. *Plant Soil*, 119, 99-110

Summary

Until recently, chemical fertility of soil had generally been the primary environmental factor limiting crop productivity of upland farming in Japan. Now, however, with abundant fertilization, "physical fertility", the degree to which the physical factors of the soil are suitable for optimum plant nutrition and root functioning, is becoming the major limiting factor along with the climatological factors. Therefore, the future development of high yield, upland farming will require a multidisciplinary, organic approach in order to assemble the best combinations among the plant's genetic factors and the environmental factors, including the physical, chemical, and biological components.

Some of the problems concerning plant nutrition and production ecology that must be solved with the participation of soil physicists are presented:

- 1) The alleviation of temperature stresses by the integrated management of soil, water, and nutrients.
- 2) The unified management of plant nutrients, of which nitrogen is the most important, and soil water for maximum economic yield and pollution control.
- 3) The expansion of the "living space" for the subterranean part of the plant — particularly in relation to protecting the most fertile, surface layer that is often disturbed by machinery.
- 4) The elimination of the rhizosphere stress through improvement of transport and metabolism within the soil.

Using a flowing solution technique, a giant wheat plant yielding more than 400 g. of grain was raised. This implies that a reduction of the rhizosphere stress below the "normal" level might be a key factor in a breakthrough in the yield limit of the current crop methods.

(*Soil Phys. Cond. Plant Growth, Jpn.*, 61, 3-10, 1990)

気候的植物生産力モデルと土壌物理性

—土壌水分の気候学的推定の試み—

清 野 裕*

Soil Physics in Climatological Model of Plant Productivity

—A Climatological Estimation of Soil Water Content—

Hiroshi SEINO

National Institute of Agro-Environmental Sciences

1. はじめに

よく知られているように、作物を含む植物の生長は環境条件（主として気象及び土壌）の影響を受ける。植物の物質生産に一義的に影響を与えているのは水分と温度等の気候条件であり、ついで土壌中の栄養塩類と生物群集の遷移過程であるといわれている。陸上の植物は蒸散作用のために多量の水を要求する。植物は二酸化炭素を取り込むために気孔を開くが、気孔が開くことによって水分が失われるからである。したがって、水が容易に得られるかどうかは植物の生産を規定する主要な決定要因となる。

植物は水分を根から吸収して利用するが、土壌中の水分動態は土壌の物理性に依存している。そのため、植物の生育に関与する水分条件は、土壌物理や農業気象のみならず、多くの研究分野からのアプローチが行なわれている。

本小文では、初めに、著者らが開発した植物の気候学的評価モデル「筑後モデル」を例として、気候的植物生産力評価モデルにおける水分条件の扱いを述べる。次に土壌中の水分条件を直接気象条件から推定する試みについて述べる。

2. 植物生産力の気候学的評価モデル

入射する太陽放射エネルギーをほとんど完全に吸収し、植生上の水蒸気フラックスがほぼ蒸散によって放出された水蒸気からのみなると考えられる、よく茂った植生の純一次生産力 (Net Primary Productivity, t 乾物 / (ha·yr), 以下 NPP と略す) は次式で表される¹⁾。

$$NPP = A_0 R_n / \{d(1 + \beta)\} \quad (1)$$

ここで、 R_n は年間純放射量 (kcal/cm²)、 d は年平均飽差 (mmHg)、 β は年平均ボーエン比、 A_0 は拡散条件・二酸化炭素濃度に関する係数である。この式から第一近似として、

- 1) NPP は植生上の純放射量 (R_n) に比例するが、
 - 2) 比例係数は気候の乾燥化 (d と β の増大) にもよって急減する、
- と結論できる。

(1) 式を直接 NPP の評価に利用することは困難が多い。とくに、係数 A_0 を決定できる資料が整っているところはきわめて少ない。このため著者らは、大陸上の各気候帯で得られた自然植生の NPP に関するデータ及び気候データを (1) 式に基づいて解析し、 NPP 評価のための半経験法「筑後モデル」の作成を試みた¹⁾。

半経験的评价法を作出するにあたって、まず (1) 式を次のように近似した。

$$NPP = \alpha \cdot R_n \quad (2)$$

ここで、 α は主として気候乾燥度で変化する比例係数である。気候乾燥度として放射乾燥度 (RDI) を用いて、 α が次式で近似できることを導いた。

$$\alpha = 0.29 [\exp(-0.216 \cdot RDI^2)] \quad (3)$$

(2) 式と (3) 式から次式が求められる。

$$NPP = 0.29 [\exp(-0.216 \cdot RDI^2)] R_n \quad (4)$$

ここで、 NPP は自然植生の純一次生産力 (t / (ha·yr))、 R_n は年間純放射量 (kcal/cm²)、 RDI は年間放射乾燥度 (= $R_n / (\ell \cdot r)$)、 ℓ は蒸発の潜熱、 r は年間降水量) である。(4) 式が自然植生の純一次生産力評価のための「筑後モデル」である。

* 農業環境技術研究所 〒305 つくば市観音台3-1-1
土壌の物理性 第61号 p.11~18 (1990)

このモデルは極域を除く世界の気候帯における純一次生産力のデータと気候データを基礎データとしており、世界のほとんどの気候帯へ適用可能である。また、筑後モデルから評価された我が国の生産力と、生態学的方法から評価された生産力²⁾と比較することによって、我が国でも十分の精度で評価法が可能であることが確かめられた³⁾。

現在、筑後モデルを用いて我が国および世界の自然植生の純一次生産力の分布と太陽放射資源（日射量、光合成有効放射量、純放射量）の分布が明らかにされている^{4,5)}。また、筑後モデルと国土数値情報と組合せることによって、我が国の純一次生産力の分布ならびに農業気候資源の分布が10 km メッシュ単位で作成された⁶⁾。さらにこのモデルは、地球規模での環境変化に

よって引き起こされる気候変化による我が国の植物生産力の変化予測に利用されている⁷⁾。

図-1に筑後モデルによる気候条件と純一次生産力の関係が示されている。この図には対応する気候帯ならびに植生帯の分布も示されている。

3. 土壤水分の気候学的推定

(4)式からわかるように、我々の導いた植物生産力の気候学的モデルでは、植物が育つ土壤中の水分条件を、放射乾燥度(RDI)という指数を用いて表現している。植物の生産力を気候的に推定するモデルの多くは、土壤中の水分条件を降水量や大気湿度などの気象因子を用いて表現している。このような方法は、数百mから数km

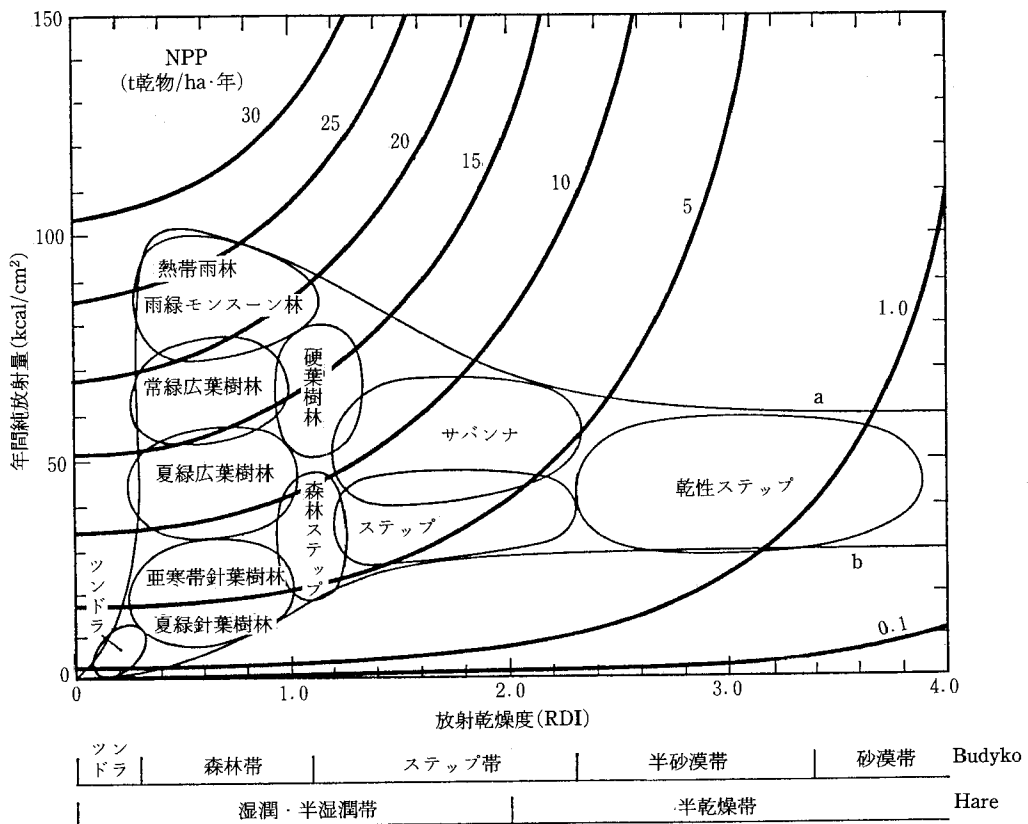


図-1 気候条件-植生-純一次生産力のグラフモデル⁵⁾。

曲線 a, b は各地理帯での年間純放射量の上・下限を示す。

Fig. 1. A graphic model of climatic condition, vegetation type and net primary productivity⁵⁾. Curves a and b respectively show the upper and lower limits of yearly total of net radiation in each climatic zone.

といったかなり広い範囲の生産力を平均的に評価するには有効な手段である。しかし、圃場単位などの細かなスケールになると、気象因子だけでは困難な場面が多くなる。

圃場単位といったスケールでの植物の生産力を評価しようとする場合、土壌の違いや、水分状態のばらつきが大きな影響をもつようになる。しかし、土壌水分の分布状態を把握することは容易ではない。そこで、土壌の水分特性値を利用し、気象データから土壌水分の変化を精度よく評価することを試みた。

土壌水分の変化を気象データから推定する試みはいくつかあるが^{8,9,10)}、本研究の推定手法は、耕地土壌水分の監視を目的として、異なる土壌タイプにも適用できるように著者らが東北タイで開発した手法¹¹⁾をさらに改良したものである。

3. 1. 耕地の水収支モデル

いま、農耕地における約50 cm程度の土層を考える。この土層における水平方向の水分移動を無視し、鉛直方向のみを考えた時の水収支は次のように書くことができる。

$$\Delta W = R + H + Q - E_t - S_p \quad (5)$$

ここで、 R は降水量、 H は地下深層からの水分供給量、 Q は灌漑水量、 E_t は蒸発散量、 S_p は表面流出及び浸透によって土層から失われる余剰水量である。本研究では H と Q はないものとした。この場合、(5)式は次のように簡単になる。

$$\Delta W = R - E_t - S_p \quad (5')$$

これらの水収支項の差し引きとして、土層中に含まれる水分の一定期間の変化量(ΔW)が求まる。本文中では、これらの水収支項をmm単位で表わす。

土壌水分の変化の監視を想定した場合、必要な時間スケールは1日単位で十分と考えられる。この場合、当然ながら各水収支項は日単位で測定ないしは推定する必要がある。本研究ではアメダスデータの利用を前提として、各水収支項を決定することにする。降水量(R)はアメダスデータで得られる降水量をそのまま使うこととし、以下に蒸発散量(E_t)と余剰水量(S_p)の推定法について述べる。

土層中の水分は土壌表面からの蒸発と作物を通しての蒸散によって大気中に放出される。蒸発散量に占める蒸発量と蒸散量の割合は作物の生育時期および種類によって異なってくる。一般に、作物の生育初期には作物が土壌表面を覆う割合は小さく、生育後期はどその割合は大

きくなる。そのため、生育初期には蒸発が蒸散を上回り、後期になるほど蒸散が蒸発を上回ると考えられる。しかし、蒸発と蒸散を合わせた蒸発散量としてみた場合、作物の生育時期による変化は小さいと考えられる。そこで、本研究では作物の種類や生育時期による蒸発散量の差は無いものとし、可能蒸発散量(E_0)土壌水分(W)で規定されると仮定した。

土層内の水分蒸発は、土層内の水分が飽和の状態から次第に減少して一定値(W_c)に達する間は蒸発散量は一定で、水分量が W_c 以下になると急激に減少することが知られている。前者は恒率過程と呼ばれ、後者は減率過程と呼ばれる。これらの関係を次式で与えた。

$$\left. \begin{aligned} E_t &= E_0 & (W \geq W_c \text{の時}) \\ E_t &= E_0(W - W_{min}) / (W_c - W_{min}) & (W < W_c \text{の時}) \end{aligned} \right\} (6)$$

ここで、 W_{min} は土層内の水分が最小となる値で、本研究ではpF=3.0の時の水分量とした。可能蒸発散量(E_0)の推定式は数多く提出されているが、ここではアメダスデータの利用を想定して次式¹²⁾を使用した。

$$E_0 = 0.0075 \cdot (1.8 T_m + 32) \cdot (R_s / \ell) \quad (7)$$

ここで、 T_m は日平均気温(°C)、 R_s は日射量(cal/cm²)、 ℓ は蒸発の潜熱(=597-0.6· T_m)である。(7)式はAバン蒸発計の蒸発量の約90%を与える。アメダスでは日射量の測定は行なわれていないので、あらかじめ日照時間と日射量の一次回帰式を求めておき、日照時間から換算して利用する。

$$R_s = R_0 \{a + b(t/t_0)\} \quad (8)$$

ここで、 R_0 は大気圏上部における水平面日射量、 t は日照時間、 t_0 は可照時間、 a と b は係数である。

恒率過程から減率過程に変わる時点の土壌水分量(W_c)は次式で求められる¹³⁾。

$$W_c = W_f (0.57 + 0.33 \cdot E_0) \quad (9)$$

(9)式から、 W_c は圃場容水量(W_f)のおよそ0.6倍であることがわかる。

土層内に入ってくる降雨量の一部は対象土層のさらに下層へ浸透し、また土層が飽和しているときは土壌表面を流れ去っていく。この時、表面流去量は降雨時の土壌水分と降雨量に関係することが報告されている¹⁴⁾。また、下層への浸透量は土壌の透水係数によって変化すると考えられる。Sellers¹⁵⁾は表面流去量と浸透量を合わせた余剰水量(S_p)が土壌水分と降雨量で決まると仮定し、次式を提示した。

$$S_p = B \cdot R \cdot W_m / W_{max} \quad (10)$$

ここで、 W_m は水収支を考える期間の平均土壌水分、 W_{max} は土層の最大容水量である。係数 B についてBudykoは0.2~0.8の間で変化すると述べている。一方Sellers¹⁵⁾はアメリカ国内の乾燥地と湿潤地いづれにも次式がよい結果を与えると述べている。

$$B = 0.8 \cdot R / (E_0 + R) \quad (11)$$

清野ら¹¹⁾は東北タイの余剰水量推定に(10)、(11)式を用いてよい結果を得た。(10)式は土壌の透水係数が得られなくても余剰水量を推定することができるので、本研究でもこれらの関係式を利用した。

3. 2. 資 料

前節で述べたモデルを動かすための土壌の水分特性(pF-水分曲線)と、モデルの妥当性の検討のための土壌水分実測値は、北海道開発局、北海道農業試験場、九州農業試験場¹⁶⁾で取られたデータを利用した。土壌水分の実測値はいずれもテンションメータで測定されたものであり、ほぼ10cm間隔で測定されていた。測定地点の土壌タイプは以下の通りである。

- 天 塩：褐色森林土性疑似グライ土、
褐色低地土、
灰色低地土、
下層グライ灰色低地土、
低位泥炭土
- 白 滝：酸性褐色森林土、
疑似グライ土
- 早 来：積層未熟火山性土、
積層放出物未熟土
- 芽 室：軽しゅう褐色火山性土
- 都 城：火山性土

テンションメータで測定された土壌水分量はpF値で表わされているので、pF水分特性曲線を変換して体積含水率に変換し、水柱(mm)に変換した。各層毎に求められた土壌水分の値を積算し、50cmの土層の水分量を算出した。

$$W = \sum_{i=1}^n W_i \quad (12)$$

ここで、 W_i は*i*番目の土層の水分量(mm)、 W は50cmの土層全体の水分量(mm)である。

気象データは、北海道内については土壌水分の測定地点の最寄りのアメダス観測点のデータを、都城については九州農業試験場畑作部のデータを利用した。

(5)式の水収支式の計算にあたっては、以下の仮定を設けた。

①計算当日の土壌水分が最大容水量をこえた場合は、最大容水量を超過した分は余剰水量に加算する。

②前日の土壌水分が圃場容水量をこえている場合は、当日は圃場容水量になっているものとし、超過分は余剰水量に加算する。

4. 結果と考察

九州の都城と北海道の天塩、早来、中札内、都城の土壌水分の推移が図-2~5に示されている。図中の白丸はテンションメータによる実測値を、実線は(5)式による推定値を、図下の棒グラフは日降雨量を示す。土壌水分は土層50cm中の体積含水率(%)で表示されている。また、図にはpF0.0(最大容水量)の体積含水率とpF3.0の体積含水率の位置を示している。この位置は土壌の水分特性によって異なる。

図に見られるように、図-2を除いて、(5)式による土壌水分の計算値は細かな部分では実測値と一致しないものの、全体としては土壌水分の変化をうまく捉えている。図-2は泥炭土壌地帯で測定されたデータであり、深層からの水分の供給が常に行なわれているところである。このような場所では深層からの供給量を無視できない。

以上の結果は、(5)式に示した簡単な水収支モデルが、深層からの供給がない農耕地の根群域の土壌水分の変化を、かなりうまく追跡できることを示している。本研究では土層の厚さを50cmとしたが、20cm、30cm、あるいは100cmとすることも可能である。しかし、その場合でも、推定されるのはその厚さの土層の土壌水分の平均値である。

5. 摘 要

土壌中の水分は植物の生産力に与える重要な要素である。植物生産力の気候学的推定モデルでは、降水量、大気湿度、気温、日射量などを用いて気候乾湿度で平均的に表わすことが多い。しかし、より細かな時間・空間スケールで植物の生産力を評価しようとする場合、土壌水分を直接必要とすることが多い。そのため、土壌水分の変化を気象データから簡単な水収支式を用いて精度よく推定するモデルを示した。

提示されたモデルから推定される土壌水分を北海道と九州で測定された実測値と比較した結果、このモデルは

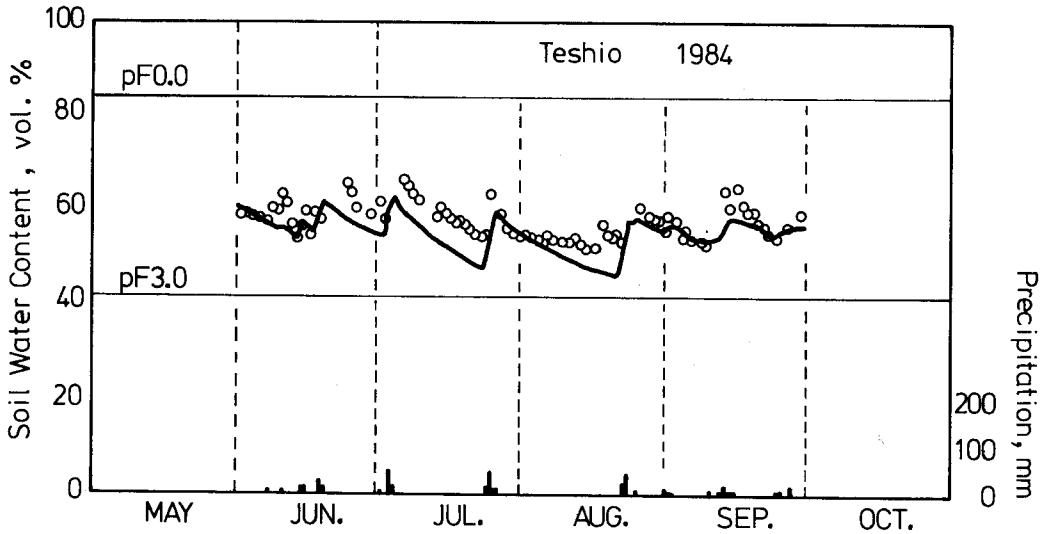


図-2 日別土壌水分の変化 (天塩, 泥炭土).

白丸はテンションメータによる実測値を, 実線はモデルによる推定値を, 棒グラフは降水量を示す.

Fig.2. Comparison of measured soil moisture (open circles) at Teshio (peat soil) and soil moisture estimated from Eq. (5). Bars in the lower of figure show daily precipitation.

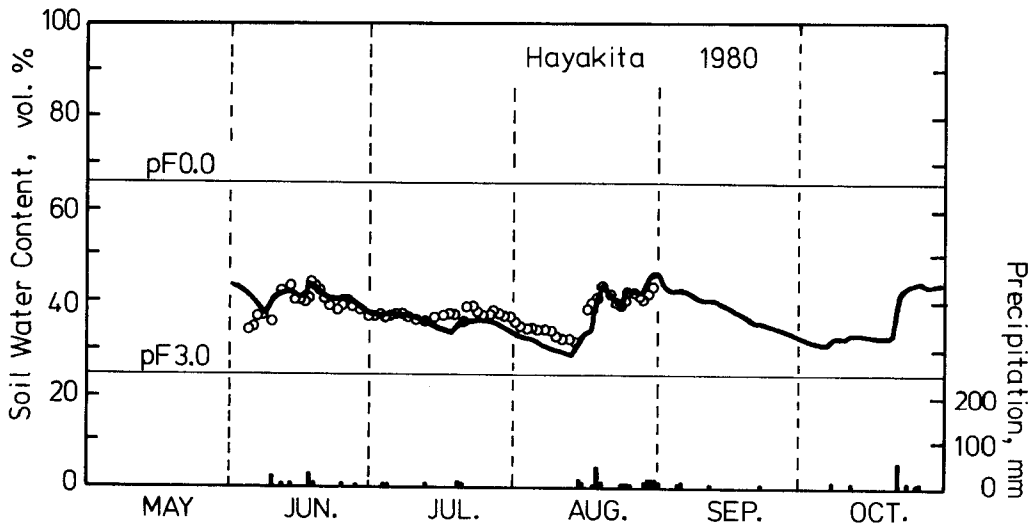


図-3 日別土壌水分の変化 (早来, 火山灰土).

Fig.3. Same as Fig.2 but at Hayakita (volcanic ash soil).

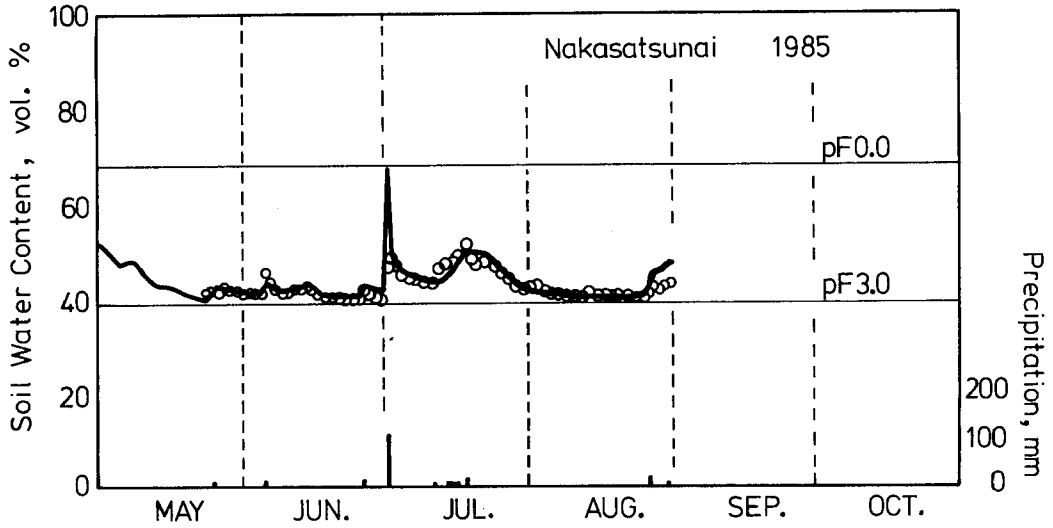


図-4 日別土壌水分の変化(中札内, 沖積土).
 Fig.4. Same as Fig.2 but at Nakasatsunai (alluvial soil).

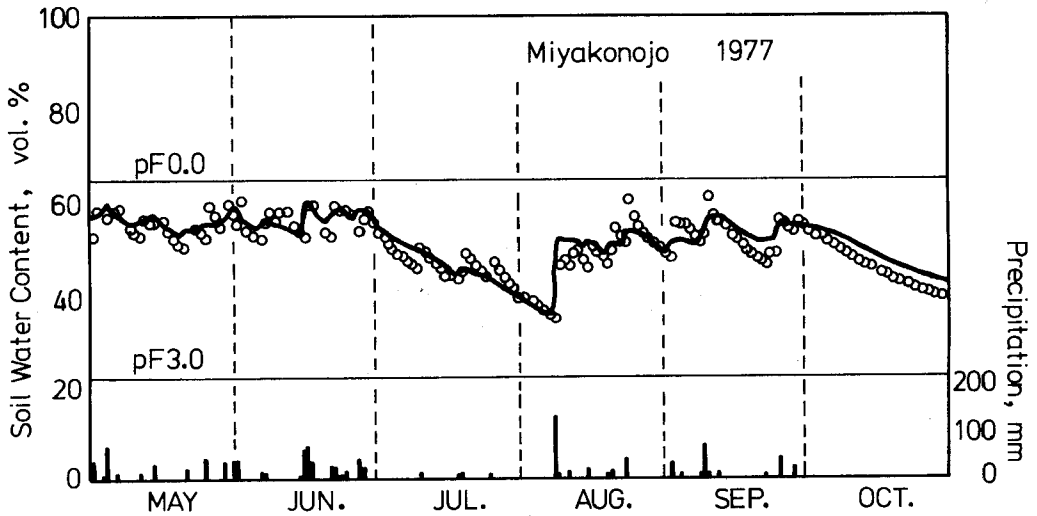


図-5 日別土壌水分の変化(都城, 火山灰土).
 Fig.5. Same as Fig.2 but at Miyakonojo (volcanic ash soil).

深層からの水分の供給が無視できる農耕地における土壌水分の変化をかなりの精度で評価できることがわかった。

このモデルは、土壌の種類を実測されたpF-水分曲線で与えることで様々な土壌タイプに適用可能である。このモデルを、農耕地の土壌水分の監視と変化予測などに使うことによって、農耕地における水保全管理を有効に行うことが可能と考えられる。今後は、深層からの供給をモデルに組み込むとともに、点の推定から面の推定、すなわち、ある広がりをもった地域の水収支の評価へと発展させたいと考えている。

謝 辞

モデル構築と検証のために使用した土壌水分の実測データを提供して頂いた、北海道開発局土木研究所齊藤萬之助室長、北海道農業試験場畑作管理部西宗昭室長ならびに畠中哲哉主任研究官、九州農業試験場畑作管理部大場和彦主任研究官の方々に御礼申し上げる。また、モデル構築にあたって有益な議論を頂いたお茶の水女子大学内嶋善兵衛教授、農業環境技術研究所環境管理部福原道一室長に謝意を表したい。

引 用 文 献

- 1) Uchijima, Z. and Seino, H. (1985) : Agroclimatic evaluation of net primary productivity of natural vegetation. (1) Chikugo model for evaluating net primary productivity. *J. Agr. Met.*, **40**, 343-352.
- 2) 岩城英夫 (1981) : わが国におけるフットマス資源の地理的分布について. *環境情報科学*, **10**, 54-60.
- 3) 清野裕・内嶋善兵衛 (1985) : 自然植生の純一次生産力の農業気候学的評価. (2) 日本における純生産量の評価. *農業気象*, **41**, 139-144.
- 4) 内嶋善兵衛・清野裕 (1985) : 日本における自然植生の純一次生産力の分布 (BCP-85-I-1-1). *農業環境技術研究所・九州農業試験場*, pp.121.
- 5) 内嶋善兵衛・清野裕 (1987) : 世界における自然植生の純一次生産力の分布 (BCP-87-I-2-1). *農業環境技術研究所・九州農業試験場*, pp.102.
- 6) 清野裕・内嶋善兵衛 (1988) : 日本における自然植生の純一次生産力のメッシュ分布図 (BCP-88-I-2-2). *農業環境技術研究所*, pp.131.
- 7) Uchijima, Z. and Seino, H. (1988) : Probable effects of CO₂-induced climatic change on agroclimatic resources and net primary productivity in Japan. *Bull. Natl. Inst. Agro-Environ. Scs.*, No. 4, 67-88.
- 8) Budyko, M. I., (1971) : 気候と生命 (内嶋善兵衛・岩切敏訳, 東京大学出版会, 1973), pp.472.
- 9) 中山敬一・八代英世・羽生寿郎・山中捷一郎 (1986) : 根群域の土壌水分予測に関する研究. (1) 予測のための水収支モデルとその応用. *千葉大園学報*, **38**, 1-7.
- 10) 奥山富子 (1988) : 畑土壌水収支の年変化と気候条件. *農業気象*, **44**, 27-32.
- 11) 清野裕・吉岡真一・Charat Mongkolsawat・Nimitr Vorasoot (1987) : 東北タイにおける土壌水分の気候学的推定. *日本農業気象学会1987年度大会講演要旨*, 44-45.
- 12) Hargreaves, G. H., (1977) : *World Water for Agriculture*. Utah State Univ., pp.177.
- 13) Neprin, S. V., Sanojan, M. G., and Chudnovsky, A. F., (1967) : *Biologicheskie Osnoby*, **29**, 449-456.
- 14) 長谷嘉臣 (1973) : 樹園地の水収支-地形改造を実施した大規模ホ場の水収支-. *土壌の物理性*, **32**, 16-18.
- 15) Sellers, W. D., 1965 : *Physical Climatology*. Chicago Press, Chicago, pp.272.
- 16) 鈴木義則 (1972) : 畑土壌水分に関する研究. *九農試験報*, **16**, 383-591.

Summary

The moisture content of soil is an important factor in determining the productivity of plants. Many of the climatological models used in estimating plant yields are expressed in terms of a humidity index calculated from weather data, such as precipitation, air temperature and humidity, and solar radiation. The "Chikugo" model developed by the authors is presented as an example of the above. While this kind of model works well for large space and time scales, in order to accurately monitor soil moisture and estimate plant yields for smaller space and time scales, direct evaluation of soil moisture content is necessary. With that in mind, we will present a simple model to estimate soil moisture content on a daily basis from weather data. The model is based on a simple water balance in flat layered soil and is written as:

$$\Delta W = R - E_t - S_p,$$

where ΔW is the change in soil moisture content, R is precipitation, E_t is evapotranspiration, and S_p is surplus water. The terms E_t and S_p are estimated from weather data on the basis of the moisture characteristics of the soil. When the values derived from the model were compared with actual soil moisture measurements, a very good correlation was obtained.

(Soil Phys. Cond. Plant Growth, Jpn., 61, 11-18, 1990)

異なる水分環境下における野菜栽培

新しい水耕法を求めて

今井 秀夫*

Development of Nonairation and Noncirculating Hydroponics

Hideo IMAI

Tropical Agriculture Research Center

はじめに

実 験

熱帯乾雨期地域における野菜生産の成否は高温及び多雨という悪条件下で引き起こされる様々な障害をいかに克服するかにかかっている。アジア野菜研究センターを中心とした国際的な協力により、野菜の高温障害は適切な耐熱遺伝子を組み込んだ有望系統がすでに作出されており、大巾な軽減がはかられつつある。しかしながら水分の過不足に対しては効果的な対洪水性 (flood tolerance) 並びに耐乾性 (drought tolerance) 遺伝子の存在が疑問視されており、主として栽培技術による克服を旨としている。雨期の過剰水対策と乾期の節水栽培という相反する水分環境に対処するため、雨よけ栽培、高畝、排水施設 (モミガラ暗渠、明渠)、ドリップ灌水等種々の対策が講じられた。

その結果、高畝栽培は多雨期の排水効果が顕著であるばかりでなく、低畝栽培に比べて極めて節水効果が高いことが明らかになった。この事実は植物が土壌の水分環境変化に素早く適応することを示唆している。よって、この適応性の高さをうまく利用し、栽培技術の中に取り入れることができれば、様々な悪環境下で十分な収量を上げ得る技術の確立が可能であると考えられる。

本研究はこのような考え方にに基づき、熱帯乾雨期地域の様々な環境下で数多くのポットや圃場における野菜栽培を行った結果、植物の環境適用性の高さを十分に生かした新しい水耕法を確立するに至った。ここにその詳細を報告する。

I. トマトの高畝栽培

1. 試験材料及び方法

本試験は1983年から1985年にかけてアジア野菜研究センター圃場 (AVRDC, 台湾省台南県善化) で行われた。

高畝栽培では適当な畝の高さを決定するために、50, 70, 100 cm と三段階の高畝を比較検討した。一方、低畝は20 cm に固定した。高・低畝栽培共に試験区は1 × 10 m のベット二つよりなり、畝間、株間共に50 cm 間隔で2列にトマト苗を移植した。よって、収穫株数は80株/区、試験は2反復で行われた。用いたトマト品種は夏作ではAVRDC耐暑性系統の1311-38及び5915-153、秋作では台湾カゴメ TK 70並びにAVRDC加工用品種 Tainan No. 2である。高畝栽培と作物の要水量を知る為の低畝栽培では各畝上に透明ビニールの屋根が取り付けられ、各株元に規定量の水が与えられたが、それ以外は慣行法である畝間灌水が行われた。

2. 結果及び考察

秋作で1 m の高畝と20 cm の低畝を用いた試験では移植後三週間目の土壌pFはそれぞれ2.4, 1.7であった (図1)。高畝では4週間目に2.7まで上がり以後2.8前後と作期を通して乾燥状態にあったが葉のしおれや尻腐れは認められなかった。一方、低畝ではpFが2.3を越えると容易にしおれ現象をおこし、尻腐れの原因になった。その結果、収穫までに要した灌水量は低畝で192 l/個体、高畝ではわずか7 lであった。5回の合計収量はそれぞれ58 ton/ha, 52 ton/ha で低畝の方がわずかに勝ったが、品質は高畝の方がはるかに上であった。

さらに続いて行われた夏作では高畝で7回の合計収量が32 ton/haであったのに対して、低畝は3回の収穫後全ての個体が疫病や萎凋病におかされ枯死した。全灌水

*熱帯農業研究センター 〒305 つくば市大わし1-2
土壌の物理性 第61号 p.19~29 (1990)

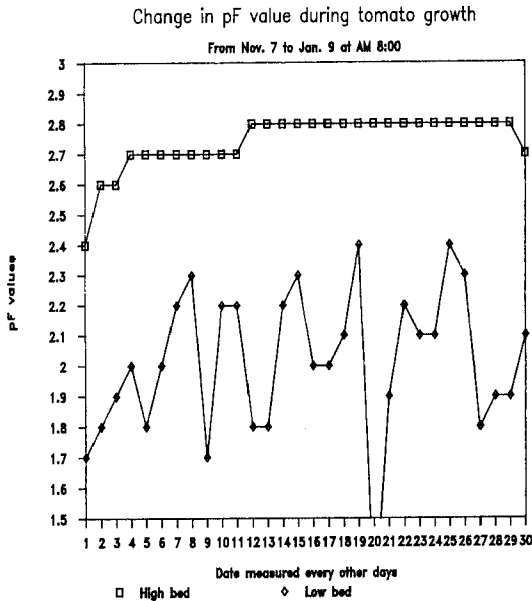


図-1 高畝（1m）と低畝（20cm）栽培における
土壌pFの変化

量及び施肥量は高畝と低畝でそれぞれ8ℓ，200ℓとN：
P₂O₅：K₂O=70：30：70（kg/ha），180：100：180であ
った。

このように高畝栽培では、灌水量が大巾に節約できる
だけでなく、施肥量も1/3程度で済むことが明らか
になった。収穫後の根系調査では高畝栽培のトマトの主根
は1mのベットの底部まで到達しており、枝根が畝全
体に広く分布していた。さらに根は細く、長くそのうえ
根毛に富んでおり、高水分張力に適応した形態を有して
いた。一方、低畝栽培の根は太く、短く、そのうえ根毛
の発達も劣っていた。これらの事実と低畝のトマトが高
畝に比べて初期生育が極めて旺盛で葉面積の増加も著し
いことを勘案すると、従来の水耕栽培に類似した生育を
示している。低畝栽培では作物1個体当たりの土壌量が
限定されており、有効水分保持量も高畝に比べて極めて
少ない。よって、正常な初期生育を維持するために多量
の灌水をする必要があり、その結果、低水分張力に適
応した根が発達したと考えられる。他方、高畝栽培では有
効土層が厚いため、根が十分伸長し、根の全表面積は膨
大なものとなり、高水分張力下でも作物の要求を満たす
水分を供給できると思われる。

以上、一連の試験を通して、土壌水分環境の変化に対
して植物根は容易にその形態を変え、環境に適応してい
くことが明らかになった。この適応性の高さを利用して

従来の水耕栽培で必須とされていた通気、養分濃度、溶
液pH及びEC等の調整を必要としない極めて簡便な方
法を考案したので以下に紹介する。

II. 非循環・非通気式水耕法

水耕法は土耕法に比べて様々な点で勝っている。²⁾

1) 場所を選ばない、2) 連作障害に対して有効な対策
がとれる、3) 生育が速く収穫までの日数が短い、4)
施設栽培に適しているため病害虫防除や環境調節が容易
で少農薬で高品質野菜の栽培が可能。

これらの利点により、我国では高級な葉菜や果菜、並
びに花卉類の栽培に水耕法が用いられ、コンピュータに
より、pH、EC、養分濃度、温度等の自動制御や酸素の
供給、日射量の調節まで行われ、植物工場の感がある。
しかしながらこのような水耕システムでは1) 高価な施
設及び機械が必要、2) ランニングコストや維持費が高
い、3) 特別な知識や技術が必要等ごく限られた作物に
しか適用できない。特に熱帯の開発途上国では水耕法の
有用性を認めながらも上記の制約のために導入できない
でいる。それ故に、もしこれらの欠点が克服されれば熱
帯圏における極めて重要な栽培法に成り有るであろう。

水耕で作物を栽培するには次の5つの条件が満たされ
る必要がある。^{2,3,7)} 1) 培養液中の養分濃度が急激
に変化しない、2) pHを適当な範囲に保つ（5～7.5）、
3) ECの上昇を防ぐ、4) 溶液温度の上昇防止、5)
十分な酸素の供給。

これらの条件を従来型の水耕システムと異なって装置
を用いなくて満足させるためには、前述のトマトの高畝栽
培で明らかになった植物根の異なった水分環境への適
応性の高さを利用することである。そこで一つの仮定をお
くことにする。もし一本の植物から生えてくる根を何ら
かの方法により異なった機能を有する部分に分化させる
ことができるのなら上記の5つの要求を機械等を使わず
かなり満たすことができるのではないか。以下にその可
能性を検討した結果を示す。

1. 試験材料及び方法

本水耕法の特徴は根の機能分化を促進させるために植
物根は溶液相に到達する前にナイロン網で隔てられた高
湿度の気相を通過しなければならないことである。本水
耕システムに必要なものは次の3点である。

1) 容器：栽培の規模に応じて自由に選ばばよいが本実
験では家庭用（市販のプラスチック容器、40ℓまたは
木製、400ℓ）から商業用を想定した容量1500ℓ（土

中に1.5×2×0.5mの穴を掘り、周りをコンクリートで固めたもの)の3種類をテストした(図2)。

2) ネット:本システムで最も重要な部分である。図3に示したようなポリスチロール製の枠の上部を木などで補強し、下部にネットを張った枠を図4のように容

器の上に乗せ、植物体保持と気密性を保つためにポリスチロールの板でカバーする。商業用も同様に作成すればよい。

3) 肥料:本実験では表1に示した培養液を全ての作物に対して用いた。

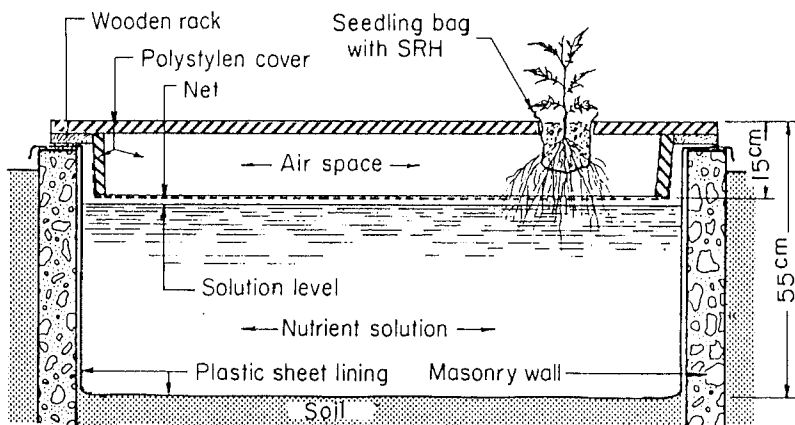
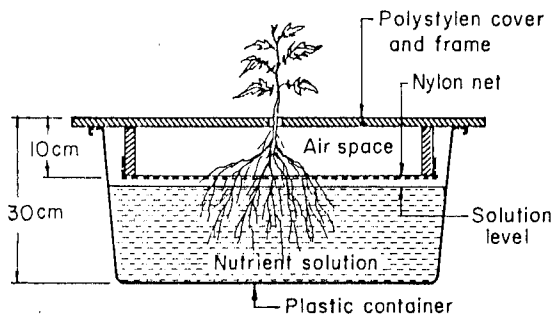


図-2 非循環・非通気システム
(a)家庭用(40ℓ容器), (b)商業用(1500ℓ容器)

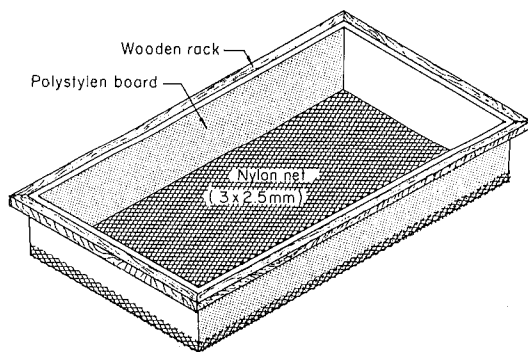


図-3 ネットングラック

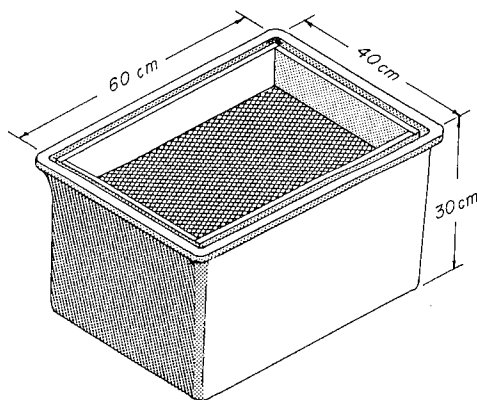


図-4 ネットングラックとプラスチック容器の組み合わせ

表-1a 培養液組成

Element	Chemical formula	Concentration (ppm)	Amount (g/l solution)
N	Ca(NO ₃) ₂ ·4H ₂ O	70.0	0.59
	KNO ₃	30.0	0.22
P	K ₂ HPO ₄	15.0	0.09
K	KNO ₃	38.0	—
	K ₂ HPO ₄	83.8	—
Ca	Ca(NO ₃) ₂ ·4H ₂ O	100.0	—
	CaCl ₂ ·2H ₂ O	50.0	0.18
Mg	MgSO ₄ ·7H ₂ O	48.6	0.49

4 NのH₂SO₄を用いてpH6に調整する

表-1b 保存用微量養分液組成

Element	Chemical formula	Concentration (ppm)	Amount (g/l solution)
Fe	Fe-EDTA	3.00	2.2600
Mn	MnSO ₄ ·H ₂ O	0.50	0.1540
Cu	CuSO ₄ ·5H ₂ O	0.02	0.0079
Zn	ZnSO ₄ ·7H ₂ O	0.05	0.0220
B	H ₃ BO ₃	0.50	0.2860
Mo	Na ₂ MoO ₄ ·2H ₂ O	0.01	0.0025

保存用溶液10mlを1ℓに希釈してもちいる

2. 結果及び考察

1) 育苗：健全で発根力の強い苗を使用することが肝要である。特に夏期高温条件下では徒長苗や消耗した苗は移植後の活着を遅らせ、十分な収量が上がらない。また移植の際の植え痛みを防止するために育苗培地に土壌を使用せず、くん炭やパーミキュライトに播種し、移植後と同じ培養液で生育させるのが望ましい。苗の消耗の激しい夏期には、図5に示した手順に従ってくん炭やパーミキュライトを満たしたナイロン網のバッグに直接播種し、一ヶ月間培養液で生育させた後、バッグごと引き出して移植するという方法が有効である。単に植え痛みを防ぐばかりでなく、かなり大苗の状態で移植するためトマトでは移植後3～4週間で第一回目の収穫ができ、施設の効率的利用が可能になる。^{1,4)}

2) ネット：ネットを設けず10ℓ程度の小さな容器を使ってトマト等を栽培すると開花期以降、一日の減水深

は5cmにも達する。二、三日その状態で放っておき、再び元の位置まで灌水すると植物は二時間程度で完全にしおれ、いかなる手段を講じても回復しない。酸素分圧の高い気相中に一定期間さらされていた根はそれに適応して変化し、灌水による酸素不足の為に窒息したと考えられる。この不可逆的な変化をおこすのに必要な時間は作物の種類、生育ステージ、酸素分圧、温度等様々な条件により異なるが、一連の実験を通して得た結果では、比較的短く1～2日程度と考えられる。この様に通常のバッチシステムによる水耕法でも、培養液の液面を低く保つことにより、通気が不必要になる。すなわち、根の機能分化が行われたわけである。新システムではネットを用いてこの機能分化を効率よく行わせようとしている。よってネットを張る位置とメッシュサイズが極めて重要になってくる。前者は気相空間の大きさを決定するためネットを表面近くに張りすぎると空間が狭くなり、

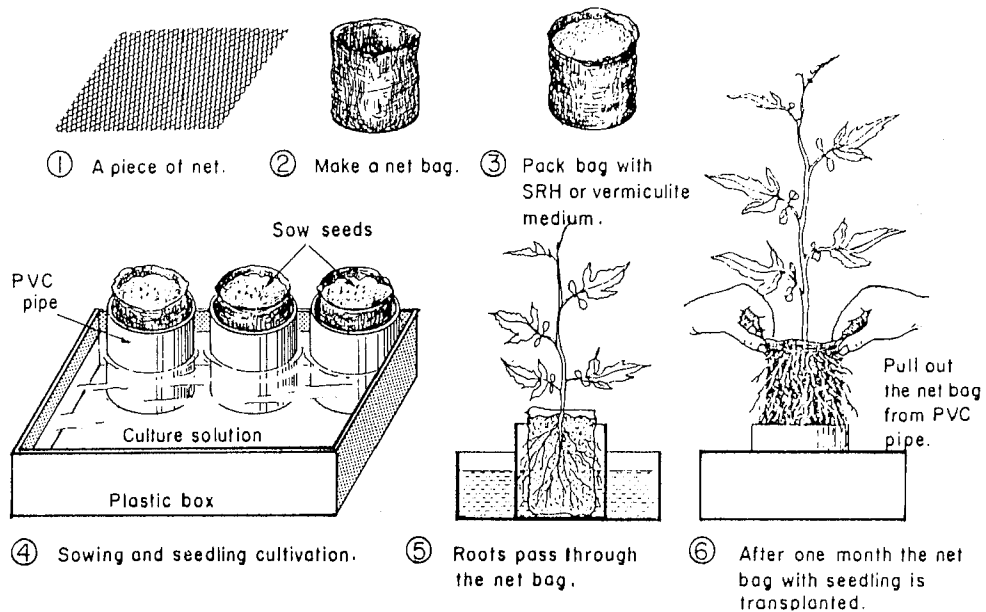


図-5 育苗用ネットバッグ作成とその使用法

高酸素分圧に適応した根（以下、酸素根）の量が限られ、酸素供給が制限因子になってくる。一方、ネットを下に張りすぎると空間内を高湿度に保つことが困難になり、水面から遠い所に位置する根群は容易に乾燥し、酸素根として役立たなくなる。いろいろな作物を栽培した結果、表面カバーから12~15 cmの位置にネットを設置した場合、最も良い生育が得られた。しかしながら、ネットの位置は栽植密度、容器サイズ、気相空間の気密度等により変える必要があり、概ねこの程度と考えればよい。

メッシュサイズが大きすぎると全ての根が通過するし、逆に小さすぎると殆どが通過できないので、根の機能を分化させることができない。テストの結果、野菜等の育苗時に被覆材として用いる3×2.5 mmのものが多くの野菜で好成績を上げた。しかし、これも容易かつ安価に手に入る材料を使うという基準で選ばれたものであり、厳密な意味でこのサイズが最良であったというわけではない。ネットに関してより重要なのはその材質である。ネット上に分布する酸素根に適度の水分を与えると同時に、病原微生物の繁殖を抑えるという二つの機能を有することが必要で十分な強度を持つ疎水材料の表面を親水基でコーティングしたものが最適と考えられるが、これからの研究課題である。

ネットのもう一つの重要な役割は酸素根量を著

しく増加させることである。水耕栽培の場合、根は重力の影響を強く受けて、真直ぐ、しかも、棒状にかたまっ

て伸びていく。その結果、根量に比して空気に接する表面積が少なく、酸素の吸収効率が悪いと考えられる。この欠点はネットにより解消された。植物根は障害物がない場合、真直ぐ伸びて行ったが、一度、ネットに当たると横方向に伸長し始め、しかも多くの枝根を発生させた。枝根はネット上を縦横に伸びていき、さらに枝別れを繰り返し、表面積を増加させていった。それ故に効率的に根の横方向の伸長と枝根の促進を行わせることが本システムの重要な技術になってくる。そのためには、植物根がネットに接触するチャンスを増やす工夫とネット自身の材質を表面親水性のものを用いて適度の水分を保持する工夫が必要である。図6に根との接触面積を増やすための様々なネットを示した。

3) 根の機能分化を促進するための水管理^{1,4)}

本システムにおいて根の機能分化が成功するかどうかが水管理によるところが大である。まず、移植後1~2週間は培養液の深さを根が十分に浸るようにネットから5~10 cm上に保つ。根を液に浸しておく期間と液面の高さは苗の大きさにより異なってくる。作物の生育に伴って液面が下がってくるので最終的にはネットから1~2 cm下の位置に保つ。

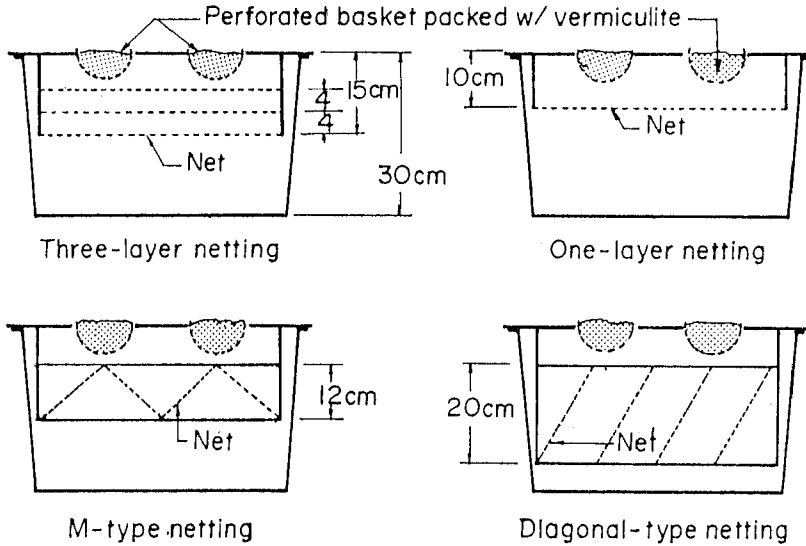


図-6 根との接触面積を拡大させるためのネッチング法

本システムでは無通気のため、ネットを通過して培養液中に伸長した根は15 cm程度で停止する。しかしながら作物の給水量は生育と共に変化し、開花期から果実肥大期にかけて急増する。その結果、液面が下がり根が再び伸長を開始する。特に家庭用の小さな容器を用いた場合はこの液面の低下が著しく、数日で15~20 cmも下降することがある。前述のようにネットと液面の間の根群は酸素根であり、元の位置(ネット1~2 cm下)まで灌水すると短時間で枯死する。これを防ぐためには日に5 cm以上の減水がある容器では一日置きに灌水する必要がある。しかし、それがめんどうな場合は、作物を保持する上蓋を含むネッチング用のフレーム全体をポリスチロールで作成し、培養液の上に浮かべればよい。また、もう少し大規模なシステムではフロートボール(図7)、や水センサー(図8)を取りつけ自動給水を行えばよい。最近では安価で性能の良い水センサーが市販されている。

4) 培養液のpH及びECの調整

本システムでは原則としてpHの調整は不必要である。培養液を更新するまでのpH変化は一単位程度であり(表2)、実用上問題にならない。通常の水耕法では通気や培養液の循環により、絶えず酸素が供給され、液中の根の伸長を促進する。その結果、根量が膨大なものとなり、吸収する水や養分も飛躍的に増大する。さらに吸収速度の増加はチッソ等の重要養分と他の養分の吸収

速度の差を拡大し、溶液中のカチオン-アニオンバランスを乱す結果、大きなpHの変化を生じる。アンモニア態Nで作物を栽培するとpHが下がり、硝酸態Nでは逆に上昇することはよく知られており、この変化は作物の養水分の吸収が増えるほど大きくなる。

一方、本システムでは溶液中への根の伸長はネットと酸素の溶液中への拡散が制限因子となり、15 cm程度で停止し、根量も極めて限られてくる。それ故に、吸収量も抑えられ、pH変化も少なくなると考えられる。

pHと同様、ECも調整が不必要である。ただ、盛夏期空調設備のないガラス室等で果菜類等を栽培する場合、異常な高温のために蒸散量が急激に上昇し、水分の吸収が増大する。養分の吸収はそれほど増加しないので、ECの大幅な上昇が見られることがあり、作物が障害を受ける。この防止には図7で示したシステムが有効である。すなわち木製(内側にビニールシートを張り付けている。)の箱の中に培養液を入れるためのプラスチック容器を置き、その上に、下部にネットを張ったプラスチックのザルをセットし全体をポリスチロールでカバーする。培養液の入った容器より3 cm程度低い位置にフロートボールを取り付け他端を水溜りに結なぐ。初め外側の木箱の先端近くまで培養液を入れておき、トマト等を移植する。作物の生長に伴い培養液のレベルが下降し、プラスチック容器の先端より3 cm下がった時、フロートボールが働き水を引き込む。水はプラス

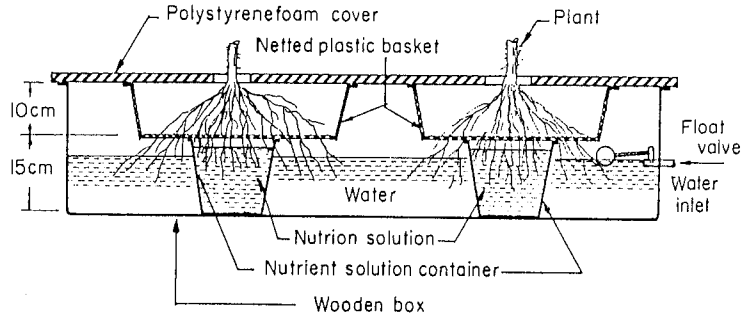


図-7 フローティングボールを用いた自動給水システム

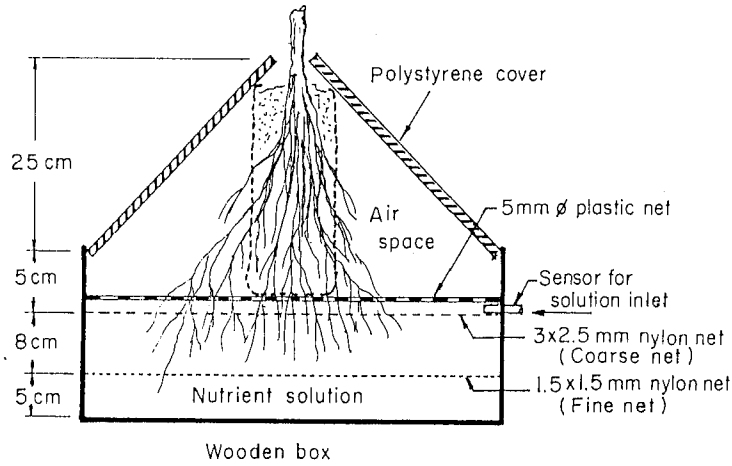


図-8 水センサーによる自動給水とネットバッグ育苗

表-2 非循環・非通気水耕法によるpH及びECの変化

Cultivar	Cont. Size	pH EC	Cultivating Weeks						
			1	2	3	4	5	6	7
FMTT 6	M	pH	6.6	7.0	6.9	7.0	6.9	7.0	7.2
		EC	2.6	2.4	2.9	2.5	2.8	2.6	2.1
FMTT 6	L	pH	6.7	6.6	6.6	6.5	6.4	6.7	6.2
		EC	2.5	3.6	3.6	4.5	4.5	4.1	4.0
NONYU301	L	pH	6.8	6.7	6.7	6.7	6.5	6.8	6.8
		EC	2.6	4.0	3.8	4.1	4.3	4.0	4.2
CL5915-153	L	pH	6.7	6.6	6.6	6.5	6.5	6.7	6.8
		EC	3.5	4.2	4.1	4.5	4.8	4.5	4.5

チック容器内には入れないので、内部は培養液が入っているが外部は水により次第に希釈され、最終的には水だけになる。ネットを通り抜けた根は培養液と水へそれぞれ別れて分布していくが（便宜上、培養液中に伸長していく根を溶液根、水中に分布する根と水根と呼ぶ。）、7～8割の根群は水層の方へ伸長していく。よって、蒸散量の増大に伴う水分吸収の増加は水根によってまかなわれ、養液根にはあまり依存しないため溶液のEC増加は最小限に抑えられる。水層を有するシステムがヶ月間の栽培でもECが1.8mmhosと殆ど変化しなかったのに比べて水層が無い場合は一週間で7mmhosまで上昇し、作物の生長が著しく遅れた。さらに、このシステムは酸素根だけでなく、養液根と水根とを分けることが可能であることを示唆している。

5) 施肥

培養液の交換時期及び頻度は作物の養分吸収量に合わせて決定されるべきであるが、あまり厳密に合わせようとすると本システムの特徴である簡便さが失われてしまう。そこで本システムによる各作物の養分吸収量を測定し、最小施肥頻度の決定を試みた。図9にトマト、メロン、キュウリ、の結果をまとめている。

トマトの場合、果実肥大期にKの吸収が急増するとNが同時期増加しているがPの吸収は殆ど変化しない。キュウリは生育時期が進むにつれNの吸収が著しく減少するが、逆にCaは微増する。しかし、PとMgの吸収は極めて安定である。これに対してメロンではKが微増を続けるほかはどの養分も比較的コンスタントに吸収される。吸収量を検討するとPが200mg/個体/週、Mg; 400mg, Ca; 700～1000mg程度で比較的作物間差が少ないがNはトマトで1g, メロンで1.4g, キュウリでは生育時期により2.3gから1.2gまで変化する。Kもトマトで変動が大きく品種によっては0.6gから2.5gまで吸収量が変化する。これらの養分と共に大量の水も吸収されるので施肥の面から考えると1ℓの水が吸収される際に何gの養分が吸収されるかという表示の方が適切で図10にまとめている。

Pは生育ステージに伴う変化が殆どなく吸水1ℓ当たり一週間に50mgずつ吸収される。CaとMgも比較的安定しており、それぞれ作物により120mg～180mg, 60mg程度吸収される。Nも生育時期による変動が大きいものの150mg～250mgの間におさまっている。Kも200mg～300mg程度と考えて、実用上問題はないと思われる。そこで、一種類の培養液で全ての作物を栽培するという試みが可能かどうか簡単な計算で確かめてみよう。トマト（品種：農友301）を例にとると、Nの最大

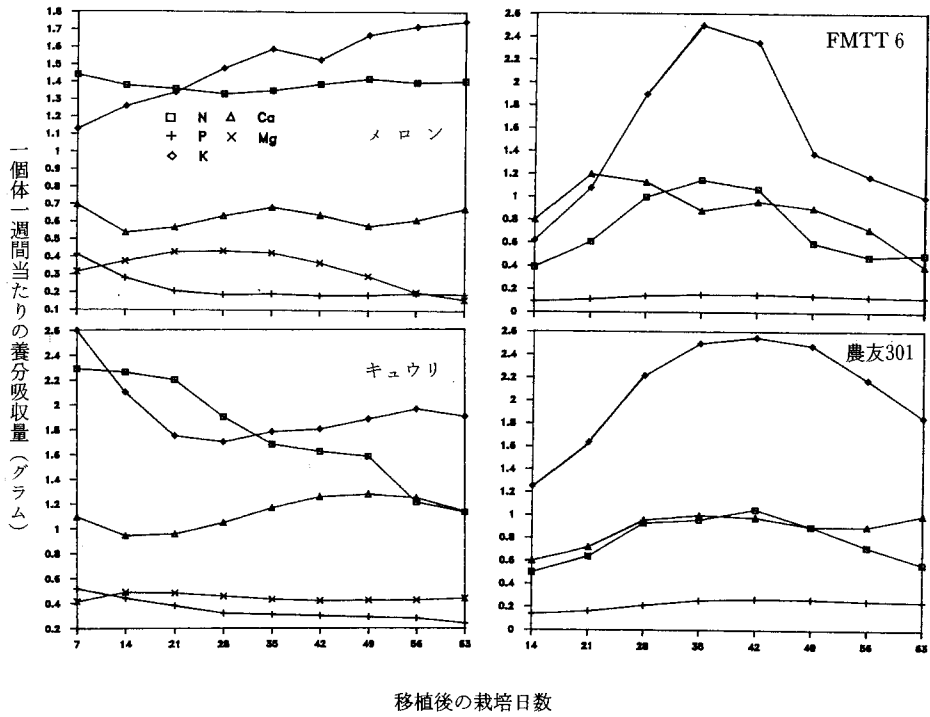
吸収量は0.2g/吸水1ℓ/週、吸水は最大時で1ℓ/日/個体程度なので一週間に1.4gのNを吸収する。商業用の大きな容器（1500ℓ）を使って栽培した場合、培養液中のN初濃度は100ppmで1500ℓ中に150gのNが含まれている。よって、一週間、毎日最大限の吸収があったと仮定して12個体（50×50cm間隔で移植）当たり $1.4 \times 12 = 16.8$ gになる。これによりN濃度は10%減少し90ppm程度になる。二週間では33.6g吸収され、78ppmまで減少する。しかし実際の減少度はこれよりかなり小さい。キュウリの場合は初期0.35gの吸収があるので、同様な計算を行うと一週間で29.4g, 二週間では58.8, N濃度が60ppmに下がる。しかし四週間目から0.2g程度の吸収になるため、その後の吸収は激減する。メロンはトマトとキュウリの中間の値を示した。一方、養分の補充はこの培養液を減水分だけ与えることにより行えば; $0.1\text{gN} \times 14\ell$ （二週間の吸水） $\times 12$ （個体） $= 16.8$ gのNが添加される。この値はトマト、メロンについてはほぼ当量であるがキュウリに対してはかなり低い。二週間に一度給水かねて養分を補給すると仮定すると、二週間で60ppmまで下がったN濃度は75ppm程度まで回復する。その後も濃度は少しづつ下がっていく。同様にトマト栽培においてK濃度が低すぎる結果が得られた。他のP, Mg, Caについては全く問題はない。

このように全ての作物に対して唯一の培養液を使うという試みは若干の問題がありそうである。しかしながら、作物にとって必要なのは強度因子（濃度）ではなくて、容量因子（総養分量）であることを考えると少々濃度が下がろうが養分がありさえすれば生育に支障はない。事実、次のセクションで述べる収量レベルを考えればこの培養液だけで様々な作物の栽培が可能である。培養液の補充頻度は容器の大きさ、植付作物数により異なってくるが水の減り具合を注意しながら1～2週間に一度程度で十分である。

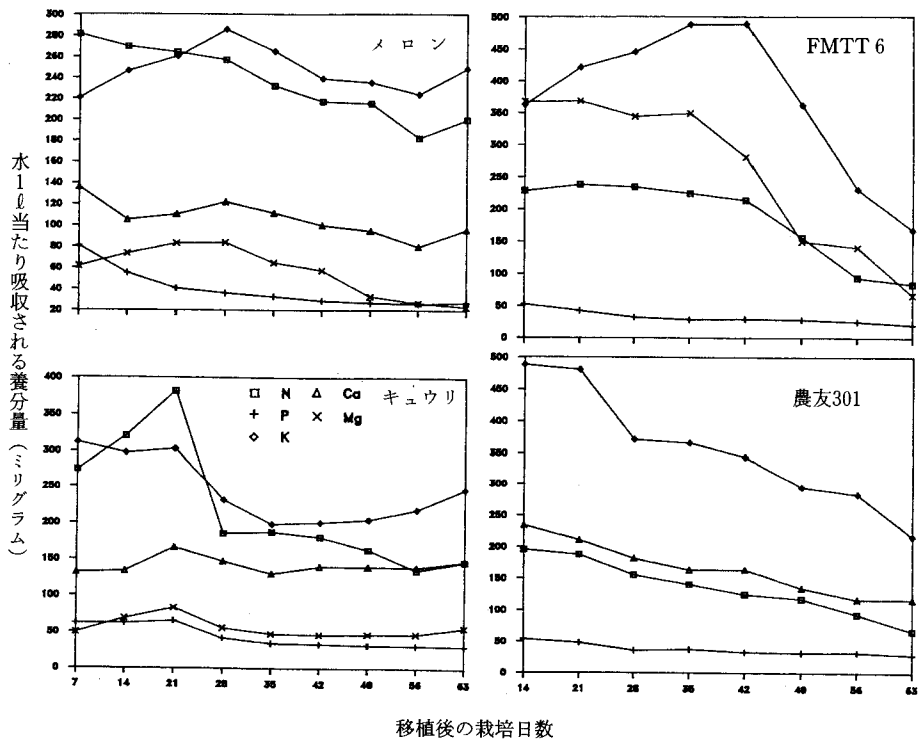
6) 本システムによる作物の栽培

中（400ℓ）及び大（1500ℓ）容量の容器を用いて様々な作物の栽培を行った（表3）。中容量は週一回、大容量は二週間に一度、培養液の補充を行った。pH並びにECの調整は行わなかった。

(1) エダマメ：炭水化物よりも蛋白質をより多く生産する作物は多量の酸素を必要とする。よって、大豆は過湿による収量減が著しい作物に数えられている。しかし本システムではまったく過湿害は見られず、極めて旺盛な生育を示した。また、根粒は酸素根にのみ着生し、他の部分にはみられなかった。エダマメ品種G9038を初



移植後の栽培日数
図-9 各作物の養分吸収量



移植後の栽培日数
図-10 水1ℓ当たり吸収される養分量

表-3 本システムによるエダマメ、キュウリ、メロン、トマトの収量

Vegetable Soybean (Cultivar: AGS 190)				
Cultivating time	Average pod No. /plant	100-seed weight (g)	Seed/Pod	Yield (ton/ha)
Early Summer	32.2	34.5	1.7	6.3
Cultivating season	Total Fruit No.	Total Yield (kg)	Average Fruit No.	Average Fruit Wt. (g)
Cucumer (Cultivar: Xiyan, /24 plants)				
Early Summer	1060	95.0	44.1	117
Mid Summer	1071	113.2	44.6	126
Melon (Cultivar: Tian Xiang, /24 plants)				
Early Summer	38	57.0	1.6	1500
Mid Summer	25	42.5	1.0	1700
Tomato (20 plants)				
Autumn Cultivar				
FFT 6	274	30.7*	13.7	112
PT4048	362	31.2	18.1	86
CL5915-93	509	32.2	25.5	63
NONYU301	188	26.5	9.4	141
CL5915-153	1405	46.0	70.3	33

* トマトの収量は最初の一ヶ月分のみを示す

夏に栽培した結果を表3に示す。10日苗を移植してから2ヵ月足らずで収穫した。

(2) キュウリ：キュウリは環境条件に影響され易く、水耕栽培が困難とされている。最適pHの巾が狭く(6.5~6.7)、しかも養分吸収量が大である。しかし本システムではキュウリは栽培し易い作物の一つであることが明らかになった。夏期栽培には移植痛みを避けるためネットバック(図6)の使用が必要である。収量結果は夏作のものを示しているが移植3週間後に第一回目の収穫ができ、100日間の栽培で110 kg/24個体以上の収穫があった。一植物体当たり約45本、4.5 kg取れたことになる。

(3) メロン：キュウリと似ており、長く、あまり枝分かれをしないが根毛の豊富な根を展開する。この根の形態は本システムに大変適しており、ネットングによりメロンの酸素根は急増する。初夏(5月8日)に大容器に移植した24本のメロンの苗から7月2日から8月10日にかけて38個の果実が収穫できた。株当たりの平均果実数は1.6、一個当たりの平均重は1.5 kgであった。同様に盛夏(7月17日移植)の栽培では移植後53日で25個/24

株の収穫があり、平均果実重は1.7 kgであった。小容器を使った試験では室内温度が45度まで上がったにも関わらず、一株当たり2個、平均果重1.75 kgの収穫があった。このように、本システムによりメロンの栽培が比較的簡単に行えることが明らかになった。

(4) トマト：トマトは水耕栽培に適していると考えられる作物の一つである。発根力が強く、高湿度下では茎から容易に発根する。しかし、熱帯地域の夏期栽培では高温多雨により収量が上がらず、水耕法による栽培もキュウリやメロンに比べてはるかに難しい。よって、本システムによる夏期栽培では、1) ネットバックによる育苗、2) 水センサーなどによる自動給水により液面の大幅な低下を防ぐ(5 cm以下に抑える)、3) 養分濃度の急激な低下を防ぐ(10日間隔で補給)の三点に注意を払う必要がある。これにより夏期において一株当たり3 kgの収量が上げられ、平均果重が130 g、中には200 gを越えるものがあった。圃場では、同品種の平均果重が50~60 g程度なので、高品質で大果実が得られた。

その他、イチゴ、各種葉菜類、ペパー、白菜等も十分栽培できることがたしかめられた。

おわりに

作物の環境適応性を利用して新しく開発された水耕法について述べてきた。筆者が働いていたアジア野菜研究センターは開発途上国の発展に寄与する国際研究機関の性格上、詳細なメカニズムや原理の追求よりも実際に役立つ技術を生み出すことに主眼が置かれていた。よって、本水耕法の開発においても、メカニズムの詳細な検討よりも、実際に種々の野菜を栽培し十分な収量が上げられるかどうかが重要であった。本論文が研究論文よりもむしろ技術書に近いのはこのためである。もとより完成された技術ではないので今後多くの人たちの創意工夫により、よりよいシステムに改善されることを願っている。すでに台湾⁶⁾、ハワイ^{5,6)}、マレーシア等で本システムによる野菜栽培が行われていることをつけ加えておく。

なお、本システムを非循環・非通気水耕法と呼称する場合、浮根法⁸⁾や毛管水耕法⁹⁾と混同されるおそれがある。しかしながら、本法は土壌水分変化に対する植物根の適応性の高さに着目して、全く独自に開発されたものであり、1) 材料が安価で容易に手にはいる、2) 高価な施設や技術を必要とせず、維持、管理が簡単である。3) 圃場自体を水耕用容器として使えることや作物ごとに溶液組成を変える必要がない等様々の優れた点があり、熱帯開発途上国に特に適した水耕法であると考えられる。

参考文献

- 1) AVRDC. 1988. Soil Science. Annual progress report for 1986. 365-375.
- 2) Guminska, Z. 1976. The hydroponic culture of plants. Foreign Scientific Publ. Dept. of Nat'l Center Sci., Tech., & Econ. information, Warsaw, Poland.
- 3) Hewitt, E. J. 1966. Sand and water culture methods used in the study of plant nutrition. Techn. Communication No. 22, Commonwealth Bureau of Horticulture and Plantation crops.
- 4) Imai, H. 1987. In proceedings of symposium of horticultural production under structure. Taiwan Agr. Res. Inst., 109-124.
- 5) Kratky, B. A., J. E. Bowen and H. Imai. 1988. Hort Science. 23, 906-907.
- 6) Kratky, B. A., H. Imai and J. S. Tsay. 1989. In proceedings of the National Agricultural Plastics Association, U. S. A.
- 7) 山崎肯哉 1984. 溶液栽培全編 博友社
- 8) 藤田 哲 1988. ハイドロポニックス 2, 16-17
- 9) 伊東 正 1990. ハイドロポニックス 3, 68-70

Summary

The AVRDC (Asian Vegetable Research and Development Center) soil science unit has developed a noncirculating hydroponics system which requires neither aeration, nor monitoring of pH, EC, temperature or nutrient level. Once the facility has been established, the only input required is the addition of nutrients once every two weeks. The composition of nutrient solution need not be changed for each crop.

During the summer of 1986, soybean, green pepper, large-fruited tomato, melon and cucumber were all successfully grown. Yields of the latter three were 3.1 kg (average fruit wt: 130 g), 2.34 kg and 4.72 kg per plant, respectively.

(Soil Phys. Cond. Plant Growth, Jpn., 61, 19-29, 1990)



造成草地 of 土壌形成に關与する生物因子

—生態学的草地造成法の提言—

鈴木 創三*・小林 裕志*

Biological Factors involved in the Formation of Soils in Established Grasslands

—A Suggestion of Ecological Method of Grassland Establishment—

Sohzoh SUZUKI and Hiroshi KOBAYASHI

Faculty of Engineering for Animal Husbandry, Kitasato University

1. はじめに

筆者らは青森県の山間未利用地において、日本の風土に適した草地造成法の試験研究を行ってきた。この間に、日本の草地畜産を取り巻く環境は変化し、草地造成法については低コストのみならず自然生態環境の保全に留意することが強く要請されるようになった。造成草地はその後の利用にともなつて、草地としての土壌に変化（成熟化）して行く。このような草地土壌の形成には物理・化学的な因子に加えて生物因子は極めて重要と考えられる。本稿では、このような生物因子が造成草地の土壌形成にどのようなかたちで關与しているかを既往の研究成果をもとに整理し、自然生態環境に留意した草地造成法の方向性について検討したい。

2. 牧草栽培の特異点

牧草栽培は稲や畑作物の栽培と異なり、以下の4点のような特徴がある。

①草地の立地条件：草地は平場、里山および奥山（山地）のような立地条件によって、共存する水田や畑との経営方式が異なる。一般に日本の草地は平場よりも里山および奥山に多いことが特色である。里山に比べて奥山の草地は集約的な維持・管理が難しい。このため奥山の草地は粗放な管理のもとで放牧地として利用されるケースが多い。東北地方では夏期に奥山の公共牧場などに放牧した後、冬期に平場で舎飼いする「夏山冬里方式」が肉牛の飼養法として定着している。

②不耕起栽培：草地は造成時に表層土を耕起するが、それ以後は数年後に更新するまで耕起をしない。このよ

うに耕起を全く行わないことは、毎年耕起を行う水田や畑地との決定的な差異である。

③多年生牧草の連作：牧草は密生作物であり、多くは多年性である。この牧草を耕起をせずに多年にわたつて草地に連作する。このため牧草の根系は地表面および表層土に発達し、草地土壌特有の多量の腐植を集積する一因となる。

④追肥・追播・放牧もしくは刈取り：採草地では作業機械により追肥・追播・刈取りが行われる。肥料や種子、場合によっては土壌改良資材が地表に散布され、年毎に大型化するトラクタ等により地表面は踏圧を受ける。また、放牧地では家畜が牧草を採食するだけでなく、同時に踏圧・糞尿還元を行う。このような放牧家畜のインパクトによって、放牧地特有の土壌が形成されて行く。

以上のような牧草栽培の特色から、草地の土壌形成作用には生物すなわち牧草の根とそれを取り巻く家畜、土壌動物および土壌微生物の因子の働きが重要であると推察される。

3. 草地造成法の分類とわが国における問題点

わが国で行われている草地造成法は耕起法と不耕起法の2つに分けられ、前者は物理的に表層土あるいは下層土を耕起したり、切盛することから物理的造成法と称することができる。一方、後者は現地形はそのまゝにして前植生を処理し、追肥・追播・放牧もしくは刈取りを適切に行うことによって、牧草を野草と植物生態学的に競合させてゆくことから生態学的造成法と称することができる。

これらの造成法の分類とわが国における問題点は以下のように要約される。

①物理的造成法には改良山成工法、耕起方式山成工法および階段工法の3種がある¹⁾。これらの問題点として、

*北里大学畜産土木工学科

土層攪乱あるいは土壌移動が大きいために造成中および造成直後の土砂流出および水質汚濁のおそれが大きいこと、不良下層土が地表露出する場合には表土扱いもしくは有機質土壌改良資材の投入が必要となることなどがあげられる。また、雑物除去により形成される排根線は草地として利用できないだけでなく、これに登った家畜の転落事故や野ネズミの巣になることなどが指摘されている。

②生態学的造成法は不耕起方式山成工法のみであるが、その内容は火入れ直播法、蹄耕法およびスタンプカッターブッシュカッタ法がある。火入れ直播法および蹄耕法はニュージーランドで発達・普及している²⁾。しかし、日本のような温帯湿潤気候条件下では前植生や根株などを十分に焼き払うことは難しく、野草の再生力も旺盛である。また、多数の家畜をコントロールする技術・施設が造成時に要求される蹄耕法は、現在行われているような奥山地帯の放牧草地造成に適用することは難しい。

一方、日本の風土に適した不耕起草地造成法として著者らが提唱したスタンプカッターブッシュカッタ法は、

火入れを行わずに機械力によって根株や前植生をその場で切断・粉碎し、家畜の踏圧の代わりに重機械の履帯を用いて前植生の抑圧と播種・鎮圧を行うものである³⁾。この方法により前述した火入れ直播法および蹄耕法の欠点は補えるが、造成直後に播種床に多量に存在する破碎木片が牧草の生育にどのような影響を及ぼすかについては未検討な問題がある。

4. 土壌形成に関する生物因子

①牧草の根

牧草の根は表層土、下層土および地表面でその形態、量および機能が異なる。根の先端の構造は図-1のように分裂帯、伸長帯、成熟帯に分けられ、分裂帯の先端には根冠およびムシゲル鞘がある⁴⁾。根の伸長は根冠部における細胞分裂に伴って起こり、この根冠部を先端とした分裂帯および伸長帯が土壌中へ侵入して行く。この時に、根の中心部は変形しにくい、外部の皮層は変形しやすく、横断面が土壌粒子同志の隙間の形をしている例が観察されている。また、根の先端部を覆うムシゲル鞘

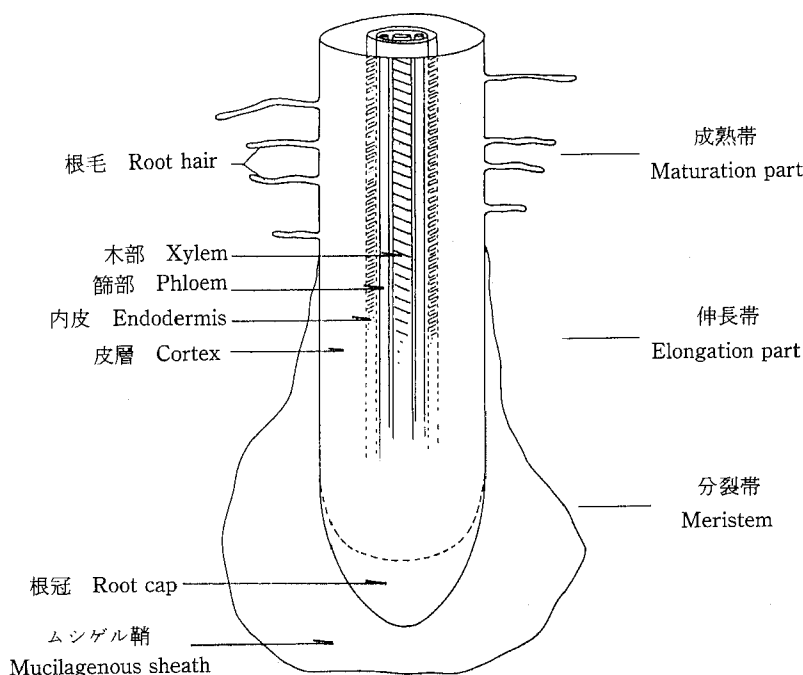


図-1 植物根の頂端部略図

Fig. 1 A schematic illustration of the apical part of plant roots.

は、硬い土壌粒子の間を根の表面を傷めずに侵入して行くうえで大切な役割を果たしているだけでなく、後述するような土壌微生物の住み場所としても安定な環境条件を持っているといえよう。さらに、このようなムシゲルは団粒形成の際には砂や粘土等の粒子をつなげあう接着剤として作用すると推察されている。

牧草の根の形は図-2のようにマメ科牧草とイネ科牧草とで異なる³⁾。前者は主根 (main root) が地下に垂直に伸び、それから側根 (branch root) が水平方向に伸びる。一方、後者は株を中心放射状に不定根 (adventitious root) が広がり、この不定根から根毛の発達した側根 (branch root) が伸びてゆく。図-3は土壌の理化学性を全層均一に処理した土壌に生育させた牧草の根の深さごとの本数である⁶⁾。0~10 cm 深の牧草区の根量は陸稲区に比べて多く、そのうち老朽根の割合も高い。草地の表層土においては、永年的に耕起せずに牧草が栽培されるため、このように牧草の根系が非常に発達して密生した、いわゆるルートマットが形成される。

このルートマットの用語の定義はこれまで研究者によって異なり不明瞭であったが、筆者らは図-4のように整理している⁷⁾。すなわち、草地表層を根および枯死茎葉部からなる R 層、多量の根が密生した土壌の RS 層、

いくらかの根が含まれている土壌の S 層の3つの層に分けると、R層およびRS層がルートマットと定義される。図-5に示すように採草地 (M-1~3) および放牧地 (P-1~3) では、利用年数が4~5年、13~14年および20年以上と増加するにしたがってR層およびRS層で示したルートマットの厚さが増加し、いずれの利用年数においても採草地 (M) より放牧地 (P) の方がR層、RS層ともに厚くなっている⁷⁾。とくに根量は図-6のようにR層の量がRS層に比べて著しく多くなっている。R層の根および茎葉部の給源としては、図-7に示すようなイネ科牧草に特有の「うわ根」と称されるような「地表根」が重要と推察される⁸⁾。しかし、この根の諸性質については未解明な点が多く残されている。また、これらの採草地および放牧地の表層土の硬さを直径1 mmの針の侵入抵抗と比較すると、図-8のように採草地 (M) に比べて放牧地 (P) では深さ1~2 cmのところを最も抵抗が大きく、その値は利用年数の増加に伴って大きくなっている⁷⁾。このような侵入抵抗の増加には形成されたルートマットの根系の発達、根の給水に伴う土壌粒子間距離の減少、家畜の踏圧にともなう密度の増加などが関与すると推察されている。さらに草地土壌の根による土壌中の養分や水分の吸収特性については施肥位

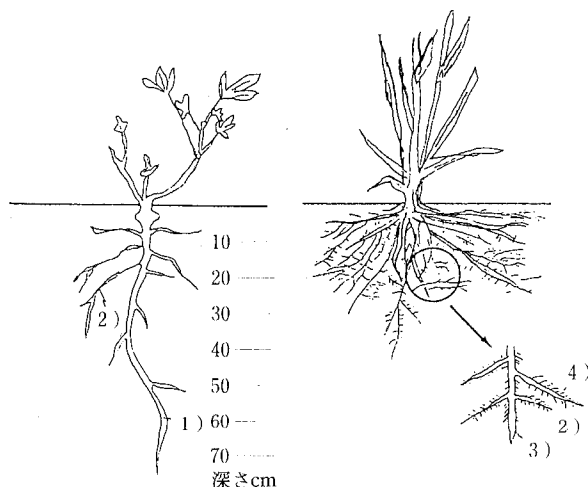


図-2 播種後12週間経過した牧草の根系

左：マメ科牧草（アルファルファ） 右：イネ科牧草（イタリアンライグラス）

1) 主根, 2) 側根, 3) 不定根, 4) 根毛

Fig. 2 Forages' root-systems at 12 week after sowing.

left: Legume (alfalfa) right: Grass (Italian ryegrass)

1) main root, 2) branch root, 3) adventitious root, 4) root hair

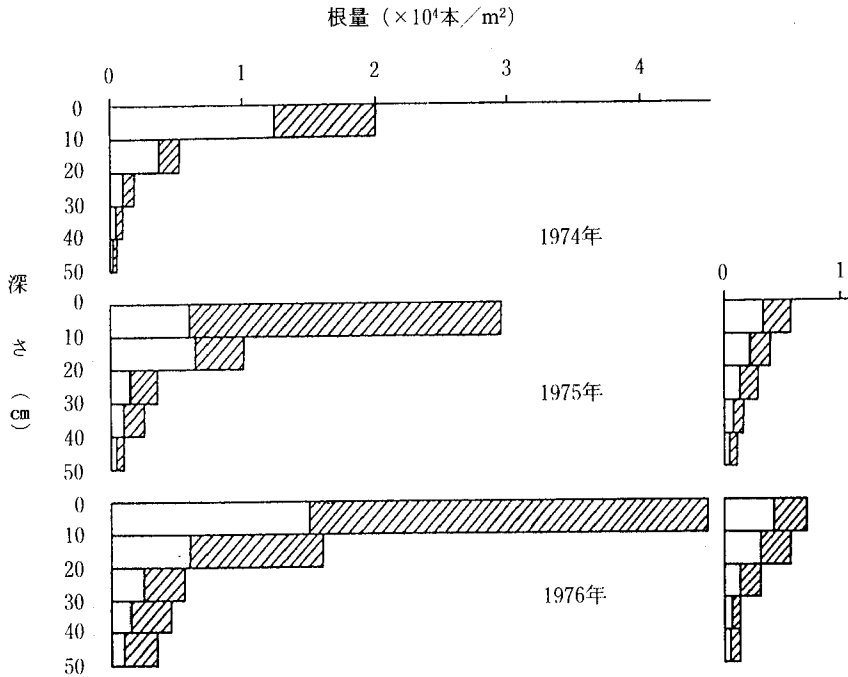


図-3 深さ別の活性根分布

左：牧草区 (チモシー) 右：陸稲区 (シモキタ)
 白色部は活性根, 斜線部は老朽根

Fig. 3 Distribution of new roots in soil profiles.
 left: grass plot (Timothy) right: Upland rice (Shimokita)
 Blank part: new root, Hatched part: old root

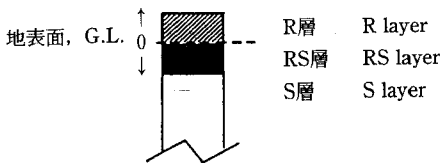


図-4 草地表層の分類

Fig. 4 The classification of the surface layer of the grassland.

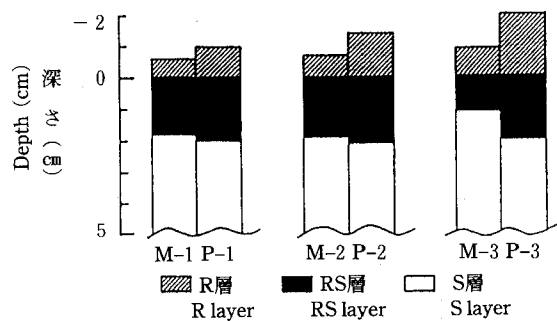


図-5 採草地および放牧地におけるルートマットの集積

M-1, -2, -3 : 利用 4~5, 13~14, >20年の採草地
 P-1, -2, -3 : 利用 4~5, 13~14, >20年の放牧地

Fig. 5 The accumulation of root mats on the meadow and grazing land.

M-1, -2, -3 : Meadows used for 4~5, 13~14 and more than 20 years respectively.

P-1, -2, -3 : Pastures used for 4~5, 13~14 and more than 20 years respectively.

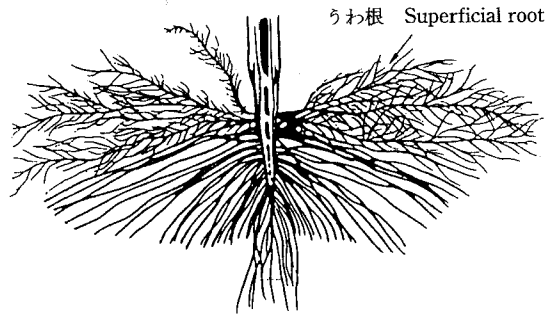
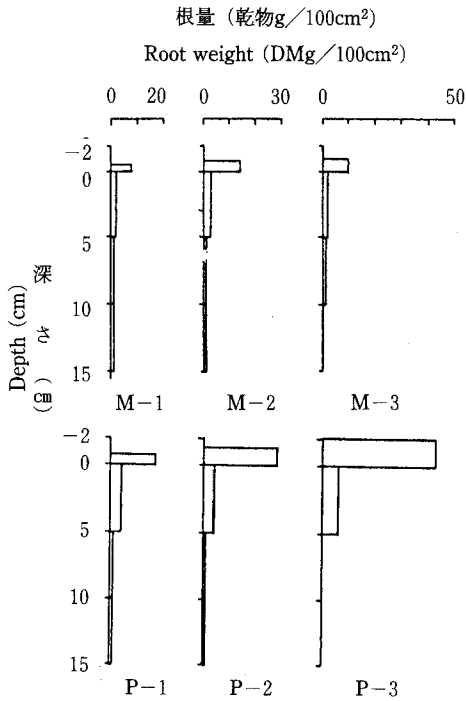


図-7 イネのうわ根
Fig. 7 The superficial roots of rice.

図-6 採草地および放牧地のR層および深さ15cm深
までの土壌中の根重分布
M-1, -2, -3 および P-1, -2, -3 の凡
例は図-5と同じ

Fig. 6 The distributions of root weights in the R layers
and the soils until 15cm in depth in the meadow
and grazing land.
The legend of M-1, -2, -3 and P-1,
-2, -3 is noted in Fig.5.

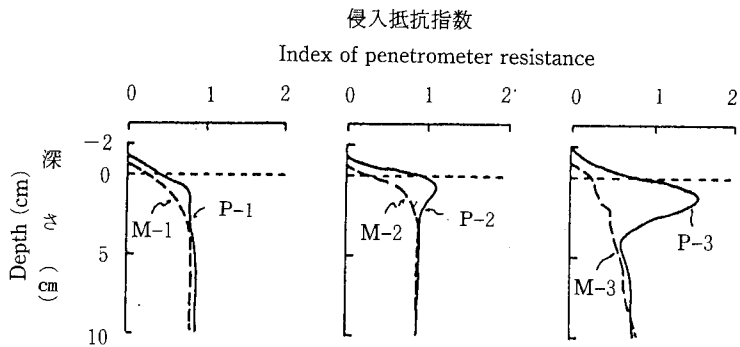


図-8 採草地および放牧地のR層および深さ10cm深までの土壌の侵入抵抗
M-1, -2, -3 および P-1, -2, -3 の凡例は図-5と同じ

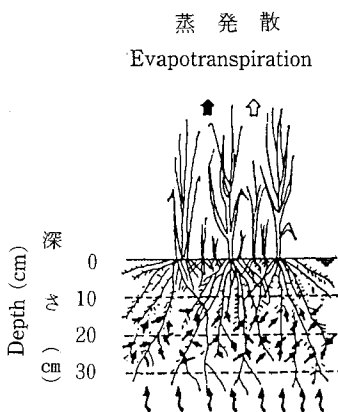
Fig. 8 The change of penetrometer resistance of the R layers and the soils
until 10cm in depth in the meadow and grazing land.
M-1, -2, -3 and P-1, -2, -3 are noted in Fig.5.

置や根群域との関係からも検討されている。養分の面からは根が施肥量の多い位置に発達することや、草地の土壤溶液中のカチオンおよびアニオンの濃度は栽培期間の進行にともなって表層よりも下層で高くなること等が報告されている⁹⁾。既述したルートマットの定義の中で多量の根が密生したRS層と、根の量が少ないS層の存在について述べた。これらの層の根の水分吸収能力を牧草刈取前後の土壤水分張力および水分消費型などから検討した結果、図-9のようにS層に相当する10 cm以深の根は根自身の給水作用が活発であるが、RS層に相当する0~10 cm深の根はそれよりも根端から吸収された水分を茎葉部へ送り出すパイプとしての役割が大きいことが推察された¹⁰⁾。

さらに、このような牧草根によって草地土壤の物理・化学的性質のみならず粘土鉱物学的性質も影響を受けることが、表層として露出した埋没下層土の粘土鉱物の牧草根圏内の分布から推察された¹¹⁾。造成2年後の草地において、図-10のようにイネ科牧草の株を中心にして同心円状に1 cmごとの厚さで土壤を採取した。この時の物理性、とくにpF-水分曲線の変化は図-11のようになり、造成前に比べてpF 1.0~3.2の勾配が大きくなっていった。この勾配は付近のクロボク土に比べて小さかったが、今後増大することが推察された。さらにこの時のpH(H₂O)の変化は図-12のようになり、造成前に6.91だった値が株および表層に近いところほど低下し、とく

に株から5 cm以内の距離にある2 cm深までのものでは、5.82~5.97と6以下の値を示していた。また、炭素含量の分布は図-13のように造成前には0.1%ときわめて僅かだったものが、最表層のルートマット(0~1 cm)では3.97~6.17%ときわめて高く、以下1~2 cmでは0.80%~0.94%、2 cm以深は0.3%から0.1%へと漸減した。各土壤セクション試料の粘土画分の粘土鉱物および鉄酸化物の組成は図-14のようになり、造成前に比べてシュウ酸ナトリウムおよびクエン酸ナトリウム可溶成分の割合が減少した。とくにアロフェン・イモゴライトを溶解するとされているシュウ酸ナトリウム可溶成分の割合はイネ科牧草の株に近いセクションほど減少した。さらに、結晶性粘土鉱物組成は図-15のようにセクションによって異なり、とくに14 Åおよび10 Åのピークの割合は図-16のように造成前の0.75と比べてイネ科牧草の株に近いところでは大きく、遠いところでは小さくなっていった。

また、牧草根による土壤緊縛作用は根の体積増加、水分吸収や乾燥に伴う土壤粒子の接近のみならず前述した根毛から分泌される粘着物質(ムシゲル)の作用も原因と推定されている。表-1はイネ科牧草の根が捕縛する砂粒子の重量と、根の粘着力を測定した結果である¹²⁾。栽培期間の増加にともなって根全体に付着した砂の重量は3 gから260 g、また、根1本あたりのそれは0.2 gから2.3 gへとそれぞれ増加している。一方、ガラス板に



水分移動 Water movement	根の分布 Distribution of roots
茎葉部への導水 Pass to leaves and stems	全根量の80%が存在、 うち大部分は老朽根 ・ 80% of whole roots ・ Most of it were old
吸水 Suction	全根量の20%以下 うち大部分は活性根 ・ less than 20% of whole roots ・ Most of it were new
上層への補給 Supply to upper layers	根の存在は微少 ・ little

図-9 草地の水分移動模式図

Fig. 9 A schematic diagram of water movement in a grassland.

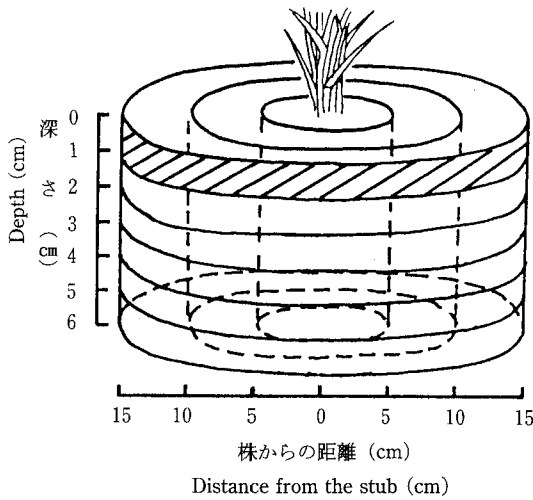


図-10 土壤セクション試料の概要図
 斜線部 (0~1cm深) はルートマット
 Fig.10 An oblique view of soil section samples.
 A hatched part (0~1cm in depth) is a root-mat.

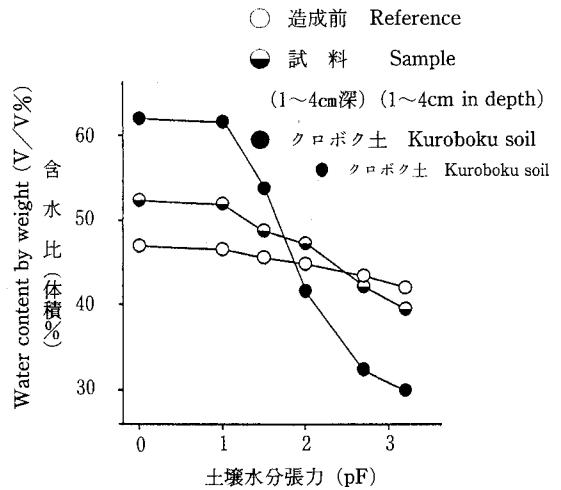


図-11 試料およびクロボク土のpF-水分曲線
 Fig.11 pF-soil moisture curves of samples and a Kuroboku soil.

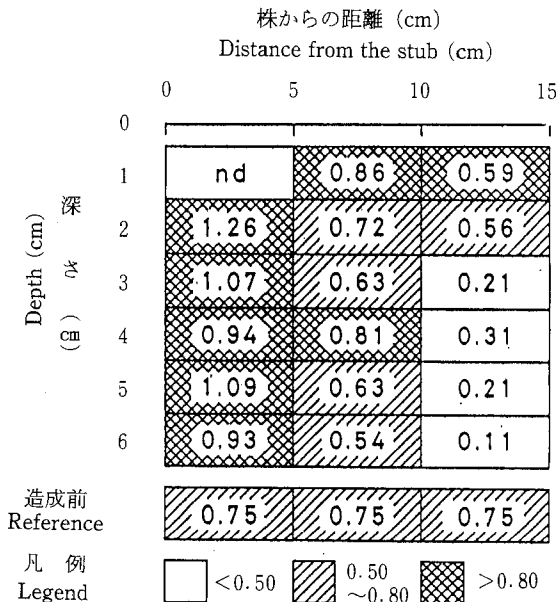


図-12 土壤セクション試料のpH(H₂O)
 土壤: 水=10g:25ml
 Fig.12 pH(H₂O) of soil section samples.
 Soil: water=10g:25ml

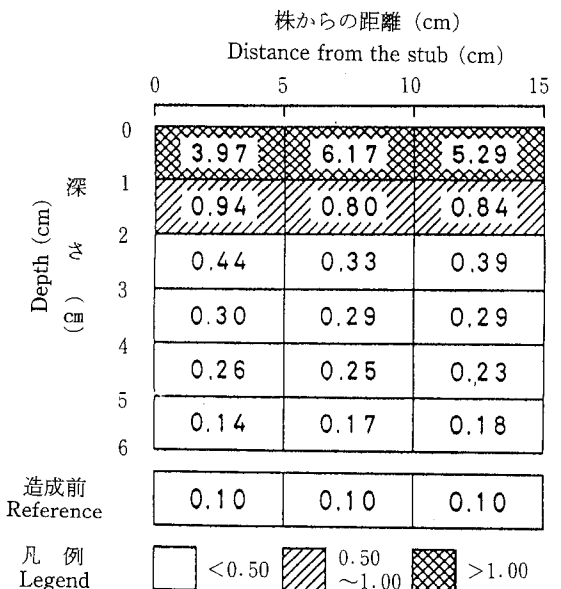


図-13 土壤セクション試料の全炭素含量
 ウォークレイ法により測定, 数値は乾土あたり %
 Fig.13 Total carbon contents of soil section samples.
 Determined by Walkley's method.
 Figures show % by oven dry basis.

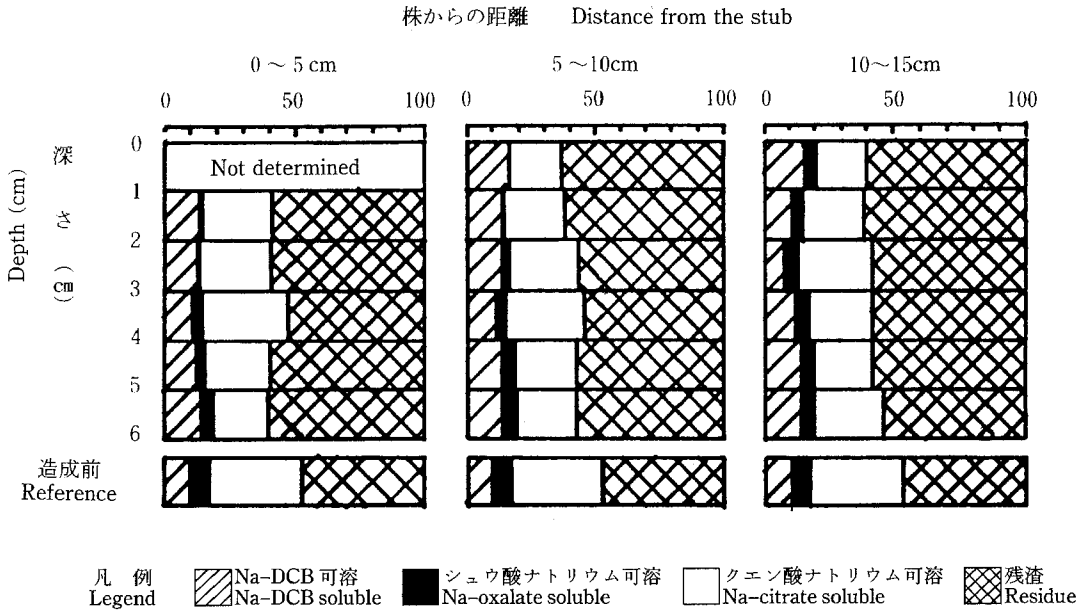


図-14 粘土画分の各処理溶解成分の割合 (%)
 Fig.14 Proportions of each soluble component of clay fractions (%).

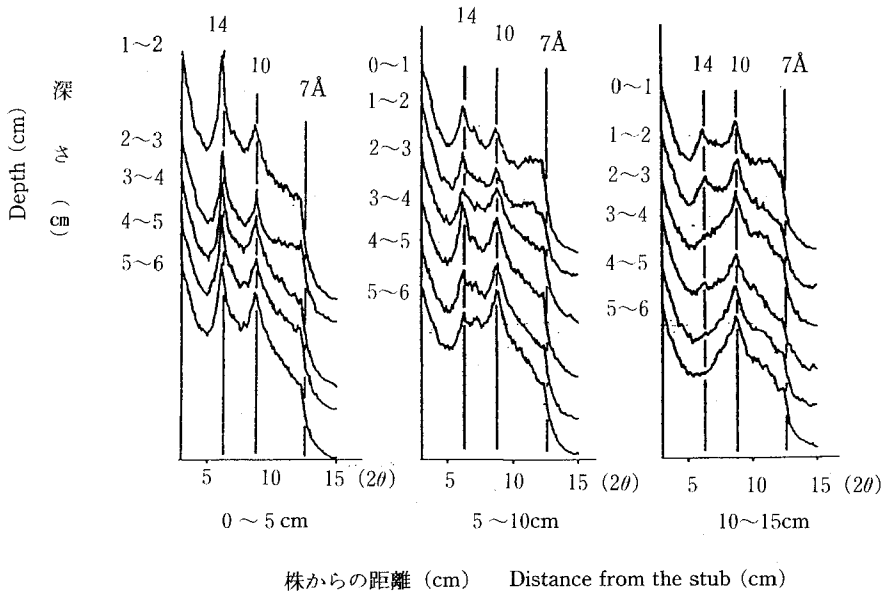


図-15 土壤セクション試料の粘土のX線回折図
 Fig.15 X-ray diffraction patterns of clays of soil section samples.

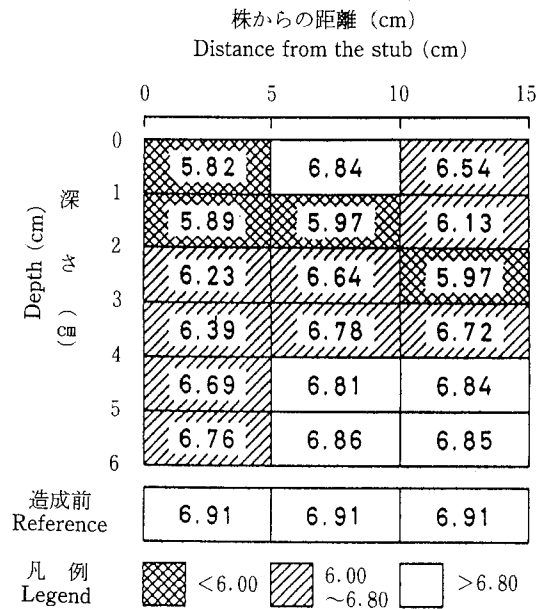


図-16 土壤セクション試料中の結晶性粘土鉱物の14Å:10Åピーク強度比

Fig.16 Intensity ratios of 14Å to 10Å peaks of crystalline clay minerals in soil section samples.

表-1 イタリアンライグラスの根の砂粒子捕縛能力および粘着力*

Table 1 The ability of catching sand and adhesion strength of roots of Italian ryegrass**

		播種後週数 Weeks after sowing		
		4	8	12
イネ科牧草, 茎葉部	Forage grass, top			
分げつ/個体(本)	Tillers/plant (no.)	1.7±0.3	11.2±1.0	32.0±4.4
最大葉長 (cm)	Maximum leaf length (cm)	17.1±2.0	33.0±3.1	42.8±4.6
イネ科牧草, 根部	Forage grass, roots			
平均根長 (cm)	Mean length (cm)	6.1±0.9	16.7±1.1	21.8±1.0
最大根長 (cm)	Maximum length (cm)	9.0±1.0	30.9±1.7	47.3±1.6
全根長/個体(本)	Total/plant (no.)	10.6±1.2	34.8±3.2	113.5±23.4
乾重 (mg/ 個体)	Dry weight (mg/plant)	6.8±2.2	234.9±46.1	1041.4±184.4
捕縛砂粒子	Catching sand			
全重 (g/ 個体)	Total weight (g/plant)	2.8±0.9	82.2±18.2	258.2±44.2
重量/根 (g)	Weight/root (g)	0.2±0.6	2.2±0.5	2.3±0.4
粘着力	Adhesion strength (g/root)	15.9±1.6	19.1±3.0	18.4±1.7
試料数	Sample numbers	16	10	13

* 平均値±標準偏差

**mean±S.D.

2日間生育させた根を引き剥がす時の抵抗力は根1本あたり16gから18gと2g程度の増加であるが、根の数が増加していることを考慮すると、牧草1個体あたりの根としてはかなり大きな値になる。

さらに、このような根が土壌中に伸長してその根系を発達させることによって、土壌の孔隙構造の形成に一定の役割を持つことが推察される。特殊な造影剤を用いた軟X線の立体写真によって、土壌の粗孔隙系は植物の根系とよく類似していることが明らかにされたことは、このような可能性を強く支持するものである^{13,14)}。

②土壌動物は地表・地中の植物や動物の遺体を食べる粉碎(分解)と土壌を耕うん(攪拌)する二つの作用を持つ。草地に於いては一般的に大型土壌動物のミミズ、中型土壌動物のダニとトビムシ類が多く、他の環境条件に比べて生息密度が低く、種類相が単純とされている。個体数は春から秋にかけて増加した後、冬に減少するとされている。しかし、土壌動物相は草地の放牧・採草の利用の違いや、土壌の乾燥密度、硬度、水分含量等によっても異なる。

例えば、ヒメミズ類の分布は裸地ではほとんど認められないが、小麦や陸稻のようなイネ科植物を栽培しているところでは、根の量が多いところ、即ち、深さ、距離ともに株に近いところほど、その数が多いとされている¹⁵⁾。さきに根の項で述べた永年利用の放牧草地(P-3)および採草地(M-3)の土壌動物相は表-2のように大型土壌動物は採草地に比べて放牧地の方が種類、数ともに少なかった⁷⁾。しかし、中型土壌動物では表-3のようにRS層では種類、数ともに放牧地のほうが採草地より少なかったが、逆にR層では放牧地の方が採草地に比べて種類は少なかったものの数が多かった⁷⁾。この原因は放牧地の方が採草地に比べてRS層では土壌が硬く緻密になるため、動物が生息しにくくなるためと推察された。

③土壌微生物相としては一般に細菌、放線菌および糸状菌の三種が調べられている。根の表面から5mm以内が根圏とされ、ルートマットでは表層土のほとんどの部分がこの根圏に相当する。根圏の微生物は非根圏のそれより活力が大きく、根の分泌物の影響とされている。

表-2 R層およびRS層中の大型土壌動物相の数(匹/cm²)

Table 2 The number of large-sized soil fauna in the R layer and the RS layer (Nos./m²)

試料	Sample	M-1	P-1	M-2	P-2	M-3	P-3
ミミズ類	<i>Enchytraeidae</i>	10	20	16	7	100	20
クモ類	<i>Araneae</i>	5	14	10	3	10	—
ムカデ類	<i>Chilopoda</i>	2	5	10	3	10	—
甲虫類 (幼虫)	<i>Scarabaeidae</i> (<i>Larva</i>)	4	40	10	20	20	30
(成虫)	(<i>Imago</i>)	4	—	1	—	—	—
ハネカクシ科 (成虫)	<i>Staphylinidae</i> (<i>Imago</i>)	3	—	—	—	—	—

表-3 R層およびRS層中の中型土壌動物相の数(×1,000/m²)

Table 3 The number of medium-sized soil fauna in the R layer and the RS layer (×1,000/m²)

試料	Sample	M-1		P-1		M-2		P-2		M-3		P-3	
		R	RS	R	RS	R	RS	R	RS	R	RS	R	RS
線虫類	<i>Nematoda</i>	266.5	95	158.5	39	58	54	50.5	40	176	66.75	541	56
トビムシ類	<i>Collembola</i>	16.5	5	8	1	4	2	5.5	0.5	31.5	0.5	1.3	—
双翅目 (幼虫)	<i>Diptera</i> (<i>Larva</i>)	1.5	1.5	1	0.5	2.5	0.1	2.5	0.1	4	2.75	8.55	0.05
ダニ目	<i>Acari</i>	13	7.5	5	1	1.5	1	4.5	1	1.85	0.75	2.5	0.25
輪虫類	<i>Rotatoria</i>	20	0.5	4	2.5	8.5	1.5	4	0.5	26.75	1	4.25	—
緩歩類	<i>Tardigrada</i>	1	—	1	—	0.1	—	0.05	—	1	—	—	—

また、逆に牧草に有害な微生物が根の生育を阻害する場合もある⁴⁾。

著者らが検討している生態学的草地造成法では、造成直後に播種床に多量の破砕木片が存在する。一般に、このような木片の腐朽にはいわゆるキノコのような菌類の作用が大きいとされている。これに加えて、土壌中の細菌等の微生物の作用あるいはその種類や数の変動も予測されるため、微生物相を検討したところ、造成直後の現地では木片の多いところのほうが少ないところよりも細菌、放線菌および糸状菌の菌数が少なかった¹⁶⁾。しかし、現地土壌を用いたポットモデル実験ではこれとは逆に、木片抽出液が細菌および放線菌を増加させ、糸状菌を減少させることが推察された。

また、土壌中の細菌および放線菌の中には通常より低濃度の栄養条件にある培地でよく繁殖する種類があり、通常はそれらの数が多いことが報告されている¹⁷⁾。放牧草地では家畜の排泄する糞尿によって土壌中に一時的に高濃度の栄養が与えられる。このような時に、糞尿直下の細菌および放線菌のうち、低栄養条件で増殖しやすいものと通常の高栄養条件で増殖しやすいものととの比率は一時的に変動し、その変動には温度条件が関与することが推察された。

5. 生態学的草地造成法の提言

土壌は単なる岩石の風化生成物ではなく、長期間にわたって生物、とくに植物の作用を受けて層位分化したものである。この生物の作用こそが土壌を形づくる最も重要な因子であり、実に狭く、微小な世界で、ダイナミックな活動を行っている。このような生物因子は、他の物理・化学的な因子と複雑に絡み合いながら、結局、その土地特有の風土を反映させた土壌を形成するわけである。したがって、造成草地の土壌形成を考える場合にも、このような因子の特性を知り、より適切に利用することが大切である。とくに、最近では自然生態環境の保全に対する理解が社会全体に広まりつつある。これからの土壌関係者にとって、自然生態環境や人間社会環境の保全は大きな課題となることが予測される。そのような意味で大きくは地球規模のスケールで、そして小さくはたったスプーン一杯の土の中で行われる生物のダイナミックな自然生態の営みを、積極的に活用して行くことが重要といえよう。

その意味で生態的草地造成法は、今後の草地造成および維持・管理法として極めて有力なものになるであろう。さらに、これまでは単に生産力の面からのみ計画や

造成が評価されていた農地を、さらに美しい景観としてとらえられるものにするためには、一体、どのような方向性を目指すべきなのであろうか。それは、私達自身の美に対する概念の変革を伴うものであることは否めないが、万人の好む、万人が美しいと感じるものであらねばなるまい。そのために、ヨーロッパでは既に学問として定着しているランドスケープエコロジー (Landscape Ecology, 景観生態学) を日本の風土に適合させつつ導入して行くことは、当面の作業としては極めて現実的かつ具体的なものになると推測される。

著者らは以上のような観点に立って、日本の風土に適合し、かつこの美しい自然生態環境を保全し、利用することができるような草地造成法として、著者らがこれまで試験研究を行ってきたスタンプカッターブッシュカッター法による不耕起方式山成工法を生態学的草地造成法として提言する。この方法は土壌移動が無いために造成中および牧草の定着までの土砂流出のおそれが極めて少なく、また腐植に富む表層土を保存しつつ林地の植生から草地の植生へと生物因子を主体に転換して行くため、自然生態環境の変化が少ない等の利点を持つ。さらに、ヨーロッパの草地造成に於いては定着しつつあるランドスケープエコロジーの面からも評価される造成法と考えられるからである。

引用文献

- 1) 山根一郎・伊藤 巖・岩波悠紀・小林裕志: 新草地農学, pp. 116-123, 朝倉書店 (1989)
- 2) 小林裕志: 草地畜産の国ニュージーランドを訪ねて, 農業土木学会誌, 53 (6), pp. 499-506 (1982)
- 3) 小林裕志: 機械力による不耕起草地造成試験 (I), 農業土木学会誌, pp. 499-506 (1985)
- 4) R.S. ラッセル著: 田中典幸訳: 作物の根系と土壌, pp. 47-85, 151-187 (1981)
- 5) 小林裕志: 牧草根の土壌把握作用, 土壌の物理性, 34, pp. 2-6 (1976)
- 6) 小林裕志・大竹良明: イネ科牧草根の物理的な機能に関する研究, III. 根系発達が作土層の土壌構造に及ぼす影響, 日本草地学会誌, 23 (3), pp. 235-240 (1977)
- 7) SUGIURA, T., KOBAYASHI, H., SAKAI, R. and SUZUKI, S.: Factors affecting root mat formation in permanent grassland (1), J. Japan. Grassl. Sci., 34 (3), pp. 178-185 (1988)
- 8) 河野恭広: 根の形態と機能, 農業技術大系, 土壌施肥編 I 「土壌の働きと根圏土壌」, 土壌と根圏 II, pp. 1

- 19, 農文協 (1987)
- 9) 三木直倫・佐藤辰四郎：草地における表面施肥, 施肥位置と栽培技術, 一現状と問題点一, pp. 49-91, 博友社 (1982)
- 10) 小林裕志：草地の土壌水分移動に及ぼす牧草根群の影響, 農業土木学会誌, 45 (3), pp. 155-158 (1977)
- 11) SUZUKI, S.: Relationships between grass-roots and clay mineral compositions in the rhizosphere of the exposed subsoil in a grassland., Trans. XIII Congress of Int. Soc. Soil Sci., 4, pp. 1484-1485 (1986)
- 12) KOBAYASHI, H. and YAMANE, I.: Effect of active roots of forage grass on soil-aggregate formation., Proc. XIV Int. Grassl. Congress, pp. 421-424 (1981)
- 13) 徳永光一・成岡 市・深谷 高俊：重液浸入法の開発とそれによる土壌間隙の軟 X 線透写像についての考察, 一 X 線透写像による土壌と間隙に関する研究 (I) 一, 農業土木学会論文集, 114, pp. 61-68, (1984)
- 14) 徳永光一・竹内正己・林 貴峰：火山灰下層土における疎孔隙の根成的特徴について, 一立体視による孔隙の軟 X 線透写像の観察一, 農業土木学会論文集, 126, pp. 75-80 (1986)
- 15) 中村好男：土壌小動物, 農業技術大系, 土壌施肥編 1 「土壌の働きと根圏土壌」, 根と根圏微生物, pp. 67-72, 農文協 (1987)
- 16) 鈴木創三・杉浦俊弘・小林裕志：破砕木片に富む播種床土壌中の微生物相, 一機械力を用いた不耕起草地造成試験 (第17報) 一, 土壌肥料学会講演要旨, 35, pp. 34 (1989)
- 17) HATTORI, R. and HATTORI, T.: Sensitivity to salts and organic compounds of soil bacteria isolated on diluted media, J. Gen. Appl. Microbiol., 26, pp. 1-14 (1980)

Summary

The authors summarized the biological factors involved in the formation of several kinds of soils in established grasslands and suggested the future course of the method of grassland establishment which was payed regard to the conservation of natural environment.

The authors described mainly the effect of root system on the clay mineralogical characteristics as well as physical and chemical ones of some kinds of soils, and also described briefly the importance of the roots of grasses and legume, soil fauna and soil microbe as the biological factors involved in the formation of grassland soil.

After discussing the classification and the problems of the methods of grassland establishment adopted in Japan recently, it was considered to be introduce "Landscape Ecology" which studied the method of grassland establishment with attention to the conservation of natural environment and the beautiful landscape. And the authors suggested the ploughless method with a stumpcutter-bushcutter system as an ecological method of grassland establishment which would satisfy those needs.

(Soil Phys. Cond. Plant Growth, Jpn., 61, 31-42, 1990)

土壤病害の発生と土壤

駒 田 旦*

Soilborne Diseases, Its Relation to Nature and Properties of Soils

Hajimu KOMADA

National Institute of Agro-Environmental Sciences

1. はじめに

土壤微生物の大部分は分解者として、物質循環に関与しているが、その一部に植物（作物）の地下部に寄生する性質を併せもつものがある。このような微生物（土壤病原菌）の寄生により引き起こされる病気〔土壤（伝染性）病害〕は、野菜・畑作物の連作障害の主要因として、これら作物の生産安定に対する最大の脅威となっている。

土壤病害の発生は、気象、土壤、地形といった自然要因と、その上に営まれる農耕に伴う作付体系、農薬、農機具、肥料など栽培要因、また労働力、経営面積、意欲、市場性、立地などの社会・経済的要因の直接・間接の影響を強く受ける。中でも、土壤の物理性、化学性、生物性は互いに関連し合いながら、土壤病原菌の生存・活動に対し、ひいては土壤病害の発生に強い影響を与える(図1)。

土壤のもつ諸性状は、その起源に由来する本質的な性質の上に、人間が営む農耕の結果として加えられる様々な人為的操作の影響を受けて、かなり大きく変化する。とくに近年、わが国における生産資材多投型の農業技術の急激な発展は、しばしばそれぞれの土壤のもつ本質的な性状を根本から改変したり覆い隠すほどに強烈な人為的操作を、土壤に対して加えてきた。そのような操作の中には、明らかに土壤病原菌の生存や活動に影響し、土壤病害の大発生をもたらしたとみられる事例も少なくない。

土壤病害は人が作る病気 (man-made disease) である。そのような観点から、土壤病害の発生と土壤との関わり合いを述べてみよう。

2. 土壤病害に対する発病抑止土壤

通常の栽培管理のもとで、特定の種類の作物を連作しているにもかかわらず、土壤病害がほとんど問題にならない土壤がある。このような土壤は「〇〇病に対する発病抑止土壤」と呼ばれ、世界各地で種々の土壤病害に対する抑止土壤の存在が知られている。わが国でも、ダイコン萎黄病に対して、三重、三浦、福島等の土壤が抑止性を示すことが知られている。また、根こぶ病の多発に悩まされる孳恋の下層土（褐色火山性土壤）は根こぶ病に対して強い抑止性を示すことが最近明らかにされた。

抑止土壤には、①病原菌が定着できないため発病がみられない土壤、②病原菌は定着するが発病が起きない土壤、③病原菌が定着して初めは激しい発病をみるが、宿主作物の連作に伴ってやがて発病が激減する土壤、の三つのタイプがあることが知られている。抑止土壤の多くの事例について、土壤の物理性、化学性、生物性の角度から抑止機構の解明が行われてきた。生物性によることが明らかにされた場合には、それは土壤病害に対する自然の生物的防除と位置づけられ、抑止性発現に関わる微生物による人工的抑止土壤の作出、すなわち土壤病害の生物的防除へと発展する。

今日我が国では、野菜や畑作物の産地作りに当たっては、もっぱら経済的・社会的条件が重視され、自然条件とくに土壤条件からみた適地適作はあまり考慮されない。しかし、土壤病害が発生しやすいかどうか、このことは長期に亘る安定生産を望むならば、断じて無視できない要素である。産地作りの段階における過ちは、いわばボタンのかけ違いであって、未来永劫に深刻な問題を抱えることにつながる。適地適作への提言、これが抑止土壤研究のいま一つの意義である。

土壤の理・化学性と土壤病害発生との関係について、大規模かつ長期間にわたる研究が行われたのは、バナナのパナマ病（フザリウム菌による）の場合である。この研究は中央アメリカの数か国を舞台として United

* 農業環境技術研究所 〒305 つくば市観音台3-1-1
土壤の物理性 第61号 p.43~47 (1990)

駒田：土壤病害の発生と土壤

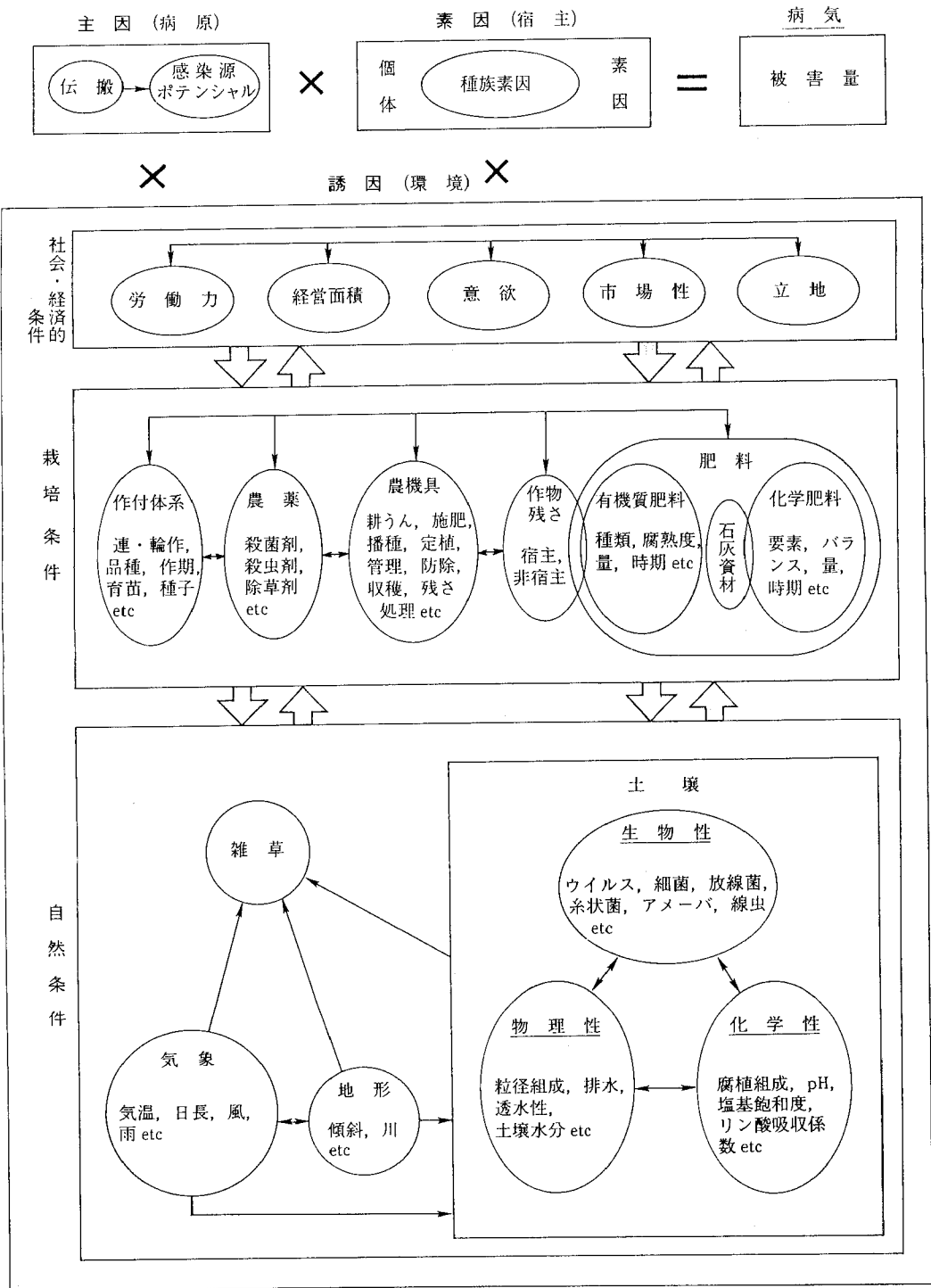


図-1 土壤病害の発生要因の相互関係

Fruit Co. に属する5人の研究者によって次々に継承されて40余年間に亘ってなされた。本病は中央アメリカにおいて、その伝搬が園によって著しい差があり、早いものでは栽植後数年以内に壊滅的打撃を受けるのに対して、遅いものでは20年以上も本病の発生をみずに収穫が続けられた。彼らの研究により、酸性で軽い砂土は Nonresistant (Shortlife) soil, アルカリ性で重い粘質土は, Resistant (Longlife) soil であり、後者はモンモリロナイトに代表される2:1型粘土鉱物を含むこと、他の粘土鉱物や粘土の総量は抑止性に何ら関係のないことが明らかになった(図2)。

その他、土壌の理・化学性と土壌病害に対する抑止性との関係について明らかにした研究は多い。

3. 土壌水分、灌・排水と土壌病害の発生

土壌水分は、病原菌の土壌中での生存や活動に直接、あるいは微生物活動を介して間接に密接な関係をもって

いる。フィトフトラ(疫病)菌、ピシウム菌、アファノマイセス菌、アブラナ科作物根こぶ病菌、土壌伝染性ウイルス病を媒介するポリミクサ菌、オルピディウム菌などは、土壌孔隙や地表の自由水中を遊泳する遊走子を形成して、それが病原菌の作物根への伝染の主な手段となる(表1)。したがって、圃場内の排水の良否が即、この種病害の発生に影響する。

圃場の排水は、しばしば大量の土砂の移動を伴う。これが直接隣接圃場へ、あるいは道路や水路を経て低い圃場へ流れ込むようなことがあると、土砂と共に各種土壌病原菌による汚染の拡大が起こる。この場合、病原菌は必ずしも上述の遊走子を形成するものに限らず、種々の耐久生存器官が宿主遺体に埋没し、あるいは土砂に混入して機械的に移動が起こる。

大型土木機械による圃場造成や、大型トラクタによる耕うん作業は、とかく下層に不透水性の圧密層を形成しやすい。これは圃場内の排水不良を招き、上記の遊走子を形成する病原菌による土壌病害の多発生をもたらす。

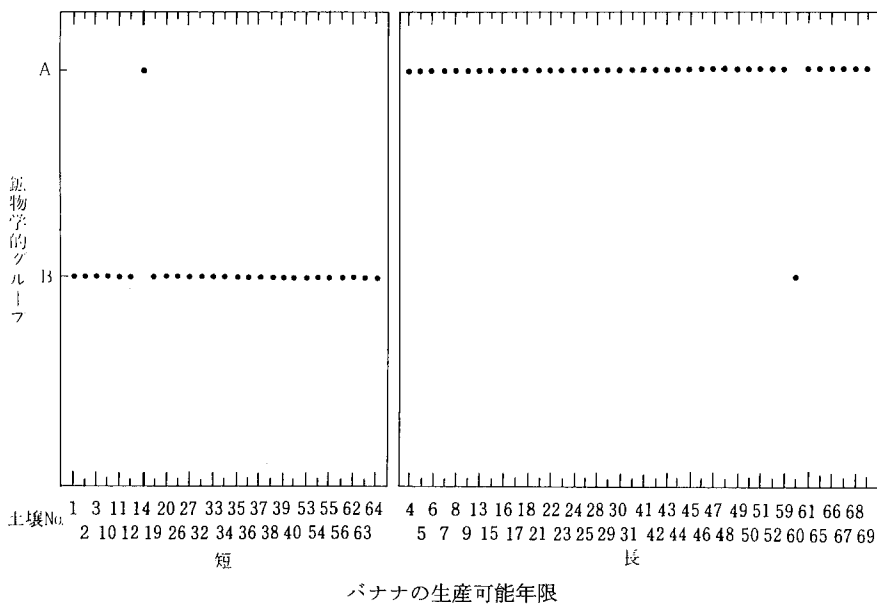


図-2 バナナの生産可能年限の長短と土壌の鉱物学的組成との関係、Aグループの土壌には2:1型粘土鉱物のモンモリロナイト型の粘土が多く含まれている(Stotzkyらによる)

表-1 主な土壤病原菌の耐久生存器官と感染源

病原菌	耐久生存器官	感染源
リゾクトニア	菌核, 厚膜化細胞	菌糸
フィトフトラ	卵胞子, 厚膜胞子	遊走子
ピシウム	卵胞子	遊走子
アフノマイセス	卵胞子	遊走子
フザリウム	厚膜胞子	厚膜胞子(発芽管)
バーティシリウム	菌核	菌核(発芽管)
コルティシウム	菌核	菌核(発芽管)
プラスモディオフォラ	休眠胞子	遊走子

4. 土壤の反応と土壤病害の発生

土壤の反応は土壤病害の発生にきわめて大きな影響を与えるが、病原菌の種類により、酸性側で発生の多い病害と中性ないし弱アルカリ性側で発生の多い病害がある。大まかにいって、細菌病や放線菌病は中性ないしアルカリ性土壤で発生が多く、糸状菌病は酸性土で発生が多い。

我が国では、酸性土壤改良の努力のかいあって、かつての札つきの酸性土地帯でも、今日、土壤pHが7以上、ときには8に近い値を示す畑も珍しくなくなった。このような全国的な土壤のアルカリ化の結果、かつては石灰岩地帯や海成砂土地帯に限って風土病的に発生をみていたジャガイモそうか病をはじめとする放線菌病が各地で発生し、しかもダイコン、テンサイ、サツマイモと宿主範囲を拡げている。その他、各種野菜の軟腐病、ナス科作物の青枯病が問題になっている。さらに、下等糸状菌によって媒介される土壤伝染性ウイルス病、例えば、テンサイそう根病、ムギ類萎縮病、ソラマメえそモザイク病、レタスピッグベイン病、メロンえそ斑点病、エンドウ茎えそ病等も、高pHの土壤条件下では発生が多い。

アブラナ科作物の根こぶ病は逆に酸性土で多発する(図3)。本病はかつては大都市近郊(もっばら人糞尿

を用いて葉菜を栽培する地帯)特有の病害であったが、強酸性の火山性土の畑地にハクサイやキャベツの大産地が形成されたのに伴って、このような地帯に汚染が拡大した。

5. 化学肥料と土壤病害の発生

近年、我が国の野菜栽培では、化学肥料の施用量が連作に伴って増加する傾向にある。それは、連作下では、施肥レベルを高めないと標準収量が得られないという理由によるが、化学肥料の多施用は塩類集積による濃度障害を引き起こし、そのこと自体、連作障害の一要因となる。その上、濃度障害による根の傷みは、土壤病原菌に対して侵入の足掛りを提供して、被害を増加させる原因となる。

特定の肥料要素の過剰など作物栄養のアンバランスが宿主作物の抵抗力を低下させて、土壤病害の発生を多くする可能性が大きい。窒素の形態(アンモニア/硝酸)もある種の土壤病害の発生と関係がある(図4)。

土壤固有の性状を改変するほどに強烈な人為的操作の一つは化学肥料である。しかし、化学肥料と土壤病害発生との関係は、一部を除き明らかではなく、今後の研究にまつところが大きい。

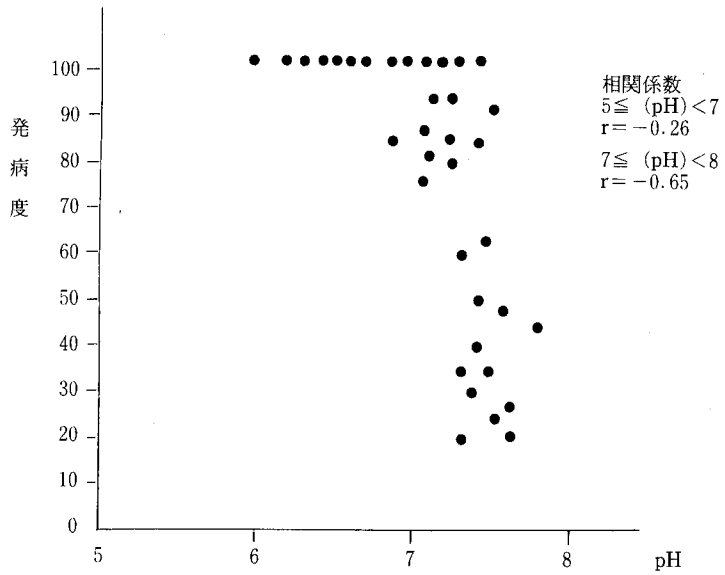


図-3 収穫時pH (5~8) と根こぶ病発病度との相関 (1980~1982年, 6作, 平沢ら)

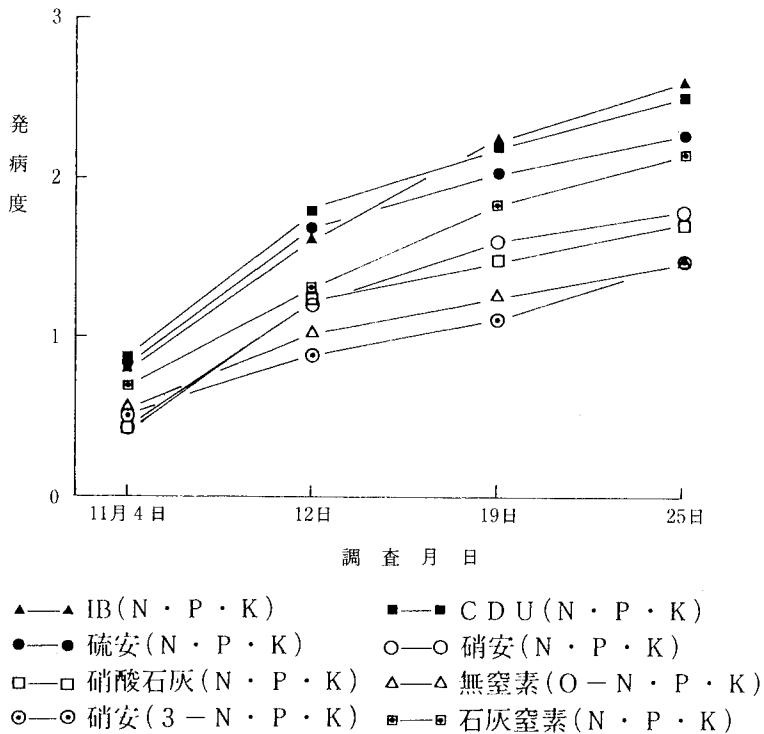


図-4 ハクサイ黄化病の発病に及ぼす施肥形態の影響 (地上部病徴) (河本ら)



土 粒 子

日本沙漠学会の設立と土壌物理研究への期待

西 村 格*

今、世界で沙漠あるいは沙漠化地域と呼ばれる場所は、約48.6百万km²有ると言われています。これは地球の全陸地面積の約33%に達し、全世界の森林面積40.9百万km²より広い面積にまで拡大されてきていると言えます。日本には鳥取や新潟などの海岸砂丘地を除くと、このような地域は殆ど無いので比較的関心の薄い問題のようですが、地球規模の環境問題の中では、この沙漠や沙漠化の問題は温暖化の問題と共に、最も重要な部分を占める分野と言えます。

しかし、乾燥地・半乾燥地・亜湿潤地と言われ、その植生がステップやサバンナ等の草原や疎林、あるいは森林等の地域では毎年約600万haに及ぶ面積の植生が無くなり、沙漠化されて行っていると言われています。さらに、このような沙漠化の危険に晒されている地域は、Hopkinsら(1983)によると39.4百万km²に達することさえ言われています。

日本沙漠学会は、このような沙漠や沙漠化地域の自然や文化に関心を持ち、限りない愛着を持って、これから学びこれを維持しあるいは拡大を防いで行こうと言う人達の集まりとして設立されました。この沙漠学会では、「沙漠」の定義を乾燥地の沙漠の問題のみならず、半乾燥地や亜湿潤地で起こっている沙漠化の問題を含めて扱う事としてあります。従って、英名は「The Japanese Association for Arid Land Studies」にしてあります。また、この学会は自然科学の人だけの集まりではなく、幅広い人文科学や社会科学の人達を含めて、広い視野から意見交換できる場として考えられています。

私達のような植生生態を専門の分野とする者は、一般に言う沙漠の問題に限定されると興味を持つ人は非常に限られてしまいます。しかし、沙漠化地域の問題を含めたこの学会にはステップやサバンナを始め熱帯林等、今後、その植生を維持しなければならない多くの地域が含まれます。当然のことながら非常に関心が有り、専門の異なる分野の多くの方々からいろいろのご意見をお聞きすることは非常に役に立つと考えています。

是非、土壌物理研究会の皆様の参加をお待ち致しております。

現在、このような地域での沙漠化の要因は、気候変動から来ている要因よりも人為的な要因から沙漠化することの多いのはご存じの通りです。私もそんなに多くの地域を知っているわけでは有りませんが、例えば、中国の内蒙古自治区では帝政ロシアの時代に多くの森林が伐採され、草原化し更にはそれが沙漠化している地域があります(写真1, 2)。また、万里の長城を築く頃、北方騎馬民族の襲来に備え森林に繰り返し火を入れ、そのために草原化し、それが現在、沙漠化している地域などがあります。沙漠化の原因を科学的に認識をする上にも地域の歴史や文化の発展と切り離せない問題が多くあります。

また、草原に生活する人達の燃料の多くは今でも家畜の糞です(写真3)。草原の利用と保護のためには常識的には物質循環系を確保し、この草原土壌での地力の維持が必要です。しかし、これらの地域ではすぐ近くに石炭の露天掘りがあるとしてもそれすらも利用出来ない現実が有り、自然科学の分野だけでは解決出来ない場面にすぐ直面します。このように沙漠化の問題の多くは国を越え、分野を越えた協力が必要な時に来ていると考えています。

写真1にハイラルの自然林である樟子松(*Pinus sylvestris*)の残存林を示しました。このような地域を伐採し、百年近く経過したのが写真2の地域です。ハイラルから満州里へ行く車窓からのものですが、遠くには砂丘が見られ、降水量(300mm/year)が少ないにもかかわらず湿生草原が混在しています。伐採された森林への回復も草原としての維持にも土壌劣化の問題を抜きには考えられない状態に来ていました。

また一方、年降水量が200mmに満たない鳥蘭花草原でも長い間、放牧されしかもその放牧家畜の糞はほとんど燃料として焼却されています。この地域では、5mmにも満たない降水量の夕立ですら大きな河が出来、ジブも走れない状態が出現しました(写真4)。ここでもやはり土壌の問題を抜きには草原植生の維持や保全是考え難いと言えるようです。このような草原では、人口増

* 農業環境技術研究所 〒305 つくば市観音台3-1-1
 沙漠学会・発起人
 土壌の物理性第61号 p.49~51 (1990)

加や定住化による過放牧のみならず過耕作が始まっています。炭素や窒素等の循環の問題の他に水循環の課題が大きいです。いずれにしても、沙漠化の問題には土壌物理を含む土壌学の研究者に期待されている問題が非常に多いのではないかと考えている次第です。

(1990. 6. 5)

入会ご希望の方は下記にご連絡下さい。

連絡先：

〒101 東京都千代田区神田駿河台 1-1
 明治大学政治経済学部研究棟808号
 日本沙漠学会 小堀 巖
 TEL: (03) 296-2137



写真1. ハイラル市郊外の砂丘地の上にある樟子松の残存林 (ホロンベール盟)



写真2. 森林は伐採され砂丘が年30mぐらい移動している草原が見えるが、こんな所にも湿地が存在する。(ホロンベール盟の草原)



写真3. 中央にあるのが燃料にするため集められた糞塊である。(シリンゴロ草原)



写真4. 夕立の僅かな雨で大河ができる年降水量150mmと言われる鳥蘭花草原

 書 評

土の100不思議

(社) 日本林業技術協会 編集・発行

1990年2月

B6版 217pp.

一般向きの土の本といえば、農家などを対象にした技術の基本を伝える主旨のものと、市民向きの教養書的色彩のものが主であろう。いずれも土壌学の体系化された知識によって、土の多様性を解説しているものが多い。

本書はその点、異質な啓蒙書である。土の100不思議という書名が示すように、土とそれに関係のある話を沢山もりこんで、その数から土の多様性を伝え、土への関心を高めようという本と思う。一つ一つの課題が見開き2頁におさめられ、めり張りのきいた達意の文が、独立した話となって語りかけてくる。引きこまれて読むうちに、人間の生活が土に支えられていることを色々と教えられ、土を大切にしたい気持ちになってくる。面白い。序文にのべられている意図が成功した本で、読者が増えるものと期待している。

一般の読者を対象にした本であるから、土の専門家にはどうかと思われがちであるが、専門家にも面白いと思う。専門家必ずしも物知りでない。知らない話も多い筈。林業から農業にかけて、土にかかわってきた若い(?)現役の研究者85人が、その専門から見た目で語る話だけに話題が今日的に豊富である。また土の優れた随筆集に接した喜びがあり、何かと勉強になる。たき火で地面の温度があがり、病原菌の胞子が発芽し、マツ林が枯れる話がある。火を手に入れた人間の罪を思ったりする。

話の面白さは意外性によることが多い。たき火で山火事になるのでは話にならない。意外性の中に土の多様性と、その魅力を画いている。微生物や虫の話になると、その社会の掟にしたがう姿に人間の営みを考えさせられる。その人間の経験を濃縮した諺の科学的解説がまた楽しい。人間の土を見る目の確かさを思う。

大島紬の染色に土を使っているという。土の鉄を活かした染色法だが、伝統技術の合理性に感服する。そのさ

い、染色にかかわるキレートを“金属を抱え込むように取り込む物質”といっている。無理して分子式を使ってみても、これ以上の説明は出来ないかも知れない。そのような表現が随所にみられるのも楽しい。

また、むづかしい話には数量と比喩がよく活かされている。粘土の働きは大きな比表面積によるが、その大きさを一握りの土の表面積が東京ドームに当ることで示しており、実感がわく。この大きな表面の活性が生命の誕生に関係しているほど重要なものであり、したがって土こそ生命の源という。土は生物によってつくられる話と逆であるが、これは土の定義によるもので、生命誕生の神秘に何がおきても不思議ではない。それよりも、土と土壌の関係を述べているところがある。これまで曖昧にしてきたもので、この際統一してみてもと思う。

自然循環系を数量的に示した話が多いが、いずれも説得力がある。熱帯多雨林は落葉の速い分解速度によって旺盛な生育を示しているという。擬人的に言えば自転車操業である。多様複雑な循環系としての安定した自然というイメージからすれば、不自然ともいえるほど体質的なひ弱さである。しかし不自然もまた自然なのである。総じて本書は自然と技術についての優れた啓蒙書である。

土についての関心は高まったが、では一体土とは何かと思う一般の読者がいるかも知れない。土そのものよりも、生態系としての土の話が多いことにもよるが、もともと本書は体系的知識よりも、土の多様な話を前面に出して成功しているもので、それを望むのは殺生。土をもっと知りたい人は、やや固い体系的な本に手をのばすことになろう。そのことを執筆者は望んでいるに違いない。執筆者と編者に敬意を表したい。

(道都短期大学・岡島秀夫)

 書 評

粘土のはなし

白水晴雄著

技報堂 1990年3月

B 6 版 184 pp. 1,339円

本書は、九州大学理学部地質学教室を1988年に退官された白水晴雄名誉教授による「粘土」に関する一般向けの著書である。全体で26話からなる。

本書には、「粘土」に関連するきわめて広範囲な話題が集められている。「粘土」は、鉱物・結晶学、地質学、土壌学などの基礎的分野を始めとして、土木工学、応用化学などで研究されている。利用の面においても、鉱工業、農業、窯業はもとより、きわめて広い分野で取り扱われている。さらに近年では、「粘土」と有機物あるいは生命体の出現との関連が宇宙科学の分野で議論されるまでにいたっている。したがって、本書の内容は、文明・生活と「粘土」の関係、「粘土」の生成環境、粘土鉱物の鉱物学的・化学的・物理学的・力学的性質の基礎的解説を始めとして、やきもの・ニューセラミックス・セメント・製鉄・製鋼・化粧品・紙製品・医薬品などにおける「粘土」の利用状況と有用性、アスベスト・鉱床探査・地すべり・地盤沈下などの「粘土」の功罪、さらに「粘土」の改良、土壌・地球環境・生命の発生における「粘土」の役割など多岐にわたる。

「粘土」は一般に、「粒子の大きさ」と「構成鉱物」との両面から定義されている。また、「粘土鉱物」は、粘土を構成する主成分鉱物とされている。本書は、主として鉱物としての「粘土」を、様々な分野あるいは産業と関連させ、ある部分では教科書的に、またある部分では今日的な話題を取り込ませながら、平易に「粘土」を解説している。

地球科学あるいは土壌生成論からみれば、「粘土」は地球表層における風化→侵食→運搬→堆積→続成の諸プロセスのいずれにも密接に関連している。そのため、こうした面からの「粘土」の研究は頻繁に行われている。また、鉱床の鉱体周辺における粘土鉱物の変化の研究、応用地質学的研究なども数多くある。しかし、他分野か

らみたととき、「粘土」の鉱物学的性質は理解しにくいという声を聞く場合がある。本書は、「粘土」の利用に話を進ませることにより、読者にとり「粘土」の鉱物あるいは結晶学的性質がかえって容易に理解できるように構成されている。また、本書の冒頭に述べられているようにどの話からでも読むことができるが、話の内容に展開があり、重複および全く異なる話題の集合といった感はない。

故 Grim の教科書^{1,3)} の出版と同時期に、日本においても粘土あるいは粘土鉱物に関する出版が行われた^{11,7,12)}。また、「粘土」の利用面に関しても同様である^{2,14)}。その後のこの分野における刊行^{13,9,4,8,10)} 状況を見ても日本では「粘土」の研究がきわめて進展しているといえることができる。こうした中で、特に最近、土に関連する一般向けの書が数多く出版されているが、鉱物学、とくに粘土鉱物学を専門とする研究者による単著の「粘土」の普及書は決して多くはない。本書には、農学に関連する話題は少ないものの、全体を通して、鉱物学を基礎とした解説が行われており、一般向けといっても著者の専門である鉱物学の豊富な研究成果が随所に述べられている。そのため、従来の類書^{5,6)} にはない知見も多く含まれていることに特色がある。

土壌物理研究者にとり、「粘土」の鉱物学的性質、物理的性質および化学的性質の研究は、最も重要な課題のひとつである。本書が、鉱物に興味をもっておられる土壌物理研究者のみならず、広く一般の土壌研究者の基礎的知識の蓄積にきわめて有効であることを評者は確信する。(表：8，図：35，写真：8)

(農水省熱帯農業研究センター・八田珠郎)

文 献

- 1) Grim, R. E., "Clay Mineralogy," McGraw-Hill (1953)
- 2) Grim, R. E., "Applied Clay Mineralogy" McGraw-Hill (1962)
- 3) Grim, R. E., "Clay Mineralogy 2nd ed." McGraw-Hill (1968)
- 4) 岩生周一他 (編), "粘土の事典" 朝倉書店 (1985)
- 5) 倉林三郎, "粘土と暮らし" 東海大学出版会 (1980)
- 6) 粘土の不思議編集委員会 (編), "粘土の不思議" (1986)
- 7) 日本粘土学会 (編), "粘土ハンドブック" 技報堂 (1967)
- 8) 日本粘土学会 (編), "粘土ハンドブック 第2版" 技報堂 (1987)
- 9) 下田 右, "粘土鉱物研究法" 創造社 (1985)
- 10) 白水晴雄, "粘土鉱物学" 朝倉書店 (1988)
- 11) 須藤俊男, "粘土鑛物" 岩波書店 (1953)
- 12) 須藤俊男, "粘土鉱物学" 岩波書店 (1974)
- 13) Sudo, T. and Shimoda, S. (eds.), "Clays and Clay Minerals of Japan" Kodansya (1978)
- 14) 末野悌六・岩生周一 (編), "粘土の利用" 朝倉書店 (1958)

総合討論

司会：岩間 秀矩（草地試），粕淵 辰昭（北農試）

【司会】

総合討論を始めます。まず駒田さんに質問のある方はお願いします。

【久保田（農環研）】

私達の土壌物理研究室でも、駒田先生に指導していただいて物理面の仕事をやりました。その中でひとつ、私たち物理屋でなければできないと思ったのは、水がポテンシャルでpF 2以下のところで根瘤病がでるといった定量的なデータが出せたことです。これは、共同研究で駒田さんの後継者の小林さんとも研究した結果です。

スライドを拝見して、非常におもしろいと思ったのは、ハクサイの発病がpH 7.5ぐらいでシャープに低下し、これより酸性側だと100%近い発病率になることです。普通、生物反応にはある条件で節目がある場合と漸変する場合があるが、この例では非常にシャープな線に変化しています。これは土壌水分でクリティカルポイントがpF 2にあることとよく似ています。pF 2以上では菌体のサイズが小さすぎて泳げないのですが、コロイド化学的な凝集分散が関係していると感じています。共同研究でそういう所を開拓できたらと思います。

最後に駒田さんの書かれた「土壌病害の発生生態と防除」という本の中に、きれいな写真と講演のエッセンスが詰まっています。この本を紹介して、コメントにかえさせていただきます。

【宮崎（東大農）】

作物の病気を見て、土壌病害かどうかの判断はつきますか。他にも病気の原因は多いと思いますが、その見分けは必ずつくものか教えて下さい。

【駒田】

それは非常に難しいと思います。発生の仕方などで端的に判断できると、病気診断のエキスパートシステム等を作るのに好都合ですが、ほとんどの場合、簡単にはまいません。かなり経験と勘による部分が多く、正確に判定するためには病原菌を分離・同定して接種するなどの手順を踏む必要があります。

【秋山（農環研）】

放線菌や細菌について話をしていただきましたが、ウイルスの病気と土壌、特に粘土との関係についての事例

があれば教えてください。

【駒田】

今日はあまり触れませんでした。土壌伝染性のウイルス病は結構あります。その中のかかりのものは、菌糸も作らないような下等なカビの仲間がベクターになって、病気を伝染させています。土壌伝染性のウイルス病は、カビによって伝染するものと線虫によって伝染するものがありますが、線虫によるものよりもカビによるものの方が種類は多くあります。例えば、ポリミキサやオーリビリウムなどのカビです。伝染のメカニズムやカビの生態は実におもしろいのですが、研究があまりなされておられません。新しく入ってきた人をたきつけているところです。

【司会】

土壌病害に関しては、久保田会長が紹介された本もありますので、われわれも学習を積んで境界領域での研究を深めていきたいと思います。

次に、清野さんは気候学的方法から植物生産力や土壌水分を推定したり、さらにそれを精密化するものとして、気象データから土壌水分の収支を推定することを提案されています。これは、土壌物理部門に対してこの推定で良いかと問い掛けられていると思います。意見をお願いします。

【塩沢（東大農）】

モデルに対する入力変数あるいは入力データはどのような項目でしょうか。気候側の要因として気温、日射、降雨量、それ以外に湿度に関するものもあるかと思いません。それと、土の側あるいは土層の側の特性を表す入力変数は何か。また、先ほど土の厚さ50 cmという話がありました。その点について教えて下さい。

【清野】

気候的生産力モデルで、入力する気象要素は温度と降水量と日射量、具体的には純放射量と雨量です。それを求める過程で、温度と日射量を使っています。つまり、気候学的植物の生産力モデルでは、土壌の種類は考えていません。したがって、土層の厚さは一切関係していません。このテキストの5ページに土壌タイプと水分温度状態の関係という図を載せていますが、非常にグローバ

ルに見れば、基本的には気候条件によってその土地の土壌のタイプが決まると考えますので、モデルのなかでは土壌の種類を考えていません。非常にグローバルな見方をしたときには、それでうまくいくと思いますが、局地的に見ますと、おそらく土壌の違いによって生産力は変わるので、ばらつきが出るだろうと思っています。

【塩 沢】

気象要素のなかで水蒸気濃度についてはどうお考えですか。

【清 野】

水蒸気濃度は使用しています。純放射量の測定値は少ないので、日射量と温度とその場所の湿度、正確に言えば水蒸気圧をいれて純放射量を推定しています。

【塩 沢】

湿度は純放射量の推定に係わるのですね。

【清 野】

そうです。

【司 会】

水落さん、今井さん、鈴木さんの講演につきましては、根の問題が相当絡んでいます。あわせて質問、意見をお願いします。

【岩田（淡大農）】

土壌物理の研究者は、水や養分の存在する場所を平均的に捉えてきました。皆さんの講演を聞くと、根圏の問題、根の周りの問題が非常に重要だと思います。そこに不均質な層が存在することをよく詰めて考えていかなければいけないと感じたわけです。そこで根圏環境について、その周囲の厚さをどの程度に考えたら良いのか、また、その部分の物質収支がどのように重要なのかを教えてください。

【鈴木（北里大獣医畜産）】

根圏の問題について、微生物のデータでよい結果を得ていますが、その測定方法は、例えば根圏とその近傍の土をふるい落として、落ちてくるのは非根圏、残っているのを根圏として調べるということをしています。そうして菌数を調べてみますと、言われていることとは逆に根圏の方が非根圏より少ないケースもあります。根圏を調べるよい実験方法を考えていかなければと痛感しています。

電顕レベルで根を観察しますと、根毛の周りを粘質物が完全に取り巻いていて、その中にたくさんの微生物が見えます。しかし、実際の測定ではせいぜいカミソリで大まかに切り取って分析するというレベルのことをしています。本当に細かいところを攻めるための方法が必要だと考えています。

【今井（熱研）】

私は根圏という話はあまり好きではなく、無駄だと思っています。しかし実際問題として、ものを栽培するときに、水の移動つまり Water Tension を測りたいと思うと、どこにテンシオメーターを設置するかという非常に大きな問題があります。根の非常に近傍の水の出入りを測定する場合、センサーを小さなものにしても、近傍になればなるほど根が巻き付いて測れません。作物と作物の間に設置すると、まったく違う水の流れを測ることになります。そういう意味の根圏という捉え方なら意味があると思います。非常に近傍の物質の出入りは、バルクがあってビスニティーというものが発現してくるわけです。その中のフローとしてのエクビリウムが変化しているわけです。

例えば、畑を作ると畝部分とそうでない所は確実に違います。畝をひとたび作ると作物を植えた部分の根の分布が、どういう肥料のやり方をするか、つまりブロードキャストイングするかバンドでやるかそれともポイントでやるかで、まったく違ってきます。そうすると根の形も変わって水の流れも変わります。人為的な栽培によって作った一つのアースフエアーというものが根圏環境であると言うことに、果して意味があるでしょうか。根圏は人為的に作ったものであり、全体的に捉えないといけないと思います。後のことは紙上で答えます。

【水 落】

根圏を固定的に何ミリなどと捉える発想はよくないと思います。土と根と植物全体との相互作用の中で、根圏は経時的にも空間的にも連続的に変化します。勝手に根圏などと定義して切る人もいますが、どういうパターンになって変化しているのかという実態を捉えることが重要です。シングルルートモデルなどを見ても、根毛は1mm ぐらいで根の太さは0.1~0.2mm ぐらいと固定しています。ところが根を引き抜いてみると、相当周囲の土に影響しているのがわかります。相互作用の実体を捉えることを、ダイナミックかつフレキシブルにやるべきだと思います。

【司 会】

さらに詳しい回答は、ぜひ紙上でお願いします。ほかにも質問、意見をどうぞ。

【石井（農研センター）】

鈴木さんに伺います。生態学的な草地造成法の提言のうち、不耕起造成のメリットについて、従来の方法と比べて維持段階におけるメリットをお話してください。

【鈴 木】

維持段階では、植物生態学の観点が非常に強く入って

くと思います。具体的には奥山の放牧地を考えておこなってますが、春先に雪が解けて追肥追播し、その後はまったく家畜放牧だけとなります。したがって、経費的には通常のものほとんど変わらないと思います。ただし、効率性を考えた時には、放牧技術、特に掃除刈りとして、放牧の後の機械刈り取りの可否が問題になります。機械刈り取りは、トラクターが入るということですが、ネックになるのは根株とちょっとした部分的な凹凸です。まだ実験はやっていませんが、根株がないということでトラクターが自由に動けますので、経費的には従来の経費と変わらないと思います。根株が残ったままですと食い残しなどの掃除ができず、段々と荒れて野草が勝ってくることを考えますと、同じ経費でも効果が高いと考えています。

【宮崎】

水落さんに質問します。作物の側に立ってストレスを述べられましたが、果樹はストレスが少しかかっているほうが糖度が高いとか、品質に影響があると理解しています。作物一般あるいは穀物に関して、多少のストレスがあるのが良いのか、あらゆるストレスは除く方向に技術を発展させた方が良いのか、基本的な考え方を教えてください。

【水落】

農業はストレスの有効利用をやってきましたが、除いたほうが良い場合は除けばよいと思います。例えば、麦の場合、ヨーロッパなどのマイルドな気象条件で栽培する時は、秋の窒素濃度が高くても冬を越して多収になります。ところが、ヨーロッパの栄養診断基準を北海道に適用しますと、窒素濃度が高すぎて組織が軟弱になり、寒さのストレスには耐えられません。ですから、次に予測されるストレスに耐えるために、あらかじめ別のストレスで耐性を作っておく必要があります。麦では秋のうちに窒素を切らして炭水化物を詰め込んだ状態で、冬を迎える必要があります。人間が作物を利用する場合は、もっとストレスの有効利用を考えるべきです。特に品質に関しては、ただ大きくするのではなく、中身を考えてストレスをもっと利用できると思います。それからスト

レスに関して、今井さんの講演で興味を持ったのは、根を分業させた場合についてです。圃場で根全体にストレスをかけると作物は死にますが、非常にpHが低くてECも高いというストレスを根の一部にかけると、そういう所でも根が積極的に活動して窒素やリン酸を吸収します。ですから、もっとヘテロな系での根の働きを捉え直す必要があると考えます。

【今井】

マキシムイントライアルを目標にした研究を過去10年間おこなってきました。現在では、この言葉の上にエコノミックという単語が必ず付いています。パッチ水耕法や流動水耕法は、非常に根の個体量が大きくなります。ここで最も問題になるのは、根自体を支えるエネルギーロスが極めて大きいことです。すなわち、Reproductive Organを作ることよりも、個体を支えることに利用されるエネルギーの割合が相対的に多くなります。我々の最終的な目的は、ストレスをかけることの有無ではなく、Reproductiveを要求にあった形で作ることです。トマトを例にしますと、塩分をかなり含んでいる土壌で乾燥のストレスを強くかけると糖度が確実に高まります。台湾では収穫する前に等張液で塩水栽培をして糖度を高めています。自然の形というのは、我々がストレスをかけない状態で作物をジャッジメントしていることです。これは、かえって異常な形なのだということを感じますし、そろそろ見直すべきだと思います。

【司会】

時間がまいりました。残念ですがこれで終わらせていただきます。非常に興味ある話題を提供していただいた演者の方に、拍手でお礼をしたいと思います。どうもありがとうございます。

【久保田】

長時間熱のこもった講演と討論で大変収穫の多い一日だったと思います。5人の演者には、心から御礼申し上げます。司会の粕渕さん、岩間さん、非常に要領よく上手にまとめて下さりましてありがとうございました。これで終わりにしたいと思います。

会務報告

諸会議開催経過 (1990. 1. 1~ 6. 30)

1. 事務局会議 (1990. 3. 29, 農環研)

- 1) 第32回シンポジウムについて
- 2) I C S S に関連した研究会等の開催について
- 3) 会誌の編集・発行状況
- 4) その他

2. 1989年度第1回評議員会(1990. 4. 3, 千葉大園芸学部)

[出席者] 久保田, 岩田, 多田, 中野, 宮崎, 岩間 (以上評議員), 軽部, 日笠, 遅沢, 中司, 石黒, 加藤 (以上事務局)

- 1) 第32回シンポジウムについて
- 2) 編集委員会報告
- 3) 入退会者の承認・報告
- 4) I C S S に関連した研究会等の開催について
第14回国際土壌科学会議参加のために来日する研究者によるセミナーを、会議開催前に東京またはつくばで開催することが承認された。
- 5) 日本学術会議第15期(1991. 7. 22~) 会員の選出にかかわる学術研究団体登録について
- 6) その他

1990年5月に予定されていたJ. P. Quirk 博士 (アデレード大) による講演会は来日が延期されたことにより延期とすることが了承された。

3. 編集委員会 (1990. 5. 14, 農研センター)

- 1) 会誌第61号投稿論文の審査結果について
- 2) 会誌第62号の編集について

会員の動向

1. 新入会員(1989. 11. 1~1990. 3. 31)

氏名	種別	連絡先
真行寺 孝	正	289-16 千葉県山武郡芝山町小池1338 (自宅)
中井 信	正	305 つくば市大わし1-2 熱帯農業研究センター
藤岡 澄行	正	305 つくば市千現2-1-6 研究支援センターA-23 日本植生つくば研究所
山崎 稔	正	606 京都市左京区北白川追分町

松元 順	正	京都大学農学部農業工学科 897-03鹿児島県川辺郡知覧町永里3964 鹿児島県茶業試験場
後田 経雄	正	856-01 大村市鬼橋町1370 長崎県果樹試験場
鈴木 創三	正	034 十和田市三本木前谷地149-2 北里大学獣医学産学部
清野 豁	正	305 つくば市観音台3-1-1 農環研気象管理科
福本 昌人	正	004 札幌市豊平区羊ヶ丘1 北海道農業試験場
後藤 隆志	正	331 大宮市日進町1-40-2 生物系特定産業研究推進機構
中辻 敏朗	正	098-57 北海道枝幸郡浜頓別町緑ヶ丘 北海道立天北農業試験場
伊藤 正夫	正	114 東京都北区西ヶ原1-26-3 農業技術会館 (財) 肥料科学研究所
杉本 英夫	学生	300-03 茨城県稲敷郡阿見町阿見3998 茨城大学大学院農学研究科
三原真智人	学生	183 府中市浅間町4-6-2 コーポフレンド 202号 (自宅)
国立公害研究所図書課	購読	305 つくば市小野川16-2

2. 住所変更 (1990. 3. 1~ 6. 30)

氏名	旧	新しい連絡先
須藤 清次	海外	300 土浦市中高津2-14-30(自宅)
山内 豊隆	福岡	813 福岡市東区松香台2-3-1 九州産業大学工学部土木工学科
石井 和夫	茨城	103 東京都中央区日本橋室町4-6-2 日本合同肥料開発技術部
越野 正義	茨城	004 札幌市豊平区羊ヶ丘1 北海道農試
仲谷 紀男	茨城	943-01 上越市稲田1-2-1 北陸農試
大塚 紘雄	茨城	004 札幌市豊平区羊ヶ丘1 北海道農試
谷山 一郎	茨城	305 つくば市観音台3-1-1 農業研究センター
坂西 研二	茨城	305 つくば市観音台3-1-1 農環研
秋山 豊	茨城	305 つくば市観音台3-1-1 農業研究

土壌の物理性第61号 (1990)

		センター				上阿波264(自宅)	
有村 玄洋	宮 崎	880	宮崎市東大宮4-19-6 (自宅)	山下 恒雄	茨 城	765	善通寺市生野町2575 四国農試
林 宏一	長 野	399-41	駒ヶ根市赤穂7322 (自宅)				地域基盤研究部
高畑 滋	栃 木	004	札幌市豊平区月寒2条19-11-4 (自宅)	伊沢 敏彦	東 京	020-01	盛岡市下厨川赤平4 東北農試
前田 要	北海道	069-13	夕張郡長沼町東6線北15道立中央農試	安富 六郎	茨 城	183	府中市幸町3-5-8 東京農工大学農学部
菊地 晃二	北海道	069-13	夕張郡長沼町東6線北15道立中央農試	大垣 昭一	北海道	060	札幌市中央区北4条西4丁目1日本フェロー(株)札幌営業所
谷口 真人	茨 城	630	奈良市高畑町 奈良教育大学教育学部地学教室	小沢 聖	東 京	020-01	盛岡市下厨川赤平4 東北農試
鹿内 武次	青 森	038-31	西津軽郡木造町若宮9-1 西土地改良事務所	前川 俊清	京 都	727	広島県庄原市三日市町20-17-1-301(自宅)
松行 輝夫	宮 崎	880	宮崎市生目台東1-33-11(自宅)	山本 克己	広 島	329-27	栃木県那須郡西那須野町千本松768 草地試験場
穴瀬 真	東 京	156	東京都世田谷区桜丘1-1-1 東京農業大学総合研究所	虎谷 博一	大 阪	593	堺市新家町174-16 大阪府立大学附属研究所
角 博	佐 賀	840-23	佐賀郡川副町南里 佐賀県農試				
岩本 保典	大 分	872-01	宇佐市北宇佐65 大分県農業技術センター	3. 退会会員(1989. 11. 1~1990. 3. 31)32名 (正会員32名)			
児玉 行博	三 重	518-15	阿山郡大山田村				

(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 (1989・7・26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付け、原文1部、コピー2部の計3部を送付する。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
「土壌物理研究会編集幹事」

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ーエル、1ーイチ、1ーアイ、 x^2 、 Na_2CO_3 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。
- 23) 原稿に使用する年号は全て西暦に統一する。但し、引用文献等でタイトルの中に元号が入っている場合は変更する必要はない。

土壌物理研究会編集幹事

〒305 茨城県つくば市観音台2-1-2

農業工学研究所 水田用排水整備研究室

石 黒 宗 秀

電話 0298-38-7642

〒305 茨城県つくば市観音台3-1-1

農業研究センター 土壌改良研究室

中 司 啓 二

電話 0298-38-8826

— 編 集 後 記 —

本号は、シンポジウム特集です。シンポジウムでは、講演者の方々に、作物や微生物の側から土壌の物理性を捉え直すと、また異なった見方が出来るものだと感心させられました。

さて、本号がお手元に届く頃には、京都で開かれる国際土壌科学会議が、間近に迫っていることと思います。同じ“土壌”を対象にしていましても、世界の“土壌”

は多様であります。また、研究活動は、それぞれの異なった文化や社会状況の上に成り立っております。結果としての研究発表だけでなく、研究者の生態を知ることによって、研究に対する新たな見方が出来るかも知れません？

(石黒宗秀)

正 誤 表

報文：カサグランデの塑性図におけるA線に関する一考察

著者：甲本達也

土壌の物理性 第60号 p. 2～5 (1990)

訂正箇所	誤	正
2 ページ 6 行目	KOMOTO	KOUMOTO
5 ページ下から5 行目	$W_p = 0.30 W_L$	$W_p = 0.30 W_L$
下から4 行目	$W_p = 69.8$	$W_p = 69.8$
下から1 行目	$I_p = 0.70$	$I_p = 0.70$

ここに記してお詫び申し上げます。

— 土壌物理研究会 —

事務局構成	会 長	久保田 徹 (農環研)
	副 会 長	軽部重太郎 (茨城大)
	会計幹事	日笠 重喜, 遅沢 省子 (農環研)
	庶務幹事	加藤 英孝 (農環研)
編集委員会	編集幹事	石黒 宗秀 (農工研), 中司 啓二 (農研セ)
	委 員 長	石井 和夫 (農研セ)
	委 員	安西 徹郎 (千葉農試), 足立一日出 (農工研), 河野 英一 (日大), 谷山 一郎 (農環研), 長谷川周一 (農環研)

発行 土壌物理研究会 (〒305) 茨城県つくば市観音台3-1-1 農業環境技術研究所 土壌管理科
 TEL 02975-6-8257 振替口座 東京5-17794
 銀行口座 関東銀行谷田部支店. 口座番号(普通預金) 030205
 印刷 ニッセイエプロ㈱ 〒305 茨城県つくば市吾妻3-13-11
 TEL 0298-51-7652 (代) FAX 0298-51-8238



Soil Physical Conditions and Plant Growth, Japan

No.61

August 1990

Contents

Foreword	N. NAGATA	1
Symposium		
Crop Plant Life and "Physical Fertility" of Soils on Upland Fields	T. MIZUOCHI	3
Soil Physics in Climatological Model of Plant Productivity		
—A Climatological Estimation of Soil Water Content—	H. SEINO	11
Development of Nonairation and Noncirculating Hydroponics	H. IMAI	19
Biological Factors involved in the Formation of Soils in Established Grasslands		
—A Suggestion of Ecological Method of Grassland Establishment—		
.....	S. SUZUKI, H. KOBAYASHI	31
Soilborne Diseases, Its Relation to Nature and Properties of Soils	H. KOMADA	43
Reader's Column	N. NISHIMURA	49
Book review		
.....	H. OKAJIMA	52
.....	T. HATTA	53
Announcement		62

Research Association of Soil Physics, Japan
c/o Division of Soil Science, National Institute
of Agro-Environmental Sciences
Kannondai 3-1-1, Tsukuba, Ibaraki, 305, Japan
President Toru KUBOTA