

氏名	張 杰		
学位の種類	博 士 (環境学)		
学位記番号	博 甲 第 7910 号		
学位授与年月日	平成 28 年 7 月 25 日		
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当		
審査研究科	生命環境科学研究科		
学位論文題目	Interaction between Shallow and Deep Groundwater in Baiyangdian Lake Watershed, North China (中国北部白洋淀湖流域における浅層および深層地下水の交流)		
主査	筑波大学教授	博士 (理学)	辻村 真貴
副査	筑波大学教授	工学博士	宮本 邦明
副査	筑波大学教授	工学博士	福島 武彦
副査	筑波大学教授	PhD.	浅沼 順

論 文 の 要 旨

本論文は、中国北部の華北平原にある白洋淀湖流域の平野部を対象に、浅層地下水と深層地下水の交流関係を、マルチ・トレーサー手法ならびに地下水水文学的手法により明らかにしたものである。

華北平原は世界有数の穀倉地域であり、その灌漑農業水源として地下水は最も重要である。1980 年代以降から深層地下水位の低下が確認され、近年では、浅層地下水の汚染が深層にまで及んでいることが懸念されている。しかしながら、当該地域において、浅層地下水から深層地下水への帯水層間の地下水移行を実証的に研究した例は従来なかった。また、帯水層間における地下水移行の研究そのものが、とくに乾燥・半乾燥域において、国際的に従来きわめて少ないという問題があった。著者は以上の観点から、水の水素・酸素安定同位体、無機溶存成分等を用いたマルチ・トレーサー解析、地下水の圧力水頭・水理水頭分布解析等により、当該地域における浅層地下水から深層地下水への流動過程を明らかにすることを目的として、本研究を遂行したものである。

本研究において著者は、中国華北平原にある白洋淀湖流域（流域面積 31,200 km²）の内、約半分の面積を占める平野地域を主な対象とした。当該地域には、1,200 万人の人口があり、この内 800 万人が地域内の最大都市である保定市 (Baoding) に居住する。著者は 2011 年 6 月から 2013 年 3 月にかけて、現地踏査・観測、水試料収集、既存資料収集等を行い、計 187 地点において地下水、河川水、湧水等のサンプルを採取した。現地においては、各水試料について、水温、電気伝導度、水素イオン濃度 (pH) 等の各パラメータを測定した。

各水試料に関し、本学生命環境系の水循環・水環境実験室ならびに本学研究基盤総合センター分析部門において、水素 (²H) ・酸素 (¹⁸O) 安定同位体比、各種無機溶存成分濃度の分析が行われた。

得られた現地観測データおよび水試料分析データをもとに、第 1 から第 3 までの各帯水層地下水における水理水頭分布解析、化学特性の空間分布解析、End Member Mixing Analysis (端成分混合解析) による各帯水層地下水の混合率解析等が行われた。

対象地域における深層地下水の水理水頭は、Baoding 市地区周辺域において顕著に低下しており、過剰揚水による地下水位低下が深刻な状況が明確に示された。

水素・酸素安定同位体特性をみると、第 1 帯水層地下水における安定同位体比は空間的な変動が顕著であり、とくに蒸発の影響を受けた地表水による涵養の影響が大きい地点が、いくつかみられた。一方、第 2 帯水層地下水の安定同位体比は、第 1 帯水層におけるそれに比べ低く、空間的変動幅も小さい特徴が認められた。しかし、一部地域においては、第 1 帯水層と第 2、第 3 帯水層において、安定同位体比が類似する傾向がみられた。この傾向は、Baoding 市地区の地下水においてとくに顕著であった。地下水の安定同位体組成における以上の特徴は、無機溶存成分における特徴とも調和的であり、地下水における化学特性全般が、同様の傾向を示しているものと判断された。

約 10 年前に実測された Baoding 市地区の地下水における安定同位体特性 (Zhang et al., 2009) と、本研究におけるそれとを比較すると、全体として、浅層から深層に向かい、安定同位体比が低くなる傾向は共通している。しかし、本研究における結果では、相対的に高い安定同位体比からなる地下水が、Zhang et al., (2009) に比べ、より深い部分にまで及んでいる特徴がみられた。このことは、過去約 10 年程度の間に、浅層地下水による深層地下水への帯水層間流動が顕著になり、そのため、深層地下水の安定同位体比が上昇したためと解釈するのが適当であると、著者は考察を行っている。著者はさらに、こうした現象が生じた要因として、深層地下水の過剰揚水により鉛直下方方向の地下水動水勾配が大きくなり、浅層地下水から深層地下水への誘発涵養が起きている可能性を示唆している。

End Member Mixing Analysis により、Baoding 市地区の帯水層間における地下水の混合率を評価した結果、第 2 帯水層地下水における第 1 帯水層地下水からの涵養割合は、31%から 81%に及んでいることが示された。さらに著者は、当地域の水収支を検討し、第 1 帯水層から第 2 帯水層への年間涵養量を 190 mm/y と推定した。当該地域の年平均降水量が 518 mm/y であることを考慮すると、この値はきわめて大きいものと評価される。

審 査 の 要 旨

浅層地下水から深層地下水への移行や交流に関する研究は、近年の地下水研究における重要な課題である。とくに半乾燥域において当該課題が研究され始めたのは、2000 年以降である。また、半乾燥域における地下水資源の量的、質的保全という社会的観点からも、本研究課題は重要である。

本研究により著者は、対象地域における浅層地下水と深層地下水との関係を、マルチ・トレーサー手法により定量的に解明した。水収支的にみても、帯水層間の地下水移行量がきわめて多いこと、また、このような現象が、地下水の過剰揚水という人間活動に起因する誘発涵養により引き起こされたことを示唆した点は、本研究の独自性として高く評価される。さらに、当該地域における深刻な環境問題の一つである地下水位低下、地下水汚染問題に関し、科学的知見を提供した意義も大きい。加えて、本研究対象地域の水文地質条件は、沖積平野において一般的にみられるものであり、本研究の成果は、当該地域の特殊事例として位置づけられるべきものではなく、他地域への適用可能性もあるものと評価することが適当である。

平成 28 年 6 月 7 日、学位論文審査委員会において、審査委員全員出席のもとに論文の審査および最終試験を行い、本論文について著者に説明を求め、関連事項について質疑応答を行った。その結果、審査委員全員によって合格と判定された。

よって、著者は博士（環境学）の学位を受けるのに十分な資格を有するものとして認める。