

氏名（本籍）	幸田 和久
学位の種類	博 士（環境学）
学位記番号	博 乙 第 2990 号
学位授与年月日	令和 3 年 3 月 25 日
学位授与の要件	学位規則第4条第2項該当
審査研究科	生命環境科学研究科
学位論文題目	マーシャル諸島共和国・ローラ島における地下水資源の動態

主査	筑波大学教授	博士（理学）	辻村 真貴
副査	筑波大学教授	PhD.	浅沼 順
副査	筑波大学准教授	博士（農学）	内田 太郎
副査	筑波大学名誉教授	工学博士	宮本 邦明

## 論 文 の 要 旨

南太平洋の島嶼地域は、気候変動に伴う海面上昇の影響により水資源がより脆弱になるとされている。さらに、多くの島嶼が環礁島からなり、地表面および浅層土壌の透水性がきわめて高いため、河川等の恒常的な地表流は発達せず、淡水資源の大部分を地下水に依存している。こうした島嶼における地下水は、塩水の上に淡水がレンズ状の形状を呈し存在することが多く、淡水レンズと呼ばれる。従来、淡水と塩水の比重の違いにより、淡水レンズの形状を説明するモデルが提唱されてきた。しかしながら、島嶼を対象に地下水の動態を、塩水-淡水境界面の深度や、地下水体の厚さにおける時空間変動に着目し、長期にわたり観測した研究事例は多くない。さらに、地下水揚水に伴い塩水-淡水境界深度が円錐状に上昇する現象（アップコーニング）を、島嶼において長期間観測した事例も少ない。著者はこうした観点から、近年人口増加が著しく、水資源需要の増加から地下水体中のアップコーニングが生ずるとともに、既存の観測井ならびに観測に利用可能な一般井戸が多く分布する、マーシャル諸島共和国・ローラ島を研究対象とし、地下水資源の動態と揚水が地下水に及ぼす影響を明らかにすることを目的とし、2007年から2014年の間、地下水の水理水頭、および電気伝導度等の観測を実施した。さらに著者は、地下水の帯水層試験を実施し、対象地の水文地質学的な諸パラメータを決定した上で、ローラ島における地下水流動に関する3次元数値シミュレーションを行い、揚水条件下における地下水流動プロセスを再現するとともに、揚水井を複数箇所に分散させるシナリオに基づき、地下水流動プロセスの変化予測を実施した。

著者はまず、地下水における水理水頭、電気伝導度の観測により、ローラ島において淡水レンズ（ローラレンズと呼称）が形成されていること、ならびに日用水の確保を目的とした地下水の取水により、淡水への塩水塊の上昇・侵入、すなわちアップコーニングが生じていることを確認した。さらに著者は既存データと本観測結果を統合し、アップコーニング発生前後の地下水流動プロセスを比較した。その結果、アップコーニング発生前の中潮時には、ローラ島中央部の標高 -8 ~ -12 m 付近において水理水頭の低下が発生し、浅層部および深層部から当該深度に向かう地下水流動がみられた。アップコーニング発生前の小潮時には、ローラ島中央部の水理水頭の低下はみられず、島中央部から沿岸に向かう水平方向の地下水流動が卓越する傾向がみられた。淡水レンズの下部境界面（塩淡境界面）は、中潮・小潮時とも概ね標高 -7 ~ -13 m に存在した。

その一方、アップコーニング発生後の中潮時には、島中央部の標高 -3 ~ -8 m 程度に水理水頭の低下がみられ、これに向かう地下水流動が生じた。標高 -12 ~ -14 m 以深では深度とともに水理水頭が

低下し、相対的に深部に向かう地下水流動がみられた。小潮時においては、標高 -8 ~ -10 m に水理水頭の低下がみられ、これに向かう地下水流動が生じていた。いずれの場合も、淡水レンズの下部境界面（塩淡水境界面）は、島中央部において局地的に標高約 -6 m まで上昇したことが観測された。

その上で著者は、地下水の水理水頭観測値に基づき、ローラ島における地下水貯留量（ローラレンズ貯留量）の推定を行った。その結果、アップコーニング発生前における地下水貯留量は $2.09 \text{ km}^3$ 、発生後におけるそれは $1.68 \text{ km}^3$ と算定され、発生前後において地下水貯留量が約20%減少したものと推定された。また、アップコーニング発生後の貯留量は、水柱高単位で $1,398 \text{ mm}$  であり、ローラ島の年平均降水量 $3,500 \text{ mm}$  の約40%であるものと見積もられた。

しかしながら、ローラ島における地下水貯留量は、アップコーニング発生後の1998 年以降に限ってみると、顕著な減少は示しておらず、またローラレンズの下部境界面も大きくは上昇していない。このことから、現状における地下水揚水量は、涵養量と均衡しており、涵養量－揚水量、及びその他の要素が変化しない限りにおいては、地下水貯留量が顕著に減少することは生じにくいものと予想された。

最後に著者は、ローラ島における持続可能な地下水の保全と利用を実現するため、取水井を分散させる3次元地下水流動シミュレーションを行った。その結果、取水井を2つに分割し、各々の取水井において日量 $90 \text{ m}^3$  ずつ取水を行うことにより、単一井による取水と比較すると、アップコーニングを抑制できる可能性があることが示唆された。

## 審 査 の 要 旨

島嶼における水資源は、水文地質条件等により元来脆弱であるが、近い将来、温暖化に伴う海面上昇の影響と相まって、より厳しい状況になることが懸念されている。こうした地球規模での課題に対処するためには、地下水に関わる水理水頭、水質特性等の原位置データを、地下水利用の影響を含め長期にわたりモニタリングすることが必要不可欠であるが、従来そのような研究は多くなかった。とくに、海面上昇に対しとくに脆弱とされる南太平洋地域の島嶼においては、研究事例が少ないという問題があった。こうした状況を鑑み著者は、マーシャル諸島共和国・ローラ島を研究対象とし、約7年間にわたり地下水水位等の観測を実施するとともに、既存の資料も含めて解析を行い、淡水レンズと呼ばれる地下水体の動態、ならびに揚水に伴う塩水－淡水境界面上昇（アップコーニング）プロセスを明らかにした。さらに、アップコーニング発生後の期間において、地下水貯留量は顕著な現象を示しておらず、地下水涵養と揚水が均衡した状態が保たれていることを示した。こうした知見は、従来島嶼の地下水動態に関しほとんど得られておらず、持続可能な地下水の保全と利用の観点からも独自性のある貴重なものであると評価される。

令和3年1月25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。