

研 究 主 論 文 抄 録

論文題目 インドネシア・Jakarta 地域の地下水流動における都市過剰揚水に伴う地下水年代の若返りプロセス

(Groundwater age rejuvenation caused by the excessive urban pumping
Shown in the groundwater flow system of Jakarta Area, Indonesia)

論文提出者 利部 慎
(by Makoto Kagabu)

主論文要旨

経済的に貧しい国やインフラ整備が遅れている発展途上国などにおいて、地下水は必要不可欠な飲用水源として、貴重な資源となっている。その一方で、地下水使用のための過剰揚水により、地盤沈下や海水浸入、汚染された浅層地下水の深層への浸入などといった問題が顕在化している。アジアの多くの沿岸大都市において次々とこのような地下水問題が発生しており、本研究の対象地域である Jakarta 地域においても、近年の急激な人口増加に伴い同様の問題が指摘されており、これまで水文学的なアプローチからいくつかの研究が行われてきた。しかし、上述した地下水に関連する諸問題を含んだ Jakarta 地域の地下水流動特性について、複数の水文化学的な手法を組み合わせ用いて議論した研究は行われていない。

そこで本研究では、Jakarta 地域の地下水流動機構を、複数の地下水年代トレーサーや水文化学手法を用いることで解明しようと試みた。また、地下水年代トレーサーのひとつである ^{14}C を 1985 年と 2008 年で比較したところ、2008 年には相対的な地下水年代がすべての観測地点 (9 地点) で若返っていること (“Rejuvenation”) が判明した。これは、都市化に伴う地下環境への負荷を示す新たな指標になりうることから、地下水流動シミュレーションを用いることで地下水年代の若返りプロセスの把握を試みた。

<水文化学的な手法を用いた結果>

Jakarta 地域から得られた地下水の多くは、その安定同位体 ($\delta^{18}\text{O}$ 、 δD) 特性から、ほぼ同標高の地域で涵養されていると考えられ、その後、水文地質構造に沿うように、選択的に浅層や深層の帯水層中を流動する。その流動過程において、各帯水層の地下水

水質や滞留時間は明確な違いを示す。また、地下水ポテンシャルの分布から、都市部における深層地下水の過剰揚水による明確なポテンシャル低下域がみとめられ、これにより浅層地下水あるいは海水の深層地下水への引き込みが起こっていることが、一般水質や Br^-/Cl^- 比、CFC-12 分析、 SF_6 分析から明らかになった。また、人為的な影響のみられなかった山岳地域の湧水では、トリチウムや CFCs を用いた滞留時間の推定が行われ、トリチウムで 45 年未満が得られたが、CFCs では 20 から 30 年とより滞留時間を制限することができた。さらに、本地域では CFC-12 濃度が地下水の滞留時間の相対的な指標として用いることが可能であることが、トリリニアダイアグラム上での CFC-12 濃度分布特性から明らかにされた。

<地下水流動シミュレーション>

Jakarta 地域の中で、特に都市化している DKI Jakarta の範囲に該当する深層地下水を対象として、1950 年から 2008 年までの各年において対象領域へ入り込む地下水 Flux 量を計算した。その結果、地下水揚水活動が盛んでなかったと考えられる 1983 年以前は、南から北への自然状態の地下水流動を有していたことが明らかとなった。一方、1980 年代半ばから北部海岸沿いの地下水 Flux は内向き（陸側への海水浸入 Flux）へと変化した。これは都市部での過剰揚水に起因するものと考えられる。また、この時期から対象内へ向かう 6 方向の Flux 成分で最大となったのが鉛直下向きの Flux 成分であり、2000 年代には全 Flux 成分の約 5 割を占めるようになった。この結果は実測された CFC-12 や SF_6 分析とも整合的で、若い地下水の指標となるこれらのトレーサーが深層地下水においても検出されることから、浅層の若い地下水の引き込みが示唆された。さらに、 ^{14}C 年代が 1985 年と 2008 年で得られた地点を対象として、 ^{14}C 実測値による地下水年代の若返り率 “ R ” を定義し、50 年以下の若い地下水の指標である CFC-12 濃度と比較したところ、 R と CFC-12 の間には高い正の相関関係が認められた。また、 R や CFC-12 濃度の大きな地点では、鉛直下向きの Flux 成分も卓越することから、地下水年代の若返りは、過剰揚水に伴い深層地下水帯水層へと浸入した浅層の若い地下水の引き込み現象が存在していることが、地下水流動モデルによっても確認された。

本研究により、急激な都市化の進む Jakarta 地域の地下水流動機構において、都市化に伴う地下水過剰揚水が地形勾配と帯水層の透水性上に基づく自然状態の地下水流動を乱し、汚染に脆弱な若い浅層地下水や海水が深層地下水へと引き込まれている実態が、複数の水文化学的な手法や 3 次元地下水流動シミュレーションにより明らかにされた。地域の主要水資源としての地下水への依存が高まる Jakarta 地域において、その持続的利用のために、実効性のある地下水揚水規制の枠組み作りや代替水資源の確保といった対策を早急に実施し、地盤沈下等の地下水問題がこれ以上拡大しないように適切な地下水保全が図られることが望まれる。