

氏名	KAMBUKU Dwight Davison		
学位の種類	博 士 (環境学)		
学位記番号	博 甲 第 8 6 2 5 号		
学位授与年月日	平成 3 0 年 3 月 2 3 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	Groundwater Recharge and Flow Processes in Rivirivi Catchment Underlain by Fractured and Faulted Lithology, Malawi (断層・亀裂に富む基盤岩からなるマラウィ・リビリビ流域における地下水涵養・流動過程)		
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	農学博士	張 振亜
副査	筑波大学教授	Ph.D.	浅沼 順

## 論 文 の 要 旨

本論文は、マラウィの亀裂および断層に富む地質条件からなる Rivirivi 流域を対象とし、地下水の涵養・流動プロセスを、同位体等の水文トレーサーを用いた手法、および井戸の揚水試験により明らかにしたものである。一般に、地下水流動において断層は境界面として作用し、地下水は断層に沿って流れるようにその流動方向を変化させることが多いとされてきた。一方で、地下水が断層を通過して流動する事例も報告されている。しかし、亀裂や断層が多い地域における地下水涵養・流動プロセスについては従来、研究事例が少なかった。

著者は、マラウィ南部の Rivirivi 流域を研究対象地域に選定した。対象地域の流域面積は、744 km<sup>2</sup>、標高 800 m ~ 1700 m、年平均降水量は 1060 mm/y、年平均気温は 14°C、雨期は 11 月から 4 月、乾期は 5 月から 10 月である。流域の大部分は片麻岩からなり、北西から南東に向かい、断層が走る。深度約 20 m に厚さ 0.5 m の粘土層があり、これより上部は風化片麻岩、下部は深度約 35 m まで亀裂性片麻岩が堆積し、その下部は基盤岩である。水文地質学的には、粘土層上部と下部の帯水層は、異なるものとして分類されてきたが、実際の地下水が涵養源を異にするものかどうかは、これまで不明であった。著者は、雨期および乾期に各々 1 回ずつの現地調査および水サンプリングを実施し、延べ 99 箇所において湧水、地下水等の試料収集、地下水位観測等を行った。また、断層を挟む 2 地点において井戸を用いた揚水試験を実施した。採取した水サンプルについては、水素・酸素安定同位体組成、無機溶存成分等の分析を行い、トレーサー水文学的解析を行った。

その結果、無機溶存成分組成は、粘土層上部および下部のいずれの地下水においても Mg-Ca-HCO<sub>3</sub>型が卓越し、また総溶解固形分は 500 mg/L であった。さらに、すべての水サンプルにおける水素・酸素安定同

位体比は、対象地域近傍における地域天水線上がまたはその近くにプロットされた。加えて粘土層下の深層地下水において、硝酸イオンが顕著に検出された。以上のことは、粘土層上部・下部の地下水はいずれも、降水により涵養され、質的に顕著な違いは認められないことを示している。そして、粘土層の上下において、地下水は水理的に連続して流動しているものと解釈された。

また著者は、断層を隔てた両側において、水素・酸素安定同位体組成、無機溶存成分組成にいずれも顕著な違いはみられないことを示した。すなわち著者は、断層の両側においても地下水は水理的に連続していることを示唆した。

著者はまた、断層の両側において実施した地下水揚水試験の結果を示し、いずれの地点においても、揚水時における地下水位の変動パターンは同様であることを指摘した。さらに、揚水停止後の地下水における回復パターンも、断層を挟んだ両側の2地点間において顕著な違いはみられなかった。以上の同位体・水質等の地球化学的特性、および揚水に伴う地下水位応答からみた地下水水理的特性を統合すると、当該地域の浅層地下水および深層地下水、さらに、断層を挟んだ両側の地下水において、水理的に不連続であることを示すデータは示されず、むしろいずれも連続して地下水涵養、流動が生じていることを示していた。

著者はさらに、湧水、地下水、河川水の酸素安定同位体比における採水標高分布をもとに、当流域においては、源流部における湧水が流域全体の地下水涵養源の水質的特徴を代表しており、ここからほぼ地形に沿って浅層地下水、深層地下水が流動しているものと判断した。そして、風化片麻岩と亀裂系片麻岩を分離する粘土層、および断層は当該地域では、地下水流動の不連続線としては機能せず、浅層・深層地下水は水理的にも質的にも連続した地下水流動系を構成しているものと評価された。

## 審 査 の 要 旨

本論文は、マラウィの亀裂および断層に富む地質条件からなる Rivirivi 流域を対象とし、地下水の涵養・流動プロセスを、同位体等の水文トレーサーを用いた手法、および井戸の揚水試験により明らかにしたものである。

著者は、湧水、地下水等の試料収集、地下水位観測等を行い、各種水の水素・酸素安定同位体組成、無機溶存成分等のトレーサー水文学的解析を行った。また、断層の上流側と下流側にある民間井戸を利用し、揚水試験を実施した。その結果、地下水における無機溶存成分組成、および安定同位体組成は、断層の上流・下流側において類似している傾向が示された。また対象流域においては、源流の湧水が涵養起源の水質を代表しているものと考察された。さらに、揚水試験の結果から、揚水時および揚水停止後の水位回復時における井戸内の地下水位変動データを解析すると、地下水は断層を通過し流動している特徴が示された。一般に、地下水流動において断層は境界面として作用し、地下水は断層に沿って流れるようにその流動方向を変化させることが多いとされてきたが、亀裂や断層が多い地域における地下水涵養・流動プロセスについては従来、研究事例が少なかった。

本研究は、粘土層で境された浅層地下水と深層地下水が、水理的に同じ地下水流動系を構成し、また断層の前後においても、連続した地下水流動系を示し、地下水流動系研究に、貴重な知見を付け加えたものとして評価される。

平成30年1月24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。