

## 学位論文の要旨

論文題目 環境トレーサーを用いた湿潤島嶼流域における  
地表水-地下水相互作用にともなう地下水の非定常現象の解明  
Groundwater Dynamics Associated with Surface Water-Groundwater  
Interaction in Watersheds of Humid Islands Using Environmental Tracers

広島大学大学院先進理工系科学研究科  
友澤 裕介

地下水は身近で安定的な水資源として利活用されている。しかし、一部の沿岸都市域では地下水の適切な管理が行われず、過剰な揚水が進んだことにより地下水の水位低下が生じ、地盤沈下や塩水化などの地下水障害が引き起こされてきた。一般に地下水の流動は降水が山地等で涵養し、河川や沿岸で湧出するが、地表水と比較して極端に遅く、平均的に見て湿潤地域での地下水の涵養と流出は均衡であることから、地下 10 m 程度より深部の地下水については、地表から 1-2 m 付近の地中水に比べて相対的にみて定常と仮定することが多い。しかし、深部においても人為的揚水の影響により水理水頭が変化し、非定常な流れが生じることが知られている。また、沿岸部においては、複雑な流動も知られている。例えば揚水にともなう難透水層を通過するような鉛直下方向への流動や大出水時の河川から地下水への涵養、塩淡水境界付近の複雑な水の混合などがあるが、それらの要因や地下水流動に及ぼす影響は十分明らかにされていない。そこで、本研究では、揚水の影響を受けた地下水の非定常現象に焦点を絞り、その要因を解明することにより、地下水の持続可能な水資源としての利用に資することを目的とした。

過去に地下水の過剰揚水により非定常な地下水の流れが生じ、沿岸地下水の塩水化が報告されていた大阪平野において、2015 年に観測をおこなった結果、海水の混合率が最大 28.9%を示す地下水が海岸線から 3.8 km の深度約 40 m のところに残存していた。環境トレーサー（水の安定同位体比）により地下水の淡水成分の涵養域を推定したところ、標高 100 m 以上の高地由来の水が海岸線から 3.8~5.5 km 内陸側の深度約 40 m 付近に分布していた。一方で 2.8~3.8 km の深度 60 m 付近において、浅い帯水層由来と思われる水があり、難透水層を通過する鉛直下方への流動が推定された。

中規模都市があり、常に低い地下水位であることが知られている岡山平野において、8 年間に及ぶ水位、一般水質、酸素・水素安定同位体比の観測の結果、沿岸地下水における塩水化と、平野中央部地下水における大出水における河川水の影響が確認できた。沿岸の深部地下水における海水の混合率は 25%と推定され、陸域の揚水による地下水位低下に伴い塩水が侵入したものと考えられる。平野中央部の深部地下水（深度 10~20 m）においては、観測期間中最大の出水後に酸素安定同位体比（ $\delta^{18}\text{O}$ ）が約 2 年間にわたり顕著に低い値を示

した。大出水時の河川水が地下水に到達したと仮定し、動水勾配を用いて到達時間を推定したところ、169～405日と見積もられ、洪水時から深部地下水における $\delta^{18}\text{O}$ の最低値が出現するまでの時間（約300日）の範囲内にあり、洪水時の河川水による非定常な地下水涵養が示唆された。

農業用水などの揚水が行われている島嶼である瀬戸内海の生口島において、2年間の降水と6年間の地下水の観測を行った結果、深度40m以深の岩盤地下水で $\delta^{18}\text{O}$ と塩化物イオン（Cl<sup>-</sup>）濃度の変動がみられ、Cl<sup>-</sup>濃度の上昇とともに $\delta^{18}\text{O}$ の低下傾向が示された。これはマルチトレーサーによる考察の結果より $\delta^{18}\text{O}$ の低い地下水が出現していることを意味したが、この値は現在島内にもたらされる降水では説明ができない低い値であり、すなわち塩淡水境界の上昇にともない、より低い $\delta^{18}\text{O}$ をもつ古い時代（最終氷期）の淡水成分が深部から上部へ流入している可能性が示唆された。これは、SF<sub>6</sub>および<sup>14</sup>Cを使用した地下水の年代測定結果による解析からも裏付けられた。

地域ごとの比較から沿岸低地の地形勾配、すなわち動水勾配の差異が地下水の動態に影響を与えていると推察された。具体的には、大阪平野はその勾配が緩やかであるため、塩水化が長期間残存している可能性が考えられる。これに対して、岡山平野は大阪平野よりも勾配があるため、被圧地下水においても河川の影響がみられたと推測される。また、生口島は他の地域と比較して勾配が急であるため、高い塩水化が見受けられないと示唆された。これらの結果を利水に応用する場合、動水勾配が小さい地域においては過去の影響が長く残る恐れがあり、早く回復する浅層地下水（不圧地下水）に限定して使用するとともにモニタリング調査で確認することで持続可能性が担保できると思われる。また、トレーサー法による地下水涵養域の推定することが地下水を管理・維持するにあたり、有効であると考えられる。さらに、既存の概念にない非定常な流れが生じることを前提に管理していく必要があると考えられる。

本研究で環境トレーサーにより長期的に観測されたことによって新たに解明された、人為的揚水による10m以上深部の地下水（被圧地下水を含む）における非定常な流動現象は、水資源を持続的に使用し管理していくにあたりきわめて有益な成果となるであろう。