

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

論題(和文)	タイ東北部の塩害調査と「ジグソー・ピース作戦」
Title	The Jigsaw strategy and survey of salt damage areas in the northeastern part of Thailand
著者(和文)	ピパットポンサー・ティラポン, 飯塚敦, 河井克之
Authors	T. Pipatpongsa, A.Iizuka, K.Kawai
出典 / Citation	土と基礎, Vol. 55, No. 3, pp. 22-24
Citation(English)	, Vol. 55, No. 3, pp. 22-24
発行日 / Pub. date	2007, 3
Note rights	地盤工学会
relation	isVersionOf: <a href="http://ci.nii.ac.jp/naid/110006239357">http://ci.nii.ac.jp/naid/110006239357</a>

## タイ東北部の塩害調査と「ジグソー・ピース作戦」

The Jigsaw Strategy and Survey of Salt Damage Areas in the Northeastern Part of Thailand

Pipatpongsa Thirapong (ピパットボンサー ティラポン)

東京工業大学助教授 学術国際情報センター

飯塚 敦 (いづか あつし)

神戸大学教授 都市安全研究センター

河井 克之 (かわい かつゆき)

神戸大学助手 工学部建設学科

## 1. はじめに

著者らは、平成17年より、タイ国東北部における塩害調査と、塩害復旧についてのタイの関係各機関とのミーティングを持つ活動を行っている。小さな例を通してではあるが、この活動を通して、著者らは国際協力のあり方について考えさせられることが多かった。

もともと著者らは、不飽和状態にある地表土中のサクシオン分布に興味があった。強い太陽エネルギーにさらされる南国では、固結した表土にシールされた地盤中にはどれほどのサクシオンが残留しており、大雨や氾濫によるサクシオン解放に伴って、どのように地盤変状が生じるのか。そのメカニズムの解明に興味があった。しかし調べてゆくと、そのような地盤変状もさることながら、強い太陽エネルギーにさらされるゆえの地中からの塩の析出が大きな問題となっていることを知った。塩害と地盤変状、この二つをキーワードに、被害にあっている土地を調査してみることにした。

このような経緯で企画されたのが、タイ東北部での第1回目の調査であった。平成17年10月13日から10月20日の日程で、タイ東北部のコンケン、サコンナコンに向いた。かつての森林地帯も、今や、伐採によって一面の農耕地帯となっている。森林の貯水効果が失われ、本来の水循環にくるいが生じると、もともと地下水に塩分が含まれていることから、乾季には地表面に塩が析出するといった塩害が発生している。さらには、塩分を含んだ地下水を人為的に汲み上げ、塩田で塩が生産されている。やせた土地での農業収入だけでは十分でない農家が、農閑期（乾季）に塩田を運営しているのである。しかし、塩田で不要になった塩水は、農業用灌漑路に放出されており、これがさらなる塩害を引き起こしている。地下水の汲み上げは地盤変状（陥没）も引き起こしていた。このような塩害に対して、タイの政府機関、それぞれ対策を講じているが、残念なことに、それぞれの機関は独立に独自に対処しているため、相互の情報交換、意見交換、共同作業が行われていない様子で、なかなか効果的な手を打てないと感じた。なんとかこのようなタイの機関を一つのテーブルの前に集めることはできないだろうか。そして、それぞれが情報交換、意見交換でき、引いては共同作業を実現することはかなわないであろうか

と考えるようになった。

不遜な企てなのかもしれないが、著者らの研究グループで出来ることを議論した。その結果、ひねり出したのが、名付けて「ジグソー・ピース作戦」である。著者らの有する地盤関係のシミュレーション技術を応用して、タイの各機関が興味を持ってくれるシミュレータを開発する。それをテーブルの上に置いてみて、関係各機関を、そのテーブルの周りに集めようというものである。一つのテーブルに集めることができれば、そこから相互の情報交換、意見交換を活性化させることができるかもしれない。それが、タイの各機関同士の有機的な連携につながるかもしれないと考えたのである。

これを目的に、第2回目のタイ訪問を実施した。平成18年11月27日に、神戸大学都市安全研究センター(RCUSS)、東京工業大学学術国際情報センター(GSIC)およびタイ国カセサート大学地盤工学研究開発センター(GERD)の共催で不飽和土・塩害に関する計算手法のワークショップをバンコクで開催した。著者らが1年かけて開発した「塩害・地盤変状シミュレータβ版：DACSAR-U\_ad」を持参した。このワークショップには、著者らの研究グループからの参加のほか、カセサート大学のスタッフと学生をはじめ、タイの天然資源環境省、農業協働組合省、産業界の関係者約20名が集まった。幸いに、未だ試行段階ではあるがDACSAR-U\_adのパフォーマンスは、出席者に好評で、来年にはカセサート大学に開発を移管し、タイの現地の人々の連携による塩害への取り組みが期待できそうである。また、第2回目のタイ訪問では、ワークショップ後に、著者らのグループの一部は、天然資源環境省の方の案内で、ウドンタニおよびサコンナコンに再度向かい、現地地盤の塩分濃度の現地測定も行った。

## 2. タイ東北部の「塩」事情

2回の現地調査で得た知見をもとに、まず、タイ東北部における「塩」事情をまとめておく。

## 2.1 地盤構成と製塩

タイ東北部は乾燥台地であり、降雨量が年間1 100 mm~1 500 mm とばらつきがあるが、極度の乾燥にさらされているわけではない。地表は砂質固結土であるが、降雨は深部まで浸透しやすく、保水されにくい。さ

らに地下水および土壌に塩分も含まれているため、タイの他の地域に比べて生態環境が悪く、農業生産性が低い土地である。その結果、乾季における製塩は、農家の副業として発達してきた。

タイ東北部の地形を口絵写真-3に示す。山脈に囲まれるサコンナコン・コラートの両大規模内陸盆地の下、地下深度150 m~300 m位に東南アジア最大の岩塩層が存在していることが1960~1970年に発見されている。大陸移動前の大昔、熱帯の海底に位置していたが、地殻変動によって碗状の基盤層に海水を蓄えたまま隆起した。これが塩湖となり長期間にわたって水分が蒸発し、沈降した塩分結晶化層が下部岩塩層となった。その後の海水位上昇に伴い、盆地に流れた海水は同じ現象を繰り返し最終的に上部岩塩層が形成された。タイ東北部の岩塩構成の概略を口絵写真-4に示す。タイ環境省によると、鉍床岩塩と塩害地の規模は次のようにまとめられる<sup>1)</sup>。

塩類集積土壌	: 約28 970 km <sup>2</sup>
塩害地	: 約2 830 km <sup>2</sup>
鉍床岩塩	: 約18兆 t
鉍床カリウム	: 約25億 t
岩塩層厚	: 約100m~150 m
岩塩層深度	: 地下約150 m~300 m

タイ東北部の約20%を占める土地は、すでに塩類集積土壌に覆われてしまっており、作物栽培に大きな影響を及ぼしている。その1割は農作物が栽培できない塩害地と化し、これが、タイ東北部における貧困の原因の一つと言われている。

さらに、近年の開発に伴い、多くの森林が伐採され、これによって、塩分を含む地下水面が、植生の根域まで押し上げられる結果となり、植生が生存できない地域が拡大するという緊急事態となっている。植生の減少は、地表面からのさらなる蒸発を促し、塩害を倍加させるという悪循環に陥っている。

一方、化学産業における塩の需要の高まりに伴い、高純度の塩化ナトリウムを有する岩塩は、工業原料鉍物資源として有望視されるようになった。このため塩田産業がさらに盛んとなり、塩田用揚水の井戸が大幅に増加している。年間2百万t前後を上回るこの地方での塩は、化学産業に6割、食品産業に3割が供給されている。タイ東北部の地下に存在する地下鉍床岩塩は、約18兆tと見積もられ、国家の戦略的天然資源として、外国企業の参入が禁じられている。

伝統的な製塩手法として、上部岩塩層に滞留する塩分含有地下水を汲み上げ、それを自然乾燥させて塩を得る方法が用いられているが、このような製塩法では、塩分含有の排水が、さらなる塩害と砂漠化を引き起こしてしまっている。やせた土地で農耕を営む農家にとって、このような製塩は貴重な副収入をもたらすが、結果として、さらなる塩害を引き起こし、農業生産性を著しく低下させている。「農家が自分の首を自分で絞める」がごとの悪循環に陥っている。近年、近代的な工業設備の下、下部岩塩層に直接にボーリングを行い、品質のよい岩塩

を採取した後、不要となった塩分含有排水を地中の元の位置に戻する方法が取り入れられるようになってきた。この方法によれば、さらなる塩害の拡大は防がれるが、主流となるには至っていない。農家の経済的改善にもつながっていない。

タイ政府は、伝統的な製塩法の法規制に乗り出しているが、製塩に従事している農家の経済的改善になかなかつながらず、塩害にまつわる問題の根は深いようである。

## 2.2 塩害進行のメカニズム

降雨、蒸発と地表面における植生による水分の貯水量、河川への流下とが、太陽エネルギーの下でバランスがとれていけば、地下に溶解している塩分が地表に現れることはない。しかし、一旦そのバランスが崩れると、地表からの水分蒸発が地下からの水分を吸い上げ、塩水の地下水面が上昇する。希薄な塩分も、塩水の地下水面が上昇して、地表付近に至ると脱水によって高濃度化し、最後には塩の結晶として地表に析出する。そして、雨季には地表面の塩分は降雨浸透とともに地盤内へ染み込み、濃い塩水の地下水層を押し上げて、毛細管現象で地表面付近に再び集積する。また、雨季の流失塩分は、乾季に水分の蒸発によって地表面へ再結晶化して現れることもある。要するに、雨季・乾季の繰り返しの伴い、塩分濃度が上昇し、塩害を引き起こす(図-1)。

一度、塩が析出すると、もはや植生や作物は育たなくなってしまうが、これを一次塩害と呼ぼう。さらに、塩分を含んだ地下水を人為的に汲み上げ製塩を行う際、地下水汲み上げと岩塩層の溶解に伴って、地表面の陥没が生じる現象、塩田で不要になった水がそのまま灌漑水路に排水されることによって、そのため近隣の水田に深刻な塩害をもたらす被害、塩分の多い土地に灌漑水路の建設を行った結果、塩害で作物が育たなくなる実例などは二次的塩害と呼んで良いであろう。

タイ東北部における塩害は、様々な要因が関わる典型的な地球環境問題の様相を呈している。

## 3. 東北部の塩害現場調査

### 3.1 第1回目調査

第1回目調査は、平成17年10月13日~20日に実施された。工業省第一次産業・鉍業局の専門家の案内を得て、サコンナコン県郊外の塩田を視察するとともに、現地の塩害対策の実際を知る目的で、

#### (1) カセサート大学サコンナコン校

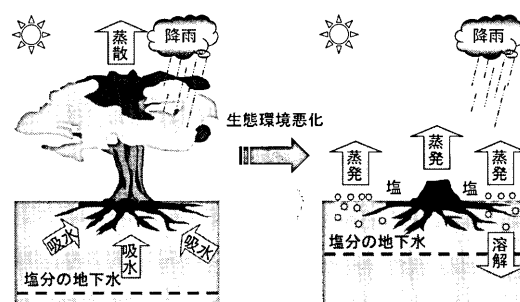


図-1 生態環境悪化による塩害

表一 訪問した機関の役割

機関	役割内容
農業協働組合省土開発局	農業適地評価・土地利用調整
工業省第一次産業・鉱業局	鉱産資源探査・陥没検査
天然資源環境省	水質検査・河川監理
科学技術省国家遺伝子工学バイオテクノロジーセンター	植生生態的機能開発研究
カセサート大学	地盤安定性研究・水質汚濁研究
コンケン大学	地盤支持力研究・水環境研究

- (2) コンケン大学  
 (3) コンケン県土開発局土壌調査部(口絵写真一5左)  
 (4) 国家遺伝子工学バイオテクノロジーセンター(口絵写真一6)  
 (5) ピマリー製塩工場(口絵写真一5右)

などの機関を訪問した(表一)。コンケン県土開発局土壌調査部では、本稿でも多くを引用しているが、タイ東北部の地質状況と地下岩塩層分布の把握に努めている。工業省第一次産業・鉱業局は、農家による製塩事業(口絵写真一7, 8)を監督し、地下水汲み上げに伴う地盤変状(陥没, 口絵写真一9)の対策を担当している。実際には、地盤変状が生じた場合、その陥没を埋め戻すことを行っているが、陥没の発生を抑止・予防までには至っていない。下部岩塩層から直接に塩を採取し、不要となった排水を元に戻すという閉鎖型の近代的工場設備(真空式製塩工場)が、ピーマイ製塩工場である。また科学技術省では、国家遺伝子工学バイオテクノロジーセンターにおいて、耐塩性に強い稲の品種改良および塩分吸収植種の能力改善を試みている。しかし、このような塩害に対する各機関の試みも、各機関間の情報交換もなく、まったく個別に行われているのが実情であった。

### 3.2 第2回目調査およびワークショップ

平成18年11月26~29日に、再度、タイに出向いた。著者らが企てる「ジグソー・ピースズ作戦」の実施である。カセサート大学地盤工学研究開発センターと共同して、11月27日、バンコクにてワークショップを開催した(口絵写真一10)。前回の調査をもとに、著者らの研究グループが開発した「塩害・地盤変状シミュレータβ版: DACSAR-U\_ad」を持参し、架空地盤に対するシミュレーションを例題に報告した。前回の調査で訪問したタイの各機関、天然資源環境省、農業協働組合省、産業界の関係者約20名が集まってくれた。コンケンからは、ピーマイ製塩工場の工場長も参加してくれた。

カセサート大学の地盤研究者による発表、天然資源環境省の担当者による塩害の実態報告をまじえながら、議論を行った。塩害に携わっているタイの各機関の方々には興味を持っていただろうか。タイの関係者間の情報交

換、意見交換の機運は高まったであろうか。成果の行方に不安が募った。しかし、「あなた方外国人がこの機運を盛り上げてくれるのに感謝したい。今後とも、このようなテーブル・ディスカッションを継続していきたい」との発言を得て、著者らは少しは安堵した。著者らが持参したシミュレータは、今後1年間のチューンアップの後に、カセサート大学側に譲渡される。カセサート大学を主幹事として、各機関独自の研究・開発成果をまじえながらの意見交換が継続されていくようである。このようなテーブル・ディスカッションは、小さな小さなきっかけにしか過ぎないが、今後、「現地の人々による解決」に向けて実を結んでいってほしいと祈念する。

ワークショップ終了後、著者らの一部は、天然資源環境省ウドンタニ県環境局の引率の下、ウドンタニ県およびサコンナコン県郊外の塩田調査、現地土壌の塩分濃度分析を実施した(口絵写真一11)。

## 4. おわりに

タイ東北部では、過去、国際機関等の支援の下、塩害改良活動が活発に行われ、日本からも JICA, JBIC, NGO 等が支援に乗り出していた。現在では、タイ国における政府機関、大学、研究所が、それぞれ独自に対処している。しかし、それぞれのタイ国の機関は全く個別に活動を行っており、互いの連携が取られていないように見受けられた。そのため、それぞれの機関の成果を相互活用することができず、重層的、複合的地球環境問題と化しているタイ東北部の塩害に対して、総合的解決への障害となっているようである。「まずは、タイの各機関相互の情報交換から」を念頭に、失われたリンクを構築すべく、活動を開始した。とても「国際協力」などおこがましいが、決して著者らが主導的な立場に立つことなく、タイの現地の機関、人々が主役として、関係機関の連携の機運を盛り上げてくれればと願っている。

なお、本稿で述べたタイ国における活動の一部は、神戸大学 COE「安全と共生のための都市空間デザイン戦略」プロジェクトの一環でもあることを最後に付記する。

### 参考文献

- 1) 須藤定久・神谷雅晴・平野英雄: インドシナの鉱物資源 (1)ーインドシナの地質と鉱物資源の概要一, 地質ニュース, 502, pp. 42~47, 1996.
- 2) 藤川和彦・飯塚 敦・河井克之・P. Thirapong: 物質移動を考慮した不飽和土/水連成問題の数値モデルと有限要素解析手法, 土木学会応用力学論文集, Vol. 9, pp. 377~384, 2006.
- 3) S. Sukchan: private communication, 2005.

(原稿受理 2006.12.25)