

第 29 回

土壤物理研究会シンポジウム

「農地における物理性制御と作物反応」

講 演 要 旨

昭和62年10月16日(金)  
於：東京大学農学部

土 壤 物 理 研 究 会

## 第29回 土壌物理研究会シンポジウム

開会	9:30
会長挨拶	9:30～9:40
講演	
1. 低温期における施設野菜の生育異常と水管理	9:40～10:30
荒木陽一（野菜・茶業試験場）	
2. 水稻の異常穂発生と土壌の物理性	10:30～11:20
相崎万裕美（埼玉県農業試験場）	
3. 大豆根の伸長および根粒活性と土壌水分	11:20～12:10
桑原真人（農業研究センター）	
昼食	12:10～13:00
総会	13:00～13:30
講演	
4. 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—	13:30～14:20
永石義隆（四国農業試験場）	
5. 土壌管理用水について	14:20～15:10
三野徹（岡山大学農学部）	
休憩	15:10～15:20
総合討論	15:20～16:30
閉会	16:30

座長：久保田 徹、渡辺 春朗、石田 朋靖

### 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。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。これは光合成を抑制するため低収量、低品質の原因となる。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り、特に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. 施設栽培における水管理の持つ意義

ところで、果菜類の中で最も茎葉の過繁茂を引き起こしやすい野菜はトマトである。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、若苗定植ならびに日照不足等があげられている。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、補光等が考えられるが、環境調節から見た場合、トマトの定植直後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ことが報告されている。しかし、両者の作用特性は異なり、低夜温は茎葉の器官分化とともに各器官の生長における初速の大きさに対して強い抑制効果を示すのに対し、水分ストレスは器官分化に対する影響は小さいが各器官の生長における加速度の大きさに対して強い抑制効果を示すと言われている。トマト定植直後の生育制御を考えた場合、株全体の生育を遅延させることなく、現在伸長しつつある茎葉の伸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、トマト定植直後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。

### 3. 施設野菜の水管理に対する最近の考え方

施設野菜に対してかん水を行う場合には、かん水開始点とともに1回のかん水量をも考慮する必要がある。この内、かん水開始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。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。ところで、野菜の体内水分をかん水開始の指標にしようとする試みはこれまでもあった。しかし、従来の体内水分測定法が時間を要する割りに精度が低く、また圃場で簡便に使用できなかったことから、実現までには至らなかった。しかし、Sholanderらによって紹介されたプレッシャーチャンパー法は、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回のかん水量の決定についてはこれまでは明確な基準というものはなく、従来のかん水試験はかん水量の試験というより、結果として栽培土層深の試験になっている例が多い。そこでまずかん水対象土層深を決定し、かん水から次のかん水までの間に消費され

る水量をかん水すれば、栽培土層深を一定に保つことが可能と考えられる。以上のような観点に立って、促成トマト栽培におけるかん水開始点とかん水対象土層深について検討した。

#### 4. 体内水分状態を指標としたかん水試験

促成栽培（接ぎ木、6段どり）において定植から果実肥大開始までを生育前期、それ以降を生育後期として、各時期におけるかん水開始点とかん水対象土層深について検討した。まず全生育期間を通してかん水対象土層深を40cm、生育後期のかん水開始点を葉の水ポテンシャルで-5barとして、生育前期のかん水開始点について検討した。生育前期のかん水開始点を-5bar、-10bar、-15barおよび-20barとしたところ、草丈、葉面積、乾物重ならびに総収量はかん水開始点が高いほど増大した。しかし、良果収量は-10barの時が最大であった。次に、生育前期のかん水開始点を-20bar、生育後期のかん水開始点ならびにかん水対象土層深をそれぞれ-5barおよび40cmとして、生育前期のかん水対象土層深について検討した。生育前期のかん水対象土層深を40cm、20cmおよび10cmとしたところ、草丈、葉面積、乾物重、総収量ならびに良果収量ともかん水対象土層深が深くなるほど増加した。生育後期のかん水開始点については、生育前期のかん水開始点を-10bar、全生育期間のかん水対象土層深を40cmとして検討した。生育後期のかん水開始点を-5bar、-10bar及び-15barとしたところ、草丈、葉面積、乾物重、総収量ならびに良果収量はかん水開始点が高いほど増大した。一方生育後期のかん水対象土層深については、生育前期を無かん水、生育後期のかん水開始点を-5barとして検討した。生育後期のかん水対象土層深を40cm、20cmおよび10cmとしたところ、草丈、葉面積、乾物重、総収量ならびに良果収量ともかん水対象土層深が深いほど増大した。

#### 5. 試験結果に対する考察

以上の4試験の結果、促成トマト栽培では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ということが明らかとなった。これは生育前期の節水管理が茎葉の過繁茂を抑え、生育後期の多かん水が果実の肥大を促進した結果と考えられる。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-5bar、かん水対象土層深が40cmと考えられた。

#### 6. 残された問題点

施設栽培においては野菜の生育を希望する草姿へと導き、良品質・多収量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方法について報告したが、体内水分の測定は現在のところ破壊的な方法しかない。しかし、かん水を自動化するには非破壊で連続的に体内水分を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。ところで、トマト栽培用の温室は大部分地下水水位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不可能である。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機、除湿機、CO<sub>2</sub>施用機等地上部環境条件を調節する設備・装置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調節・改善にも積極的に投資される必要があると考える。

# 大里村における水稲の異常穂発生と土壌の物理性

相崎 万裕美・日高 伸・細谷 毅 (埼玉農試)

## はじめに

昭和53年頃から、大里村津田地区を中心に水稲の奇形穂、不稔現象が発生した。埼玉農試では農事試(現農研センター)と協力して、原因究明にあたり、合同調査を行った結果、ウィルス、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<sup>1)</sup>。症状は穂に顕著に現れ、枝梗の退化、えい花数の減少、正常な穂はで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<sup>2)</sup>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、大里村津田地区のように長年水田として利用していた圃場で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せで発生すると推定された。埼玉農試では、昭和59年に異常生育の防止対策を示した<sup>3)</sup>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要因が明らかにされたので報告する。

## 1 発生地域の概況

大里村津田地区は、東を荒川、南を和田吉野川が流れており、荒川の氾濫による水積土である。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。

本地域の土壌条件は、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。

## 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、特に7月1日～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°C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えい花分化期から減数分化期まで、長期間継続していると考えられるが、とくに田植後20～30日の、気温が高い年に多い傾向が認められた。

異常穂常発地帯である大里村の土壌は、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早く、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)、倍量すき込み(1.0)t

(乾物重 343kg)を組み合わせて、品種むさしこがねを6月25日に移植した。その結果、普通耕・変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・変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。

### 3 異常穂発生土壌の物理性

異常穂発生下の土壌断面はA層、B層に分けられる。A層は地表より16cm、作土層の $A_{p1}$ は0~9cm(平均作土深11.5cm)、作土グライ層の $A_{p2}$ は9~14cm、すき床層の $A_{1-2}$ は14~16cmでグライ化していた。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変稈が多く、その直下にはち密なすき床層の存在が認められた。発生分布とすき床層の厚さ、グライ層の厚さの分布は比較的一致した。異常株直下のすき床層の硬度は、14~15.5kg/cm<sup>2</sup>(正常株7~9kg/cm<sup>2</sup>)、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。

土性は作土層が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。下層はで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42.2%と非常に高い値を示した。作土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は、異常穂発生田の土壌は不規則ながらいずれのpH域でも高い分散率を示した。同じ土壌統群に属する農試土壌とは異なった分散率を示した。

収縮性については、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、異常穂発生田は夏期に地下水位が高く透水不良であり、その土壌には分散性が高く、収縮性の小さい、構造の発達しにくい特徴がみられた。従って、還元条件下で生成した物質の拡散移動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。

- 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・松下光夫・木下東三：畑地転換水田における水稻の異常生育に関する研究, 中国農業試験場報告, A12 p. 43~55, p. 57~92(1966)
- 3) 埼玉農試：作物部試験成績書 p. 16~21(1984)

## 1. 根系分布と土壤水分

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、あるいは不足が生育・収量面で問題となる地域・土壤が非常に多い。日本においては、1986年に作付面積の63%が水田転換畑で栽培されており、ここでは多かれ少なかれ、過湿あるいは干魃の危険にさらされている。

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。初期に過湿の場合、根系は表層に分布し、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り、水の供給が制限されない場所では、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。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している(柴田ら, 1976)。土壤により異なるが、一般的に言って、地下水位は50cm以下が望ましいとされている。

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)は熟期の違いにより耐性が異なり、晩成品種のほうが早生の品種よりも耐性が強いとしている。しかし、ストレスのかかる時期が収量を構成する形質のどこに影響するかによって、収量に与える影響は異なるため、収量だけで強い品種を特定することは難しい。

耐湿性にも品種間差が認められる。北海道中央農試の結果によると、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。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。

## 2. 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。しかし、この問題についての報告は少ない。

根粒は過湿な土壤条件では着生しない。根粒活性(アセチレン還元活性=ARA)は土壤条件が過湿でも過乾でも低下する。Bennettら(1984)の試験によると、湛水処理によりARAは低下する。いっぽう、土壤が乾燥し根粒の水分が低下すると、ARAは急速に低下したが、再給水により急速に回復した。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ARA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。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きいと結論している。Weiszら(1985)は次のように報告している。根系の乾燥状態が長引くと、水

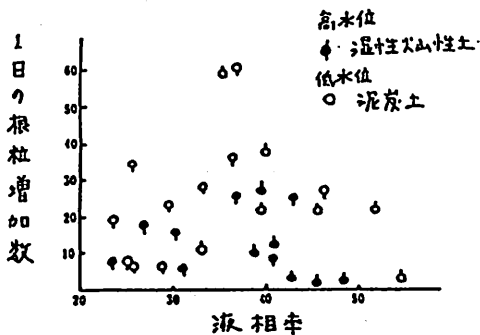
分ストレスは根粒の表面積が減少することにより、根粒のガス透過性を減少させる。根粒の単位表面積当たりのARAは根粒のガス透過性と高い相関をもつ。そのため、圃場状態では土壤水分がストレス状態でも良好な状態でも、根粒中への酸素の拡散が窒素固定速度を制御する最も大きな要因である。

### 3. 根および根粒の発達におよぼす土壤水分

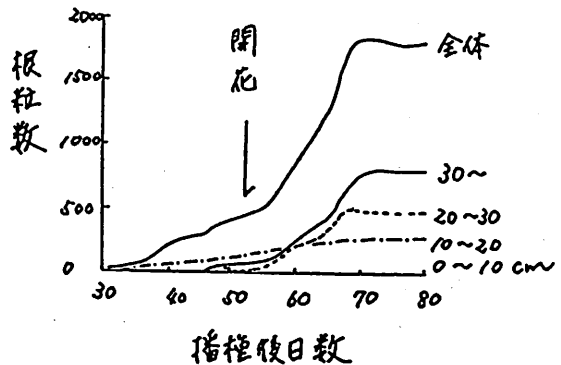
著者らはリゾトロンに設置した根箱を用いて、大豆根系の発達と根粒の着生分布に対する、土壤水分の影響について検討した。土壤は湿性黒色火山性土（以下火山性土）と低位泥炭土（酸性褐色森林土を6 m<sup>3</sup>客土、以下泥炭土）を用いた。土壤水分は根箱内の水位を地表面から35cm（高水位）および55cm（低水位）に保つことにより調節した。

層別別の根重をみると表層で多く、下層にいくほど減少するが、火山性土では急激に減少するのに対し、泥炭土での減少程度は少ない。根粒の着生は火山性土の場合表層に多く、下層になると急減する。いっぽう、泥炭土では下層にまで広く分布し、いずれの水位でも水面の10~20cm上部での着生が最も多い。

根粒は過湿な層では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は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。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。



1日あたり根粒増加数と液相率の関係



根粒数の層別経時推移  
(泥炭低水位)

### 文 献

- Bennet, J.M. et.al(1984), Agron.J. 76,735-740  
 Mederski, H.J. et.al(1973), In B.E.Caldwell, ed, Soybeans: Improvement, Production, and Uses, 239-266  
 柴田悖次ほか(1976), 東北農業研究 18, 104-107  
 Sprent, J.I.(1971), Plant and Soil, Special Vol.225-228  
 Sprent, J.I.(1976), In T.T.Kozlowski, ed, Water Deficits and Plant Growth, Vol.IV. 291-315, Academic Press, New York  
 Velsz, P.R. et.al(1985), Agron.J. 78, 525-530



# 畑作物生育のための地下水位制御

## 一 傾斜地輪換畑の地下水位制御の事例一

永石 義隆 (四国農業試験場)

### 1 はじめに

米の生産過剰により水田を畑へ転換する方法がとられ、水田を汎用的に使うことが求められている。水田はもとより水をためて使うように造られており、畑に使用する場合には排水条件を整備してやる必要がある。したがって、汎用化水田は水稲栽培時には湛水がでべき、畑作時には排水がでさるような圃場条件の整備が必要となる。

ここで紹介する事例は傾斜地で伏流水が湧出する輪換畑で、暗渠を利用して地下水位を制御し、キュウリの栽培を行ったものである。この事例をもとに、畑作物生育のための地下水位制御について考察する。

### 2 圃場の地下水位

地下水位とは、土壌中に現われる水面が大気圧に等しい場合をいうが、一般に排水不良圃場の地下水位は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込んだ水が下層へわけないで、不透層上に滞留して水面を形成するものが多い。本事例でも、伏流地下水が圃場面に湧出し、圃場面に滞留して排水不良となっている。

このような排水不良圃場は粘質な土壌からなり、地下水位をある一定の深さに制御することは不可能な場合が多い。そこで、地下水位は畑作物の生育に悪影響を及ぼさない範囲で圃場の浅い層を対象に制御する方が現実的であろう。その一方法として、土層改良を組込んだ暗渠施設、いわゆる組合わせ暗渠によって行われている。

### 3 地下水位制御の特徴

本事例で採用した地下水位制御は上流から圃場へ湧出する伏流水を山側の暗渠によって捕水し、捕水した水を2本の圃場内暗渠によって土層内に誘導し、排水口に設置した地下水位調節水甲によって行った(図-1)。この方法は次のような特徴がある。

- ① 一般の暗渠では、排出口からでる水は排水路に捨てられるが、本方式では排水を再利用することができる。したがって、水資源の有効利用につながる。
- ② 地下水位を浅く保持することによって地下から水分補給を行うため、灌水回数及び灌水量が少なくて済み、灌水の省力化が図られる。
- ③ 地下水位制御は簡単な暗渠水甲により自由にでき、自動化も可能である。
- ④ 農業用ため池の多い所では、ため池からの漏水を利用して地下水位を制御することができる。

### 4 地下水位制御の効果

- (1) キュウリ栽培期間中の地下水位

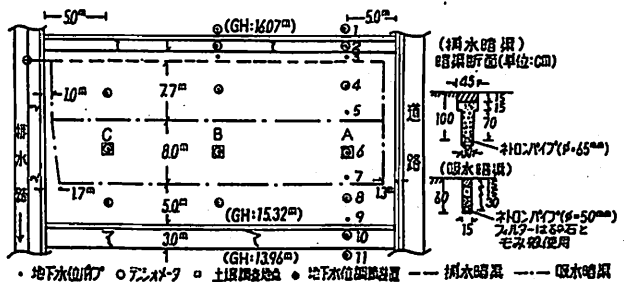


図-1 試験圃場平面図

圃場内の地下水位は土層改良による土壌  
 亀裂の作成を前提にして十分調節が可能で  
 ある(図-2)。

(2) キュウリ栽培期間中の土壌水分

土壌水分は土層改良前は右側、あるいは  
 排水路の方向へ少なくなったが、土層改  
 良後は圃場全体が均一化される(図-3)。

(3) キュウリの収量は標準収量と比べて  
 1.24~1.63倍の範囲で増収し、畑作物の  
 生育・収量の上からも本技術の有効性が実  
 証された。

5 畑作物生育のための地下水位制御

畑作物が圃場において正常に生育するた  
 めには土壌の好適な物理性を確保し、作物  
 の要求する養分を適正に供給しなければな  
 らない。圃場の地下水位制御はそれらの条  
 件を好適に保持するための必要条件であり  
 次のような方法が考えられる。

(1) 本事例の場合

地下水位は圃場面下30cmにはほぼ一定に制  
 御し、ビニルマルチ、畦間灌水という条件  
 で栽培した。したがって、土壌面蒸発は約  
 半分となり、水分は畦間と地下から供給される。

(2) 灌水による制御

メロンの上床栽培、あるいは隔離床栽培にけられるように、地表から灌水するだけで作  
 物の物理性を好条件に調節し、土壌中に養分を供給する。この場合は地下水位は考える必  
 要がなく、作土の容積も極めて少量ですむ。この状態での栽培条件は露地栽培には応用で  
 きないと考えられる。

(3) 地下水位一定制御

畑作物の収量と地下水位の関係を試験する場合は殆んど地下水位は一定深さで行われる。  
 作物の好適地下水位の最低値をみると、サトイモの20cmから夏まこら条オオムギの85cmと  
 なっており、大半の作物は30~60cmの範囲である。このことから、圃場の地下水位は土壌  
 の種類によって異なるが、地表面下60cmに制御できれば、大ていの畑作物は栽培可能であ  
 り、汎用水田ではそのような条件を備えた圃場整備が必要となる。

参考文献

- 1) 幸田浩俊：野菜類と普通作物による低湿地帯の田畑輪換栽培に関する研究、茨城農試  
 報告、22、25~63(1993)、2) 永石・原口：暗渠を利用した傾斜地輪換畑の地下水位  
 制御について、農土誌、54(10)、51~56(1986)

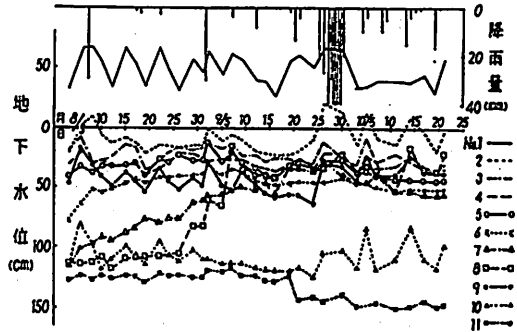


図-2 地下水位の経時変化(1983年度：傾斜  
 方向)

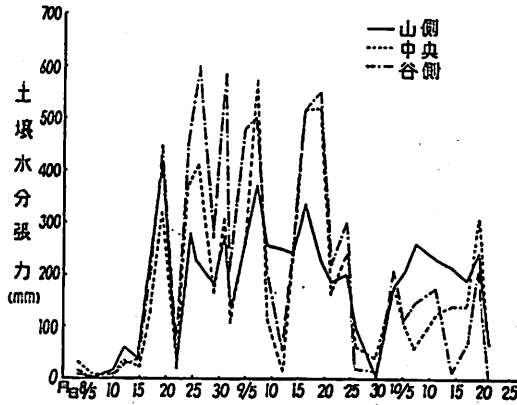


図-3 傾斜方向の土壌水分の経時変化(1983年測  
 定：深さ10cm)

# 土壤管理用水について

三野 徹 (岡山大学農学部)

土壤管理用水や除塩用水は、現在のところ、土地改良事業計画設計基準では必ずしも認知されているとは言えない。しかしながら、実態的にはその必要性が認められてきており、今後、用水計画上で極めて重要な意味を持つと考えられる。土壤管理用水は、これまでの畑地用水計画の体系とは全く異なる理論的基礎を持つ。ここでは、干拓地における除塩用水を中心に、土壤管理のために必要な用水量の決定理論について検討を加える。

## 1. 土壤中の可溶成分の移動と吸着平衡

a. 吸着平衡：1価と2価のカチオンの共存状況下において、土粒子への吸着平衡は、例えば次のガボン式として知られる経験式によって表わすことができる<sup>1)</sup>。

$$(1-N)/N = K \cdot \sqrt{2C(1-f)} / f \dots \dots \dots (1)$$

ここで、N：2価イオンの吸着比、f：2価イオンの濃度比、K：ガボン定数、C：溶液濃度。この式によって求められる濃度比(f)と吸着比(N)との関係から分かるように、吸着平衡関係は濃度に依存する極めて強い非線形特性を示す。

b. 溶液によるイオンの輸送と吸着組成の変化：イオンの輸送は、土壤水の移動によって運ばれる対流輸送と、イオンの熱運動による拡散輸送に分けられる。

$$J = C \cdot q - D \cdot \nabla C \dots \dots \dots (2)$$

ここで、J：イオン輸送フラックス、q：土壤水分フラックス、D：拡散係数。一般に、土壤水の移動が少しでもあると、拡散輸送は対流輸送に対してその寄与の割合は小さいといわれる<sup>2)</sup>。

吸着イオン量を $\rho \cdot Q$  ( $\rho$ ：土壤の乾燥密度)、間隙内のイオン量を $\theta \cdot C$  ( $\theta$ ：間隙率)とすると、イオン保存式は次のようになる。

$$\partial(\rho \cdot Q + \theta \cdot C) / \partial t + \nabla J = 0 \dots \dots \dots (3)$$

深さ(z)方向の1次元輸送問題を考え、拡散項を無視すると、次のようになる。

$$\partial(\rho \cdot Q + \theta \cdot C) / \partial t + q \cdot \partial C / \partial z = 0 \dots \dots \dots (4)$$

この式は、次のような2つの連立常微分方程式に分解される。

$$(\rho dQ/dC + \theta) / q = dt/dx \dots \dots \dots (5)$$

$$(dt/dx) \cdot (\partial C / \partial x) + \partial C / \partial x = dC/dx = 0 \dots \dots (6)$$

( $dQ/dC$ )は吸着平衡曲線の勾配である。Na粘土をCaで置換する場合には( $dQ/dC$ )は濃度(C)が大きくなるほど大きな値を取る。

c. 交換フロントの進行特性：(6)式から分かるようにCが一定の点は時間の経過と共に、(5)式で表される一定の速度で進行する。その速度は(5)式からわかるようにNa粘土をCaで置換する場合には、濃度(C)が高いほど速く進行する。すなわち交換前線は階段状の形となる(積極的交換)。一方、Ca粘土のNaによる置換では、交換前線の勾配は進行距離に比例して急となる(消極的交換)<sup>3)</sup>。ちなみにアニオンは吸着されないから、(5)式より $dx/dt = q/\theta$ となり、間隙内の真流速と共に移動する。

d. Caイオンの吸着交換の段階：上部にCaイオンを混合したNa粘土について、上述した式から、交換前線の進行状況を求めると、イオンの種類によって前線の進行は大きく異なっており、土壤カラムによってイオンがふるい分けられ、下部からは特徴的なイオン組成を持つ浸出液が流出する。これらはいくつかの段階にまとめることが出来る<sup>4)</sup>。

1) G. H. Bolt(訳岩田他)、土壤の化学 pp.72-73 2)前出1) p.140 3)前出1) pp.146-150

## 2. 塩類の集積と除塩

地表面近傍では、土壌は極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逆転が生じ、それにともなって塩分は洗脱や集積を繰り返す。この様な形で平衡した塩分の分布について、土壌中の塩分のマクロな混合拡散という観点から検討を加える。

a. 灌漑に伴う塩類集積と除塩：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、次式によって判定される。

$$\Delta EC_e = (EC_{iR} \cdot R + EC_{iI} \cdot I - EC_D \cdot \bar{q}) / (L \cdot w \cdot \rho_d / 100) \dots (7)$$

ここで、 $EC_e$ ：土壌水中の年間のECの増加量、 $w$ ：平均含水量、 $\rho_d$ ：乾燥密度、 $\Delta EC_e > 0$ ：塩類集積、 $\Delta EC_e < 0$ ：洗脱、 $\Delta EC_e = 0$ ：塩類平衡。最後の平衡条件を満足するように $\bar{q}$ を設定するのが、除塩用水量算の基本である。

b. 蒸発に伴う地下水の上昇による塩類集積：干拓地では下層には海水と同じ塩分濃度を持つ土壌水が無限に存在する。上述したような循環性の土壌水の激しい動きによって土壌水の混合が生じ、見かけ上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、平均的には、蒸発散量より降雨量が大きいと、重力により見かけ上、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拡散輸送の平衡式は、次のように表される。

$$\bar{q} \cdot C + \bar{D} \cdot (dC/dz) = 0 \dots (8)$$

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

c. 塩分濃度の垂直分布と除塩用水量：平衡塩分濃度の垂直分布は、(8)式の解から次のようになる。

$$C = C_s \cdot \exp \{ -(\bar{D}/\bar{q}) \cdot (L-z) \cdot t \} \dots (9)$$

有効土層中の濃度を規定濃度以下に維持するためには、 $\bar{q}$ 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る必要な下方フラックス( $\bar{q}$ )が、塩分翹上防止用水量の決定基礎となる。

## 3. 土壌管理用水量について

K干拓地では、基準投入量 2.58 ton/10a の石膏客土による土壌改良が図られた<sup>5)</sup>。石膏を溶解し土壌と反応させるために必要な用水は 1,150 mm、Caイオンの置換によって発生する $Na^+$ や $SO_4^{2-}$ を有効土層から洗脱するために必要な用水は 700 mm と計算されるが、両者は共用できるから、大きい方の 1,150 mm が採用された。また、作土層を 30 cm にとり、その塩分濃度を作物生育に障害のないとされる 2.0 mho/cm 以下に維持するための降下浸透量を(9)式から求めると、3.0 mm/day が得られた<sup>6)</sup>。これらの基礎諸元をもとに土壌水の収支計算を行い、従来の基準で認められている補給灌漑用水以外に、除塩や土壌改良を図るための用水量が付け加えられ、過日、河川協議が成立した。

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言う基本的な考えの上に組み立てられている。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はなく、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。特に生育場の土壌環境を形成する上で水の果たす役割は大きい。この様な水の持つ役割を積極的に評価し、用水計画に反映できる様な理論体系の一層の整備が必要である。

4)三野他、農土大会要旨(S.59) 5)天谷他、農土大会要旨(S.59) 6)長堀、農地整備学