

28

助成番号 0028

地下水位制御にソーラーポンプを利用した塩類化土壌回復の研究

助成研究者：玉木 浩二(東京農業大学 地域環境科学部)
共同研究者：穴瀬 眞(東京農業大学 地球資源環境研究センター)
藍 房和(東京農業大学 地域環境科学部)
杉 修一(タイ国 Naresuan 大学 農学部)
田島 淳(東京農業大学 地域環境科学部)
樹野 淳也(東京農業大学 地域環境科学部)
Pimtawong Korakot(東京農業大学大学院農学研究科)
橋本 洋平(東京工業大学 地域環境科学部)

地球上において、最も塩類集積の被害を受けている地域の1つにタイ国東北部がある。タイ東北部の約60%が塩害を被っている地域、もしくは、今後塩害が発生する危険性のある地域と推定されている(穴瀬ら、1987)、タイ国のGDPの約80%が農業に依存している現状を考慮すれば、塩類集積の発生しているタイ東北部において、これらの塩類土壌を改良することは、農業生産のための環境を向上させる上で不可欠である。

本研究では、塩類集積土壌の改良方法として、暗渠排水とソーラーポンピングシステムを、タイ東北部の塩類集積地に適用することを提案した。耕地の地下水位が高いタイ東北部にこれらを適用することは、効果的に圃場地下水位を低下させ、地表面への塩水の毛管上昇量を減少させることによって、耕地の塩類集積を抑制する効果があると推察できる。電気伝導度の測定結果によれば、システムを稼動し、圃場地下水位を低下させることは、地下水と土壌の塩類化を抑制する効果が見られた。本研究で適用したソーラーポンプを地下水位制御に応用し、耕地の塩類集積を抑制する方法は、タイ東北部における塩類土壌改良法として有効である可能性が示唆された。

28

助成番号 0028

地下水位制御にソーラーポンプを利用した塩類化土壌回復の研究

助成研究者：玉木 浩二（東京農業大学 地域環境科学部）
 共同研究者：穴瀬 眞（東京農業大学 地球資源環境研究センター）
 藍 房和（東京農業大学 地域環境科学部）
 杉 修一（タイ国 Naresuan 大学 農学部）
 田島 淳（東京農業大学 地域環境科学部）
 樹野 淳也（東京農業大学 地域環境科学部）
 Pimtawong Korakot（東京農業大学大学院農学研究科）
 橋本 洋平（東京工業大学 地域環境科学部）

1 はじめに

タイ国東北部における塩類集積土壌の存在は、農業生産性の低下をもたらしている。ほとんどの塩類集積地は、低肥沃性のために耕作放棄され、年々その面積が拡大している。今日まで、多くの研究者がタイ東北部の塩類集積土壌の改善について実験、考察を行ってきた。穴瀬ら[1]によって、砂利、籾殻などといった空隙の大きい資材を土中に埋設することにより、土壌の物理性を変化させ、耕地の塩類集積を改善する方法が研究された。この方法を適用した実験では、埋設資材が土壌水の毛管上昇を遮断し、土壌中の塩分濃度を低下することが確認された。また、タイ東北部の塩害地に適用された他の方法には、耐塩性のユーカリを植樹して、雨季の高い地下水位を低下させ、その低地部で徐々に塩類集積を緩和させたという研究がある[2]。これらの方法は基本的に、地下水面から地表面への塩水の毛管上昇を抑制することによって、表土の塩類集積を緩和することが可能であることを示している。

本研究の基本的な考え方は以下の通りである。耕地の塩類集積は地下水位が高く、日射の強い条件下で発生する。このとき、ソーラーポンプは最も効率よく稼動し、高い排水能力により、地下水位を低下させ得る。すなわち、地下水位を低下させることにより、塩類集積を防止する機能と、ソーラーポンプの排水機能との特性が一致しているということである。この方法はまた、自然エネルギー利用上有効な手段であり、自然環境への負荷を緩和することにも貢献する。特に、乾季におけるタイ東北部の日射は、世界最高水準にあり、晴天確率も高いことから、この地域における太陽エネルギーの利用は合理的であると考えられる。

本研究の目的は、暗渠排水とソーラーポンピングシステムをタイ東北部の塩類集積土壌に適用し、その効果を検証することにある。地下水位の高い東北部地域に、これらを組合

せる方法は、効果的に圃場地下水位を低下させ、地表面への土壤塩水の毛管上昇を減少し、塩類集積を抑制する効果があると推察できるからである。

2 実験方法

2.1 暗渠排水システムの設計

実験は、タイ東北部のコンケン県において、2000年8月31日から実施した。実験装置は暗渠排水、ソーラーポンプ、排水タンクより構成されている。Fig.1は実験装置を設置した圃場全図である。圃場区画は試験的に9m²(3m×3m)に設定した。暗渠埋設下の地下断面図をFig.2に示す。暗渠管の材質は塩ビ製で、管には、らせん状のスリットを設け、排水口をタンクと結合した。暗渠は通常地下0.8mから1.0mの深さに設置されるが、設置時における現地の圃場の地下水位は0.8m付近にあるため、暗渠を圃場区画に沿ってこの深さに設置した。さらに、圃場外からの地下水位浸透を防ぐために、暗渠管に沿ってプラスチック製のプレートを地中に設置した。

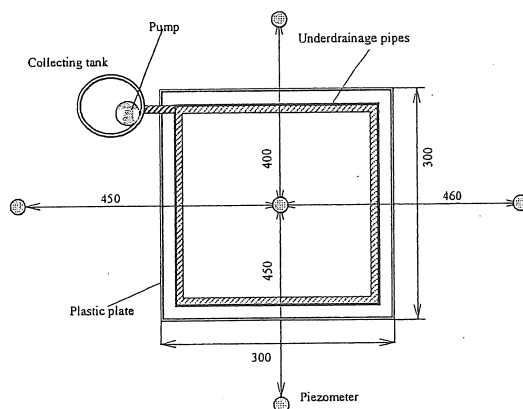


Fig.1: Outline of the experiment site

実験圃場の雨季の地下水位は常時0.4mに位置し、この土壤の飽和透水係数は10⁻³cm/sと推定されることから、暗渠埋設深さ0.8mにおける排水量は、約11時間で2.16m³と推定される。ただし、実験圃場の土性が砂質土であることから、土壤間隙率を60%と仮定した。また、夜間にはポンプの稼動によって圃場地下水が排水されないことを考慮すれば、計算上は2.16m³のタンク容積が必要になる。しかし、実際のタンク容積は、現地調査の関係上1.5m³とした。

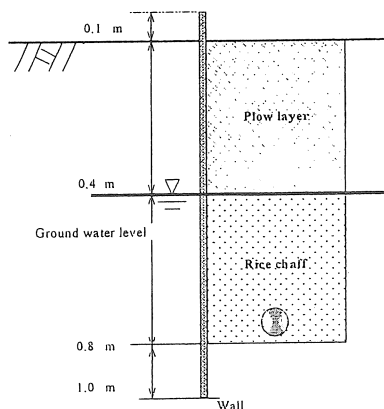


Fig.2: Profile section of the subsurface drainage site

2.2 ソーラーポンピングシステムの設計

圃場内の余剰地下水は、暗渠を通じてタンク内に溜められ、内部に設置されたソーラーポンプによって圃場外へと排出される。ソーラーポンプの動力には、太陽電池パネル(昭和シェル製、43V×2)を、地表面から15°の勾配をつけて設置した。タンク内部のソーラー

ポンプ (Shurflo Co.Ltd., 24V DC, 120W) は、地上から 1m の深さに設置され、また、ポンプの動作制御のためにポンプコントローラー (Shurflo Co.Ltd.) を設置した。更に、圃場地下水を 1m 以下に制御するために、タンク内にフロートスイッチ (Kasuga Denki Ltd.) を設置した。ソーラーポンプによって排出された地下水は、パイプラインを通じて付近の池に排出した。

2.3 実験方法

この実験において、計測された項目と計測装置を以下に述べる。

圃場内外の地下水位を計測するため、Fig.1 に示すように、圃場中央とその周囲 4ヶ所にピエゾメーターを設置した。ピエゾメーターは内径 5cm で、埋設深さ 1.3m である。水位自動計測器 (Van Essen Co. Ltd.) を圃場中央、東方向のピエゾメーターとタンク内に設置し、地下水位の変化を 30 分間隔で計測した。残りの地点における水位は、定期的に現地スタッフによって計測した。また、ピエゾメーター内部と、排水タンク内の地下水の電気伝導度も、EC メーター (Toa Electronics Ltd.) によって定期的にマニュアル計測した。雨量計を地上から 1.1m の位置に設置し、気温、および湿度をともにデータロガー (Onset Computer Co.) によって自動計測した。次に、2000 年 12 月に回収したこれらのデータについて考察する。

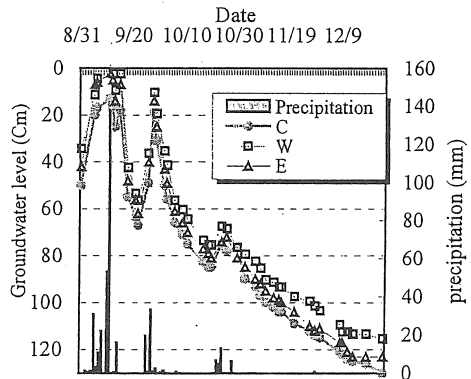


Fig.3: Transition of precipitation and water level at the point E, W and C

3 実験結果および考察

3.1 暗渠排水による地下水位と地下水の EC 変化

Fig.3 は実験圃場で観測された降水量と、圃場内外の地下水位の変化を示している。Fig. 3 に示される地点 E は、地表面が植生で被覆されている。地点 C と、他の地点の表面はいずれも裸地であった。Fig. 3 から、圃場内外の地下水位差は最大で 15.5cm (9 月 16 日、マニュアル計測) であり、実験期間を通じて、降雨の多い期間ほど圃場内外の水位差が大きいといえる。また、地点 C の

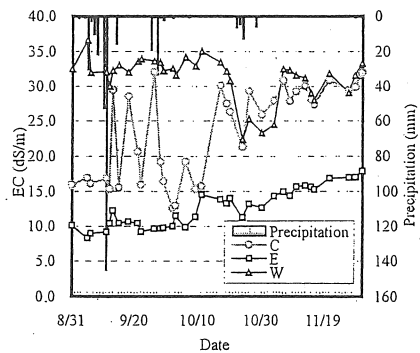


Fig.4: Precipitation and transition of EC at the point E, W and C

地下水位は、常に他の地点と比較して低く保たれている。

Fig. 4 に実験圃場で観測された降水量と、各地点で計測された地下水の電気伝導度 (EC) の変化を示す。Fig. 4 から、地下水の EC は、いずれの地点においても降雨によって変動するといえるが、暗渠埋設下の地点 C においては、他地点よりも顕著な変化が観測された。また、時期によっては、降雨による地下水の EC が低下する現象が観察されたことから、システムを稼動することによって地下水位を低下させることは、圃場地下水の EC を低下させ得る可能性があると思われる。しかし、9月下旬から11月下旬の降雨の少ない期間において、全地点の地下水の EC は、地下水の蒸発によって高い数値を示したと考えられる。この期間における、地点 E の地下水の EC に関しては、他の地点よりも低い値を示した。この結果は、周囲の表土が植生で被覆されていることが、土壌水分の蒸発を抑え、地下水の塩類化を抑制する効果があることを示している。

Table 1 に実験期間中に観測された、各地点の地下水の EC と水位の平均値、分散、標準偏差を示す。データは8月31日から10月11日までを採用した。暗渠埋設下の地点 C において、地下水の EC 値の平均は、表土の状態が同様に裸地である地点 N, W よりも低い数値であった。また、地点 C の地下水位の平均は、他のどの地点よりも低い値を示した。さらに、Turkey の多重検定 (1%有意水準) によって、この期間内に観測された、全地点における地下水の EC について分析した結果、地点 N と W に関しては、有意差が認められなかった。しかし、地点 C と他の全地点の EC は、1%の有意水準で有意差が認められた。同様にこの地点で観測された地下水位に、Turkey の多重検定 (1%有意水準) を適用したが、地点 N と W に有意差は認められなかった。従ってこれらの結果より、地下水の EC 平均値について、地点 C が地点 N, W よりも低く保たれている理由は、両者の地下水位の変化に差があるためと推察される。すなわち、暗渠排水によって圃場地下水位を低下させることは、地下

Table 1: Statistical analysis of EC and water level at the each point (Aug 11 - Oct 11)

	EC (dS m ⁻¹)				Water level (cm)			
	N	E	W	C	N	E	W	C
Mean	32.80	10.34	32.96	18.59	35.11	34.28	30.06	42.33
SD	1.4563	1.4245	1.4506	5.6327	22.9882	24.1388	22.8376	22.0907
VA	2.1207	2.0291	2.1042	31.7278	528.4575	582.6830	521.5556	488.0000
<u>Contrast (vs)</u>								
N	-	**	NS	**	-	**	NS	**
E	**	-	**	**	**	-	**	**
W	NS	**	-	**	NS	**	-	**
C	**	**	**	-	**	**	**	-

SD, VA; standard deviation and variance, respectively. The data shown in columns were gathered from 11, August to 11, October. **, NS; Significant at the 0.01 probability levels and insignificant by Tukey's multiple regression, respectively.

水の塩分濃縮を回避し、地下水のECを圃場外よりも低く保つ効果があると推察される。

3.2 ソーラーポンプによる排水

タイ東北部において実施された、ソーラーポンプに関する研究は、揚水、灌漑システムに応用した例がすでに報告されている[3]。実験期間中のタイ東北部の気候は乾季であり、8月31日から12月23日の期間で、1mm以上の降水が観測された日は14日間である。実際に、10月、および11月の月間降水量はそれぞれ33.6mm、1.6mmであることから、晴天確率の高い乾季はソーラーポンプの稼動に有効であることが推察できる。

Fig. 5は、9月2日から8日の期間に観測された、地点C、E、および排水タンクにおける水位変化を示している。圃場内の地下水位が暗渠によって低下した結果、地点CとEの地下水位差は、平均で17.7cmであることが示されている。また、Fig. 6は9月6日、および7日の水位変化を示している。図中の帯部で示した区間は、ソーラーポンプが稼動した時間帯を示している。Fig. 6より、ソーラーポンプの稼動によって、タンク内の排水が汲み上げられ、それに伴って圃場の地下水位も低下することが観察された。地点C、およびEの地下水位がともに低下しているのは、両地点間の距離が6mと近く、地点Eがポンプ排水の影響を受けていたことが考えられる。同様にFig. 6から、ポンプが稼動しているのはいずれも日の出直後であることが分かる。このことは、日中の塩類集積の発生しやすい時期にはすでに、排水によって圃場の地下水位が低下し、塩類集積を回避しやすい状態であることを示唆している。

3.3 実験地の土壌分析

Table 2に実験地の土壌の分析結果を示す。実験地の土壌は土性区分によって、砂質、あるいは砂壤土に分類される。また、土壌中の腐植含有量が低い値を示すことから、この

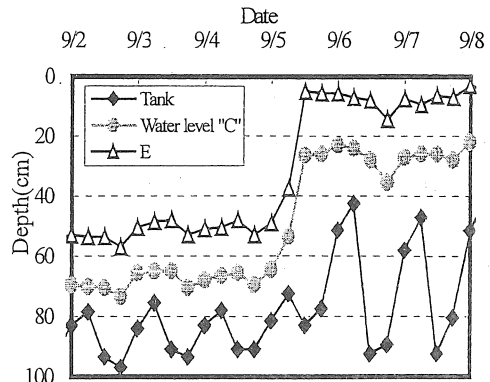


Fig5: Transition of water level at drainage and non-drainage sites

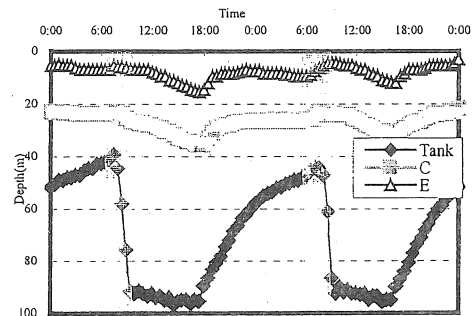


Fig6: Transition of water level at the drainage and non-drainage site in Sep, 6 and 7 (The area with gray in the figure means the term of pump working.)

土壌の肥沃度は低いといえる。ここで観察された土壌は、タイ東北部の全域に分布している典型的な性質を持つ。

分析の結果、土壌の電気伝導度は、土層ごとに差異が見られた。中でも、特にA層は高い電気伝導度を示した。この理由として推測できることは、A層の粘土含有量が他層と比較して高いということである。この地域の土壌中の粘土は侵食されやすく、流去した粘土は再び土壌表面に集積する傾向があることが明らかにされている[4]。そのため、A層は透水性が悪く、降雨によって塩類が下方へリーチングされにくいため、他層と比較して高い電気伝導度を示していると思われる。

Table 2: Soil properties in the experiment site in Khon Kaen, Northeast Thailand (sampling date: 23/Aug/00)

Layer	Depth (cm)	Soil texture	Particle size distribution (%)					EC ($\mu\text{S}/\text{cm}$)
			Gravel	Coarse sand	Fine sand	Silt	Clay	
Layer of soil dressing	0~1	S	0.2	19.2	78.2	1.5	0.9	233
Layer A	1~5	LS	0.2	25.4	61.7	6.4	6.3	4390
Layer of transition	5~10	LS	0.3	27.7	60.5	7.1	4.4	621
Layer B ₁	10~38	LS	0.2	26.1	63.4	7.1	3.2	107
Layer B ₂	38~	SL	0.3	26.5	59.2	8.2	5.8	678

Soil texture S: sand, LS: loamy sand, SL: sandy loam

3.4 土壌の電気伝導度

Table3は、各地点における土壌の電気伝導度を、サンプリングによって分析した結果を示している。土壌サンプリングは12月29日に実施し、20cm間隔で、深さ1mまで行った。タイ東北部では、この時期は乾季であり、農地の至る場所で地表面に塩類集積が生じていることが確認された。Table3において、地点CのECを見ると、他の地点における各層のECよりも低いことが分かる。また、地点Cの80-100cm層で計測されたECが、60-80cm層の2倍の数値を示している。この理由としては、暗渠の埋設深さが地表より80cmに位置していることが考えられる。すなわち、暗渠が埋設されている位置より上層は、下層と比較して、土壌塩類のリーチングが促進されたことによって、ECが低い値を示していると推察できる。

地点N, W, およびCにおいて計測された各層のECについて、Turkeyの多重検定(1%有意水準)を適用した結果、地点CとW, およびNのECに関しては有意であるが、地点WとNの2点間については有意差が認められなかった。この結果から、土壌の塩類化に関しても地下水と同様に、実験システムによって圃場の地下水位を低下させることは、土壌の塩類化を抑制する可能性があることが確認された。

システムを適用した圃場において、降雨の少ない実験後半には、実際に地下水のECの

上昇が観測された。タイ東北部のように、地下水位が低い位置に停滞している土地の場合、土壤水の毛管上昇は、ほとんど当地の気候に影響を受けるといわれている[5]。このことは、日射による地表面での土壤水分蒸発量の増加が、直接的に塩類集積の発生に影響を及ぼすことを意味している。そこで、稲藁などで表土にマルチングを施すことは、土壤水分の蒸発を減少させ、土壤、および地下水の塩類化を回避するために有効であると考えられる。実際に、本研究の実験において、植生で被覆された地点の土壤、および地下水の塩類化が抑制される効果が確認されている。タイ全土の水田面積の約55%を占める東北部において、稲藁の入手は容易であり、さらに、マルチングの適用は、腐植含量の極端に低い、タイ東北部の土壤への有機物の供給という点においても有効である。

また、圃場から排水された塩水を作物への灌漑水として利用することができれば、塩排水の処理と、タイ東北部の乾季における農業生産を促進できると考えられる。その方法として、大石は太陽エネルギーを利用して塩水を蒸気化することによって、溜池水を脱塩し、脱塩水を灌漑に利用することを研究した[6]。この研究は、塩排水の有効利用、およびタイ東北部における乾季の水不足を補う方法として有効であると考えられる。これらの方法を複合的に適用することによって、本研究システムの有効性を向上させることが可能であると推測される。

Table3: Soil EC in the experiment site (sampling date: 29/Dec/00)

Point	EC (dS/m)					Average
	Soil layer (cm)					
	0-20	20-40	40-60	60-80	80-100	
N	68.30	18.10	20.70	20.00	28.00	31.02
W	28.90	23.50	16.43	21.40	18.07	21.66
E	18.60	20.90	6.68	8.43	9.48	12.82
C	10.12	4.90	6.09	6.20	13.98	8.26
<u>Contrast</u>						
C vs N-E-W	**	**	**	**	**	-
N vs W	NS	NS	NS	NS	NS	-
E vs N-W	**	**	**	**	**	-

** , NS; Significant at the 0.01 probability levels and insignificant by Tukey's multiple regression , respectively.

4. 結論

本研究の目的は、暗渠排水とソーラーポンピングシステムをタイ東北部の塩類集積土壤に適用し、その効果を検証することにある。ソーラーポンピングシステムは、対照圃場と

比較して地下水位を低下させ得ること、また、実験圃場の土壌電気伝導度の測定によれば、地下水位を低下させた結果、土壌の塩類化を抑制する効果があることが推察された。ソーラーポンピングシステムが塩類化を抑制する効果をさらに向上させるためには、表土からの水分蒸発を減少させるため、マルチングを実施するなど、他の方法と複合的に適用することが有効であると推察された。本研究で適用したソーラーポンプを地下水位制御に応用し、耕地の塩類集積を抑制する方法は、タイ東北部における塩類土壌改良法の1つとして可能性があると思われる。

参考文献

- [1] 穴瀬真ら；塩類土壌地域の生産環境改良に関する研究 - タイ東北部コンケン近郊の場合 -，東京農業大学総合研究所紀要，第8号，p. p. 10-18，1997
- [2] 三浦憲蔵；東北タイの自然条件と畑作，農林業協力専門通信，Vol. 12，No. 2，p. p. 10-11，1991
- [3] 東城清秀ら；塩類集積地帯における灌漑方法と塩分濃度管理に関する研究，ソルトサイエンス研究財団研究報告，p. p. 309-320，1998
- [4] 成岡市ら；タイ国内陸性塩害地における塩分集積の実状と防止対策，農業土木学会誌，59(11)，p. p. 14-17，1991
- [5] Hanson et al；Agricultural Salinity and Drainage；the U.S. Department of Agriculture Water Quality Initiative，p. 75，p. 149，1999
- [6] 大石常夫；タイ東北部における自然エネルギー応用に関する研究，東京農業大学修士論文，2000

Improvement of the Saline Land by Application of Solar Pumping System for Controlling Groundwater Level

Koji TAMAKI*, Makoto ANASE**, Fusakazu AI*, Shuichi SUGI***,
Kiyoshi TAJIMA*, Junya TATSUNO*, Pimta Wong Korakot**** and Yohei HASHIMOTO*

*Faculty of Regional Environment Science, Tokyo University of Agriculture

**Nodai Research Institute, Tokyo University of Agriculture

***Faculty of Agriculture, Natural Resource and Environment, Naresuan University, Thailand

****Graduate school, Tokyo University of Agriculture

Summary

Northeast Thailand has been recognized as one of countries severely suffering from the soil salinity problem in the world. In fact, approximate 60% of area of Northeast region is estimated as salinized or hazardous area of salinization before long. It is clear that salinization occurring in Northeast Thailand affects adversely agricultural productivity in this region. However, it is as urgent issue to improve saline problem for creating proper environment of agricultural production in Northeast Thailand because GDP of Thailand depends on agricultural production in approximately 80% of all.

In this study, we applied the solar-pumping system and subsurface drainage system for improvement on the saline land in Northeast Thailand. The combination of these two elements was assumed to be effective to lower the groundwater level and this system prevented salt-accumulation from ground surface. As result of experiment, this study indicates that an application of the solar-pumping system and subsurface drainage system has potential as an improvement method of soil or groundwater Salinity in northeast Thailand. Under the field of application of the solar-pumping system and subsurface drainage system, electrical conductivity of groundwater (ECe) was readily changeable especially in precipitation term. This experimental result implies the possibility that the solar-pumping system and subsurface drainage system may have a leaching effect of Salinity.