

京都大学工学部地球工学科
京都大学大学院工学研究科
京都大学大学院工学研究科

学生員
正会員
正会員

○新治 義久
大津 宏康
北岡 貴文

1. はじめに

タイの首都バンコク及びその周辺地域では、近年の急速な都市部拡大に伴う地下水の過剰揚水の結果、地盤沈下や地下水塩水化等の問題が顕在化している。また、同地域の首都圏では揚水規制による地下水位の回復が報告されており、地下水位の低下に伴う地盤沈下問題も首都圏から郊外に拡大した¹⁾ことから、地下水位の回復傾向も首都圏から郊外に拡大しつつあることが推測される。

既往の研究²⁾において、過剰揚水の結果、同地域の沿岸部で海水の進入による地下水塩水化が確認されている。また、東南アジア諸国、例えばバングラデシュで深刻な被害をもたらしたヒ素汚染は、過剰揚水等の人為的な要因が影響していることが指摘されている。タイにおいても今後地下水汚染問題がさらに深刻な状態になる前に、地下水汚染の現状分析と、地下水資源管理を適切に実施できるシステムの構築が喫緊の課題となっている。

本研究では、**図1**に示す7地域をバンコク周辺地域として、タイの Department of Groundwater Resources の測定データ(2010年, サムットプラカンのみ2011年)に対して、統計手法を用いた現状の水質分析を行う。そして、過剰揚水の影響の観点から、地下水塩水化、ヒ素汚染メカニズムの推定を行う。なお、対象地域におけるデータ分析をより正確に行うため、Arc-GIS の地理情報システムを導入した。



図1 研究対象地域

2. 主成分分析

主成分分析とは、多次元の変数データを低次元のデータに結合、縮約する統計手法の一つである。

バンコクにおける主成分分析結果を**表1**に示す。第1主成分(寄与率 66.8%)は、イオンの溶存量に関する変数の主成分負荷量が大いことから、イオンの溶存量を総合指標として表現していると言える。第2主成分(寄与率 12.6%)はHCO₃⁻等、深度に関する因子であると考えられる。また、主成分負荷量間で、塩化物イオン濃度とヒ素濃度に有意な相関関係が確認された。これは、地下水塩水化とヒ素汚染がそれぞれ過剰揚水に起因していること原因であると考えられる。ノンタブリー、パトムターニでも同様の結果が得られた。

3. 地下水塩水化メカニズムの推定

クリギング手法は、推定領域の周囲の測定データに最適な重みをかけることで推定値を算出する方法である。

バンコク周辺地域における第2帯水層(PD層)の塩化物イオン濃度のクリギング結果を**図2**に示す。塩水が淡水より比重が大きいことを踏まえて、第3帯水層(NL層)、第4帯水層(NB層)でも塩水化が顕著に見られた河口部からバンコク中心部が海水進入地域であると考えられる。

既往の研究結果と比較して、サムットプラカンとパトムターニの塩水化が深刻化していることが示唆された。これは**図3**³⁾に示すとおり、経済成長期に都市部の拡大に

表1 主成分負荷量表

項目	主成分1	主成分2
Na	0.9656	0.1124
K	0.8449	0.3682
Ca	0.7216	-0.4322
Mg	0.9518	-0.2201
Cl	0.9816	-0.0938
SO4	0.7502	0.0675
HCO3	-0.1654	0.8850
EC	0.9878	-0.0111
As	0.8878	0.2531
PH	-0.5343	-0.1422
固有値	6.7	1.3
寄与率(%)	66.8	12.6
累積(%)	66.8	79.4

伴って民間井戸の過剰揚水が行われた結果、サムットプラカンで海水の進入、パトムターニで元来塩分濃度が高い第1帯水層(BK層)の地下水の流入が生じたことが考えられる。

4. 地下水ヒ素汚染メカニズムの推定

地下水ヒ素汚染メカニズムとして、酸化説、還元説、水酸化鉄脱着説等が挙げられる。酸化説は、過剰揚水によって酸素が供給されることで酸化的環境となり、黄鉄鉱からヒ素が遊離するというものである。この説はヒ素と硫酸イオンに正の相関関係が見られることが前提である。還元説は過剰揚水によって表層から微生物が供給されることで還元的環境となり、鉄酸水酸化物からヒ素が遊離するというものである。微生物の供給源は農業で排出される肥料等が挙げられており、ヒ素と鉄に正の相関関係が見られることが前提である。水酸化鉄脱着説は、中性から弱塩基性の水質に変化する場合、水酸化鉄鉱物の表面電荷が弱くなり、等電位点(pH7.9~8.2 付近)を経て、マイナスに帯電し、その結果、吸着されていたヒ素が遊離するというものである。この説は弱塩基性の水質であることが前提である。

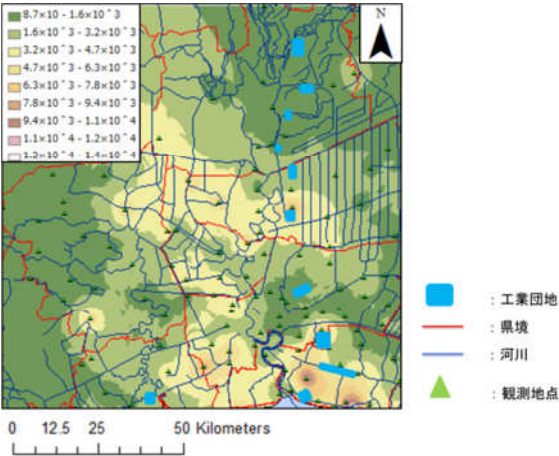


図2 PD層の塩化物イオン濃度のクリギング結果 (mg/l)

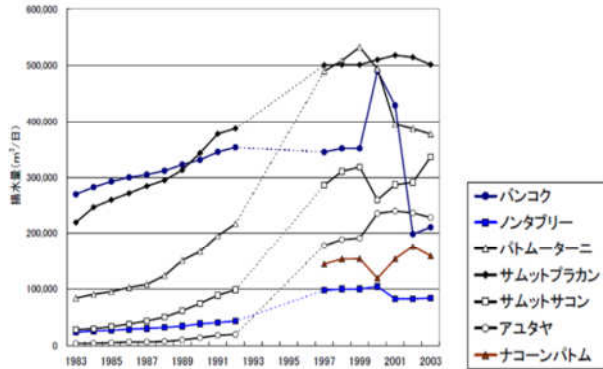


図3 バンコク周辺地域における民間井戸の揚水量の推移

表2 ヒ素汚染地域と各汚染メカニズムの整合性

	硫酸イオンとの相関関係(酸化説)	鉄との相関関係(還元説)	弱塩基性の水質(水酸化鉄脱着説)	地下水汚染メカニズム
バンコク南西部	○	×	×	酸化説
ノンタブリー北部	△	○	×	還元説
パトムターニ西部	△	○	×	還元説
パトムターニ中心部	○	×	×	酸化説
パトムターニ(2011年)	×	×	○	水酸化鉄脱着説

本研究では、バンコク周辺地域におけるヒ素汚染地域について、各汚染メカニズムの妥当性の検討を行った。その結果を表2に示す。バンコク南西部とパトムターニ中心部の地点は酸化説、ノンタブリー北部とパトムターニ西部の地点は土地利用も踏まえて還元説と整合性のある結果となった。また、2011年の測定データで、パトムターニで局所的に環境基準の0.1mg/lの3000倍を超えるヒ素濃度が測定されたが、これは水酸化鉄脱着説と整合性のある結果となった。

5. まとめ

本研究では、多変量解析とクリギングを用いて、過剰揚水の観点から地下水汚染メカニズムの推定を行った。その結果、経済成長による都市部の拡大に伴って、特に民間井戸の過剰揚水によって地下水塩水化が生じていることが示唆された。引き続き揚水規制等の対策を行う必要がある。また、地下水ヒ素汚染について、環境基準を超えた地点の定期的なモニタリングが必要である。

今後の展望として、バンコク周辺地域で生じている地下水位の回復傾向がこれら2つの地下水汚染問題に与える影響について、数値解析的に検討していく必要がある。

参考文献

1) Noppadol Phienwej, 大津宏康, Nutthapon Supawiwat, 高橋健二: バンコクにおける地下水揚水に伴う地盤沈下, 土と基礎, Vol.53, No.2, pp16-18, 2004.

2) 辻和毅: モンスーンアジアの大都市圏における地下水保全政策の実証的比較研究, pp.53-78, 2009.

3) 大津宏康, Noppadol Phienwej, Nutthapon Supawiwat, 高橋健二, 泉裕昭: バンコクにおける地下水揚水量の不確実性を考慮した地盤沈下推定, 土木学会論文集F, Vol.62, No.1, pp.25-40, 2006.