

京都大学工学部地球工学科 学生員 ○土谷 陽太郎
 京都大学大学院工学研究科 学生員 新治 義久
 京都大学大学院工学研究科 正会員 北岡 貴文
 京都大学大学院工学研究科 正会員 大津 宏康
 京都大学大学院工学研究科 正会員 Pipatpongsa.Thirapong

1. はじめに

本研究の対象地域であるタイの首都バンコクおよびその周辺地域では、1950年代から始まった急速な都市開発に伴って、地下水の過剰揚水による被圧帯水層における地下水位（ピエゾ水頭）の低下が問題となった。その結果、地下水塩水化など様々な問題が顕在化した。これをうけ、同地域では1984年から2005年まで地下水課税が段階的に引き上げられ、首都圏における地下水位は回復傾向を示すようになった。この傾向は郊外にも拡大しているが、地下水位の回復による地下水汚染の拡大など、新たな問題が懸念される。

本研究では、ピエゾ水頭のコンター図の作成、主要溶存イオンなどの地下水水質の分析、そして数値解析と、複合的な視点から地下水流動場の変遷について考察を加えた。その結果を用いて、東南アジアにおいて問題となっている地下水塩水化について検討した。本研究の成果は、地下水脈の推定ならびに地下水水質の形成過程、そして地下水汚染の由来を定量的に検討する上での基礎資料となる。また、その他の東南アジア諸国において発生しうる同様の地下水問題に対して、対象地域におけるケーススタディから得られた知見を共有することが期待される。

2. 地下水位の推定および揚水量との関連

本研究では、地下水流動について検討する前段階として、対象地域における1993年から2009年までの各帯水層（PD, NL, NB層）におけるピエゾ水頭のデータ（2009年:128地点）を用いてクリギングを行い、ピエゾ水頭の変遷を各県、各帯水層の揚水量とともに考察した。揚水量のデータはタイ地下水資源局のデータを参照されたい。バンコク周辺地域におけるピエゾ水

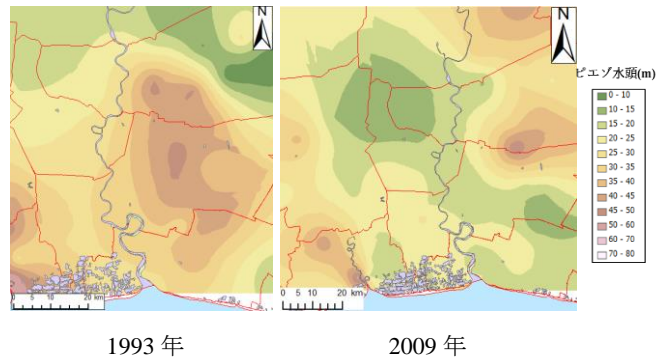


図-1 ピエゾ水頭のクリギング結果（PD層）

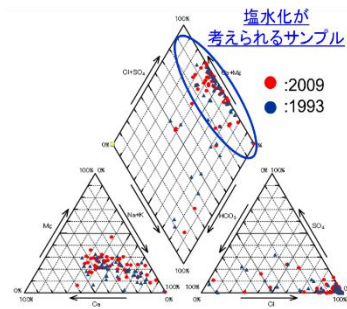


図-2 トリリニアダイアグラムによる水質の比較（PD層）

頭(m)のクリギング結果を図-1に示す。この結果から、バンコク都市部を中心に、全体的な傾向としてピエゾ水頭が回復傾向にあることがわかる。しかし郊外においては2009年時点でもピエゾ水頭が回復していない地域も存在しており、揚水量が低下していないことや揚水井の集中などが原因であると考えられる。

このように、ピエゾ水頭と揚水量の変動における相関を示すことができた。今後は揚水井分布の変遷や揚水による影響半径についても考慮し、より精緻な分析を重ねていく必要がある。

3. 地下水水質に関する現状分析

バンコク周辺地域における地下水水質を定量的に分析するために、水質分類手法であるトリリニアダイア

グラムを用いた。地下水位がまだ低下していた 1993 年と、地下水位が回復傾向にある 2009 年における地下水水質の比較結果を図-2 に示す。この図から、1993 年時点で地下水塩水化による水質汚染が深刻化していることが確認される。2009 年時点では、Cl⁻濃度が増加している地点が多く、わずかにではあるが地下水塩水化が進行していることが推定される。都市部におけるピエゾ水頭の回復傾向や郊外での低下傾向より地下水流動の変化が確認されることから、今後郊外の内陸部においても地下水中の塩化物イオンが移流・拡散していくことが推測される。

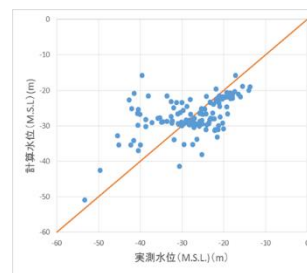


図-3 モデルの整合性の検証

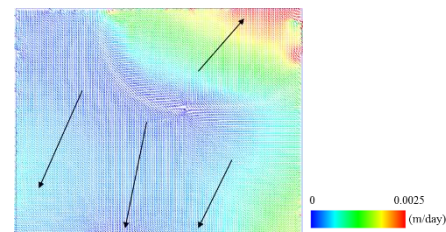


図-4 局所モデルの結果 (2009年)

4. 広域モデルにおける浸透流解析

本章では、チャオプラヤ平野南部全体を対象とした広域モデルによる浸透流解析について述べる。解析手法としては有限差分法を用いた。メッシュ分割や地盤物性値などモデルの詳細については、既往の文献²⁾を参照されたい。本モデルにより推定したピエゾ水頭を、次の章の局所モデルの境界条件の情報として用いた。本モデルの精度検証は、2006 年の解析結果と観測されたピエゾ水頭との整合性により検討した (図-3)。図に示されるように、都市部では精度の良い解析結果が得られたものの、一部の地域では解析値と実測値に数十 m 程乖離がみられた。今後、郊外におけるモデルの精度向上を図る必要がある。

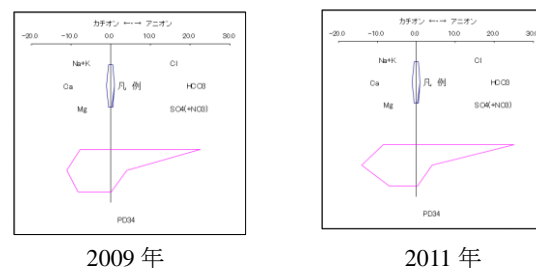


図-5 ヘキサダイアグラムの変化 (PD層)

5. 局所地域における浸透流解析

バンコク周辺地域における自然な水質形成過程を推測するため、バンコクの局所的な地域を選択し、その範囲における簡易的なモデルを作成して有限要素法による浸透流解析を行なった。得られた解析結果と水質の分析結果を基に、Cl⁻濃度について考察を加えた。例として、図-4 に PD 層の解析結果を示す。解析結果は、2005 年以降では流動方向、流速がほぼ一定になっている。これはバンコク都市部における揚水が規制され、ピエゾ水頭が回復した結果であると考えられる。この地域における 2009、2011 年のヘキサダイアグラム (図-5) の変化をみると、地下水水質は大きく変化していないが、PD 層では平均して Cl⁻濃度が約 100mg/L 増加している。また、NL 層ではほとんど Cl⁻濃度が変化しておらず、流速は小さいので、地下水塩水化が自然な水質形成過

程において減退する可能性は低いと考えられる。

6. まとめと今後の課題

本研究では、タイ・バンコク周辺地域における地下水流動及び地下水水質の変遷を、種々の分析手法を用いて検討し、塩分濃度の挙動を推定した。浸透流解析と水質分析の結果からみて、地下水の流動方向は変化しているが、地下水塩水化が自然な地下水の流れにおいて回復するのは困難であることが示唆された。今後の課題としては不足分のデータを収集し、現状の解析精度を向上させる必要がある。今回は塩化物イオン濃度から地下水水質の変化を分析したが、今後は本研究で得られた知見を基に、他の主要溶存成分の変化や自然由来の重金属汚染の挙動について地層との反応なども考慮して検討していくことが課題である。

参考文献

- 1) Department of Groundwater Resources.
- 2) 国際協力機構 (JICA), タイ鉱物資源局 (DMR), 公共事業局 (PWD): バンコク首都圏地盤沈下・地下水管理計画調査, 1995