

氏名(国籍)	カスディ スバギョノ (インドネシア)		
学位の種類	博士(理学)		
学位記番号	博甲第3124号		
学位授与年月日	平成15年3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	地球科学研究科		
学位論文題目	Linking Runoff Process and Spatial and Temporal Variation of Water Chemistry in a Forested Headwater Catchment (森林源流域における流出過程と水質の時空間変動との結合に関する研究)		
主査	筑波大学教授	理学博士	田中正
副査	筑波大学教授	理学博士	田瀬則雄
副査	筑波大学助教授	理学博士	杉田倫明
副査	筑波大学講師	博士(理学)	辻村真貴

論文の内容の要旨

本研究は、わが国の特徴である急峻な地形を呈する山地源流域における流出過程と水質の時空間変動との関係を明らかにし、流出過程や渓流水の水質形成に果たす riparian zone と呼ばれる河畔域の役割を解明したものである。

研究対象流域は、長野県に位置する筑波大学農林技術センターの川上演習林内に設置された14haの試験流域であり、この内、北谷と呼ばれる5.2haの一次流域を調査流域とした。調査対象流域において、南北両斜面から渓流水河道にかけて側線を設け、密な観測網を設けた。側線に沿う12地点において、土壌水および地下水の圧力水頭を測定するために、深度の異なる31本のテンシオメータと21本のピエゾメータを埋設した。また、各深度における土壌水を採水するために、合計32本のサクシオンライシメータを設置した。この他に、現地において土壌断面調査を実施するとともに、実験室において、採取した土壌コアを用いて蛍光X線分析法によって化学組成分析、X線回析法によって鉱物組成分析を行った。また、飽和透水係数、水分特性曲線などの水文物理特性の測定を行った。

調査は2000年8月～2001年8月まで月1回の観測を継続するとともに、2001年8月の豪雨および2001年3月の融雪流出および降雨-融雪流出を対象に集中観測を行った。全観測期間中において、降水、渓流水、土壌水、地下水を合わせて合計835本のサンプルを採取し、一般水質分析ならびに溶存有機炭素の分析を行った。この他に、現地において、pH、電気伝導度、溶存酸素および酸化還元電位の測定を行った。これらのデータを解析して、以下の結論を得た。

本試験流域では、降雨流出時において地表流が発生することはなかった。そこで、 Ca^{2+} と SiO_2 を指標として、End Member Mixing Analysis (EMMA) によって渓流水の水質を形成する流出成分を求めたところ、河畔域の浅い地下水、斜面土壌水、河畔域の深い地下水の3成分によって渓流水の水質が形成されていることが明らかとなった。この3成分を用いて降雨流出、融雪流出および降雨-融雪流出のハイドログラフの3成分分離を行ったところ、全流出量に対しては、河畔域の浅い地下水成分が占める割合が高く、降雨流出時、融雪流出時、降雨-融雪流出時で45～73%の割合を占めていた。しかし、流出ピーク時においては、斜面土壌水の流出成分が卓越しており、降雨流出、融雪流出、降雨-融雪流出の各ピーク時で41～52%の割合を占めていた。このことは、斜面土壌水の流動経路とその成分濃度は、河畔域に存在する地下水帯によってリセットされることなく溪流に流出し得ることを意味している。この事実は、降雨流出時における地中水のポテンシャル分布からも裏付けられた。

流域における水質の濃度は空間的に大きく異なっていた。そこで、各溶存成分の滞留時間を求めたところ、これら水質濃度の空間的变化は、各溶存成分の滞留時間に強く規制されていることが明らかとなった。Na⁺とCl⁻を除く各溶存成分の滞留時間は、河畔域の深い地下水>河畔域の浅い地下水>斜面土壤水の関係にあり、この関係は各溶存成分濃度の空間的な差異と良い一致を示した。河畔域の深い地下水の溶存成分の平均滞留時間は、斜面土壤水のそれに比較して平均2倍の長さを有していた。

溶存成分の輸送の大きさは、各溶存成分のフラックスの時空間変動に関係することから、移流分散モデルによって各溶存成分のフラックスの大きさを求めた。その結果、各溶存成分のフラックスは、ハイドログラフの上昇時に増加し、減水時に減少する傾向を示した。

溶存成分濃度-流量(C-Q)ダイアグラムによる各溶存成分濃度と流出量の関係は、流出量に対して反時計回りのヒステリシスループを描くものと、時計回りのヒステリシスループを描くものとに分れた。DOCに代表される上に凸の時計回りのループを描く溶存成分濃度は、河畔域の浅い地下水>斜面土壤水>河畔域の深い地下水の関係にあり、DOCの輸送に対して、河畔域表層でのフラッシングが強く作用していることが示唆された。

以上の結果に基づいて、本研究では、研究対象流域における流出過程と溶存成分濃度の時空間変動とを結合する概念モデルを提示した。この概念モデルは、流出過程と溶存成分濃度を支配している2つの大きな貯水体と、流出過程と溶存成分濃度の空間的な変動を生じさせている4つの特徴的なゾーンから構成されている。流出過程と溶存成分濃度を支配している貯水体の1つは、河畔域の浅い地下水帯と斜面土壤水帯とを結びつける貯水体であり、この存在は降雨流出時における地中水の早い流れと溶存成分のフラッシングの程度を支配している。他の1つの貯水体は、河畔域の深い地下水帯であり、降雨に対する応答が遅く、溶存成分の集積体として機能している。

審査の結果の要旨

山地流域の流出機構や河川水の水質形成機構については数多くの研究例が存在するが、流域内における水質の時空間変動と流出過程との関係を明らかにした研究例は数少ない。また、最近の研究によって、河川水の水質形成に riparian zone と呼ばれる河畔域の存在の重要性が指摘されているが、その詳細については未解明な点が残されていた。

本研究は、水文学的手法と地球化学的手法を組み合わせることによって、地中水の流動経路と水質の時空間変動との関係を明らかにし、降雨流出・融雪流出過程および渓流水の水質形成過程において、河畔域の浅い地下水と斜面土壤水が重要な役割を果たしていることを明らかにしている。

また、これまで一括して取り扱われてきた河畔域の地下水について、水質の時空間変動とポテンシャル分布に基づく地下水の流動との関係において、河畔域の浅い地下水と深い地下水に区別されることを明らかにした。そして、河畔域の浅い地下水は降雨に対する応答が早く、溶存成分のフラッシングの程度を支配する貯水体として、また、深い地下水は溶存成分が集積する貯水体として機能しているとの結論を得ている。

これらの知見は、従来の見解とは異なり、河畔域に存在するすべての地下水が溪流への流出と水質形成に一樣には関与していないことを意味しており、山地流域の降雨流出過程と渓流水の水質形成過程に関して、新たな知見を得ているものと判定される。

さらに、本研究では、移流分散モデルによって各溶存成分のフラックスを求め、その時系列変動を明らかにするとともに、各溶存成分の滞留時間を明らかにし、水質濃度の空間的变化が各溶存成分の滞留時間に強く規制されていることを明らかにしている。

上記の知見は、流域水文学および斜面水文学の今後の進展にとって、その基礎を与えるものと高く評価できる。また、これまでの解析手法に加えて、溶存成分の滞留時間を明らかにすることにより、流域の水質形成に時間情報を導入した点は、新たな研究の方法論を提示したものであり、この点を含めて学位論文として十分評価できる。

よって、著者は博士(理学)の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。