

9518 塩類土壌地域における農地生産環境の改良手法に関する基礎研究

助成研究者：穴瀬 眞（東京農業大学 農学部）

共同研究者：藍 房和（東京農業大学）

成岡 市（東京農業大学）

杉 修一（東京農工大学）

中村 友紀（東京農工大学）

研究目的 本研究は、タイ国コラート台地の塩類土壌域を研究対象として選び、農業生産環境の改良に関する基礎的研究を目指して、毛管上昇汽水および雨水による希釈水の移動運動に関する基礎水理実験、畝構造を持たせた場合の毛管汽水の上昇機能、土壌表面被覆による土壌面蒸発と毛管水の上昇との関係について実地調査、実験的および理論的検討を行った。

研究方法 カラム円筒実験を計画し、水移動の特徴を把握するために、切断層内排水機能の有無、灌漑水の量などを種々設定し毛管水・降下浸透水の移動を観察し、その結果からリーチング水量と除塩効果、切断層の設置効果について検討を行った。

また、切断層を有する高畝を塩類土壌域に造成し、毛管汽水の移動を把握するために、切断層の厚さ、切断層の資材、切断層の設置位置などを種々設定し、毛管活動の実態把握と、その上昇阻止の方法を検討した。

地表面マルチの効果について実態調査を塩類土壌域に生育する野生種の植物被覆地、そこに隣接する裸地の土壌面蒸発と毛管水の上昇との関係を検証し、塩類集積を防止の効果を検討した。

結果と考察 リーチング水量と除塩の効果については、水量と除塩効果の深さは比例関係であり、リーチング水量の増加にともない除塩可能な深さも下層へ移行する。また、土層の深さ方向に間隙飽和深を考えると与えたリーチング水量の8割に相当する深さまで除塩の効果が期待できることを確認した。毛管水切断層の設置効果を検討するための実験では、設置した切断層が排水可能、不可能であっても下層からの毛管上昇の移動を抑制することができた。リーチング水を供給すると切断層の設置条件に差異が認められ、排水不可能な切断層設置カラムでは、切断層内で湛水状態になり下層との水道が形成され、塩類が表層に上昇して効果がなく、排水可能な切断層カラムでは切断層内に湛水することはなく、その除塩効果は十分なものと判断できた。

作土層直下に毛管水切断層を有する高畝の試験を現地で行ってきたが、切断処理区(もみ殻・碎石)と対象区の土壌中の $EC_{1:5}$ 、含水比に顕著な差異は認められなかった。この原因として考えられることは作土層より土壌が切断層内に進入してしまったため、間隙構造が当初の設定と異なったこと、切断層内に排水機能を持たせなかったことが考えられる。畝高を3段階変えて比較してみると差異は認められ、畝高を高くすることによって作土層中に存在する塩類は少ないことが確認でき、毛管水を遮断するうえで有効と考えられた。このことはいかに作土層と地下水位との距離をもたせるかにかかっており、今後もさらに切断層の構造・資材の選定等を再検討し検討を行うことが必要と考える。

地表面マルチの効果は、土壌表面を被覆することによって塩類の集積を抑制することが確認できた。これは植物が生え伸長することによって土壌環境の改善が行われるからである。

これらの結果は今後の農地改善に役立ち現地研究に資すると考えられる。

9518 塩類土壌地域における農地生産環境の改良手法に関する基礎研究

助成研究者：穴瀬 眞（東京農業大学 農学部）

共同研究者：藍 房和（東京農業大学）

成岡 市（東京農業大学）

杉 修一（東京農工大学）

中村 友紀（東京農工大学）

1. はじめに

土壌中に塩分が集積することは農業を持続的に営むことを非常に困難にし、場合によっては農業としての土地利用を放棄せざるを得なくなることもある。その一方で、地球上の可耕地は有限であるという当たり前の事実と人口増加はとどまるところを知らない勢いで続いている現状がある。この増加した人口を養い、かつ生態系を構成する他の生命種の数々と有限なこの地球上で共存をしてゆかなくてはならないこと、それに加えて容易に農業が利用可能な土地はすでに利用され尽くしていることを考えあわせると現在食料生産に利用している土地の荒廃を阻止することが緊急の課題であるといえる。

世界の耕地の9億haがなんらかの塩害を蒙っているという統計もあるように、砂漠化とならんで世界の耕地への大きな脅威となっている塩害をコントロールし、持続可能な農業を行うことは土地の荒廃を防ぐという意味で大変重要である。本研究では高塩分濃度の地下水による塩害地域のうち、雨期と乾期のある気候条件下の圃場レベルにおける“塩分”の管理と、すでに塩害を受けた地区での土壌のリハビリテーションに利用可能と思われる技術の可能性について試験調査、解析を行った。

2. 研究目的

本研究はタイ国東北部コーラート台地に見られる塩類土壌を研究対象とし、農業生産環境の改良に寄与する事を目指す基礎的研究である。具体的には、次の3点について室内実験と現地（タイ国、コンケン市近郊）圃場実験を実施し、「毛管遮断層」、「高うね」による塩害防止或いは塩分除去効果をについて検証を試みた。

- ①上方からのリーチングによる塩分除去効果の及ぶ範囲、毛管遮断層のリーチングとそれに引き続いて起きる塩分の再分布に及ぼす影響。
- ②毛管遮断層が高塩分濃度地下水の毛管上昇抑止がどの程度有効か、また有効に機能するための条件は何か。
- ③植生の有無は上記①②にどのような影響を与えるか。

3. 研究方法

土壌中の塩分移動についての研究は現象のモデル化（単純化）とその理論的解析や数値シミュレーション、室内カラム実験によるものが数多く見受けられる。しかし実際の土壌一

水－塩分（－植物）系は非常に複雑であり、現実の圃場へのモデルの適用性は限定されたものとならざるをない。

そこで現地タイ国コーラート台地における圃場試験を計画するに先だって、塩害に関与していると思われる2つの塩分移動機構；

毛管上昇による下方からの塩分供給機構と、

降雨や灌漑による上方からの塩分供給・塩分希釈機構、

について戸口・根岸(1992)、中野(1993)の室内カラム実験による研究成果に着目し、毛管遮断層の塩害防止への利用可能性を確認するとともに圃場実験パラメータを決定した。

圃場実験はコーラート台地中央部に位置するコンケン市郊外において、タイ国農業省 農地開発局 (Department of Land Development) の協力を得て実施した。実験は15×32mの南北に長い長方形プロットを95個の3×3.5mのサブプロットに分割し、スプリットプロットデザインにより各実験項目を割り当てた(表－1)。

Table 1. Field experiment --- test variables and values.

実験項目	使用したパラメータ値	備 考
地表のカバー	植生あり／なし	
毛管遮断層の材質	砂利／籾殻／なし	遮断層「なし」は対照区、毛管遮断層はすべて10cm厚とした。
毛管遮断層の位置	+10、0、－10cm	現地表面を基準(0cm)とする。

それぞれのサブプロットにおいて実験開始時、雨期の終わり、乾期の終わりに土壌を地表から5cm毎に深さ30cmまでサンプリングし、含水量と1:5抽出電気伝導度($EC_{1:5}$)、pHに加えて三相分布と透水系数を測定した。土壌中の塩分濃度は、測定した $EC_{1:5}$ と含水率から土壌水の電気伝導度(EC_{sw})に換算した後解析した。

圃場実験の結果から、毛管遮断層の排水性或いは排水の有無が遮断層の効果に影響を及ぼすと考えられたので、室内カラム実験によって検証を試みた。室内実験は直径10cmの縦型砂カラムを用いて、ガラスビーズ(直径2mm)の毛管遮断層(厚さ1cm)をカラム内に作りその影響を観察した。

4. 実験結果と考察

4. 1. 文献調査

乾燥地圃場の塩分管理上欠くことのできないリーチングはその水量が計画灌漑水量に上乘せられるので、リーチング効果による便益と使用水量増加による灌漑面積の減少という潜在的損失の正負両面をもっている。そこで、リーチングの効果を的確に把握することは限られた水資源を有効利用する上で重要である。リーチングによる除塩効果の評価を戸口・根岸(1992)らは土壌槽を用いて行った。

戸口・根岸(1992)はリーチング量と除塩効果の関係を土壌槽を用いた室内実験により報告している。それによると、リーチングに用いた水量を土壌間隙量を考慮した「間隙飽和深」

（式－１）により表すと、除塩効果のおよぶ深さは間隙飽和深の７０％にあたる（図１参照）という関係が求められている。

$$D_L = \frac{Q_L}{A \cdot n} \quad (1)$$

ここで

D_L : 間隙飽和深

Q_L : リーチング水量

A : 土槽断面積

n : 間隙率

同じ実験をリーチング後の経過時間の違い（３～２４時間、図２参照）、土壌の初期塩分濃度の違い（２．０と３．０ dS/m、図３参照）についても行い、それらの場合においても除塩効果のおよぶ深さは間隙飽和深のほぼ７０～８０％という結果を得ている。

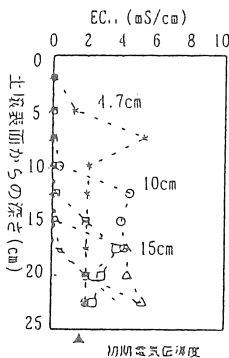


Figure 1. Salinity (EC) against depth after different application water depth.

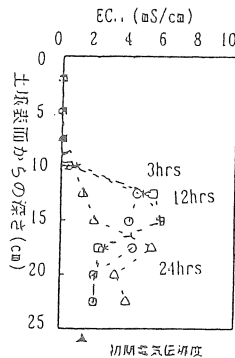


Figure 2. Salinity (EC) against depth after different elapsed time.

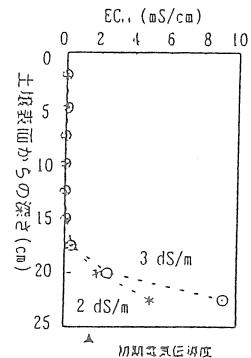


Figure 3. Salinity (EC) against depth for two initial soil salinity.

戸口・根岸(1993)らの実験は、土壌を初期塩分濃度に調製した後乾燥させ土壌槽に充填しているので初期含水量が非常に小さく、実際の圃場条件とは違うことに注意が必要であると思われる。

中野(1993)は地下水位が塩類移動に及ぼす影響について土壌カラムを用いた室内実験を行った。実験には洗浄砂カラム（内径４．９ cm）を使い、マリOTTタンクから供給される地下水位の深さと、毛管上昇高の関係がカラム内の塩分濃度分布の変化にどのように関わったかを表－２に示す地下水位を与える事により求めた。

Table 2. Water table depth and its description used in column experiment (Nakano, 1993)

番号	地下水位の深さ	内 容
1	10 cm	地下水面から土壌表面まで含水比ほぼ 25%。飽和度 $\approx 100\%$ 。
2	20 cm	含水比が急激に減少し始める範囲を含む深さ。飽和度 $\geq 90\%$ 。
3	25 cm	毛管上昇実験により確認できる浸潤線のフロントを含む深さ。飽和度 $\geq 0\%$ 。
4	40 cm	毛管上昇による液状水移動が確認できない範囲を含む深さ。飽和度 $\geq 0\%$ 。

地下水位深さが 10 cm の場合にはカラム全層にわたり塩分濃度の上昇が観察された。（図－4）他の 3 つのケースでは、毛管の到達する上端で塩分の集積が見られるが、その量（濃度）は地下水位が深いほど少なく、20 cm の場合には 25 cm に比較して表層に大きな塩分集積が見られた（図－5、6、横軸のスケールに注意）。また、40 cm と一番深い場合にもその毛管到達深度付近に集積が観察されるが（図－7、10 から 15 cm）、その量は他の 3 つの場合よりも少ない。

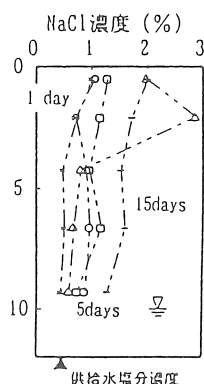


Figure 4. Sodium concentration profile development while water table at 10cm.

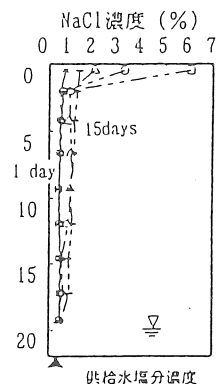


Figure 5. Sodium concentration profile development while water table at 20cm.

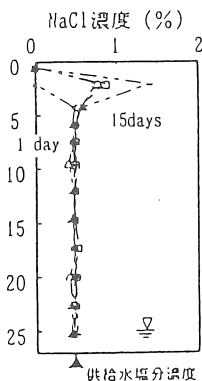


Figure 6. Sodium concentration profile development while water table at 25cm.

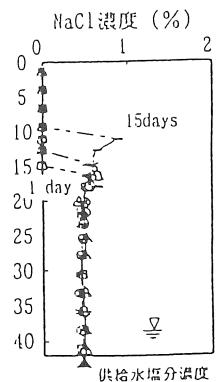


Figure 7. Sodium concentration profile development while water table at 40cm.

以上の研究成果から、圃場において根群域以下で毛管を遮断できれば下方よりの塩分供給を阻止することができる事、それに加えて灌漑水または降雨によるリーチングがあると土壤中にすでに存在する塩分を下方へ洗い流すことが可能となり、農業に適した土壤環境の回復も期待できるといえる。

4. 2. 圃場試験

前節の知見をもとに、毛管遮断層の効果を見るために圃場試験を行った。試験パラメータは表-1に挙げた通りである。図-8, 9は砂利を資材に使い、現地表面-10及び+10 cmに遮断層を導入した場合の深さ毎の塩分濃度をプロットした。図-10, 11は現地で容易に調達可能な籾殻を資材として使用した場合の深さ毎の塩分濃度を示した。それぞれのグラフは乾期の期間中、植生による地表面の被覆が行われた場合と行われなかった場合を含んでいる。

図8から11までの「被覆あり」と「なし」を比較すると、地表面から10 cm程度の深さまでは被覆ありの方が全ての場合において塩分濃度が低いことがわかる。この結果から、土壤表面の被覆によって上方への水分移動が被覆なしの場合に比較して小さくなり、それに伴って上方への塩分移動も小さくなったことがわかる。

毛管遮断層の深さによる効果は図8, 10を図9, 11と比較することにより検討してみた。いずれの場合にも、+10 cmに遮断層をもうけた方が地表面から10～15 cmにおける塩分濃度が低い結果になっている。すなわち同じ厚さの毛管遮断層であれば地下水面から離れるほど効率よく遮断が行われている事を示しており、遮断する毛管が地下水面より離れるに従って細く、少なくなるという事実を反映している。

次に、図8と10を比べると砂利を用いた遮断層の方が地表近くの塩分濃度が低く、より効果的に機能していたことをうかがわせる結果となっている。しかしながら図9と11を比較すると結果が逆転し籾殻を用いた遮断層の場合が塩分濃度が低くなっている。これは前者では遮断層が-10 cmと現地盤面よりも深く、いったん遮断層に上方から流入した水が排出されにくい。そして、その場合には籾殻と比較して保水力の小さい砂利材による遮断層が水分の再分布過程において、塩分を含んだ水のソースとなることが無かった事によるのではないと思われる（図12参照）。その逆に、遮断層が+10 cmと現地盤面よりも高い場合には遮断層の排水が比較的容易に行われる。その結果、砂利に比較して水分吸収力の強い籾殻の特性が生かされ、リーチングにより上方から浸透して来た塩分を含んだ水が効果的に土壤中より取り除かれたため、砂利遮断層よりも良い結果になったのではないと思われる。以上2点については、これらの判断に基づいて室内カラム実験を行い検証した。

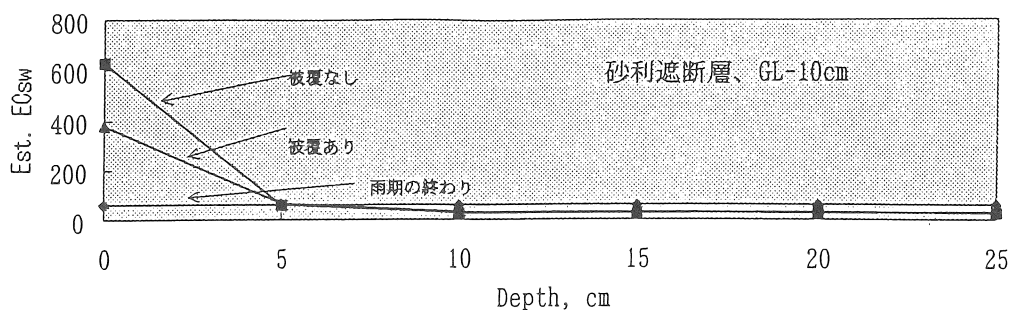


Figure 8. Salinity profile comparison for gravel capillary cut off zone at -10 cm. End of rainy season and end of dry season with or without surface cover.

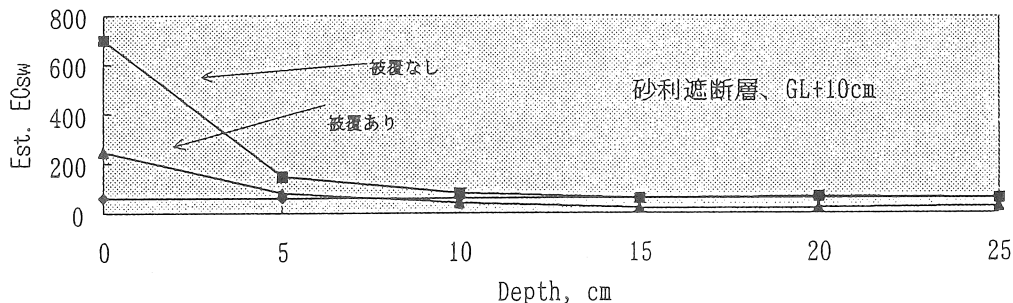


Figure 9. Salinity profile comparison for gravel capillary cut off zone at +10 cm. End of rainy season and end of dry season with or without surface cover.

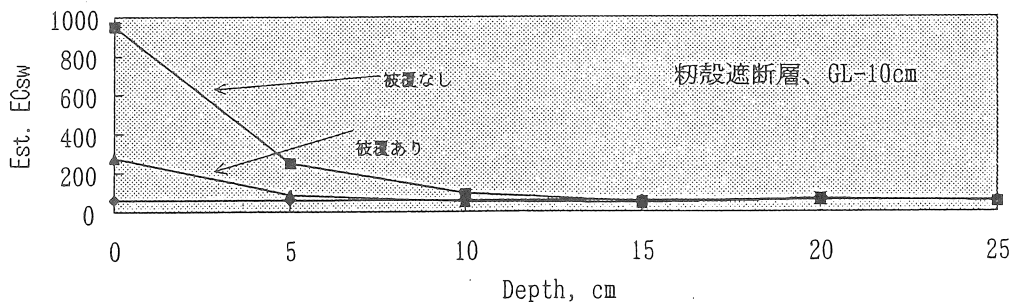


Figure 10. Salinity profile comparison for rice husk capillary cut off zone at -10 cm. End of rainy season and end of dry season with or without surface cover.

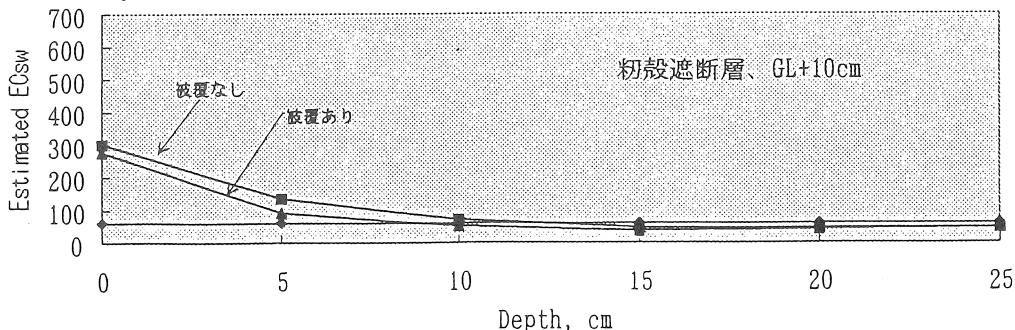


Figure 11. Salinity profile comparison for rice husk capillary cut off zone at +10 cm. End of rainy season and end of dry season with or without surface cover.

図8～11：X軸は地表面からの深度、Y軸は測定値から換算された土壌水のECを示す。

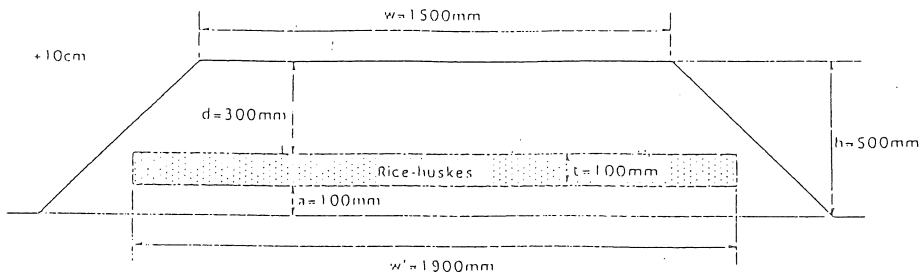


Figure 12. Schematics of capillary cut off zone (Shown here is Rice husk cut off zone at +10 cm).

以上の圃場実験に加えて、畝の高さを3段階に変え塩類集積の状況を記録した。それによると、高い畝ほど作土層中に存在する塩類が少なく、毛管水を有効に遮断していることがわかった。また、圃場近傍の未利用地12カ所で植生の量（乾物重、新鮮重）と土壌中の塩分濃度分布をピットをほり調査した。植生の量が多い所ほど土壌中の塩類濃度は低い結果が得られた。

4. 3. 室内カラム試験

圃場実験で毛管遮断層が排水されているか閉塞しているかによって塩類集積の傾向に違いが観察された。上方からの水分移動とそれに伴う塩分移動が遮断層によりどのような影響を受けるかについてカラム実験を実施した。

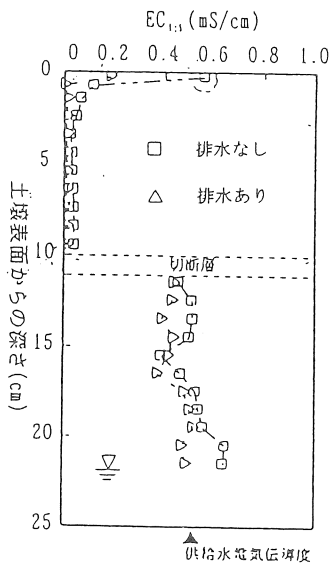


Figure 13. EC profile after 10cm of leaching water applied -drained and undrained cut off zone.

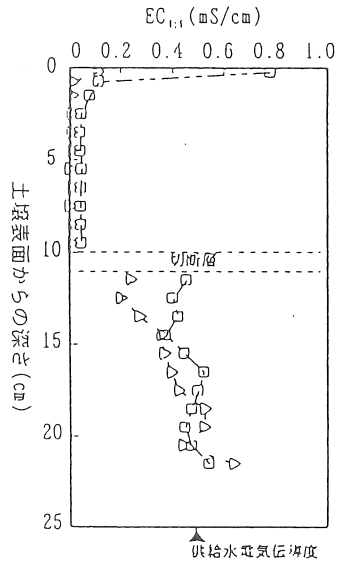


Figure 14. EC profile after 20cm of leaching water applied -drained and undrained cut off zone.

図13は間隙飽和水深換算で10cmの場合の実験結果を示している。この図から遮断層非排水の時には表層に近づくに従いEC値は高くなっている。これは、リーチングによりいったん下方へ移動した塩分が蒸発に伴い再分布し集積したと思われる。この条件は遮断層排水ありの時も同じであるが、表層のEC値はかなり低い値となっている。これは成

層土中への長時間の浸潤で、上部が粗粒土層、下部に細粒土層の時には上部粗粒土層全層にわたり飽和水分状態が現れ、正圧が発生するという事から説明される。すなわち、非排水の遮断層では一時的に飽和状態が現れることにより遮断層上下の毛管不連続状態が破れ、上方への塩分移動が可能となったため、表層への供給塩分量が増大した。

図14には間隙飽和水深換算で20cmの場合の実験結果を示している。遮断層非排水の場合には表層のEC値は図13の場合より約40%高くなっている。これはリーチング水量が増加したために遮断層の飽和状態が長く続いたためと考えられる。排水ありの場合にはリーチング水量の増加とともに除塩効果が高まった。

毛管遮断層の果たす役割は下層の間隙径よりも極端に大きな間隙径を持つ構造を作り、人工的に毛管張力の不連続状態を創出するものである。毛管上昇に対しては遮断層はその下面で水を引き上げないようにするだけでよい。しかし、下方浸透を考慮するときには遮断層内が飽和して下層の塩類を上昇させないように、遮断層に排水性をあわせもたせる必要がある。

5. まとめと今後の課題

以上の結果を要約すると

- ① リーチング水量と除塩効果の深さは比例関係にあり、水量の間隙飽和水深換算した値の約80%の深さまでの除塩効果が期待できる。
- ② 毛管遮断層はその排水条件にかかわらず、上方への塩類移動を抑制することができる。
- ③ 下方への浸透で、遮断層排水の有無は塩類移動に大きな影響を与えた。排水なしの場合に、遮断層内が飽和状態になり上下層間が水みちでつながり上方への塩分供給を可能にしてしまう。
- ④ 排水ありの遮断層では水みちのがつながることはなく除塩が効果的に行われた。
- ⑤ 植生による土壌表面の被覆は表層への塩類集積を緩和する効果が顕著に観察された。
- ⑥ 遮断層の材料による差は明らかとならなかった。

今後は切断層の構造、使用資材の再検討、とともに土壌表面の被覆を作付け体系の中でいかに実現するか、切断層が現地に受け入れられる条件の検討が必要になると考えられる。

An experimental study on salt accumulation prevention by capillary cut off zone in saline soil.

(塩類土壌地域における農地生産環境の改良手法に関する研究)

Chief investigator: Dr. Makoto Anase (Tokyo University of Agriculture)

Co-investigators: Dr. Fusakazu Ai, Dr. Hagime Narioka (Tokyo University of Agriculture)

Collaborators: Ms. Yuki Nakamura, Mr. Shuichi Sugi (Tokyo University of Agriculture and
Technology)

key words: soil salinity, capillary, Thailand, leaching.

ABSTRACT

Effects of capillary cut off zone (C-COZ) in a soil profile on salt accumulation and movement were tested experimentally. Two experiments were conducted in this study. One was field scale experiment which took place near Kohn Kaen in northeast Thailand. The other laboratory experiment using sand column was performed to confirm the explanation of field experiment data.

During the field experiment, 10 cm of C-COZ with three different implementation depth (+10, 0 and -10 cm of original ground level) and two materials (rice husk and gravel) were tested for salt concentration profile change during the dry season. Influence of vegetative surface cover also compared in field experiment.

The +10 cm C-COZ resulted in less salt accumulation in tested soil profile, while no significant salt concentration difference observed between 0 and -10 cm C-COZ implementation. The rice husk and gravel showed no significant difference in salt profile when implemented at 0 or -10 cm depth. But when installed at +10 cm, gravel C-COZ showed less accumulation of salt than rice husk because of its less sorptivity of saline water as well as its ease of drainage. The surface cover was always effective and showed the lower soil salinity than bare soil in all the cases tested.

Sand column experiment showed the importance of C-COZ drainage capability to prevent salt accumulation during drying period following the leaching practice in which saline water move upward. Though the C-COZ drainage capability did not affect the effectiveness of capillary rise prevention, the leaching period made the C-COZ saturated and provide saline water for upward movement caused by evaporation from the soil surface.

The sand column experiment confirmed that the effective leaching depth can be expected about 70 to 80 % of applied leaching water depth in terms of "saturated pore depth (Toguchi and Negishi, 1992)".

This study showed qualitative effects of C-COZ and its characteristics of salt accumulation prevention. The potential of C-COZ utilization in salt management was expected but further quantitative and statistically designed field investigation was needed to examine the design parameters including materials and thickness of C-COZ as well as the location and drainage capabilities.