

9423 ポルダ方式による塩類土壌の改良および農地化に関する環境学的研究

助成研究者：原 道宏(岩手大学 農学部)

共同研究者：石田 朋靖(宇都宮大学 農学部)

庄野 浩資(岩手大学 農学部)

杉 修一(東京農工大学 連合大学院)

不注意な水管理など、不適切な人間活動の結果、塩に侵された土地が世界中に広範囲に存在し、世界の耕地の実に6割が何らかのかたちで塩の害を被っている。土壌の塩類化は人類の生存にとって大きな脅威である。人口の増加を直ちに抑制することが困難であるとすれば、当面は、塩類土壌のこれ以上の拡大を抑え、さらには、改良して農地へと転換し、食糧生産を確保することが、飢餓を防ぎ、人類の生存を維持していくために、緊急かつ重要な課題である。既に塩類化した土壌を改良し農地化する一つの実践的な試みとして、筆者らはポルダ方式の採用を提唱する。これは、土地の周りに堀を廻らし、堀の両側に堤防を築き、洪水を防ぎ、堤内を安定化し、除塩して農地にするというものである。水源として雨水を用いれば、大規模な灌漑は不要である。ポルダ方式は農民自身による施工と維持が可能な方法である。したがって、今後、ポルダ方式は各地で広く適用でき、塩類土壌克服のための有望な方法として意義がある。

今回の調査研究では、タイ国東北部コンケン県の強度塩類(NaCl)土壌地帯に卵型ポルダを3基設置した。土壌有機物の増加を目的として、雨期に緑肥用豆科植物を植えた。サンプリングは初期・雨期・乾期の特徴が分かるよう計画した。高畝における土壌水分と塩分が季節により、また、植生の有無によりどのように異なるかをデータにより考察した。

(1) 雨期には全層を通じて土壌溶液の塩水混合比が減少し、塩水混合比が1%にまで低下している。(2) 乾期には総塩分量も土壌溶液の塩水混合比も増加し続け、特に表土では25.5%(海水の7倍)に達している。蒸発が進行して、作土中の水分量が減少し、毛管現象により下層から水分が補われたものと考えられる。この間、最深部(20-30cm深さ)では土壌溶液の塩水混合比はほぼ1.5-3.0%で一定であり、下層から補給された土壌水の塩濃度がこの程度であったであろうことを示している。(3) 植生があると、根が水分を吸収するため土壌水分は減少する。(4) しかし、植物根は塩分を選択的に吸収するため、土壌溶液の塩濃度が高くなる。

塩類土壌の改良に関係が深いと考えられる土壌中での水分・塩分の消長に関し、基礎的な室内実験と数値解析を行った。(1) 20日間の蒸発期間における地表から40cmの土壌中における液状水と水蒸気の移動量の比が約3:1と、水蒸気移動量も無視できないことが分かった。(2) 雨水の浸潤により土壌塩分を下方に抑圧することが可能である。(3) 土壌が乾燥してくると根が吸水困難になる理由として、土壌乾燥と共に土壌水分拡散係数が指数関数的に小さくなるのが極めて深刻に関係していることが分かった。

9423 ポルダ－方式による塩類土壌の改良および農地化に関する環境学的研究

助成研究者：原 道宏（岩手大学 農学部）

共同研究者：石田 朋靖（宇都宮大学 農学部）

庄野 浩資（岩手大学 農学部）

杉 修一（東京農工大学 連合大学院）

1. 研究の社会的背景および意義

食塩は人を含めて動物の生存にとって不可欠な物質である。しかし、その一方、表土中に塩分が多量に存在すると、土地は耕作不適になり、農地としての使用が不可能になる。それは、塩分の存在が土壤水の滲透圧を高め、植物根による吸水を困難にするからである。このことはよく知られた事実であるが、現実には、不注意な水管理など、不適切な人間活動の結果、塩に侵された土地は世界中に広範囲に存在し、世界の耕地の実に6割が何らかのかたちで塩の害を被っている。塩類土壌は農業の生産性が低く、いずれは見捨てられ、砂漠化していく。

一方、世界人口の増加は、かつてなく急激で、50年で倍増する勢いである。増加する人口を養うためには農地の拡大が必要である。しかし、上述のように、不用意な農地の拡大は土地の新たな塩類化を招くもとになり、不毛な土地が増すばかりで、結局は農地の拡大にならない。筆者はこれを東北タイ等での現地調査により直接に知った。東北タイの地下深部には岩塩層がある。森林の伐採により地下水位が上昇し、塩類化したと言われている。耕地を得んがための樹木伐採により、土地が塩類化したものである。東北タイにおける塩類土壌の拡大はこの半世紀のできごとであり、社会状況の変化を背景とした人口の急激な流入が潜在的塩類土地帯で塩類土壌を顕在化させた典型的な例である。

土壌の塩類化は人類の生存にとって大きな脅威である。人口の増加を直ちに抑制することが困難であるとすれば、当面は、塩類土壌のこれ以上の拡大を抑え、さらには、改良して農地へと転換し、食糧生産を確保することが、飢餓を防ぎ、人類の生存を維持していくために、緊急かつ重要な課題である。

既に塩類化した土壌を改良し農地化する一つの実践的な試みとして、筆者らの提唱するポルダ－方式がある。これは、土地の周りに堀を廻らし、堀の両側に堤防を築き、洪水を防ぎ、堤内を安定化し、除塩して農地にするというものである。水源として雨水を用いれば、大規模な灌漑は不要である。ポルダ－方式は農民自身による施工と維持が可能な方法である。したがって、今後、ポルダ－方式は各地で広く適用でき、塩類土壌克服のための有望な方法として意義がある。

2. 研究目的

本研究の目的は、ポルダ－の導入により塩分・水分の移動様式や土壤環境条件がどのように変化し、植生がどのように変化するかを環境学的に追究することである。

3. 研究方法

研究はポルダ－の導入が検討されているタイ国東北部塩類土壤地における実地調査し、また、それに関係する基礎的事項を日本国内において実験的および理論的に検討した。

4. 結果と考察

4. 1 塩類土壤の農地化におけるポルダ－高畝の導入に関する研究

タイ国東北部コンケン県の強度塩類（NaCl）土壤地帯に卵型ポルダ－を3基設置した。ポルダ－は、外周をキャナルで、さらにその内側をバンクで囲い、内側を農地化する計画である。そのため、耐塩性植物の導入、耕作、小動物飼育、養魚による営農をめざしている。著者らは、塩類土壤での耕作を容易ならしめるよう、根群土壤層の下に毛管遮断層を有する高畝を造成し、調査区を設定した。畝は90区に分割した。試験変量は、毛管遮断物質3レベル（モミガラ、レキ、土壤）、埋設高度3レベル（通路高度-10cm、±0cm、+10cm）、植生の有無（2レベル）とし、5反復した。畝高は毛管遮断物質上面+30cmとし、この30cmを作土層とした。初年であるので、土壤有機物の増加を目的として、雨期に緑肥用豆科植物を植えた。サンプリングは初期・雨期・乾期の特徴が分かるよう計画した。予備サンプリングの結果は、畝高の低い区で含水量が高く、植生と含水量には正相関、含水量と塩分量には正相関、塩分量とpHには負相関がみられた。

高畝における土壤水分と塩分が季節により、また、植生の有無によりどのように異なるかをデータにより考察した。

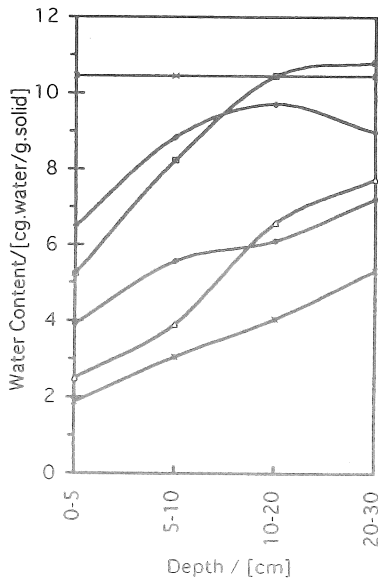
4. 1. 1 無植生区高畝における土壤水分および塩分の消長

a. 測定結果

試験畝を造成した1994年7月から、8月、10月、12月、1995年2月、4月までの、ほぼ2カ月ごとの、約9カ月間、高畝の無植生区の深さ0-30cmの作土から土壤試料を採取した。この間、7月から9月までは雨期、10月から翌年3月までは乾期、4月からは再び雨期であった。

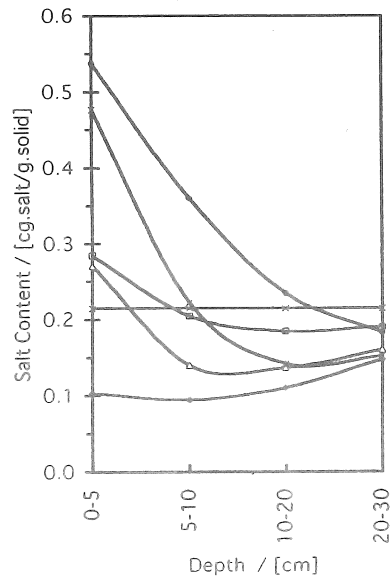
Fig.1(a)は土壤含水比（水分重 固相重）を示すが、畝造成時は全作土を通じて含水比は約10.5%一定であったが、地表10cmはその後、翌年2月まで乾燥が進んだ。深さ10-30cm土壤の含水比は10月までの最初の3カ月間は含水比の変化がなかったが、その後、乾期に入り、翌年の2月まで乾燥が進んだ。雨期に入った4月には、再び全層において湿潤が進んだ。

Fig.1(b)は土壤含塩比（塩分重 固相重）を示すが、畝造成時から乾期の初め（10月）までは、含塩比は低下した。乾期に入って2カ月後の12月からは表土を先頭に含塩比は増加を



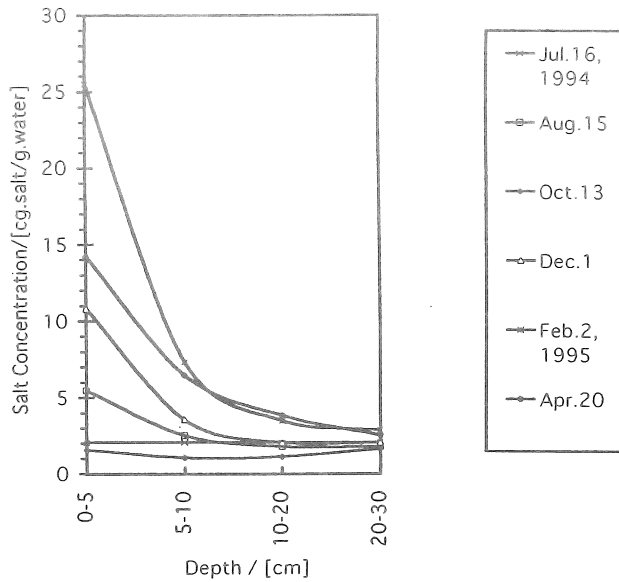
(a) Soil moisture content (cgWater/gSolid)

土壤の含水比



(b) Salt content in soil (cgSalt/gSolid)

土壤の含塩比



(c) Salt to water ratio in soil solution (cgSalt/gWater)

土壤溶液の塩水混合比

Fig.1 Moisture content, salt content and their ratio in the non-cropped ridges' soil in the polder.

(In Khon Kaen, Thailand. July 1994 to April 1995)

ポルダー内の無植生高畝土壌の含水比、含塩比、土壤溶液の塩水混合比の季節変化

続け、5–20cmの深部でも徐々に含塩比が上昇し、4月まで上昇を続けた。

Fig.1(c)は、両者の比である土壤溶液の塩水混合比（塩分重/水分重）である。乾期の始まる10月までは塩水混合比は減少し、その後、2月までの乾期4カ月間は地表面を先頭に塩水混合比が上昇したが、雨期の始まった4月には表土0–5cmにおいて塩水混合比が顕著に低下した。

b. 考察

測定結果をごくおおざっぱにまとめれば、含水比は雨期に増加し乾期に減少する、逆に、含塩比は雨期に減少し乾期に増加する、という常識的傾向であるが、詳細に見れば、それ以上に興味ある特徴が見られる。筆者の経験によれば、含水比、含塩比のみならず、両者の比である塩水混合比を用いることにより、有用な知見が導かれることが多々ある。

まず、含水比の変化は土壤全層において起こっており、乾期雨期を通じて、深さ分布を表す線が平行に近く並んでいるのに対し、含塩比の変化は土壤表面の近くで大きく、深部では小さい。

土壤溶液の塩水混合比は含塩比に近い変化の特徴を持つが、それがさらに強調されている。すなわち、変化の大きさは表土において極端に大きいのに対し、作土最下層（20–30cm深さ）においては乾期雨期を通じてほぼ一定であるのが注目される。また、この作土最下層における土壤溶液の塩水混合比の一定値が、1.5~3.0%と、海水の半分ないし同程度の濃度になっているのが注目される。土壤溶液の塩水混合比がこのように高いにもかかわらず植生区では緑肥にすべく植えたセスバニアが旺盛に生育していたことは、驚くべきことである。

以上、高畝の無植生区における測定結果から推察し、そこでの水分および塩分の移動様式について言えることは以下の通りである。

(1) 雨期である8月から10月にかけては全層を通じて土壤溶液の塩水混合比が減少し、塩水混合比が1%にまで低下している（海水では3.5%）。かつ、この期間、全塩分量（含塩比の積算）も減少している。土壤水分量は表層（0–10cm）では増加しているが、下層（10–30cm）では減少している。これは、この期間の前半には蒸発量が浸入量を上回っていたが、後半は逆転し、この期間の合計の雨水浸入量が蒸発量を上回ったことを示している。土壤溶液の塩水混合比が減少したのは、畝内に浸入した雨水が土壤溶液を先脱し去った結果と考えられる。

(2) 乾期である10月から2月にかけては土壤溶液の塩水混合比が増加し続けた。特に表土（0–5cm深さ）における増加が著しく、2月には25.5%（海水の7倍）に達している。5cmより深いところでも土壤溶液の塩水混合比が増加し続けたが、深いところほど増加の程度が小さい。かつ、この期間、全水分量（含水比の積算値）は減少し続けたのに対し、全塩分量（含塩比の積算値）は増加し続けた。

このことは、この期間が乾期であることをも考え合わせれば、土壌表面における蒸発が進行して、作土中の水分量が減少し、毛管現象により下層から水分が補われたものと考えられる。この間、最深部（20–30cm深さ）では土壌溶液の塩水混合比はほぼ3%で一定であり、下層から補給された土壌水の塩濃度がこの程度であったであろうことを示している。また、水分が蒸発した跡には塩分が残留して集積し、それが濃度拡散により土壌深部へと戻ってきた結果、次層（5–10cm）の土壌溶液の塩水混合比が増加したものと判定される。

（3）再び雨期に入った4月には乾期最後の2月に比べ、特に表土（0–5cm深さ）において土壌溶液の塩水混合比が顕著に減少しているが、他の深さの塩水混合比にはそれほど顕著な変化はない。一方、土壌塩分量も土壌水分量も全層において顕著に増加している。

このような状況は次のようにして起こったものと推定される。

雨水は、表層（0–5cm）にのみ浸入し、そこでの土壌溶液の塩水混合比を低下させた。一方、下層からは顕著な水分（濃度3%程度の塩水）補給があり、土壌水分と塩分を増加させた。この下層からの水分補給は、この試験畝のある土地の地下水位が上昇したことによるものと推定される。

4. 1. 2 植生区高畝と無植生区高畝における土壌水分および塩分の消長の相異

a. 測定結果

1994年7月に試験高畝を造成した後、全区の半数である植生区には、緑肥にすべく、根粒菌を接種して空中窒素固定能力を与えたセสบニアを植えた。乾期に入って約1カ月、セสบニアが繁茂していた最中である1994年11月10日に植生区と無植生区の作土層（0–30cm）から土壌試料を採取した。ここでは、その含水比（水分重 固相重）、含塩比（塩分重 固相重）、および土壌溶液の塩水混合比（塩分重 水分重）、および植生区・無植生区での比を示し、両区における土壌水分および塩分の消長の相異を考察する。

Fig.2(a)は、両区の土壌含水比（水分重 固相重）の深さ分布、および両区の値の比である。最表土（0–5cm深さ）を除き、植生区では無植生区に比べ、土壌水分量が少ない。

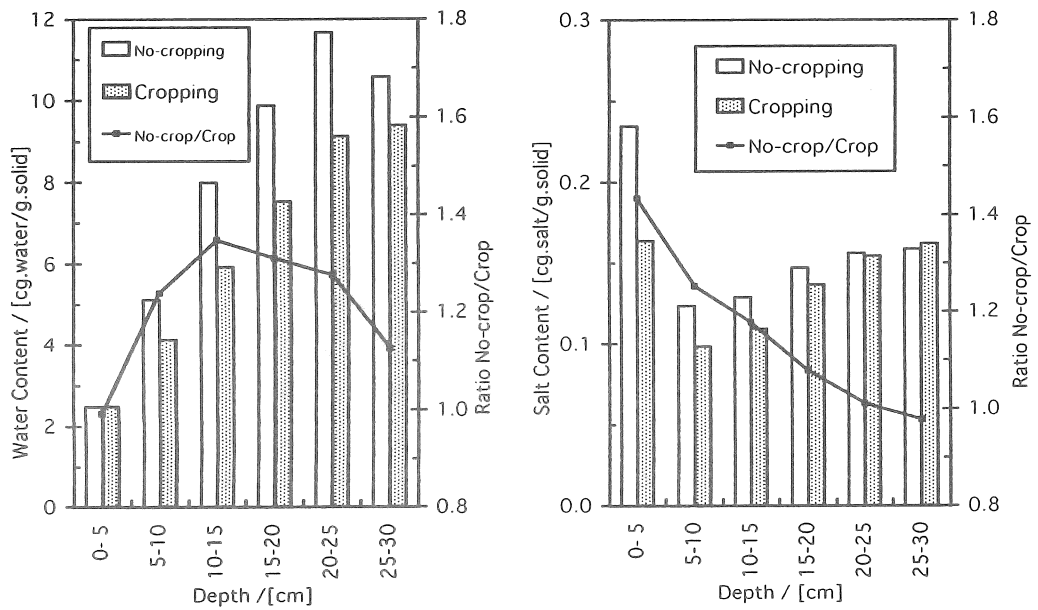
Fig.2(b)は、両区の土壌含塩比（塩分重 固相重）の深さ分布、および両区の値の比である。深部（20–30cm深さ）を除き、植生区では無植生区に比べ、土壌塩分量が少ない。また、特に、第2層（5–10cm）において最低値を示していることが注目される。

Fig.2(c)は、両区の土壌溶液の塩水混合比（塩分重 水分重）の深さ分布、および両区の値の比である。表土（0–5cm深さ）を除き、含塩比とは逆に、植生区では無植生区に比べ、土壌溶液の塩水混合比が大きい。

b. 考察

以上の測定結果は何を物語るものであろうか。

筆者は、次のように推定する。

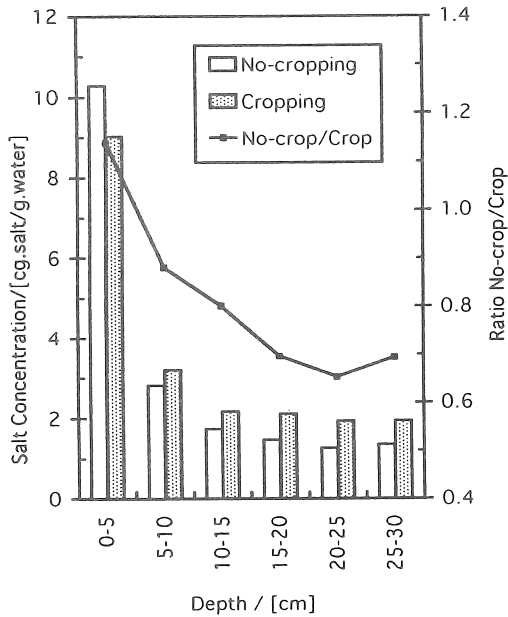


(a) Soil moisture content (cgWater/gSolid)

(b) Salt content in soil (cgSalt/gSolid)

土壤の含水比

土壤の含塩比



(c) Salt to water ratio in soil solution (cgSalt/gWater)

土壤溶液の塩水混合比

Fig.2 Moisture content, salt content and their ratio in the non-cropped and cropped ridges'

soil in the polder. (In Khon Kaen, Thailand. 10 November 1994)

ポルダー内高畝の無植生区と植生区における土壤含水比、含塩比、土壤溶液の塩水混合比

(1) 土壌水分量が植生区で少なかったのは、植物根が土壌水分を吸収したためであろう。

(2) 土壌溶液の塩水混合比が植生区で高かったのは、植物根が吸水する際、元々濃度約1～2%の塩水である土壌溶液中の塩分を全部は吸収せずに、少なくとも一部を土壌中に残したものであろう。

(3) 表土（0～5cm深さ）において土壌溶液の塩水混合比が無植生区の方が高いのは、植生によって日射が地面に届かず、かつ、気流が弱まり、空気湿度も高まり、その結果、土壌面蒸発が抑制されて、それだけ塩類集積が緩和されたものであろう。

(4) 深さ5～20cmでは、植生区では、無植生区に比べ、土壌溶液の塩水混合比が高いにもかかわらず土壌中の全塩分量が少ない。その理由は、(1)で述べたように、植物根が吸水し、その際、土壌溶液に含まれていた塩分を全部ではなく一部を吸収したためであろう。

(5) 植生区でも無植生区でも、土壌含塩比（塩分重/固相重）は第2層（5～10cm深さ）において最低値を示しているが、それはなぜであろうか。その理由は次のように推定される。まず、深さ5cmより深いところでは深くなるほど塩分量が多いが、その理由は、深いところほど土壌溶液の塩水混合比が高いからではない。土壌溶液の塩水混合比は、逆に、深いところほど低いか、あるいは、深さによってあまり変化しない。総塩分量が少ない理由は、土壌溶液の量が少ないことによるのである。蒸発期間中は、土壌水分量は浅いところほど少なく、そのことが、浅いところほど総塩分量が少ない理由になっている。しかし、地表面だけは例外で、地表面には水分が蒸発する際に取り残された塩分が残留し、そこだけは、例外的に塩分量が多く、地表面直下では、濃度拡散により塩分が下方へと移動する。しかし、拡散移動力は源から離れたところでは極めて弱く、そのため、深さ10cmより深いところでは、急激に力を失う。このように、水分勾配と塩分勾配が逆向きになり、地表面からやや下がったところで両者の力が均衡し、そこ（ここでは、5～10cm深さ）で総塩分量が最低になる。

4. 2 土壌中での水分・塩分の消長の実験による解析

前節は、タイ国東北部コンケン県の塩類土地におけるポルダールにおける調査結果であった。本節では、現地においてしばしば見いだされる現象を室内において実験により再現し、より詳細に現象を観察しようとしたものである。

そこで、塩類土壌の改良に関係が深いと考えられる土壌中での水分・塩分の消長に関し、基礎的な室内実験を行い、解析した。

4. 2. 1 地表付近における塩分集積と水分移動

塩類土壌においては、比較的短期間に地表付近に大量の塩分が集積する。

このことを見るために、40cm厚の塩類土壌を岩手大学農学部内の直射日射のあたる乾燥条件下においた。供試土壌の初期土壌溶液の塩分（NaCl）濃度は平均1.34%、土壌単位体

積中の水分重は 0.478g/cm^3 であった。20日間後に全層採土し、土壌含水量とEC（1:5電気伝導度）を計測した。EC(1:5)から換算により塩分量を求め、それより、集積量を計算した。

その結果、塩分集積は地表3cmまでの浅層において塩分集積が顕著であり、表層5mmにおいては、元の6倍の高濃度になっていた。また、塩分が土壌深部から運搬されるのは溶液の形で液体の水分と共に移動した結果であるとの仮定に基づき、液体水の移動量をこれより求め、土壌水分量の減少から水分の全移動量を求め、その差を水蒸気による水分移動量とした。その結果、土壌中の深さ3cmにおける5月15日から6月5日までの20日間の平均土壌水流量は、Table 1のとおりであった。このように、液状水：水蒸気の流量比は、3：1であり、水蒸気の流量も無視できないことが分かった。

このように、20日間という短い期間でも地表3cm付近における塩類集積は多大であり、特に表層ごく薄い層での塩類集積が激しく、タイ国における塩類土壌地帯の様相を容易に想像できる。

Table 1 Average soil moisture fluxes in 20 days

土壌水分の上向き流量の20日間平均値

水流束密度	mm/d
全流量	1.70
液状水の流量	1.27
水蒸気の流量	0.43

4. 2. 2 雨水浸潤にともなう土壌内汽水の抑圧と土壌塩分の分散

塩類土壌地では、雨水を土壌中に浸透させ、塩性土壌溶液を下方へと押しやって、作土から塩分を追い出し、そこに作物を植える。

微砂質土をカラムに充填して塩水で飽和し、上から真水を浸潤させて塩水の押し込み、土壌中での塩分変化を測定した。流量を変えて真水と塩水の境界付近における塩分の分散程度の違いを調べ、大流量ほど境界の長さが短いこと、従って塩分の分散係数が大きいことを見いだした。

以上により、真水を土壌に浸透させさえすれば、真水により置き換えられた部分は確かに塩分が極めて少なくなることが分かった。しかし、現実には、初め土壌は乾燥状態であり、表土も堅く、水はなかなか浸潤しにくい。現地では、高畦にして雨水を貯留し、有効に雨水の浸潤を行っている。このような条件を実験室で再現することは簡単ではないが、現地をよりよく理解するためには、さらに現地の状況にあった条件設定が必要であろう。

4. 3 土壌水理特性の非線形性が植物根に対する水分供給能力に与える影響

土壌が乾燥状態になると植物根における吸水が困難になることが知られている。それは、土壌水の水ポテンシャルが低くなるからばかりでなく、透水係数や水分拡散係数が体積含水率の低下と共に急激に低くなることによるとされているが、その理論は未確立である。直線根による土壌水の吸収を、現実土壌のように水分拡散係数 D が体積含水率 θ の指数関数（ $D \propto e^{\beta\theta}$ ）であり、根が一定の速さで吸水するときについて、数値解析および理論解析し、数量的に評価できるようになった。この結果、水分拡散係数の指数関数的低下が植物根における吸水を著しく困難にすることが分かった。その程度は吸水速度が大きいほど顕著であり、かつ、水分吸収により根の直傍土壌の含水率が低下することによる水分拡散係数の低下が急激で、土壌から植物根への水分供給能力が急激に低下する。すなわち、肝心の根の直傍土壌で土壌の乾燥がより激しく進むので、蒸散量の大きい熱帯では、根における吸水が困難になりがちであることに特に用心しなければならない。

5. 結論

既に塩類化した土壌を改良し農地化する一つの実践的な試みとして、筆者らはポルダ方式の採用を提唱する。これは、土地の周りに堀を廻らし、堀の両側に堤防を築き、洪水を防ぎ、堤内を安定化し、除塩して農地にするというものである。水源として雨水を用いれば、大規模な灌漑は不要である。ポルダ方式は農民自身による施工と維持が可能な方法である。したがって、今後、ポルダ方式は各地で広く適用でき、塩類土壌克服のための有望な方法として意義がある。

今回の調査研究により、ポルダ高畝内における水分と塩分の移動の実態およびその特徴がある程度明らかになり、実験を通して、塩類土壌に対する理解もある程度は深まった。理論解析を通して、乾燥土壌において根が吸水困難になる土壌水理学的理由も明らかになり、熱帯特有の乾期の深刻さに対する認識も深まったといえる。

しかし、筆者らの研究グループを除き、塩類土壌の改良・農地化にポルダ方式を適用した例はなく、今後、解決しなければならない問題点も多い。それは、まず、農地としての基本的な生物環境学的問題、ついで、農地化後の、たとえば、土壌侵食（エロージョン）、大雨による局所的な洪水等、ポルダの保護・維持に関する問題がある。後者のためには、植被による土壌侵食の保護、等高線を配慮した小堤防によるランオフ水の随所における貯留・排水などの対策が必要と考えられる。現地で適用できるよう、早急に検討し、方式を確立する必要がある。本研究の成果はタイ国においても注目されており、タイ国ではポルダの面積を拡大し、タイ国内の各所に適用する意向を示している。そのためには、本研究の成果をさらに普遍化し、マスタープラン作成に資することができるようにしなければならない。

Environmental Study to Improve Salt Affected Land for Use as Agricultural Land with Polder Systems

Michihiro Hara(Iwate University), Tomoyasu Ishida(Utsunomiya University),
Hiroshi Shono(Iwate University), Shuichi Sugi(Tokyo University of Agriculture and Technology)

Summary

Excessively accumulated salt in the top soil is harmful to the growth of most agriculturally valuable crop plants. Salt-affected lands are found in almost two thirds of the cultivated agricultural lands in the world. Amelioration of those salt-affected lands is strongly required to obtain more produce to meet the higher demands for food of the increasing world population. We have introduced the polder system in salt affected areas in Thailand. The objectives of the research were to study the environmental changes and the phenomena occurring by the introduction of the polders. In order to do this, we set up an investigation in the polder. Laboratory experiments and theoretical development were also carried out for deeper understanding.

I Introduction of polders to salt affected area Three polders have been constructed in the salt affected area of Northeast Thailand. Each of them is surrounded by a canal. The soil excavated in making the canal was used to make a surrounding bank inside the canal. The salt and moisture content in the ridge soil showed clear seasonal changes, strongly affected by rainfall. But the salt concentration of the soil solution at a depth of 30 cm remained almost constant, about 1.5 to 3.0 %, during the 10 months of observation. Plant roots absorbed water from this brackish soil water leaving a certain amount of salt.

II Moisture and salt movement in the soil

a. Movements of water in soil induced by evaporation A 40 cm deep homogeneous salty soil was packed in an open top rectangular box and left evaporating under a transparent vinyl roof. Analyses of the water and salt distributions in the soil after 20 days of evaporation showed that about 3/4 of the water reached the soil surface moved in a liquid state and the other 1/4 as vapor.

b. Suppression of brackish soil water with overlaid rain water Different constant-rates of fresh water simulating rain was supplied on the open end salty soil columns. The infiltrated fresh water pushed the brackish soil water downward. Sharper changes in salt-content distribution at the boundary of the brackish and fresh waters were observed for the higher infiltration rates, which means the higher infiltration rates produced stronger salt dispersion.

III Effect of soil water characteristic nonlinearity on the water supply capability The exponential diffusivity function with respect to volumetric water content θ was assumed as $D \propto e^{\beta \theta}$ with constant β . A quasi analytical solution using Boltzmann transformation for radial coordinate and constant absorption rates was obtained and compared with numerical ones, which showed a fair coincidence between the two solutions, indicating that the quasi analytical one could be used more easily with good accuracy. High nonlinearity because of large positive β brought about very steep decrease in the soil-water potential for the adjacent soil to plant roots.

IV Conclusion

The polder system presented here may contribute to improving salt affected lands for agricultural use. Basic experimental observations and mathematical analyses showed us how salt accumulated in the top soil and how salt could be suppressed with rain water. The role of vapor movement in the soil during the evaporation period was confirmed as about 1/4 of total water transfer occurring in vapor state. The soil dryness often observed in the dry season might produce much more severe water conditions for water absorption by plant roots than considered previously because of the nonlinear nature of soil water permeability, thus the nonlinearity of water permeability should never be ignored.