水質・水文情報に基づく流域水循環の解明に関する研究

学位論文内容の要旨

水量・水質情報による水循環過程を明らかにするために水量解析に融雪現象を、水質については3流域での解析を行った。その結果について、各章ごとに得られた結論を以下に示す。

まず、積雪地域の特徴には積雪・融雪現象がある。河川水質を明らかにするために、湯田ダム上流域で水質観測を行った。河川水に含まれる溶存イオン濃度はイオンにより異なり、ナトリウムイオンは放牧などの土地利用と関係し、湧水には硫酸イオン・マグネシウムイオンが多く、温泉水にはナトリウムイオンが多い。この理由として、この地域には休・廃坑があり、亜鉛・鉄イオンが存在することから硫化鉱物による水質変化が推定された。また、酸素・水素同位体比から、河川水の起源が積雪期と非積雪期とで異なり、水蒸気圏の影響が強いことが推定された。同位対比の高度効果から、温泉水の起源は、標高700m以上の山腹である可能性が高い。

新雪のpH値は平均で5以下の酸性雪で、融雪水や積雪底面でのpH値はこれより高いので、融雪水が積雪層の通過時に化学変化し、特に、ナトリウムイオンや塩素イオンの濃縮が大きい。このことは新雪から積雪となる過程での変質及び融雪水による溶脱等によるものと推定された。

次に、土地利用特性と河川水質特性との関係を明らかにするために、河川水の溶存イオンと水素・酸素同位体比を用い、札内川・石川・田川流域について比較し、相互関係を検討した。その結果、河川水溶存イオン濃度は各流域で異なり、札内川では中流域からの硝酸イオンが、石川流域では中下流域で塩化物イオンやナトリウムイオンが、田川流域では中下流域で塩化物イオン・硝酸イオンが卓越し、その理由は札内川では中流域での畑作が、石川では宅地化が、田川流域では稲作による影響と考えられた。降雨による河川への負荷は、負荷物質の位置や存在形態により流出挙動が異なり、降雨形態や降雨量により規定されている。安定同位体比から、流域の河川特性は単位河道長に対する同位体比の変化から特徴付けられ、同位体比の高度効果や他の安定同位体を用いれば水循環を明らかにできることが示された。

さらに、石川流域の水質・水量の同時観測を行い、その結果から、この流域での水循環機構について検討した。石川流域では、上流、中流、下流で土地利用が異なり、上流域では硫酸イ

オンや重炭酸イオン濃度が、中流域域では硝酸イオンや硫酸イオン濃度が、下流域ではナトリウムイオンや塩化物イオン濃度が高い。このことは、上流域が主に森林域でかつ地層の影響を、中流域では水田への施肥、下流域では都市化や地層の影響が大きいと推定された。安定同位対比から、上流・中流・下流域で同位対組成比が異なり、概ね天水ラインの切片で特性を示せることや高度効果がみられた。流量観測と水質とを総合した検討から、下流域に中流域から地下に潜った地下水が河川水として供給されていることが示され、この流域での水循環機構が明らかとなった。

最後に、栃木県内を対象とし降雨の観測結果から、降雨中の各イオン濃度や降雨量などの降雨水質情報から降雨の水質特性を地域特性と関係から明らかにした。また、酸性雨による樹木への影響を調べるために、スギ・コナラ・マテバシイの3種類の樹木を用い成長実験を行った。

栃木県内におけるこれまでの観測から、概ね降雨はpH5.6以下の酸性雨で、年度により、地域により若干異なるが、県南から県央にかけて酸性度は低く、県北にかけては高い。降雨酸性化物質である硫酸イオンと硝酸イオン濃度の地域特性とし、硫酸イオンは県南でウオッシュアウト、県北でレインアウトが、硝酸イオンは県央でウオッシュアウト、それ以外でレインアウト現象である。また、雷雨性降雨はレインアウト現象が強い。二酸化硫黄などの原因物質は濃縮比から主に内陸に起源があることが明らかとなった。

また、人工的に酸性化した土壌での幼木を用いた成長実験から、同じ酸性度でも成長にあたる影響が異なり、スギがこの3種類の中では影響が少なかった。土壌水に含まれる元素と成長量との関係から、成長を阻害する元素として、アルミニウムやマンガンの金属イオンの低酸性度における溶出が確認され、これらの濃度と成長阻害の関係が高いことが明らかとなった。

この研究では、水循環過程過程における水量及び水質を用いた流域特性について検討を行ってきた。河川水質は、河川に供給される形態によって規定されるため、土地利用や地質などと相補完的に解明する必要がある。さらに、水量と水質とを考えた総合的な見地から検討する必要がある。

いずれにしても、水循環経路の解明とそれが及ぼす水質は人間の生活にとり非常に大切な問題である。今後のデータ等の蓄積が重要となってくると思われる。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 藤 田 睦 博
副 査 教 授 佐 伯 浩
副 査 教 授 太 田 幸 雄
副 査 教 授 長 谷 川 和 義

学 位 論 文 題 名

水質・水文情報に基づく流域水循環の解明に関する研究

河川水や地下水の水質調査は、これまで、水質の保全やその悪化に対処するためになされてきた。しかし、最近では流域内の水循環過程の解析に循環水の水質情報を加えて長期流出モデル、低水流出解析モデル構築時の基本情報にしようとする試みがなされている。

本研究は、長期流出の主要流出成分である地下水流の挙動を河川の水質情報から推定する手法を提案し、長期流出モデルの基本構成を述べている。

本論文は、6章より構成されている。

第1章は序論で、本研究の背景とその目的を述べている。すなわち、従来の降水量、河川流量資料に基づく長期流出モデルや低水流出モデルの構築とモデルパラメータの同定法では、長期流出の主要な流出成分である地下水流出成分の情報が不足していることを指摘し、地下水流出成分の挙動を定性的であっても水質情報より推定する必要があることを述べている。

第2章は、流出成分分離の代表的な水文学的手法であるフィルター分離AR法を融雪流出現象を介して、その物理的意義を検討している。日本有数の豪雪地帯である北上川上流の湯田ダム(流域面積 583km^2)を調査、解析の対象流域としている。

まず、流域への降雨量(降雪も含む)とダム流入量の実測値を用いて、フィルター分離AR法によって流出成分の分離を行っている。この結果、流出応答の早い流出成分は、単位図に換算して約2日でピークに達し、その後ほぼ20日以内に流出が終了する結果を得ている。

一方、流域内の22地点で河川水の水質測定を実施し、特に、溶存イオン量(ナトリウムイオン、カルシウムイオン、硝酸イオン)の測定結果から融雪水は直接河川に流入するのではなく、表層から土層に浸透し地下水成分として河川に供給されることを示している。このことは、先に求めたフィルター分離AR法の結果に一致し、水文学的手法であるフィルター分離AR法の適合性を検証している。

第3章は、土地の利用特性と河川水の水質特性を述べている。流域内の水循環経路を解明するためには、河川水中の物質の発生源や流出経路を把握するこの必要性を指摘し、地質、土地利用、植生の異なる栃木県鬼怒川水系田川流域(流域面積 286km^2)で21地点、大阪府大和川水系石川流域(流域面積 220km^2)で15地点、北海道十勝川水系札内川流域(流域面積 725km^2)で18地点の3流域で合計56地点における水質の調査結果をまとめている。

まず、フィルター分離AR法を用いて地下水流出成分を分離し、この結果を、硝酸イオン、カルシウムイオンなどの溶存イオンの測定結果と比較し、降雨流出であっても1週間以内の流出現象はフィルター分離AR法によってほぼ説明できることを明らかにしている。

さらに、酸素同位体比および水素同位体比の単位河道長(100km^2)当たりの平均変化率は、田川、石川流域で酸素同位対比および水素同位体比の変化率が $2.3\%/100\text{km}$ 、 $11.7\%/100\text{km}$ となっており札内川流域ではこれらが $0.5\%/100\text{km}$ 、 $2.0\%/100\text{km}$ となり、田川、石川流域と札内川流域では流域特性が大きく異なることを示している。すなわち、田川、石川流域の地下水流動は局所的で、札内川流域では大規模な地下水流動を考える必要のあることを示し、同位対比の単位河道長当たりの変化率が地下水流動の規模推定の重要な指標になることを明らかにしている。

第4章は、主として石川流域を対象に流域の土地利用および地質と河川水質の関係を明らかにしている。すなわち、流域を森林地帯、水田・畑および住宅地に分類し、それぞれの地域の主要水質成分をトレーサーとして地下水流動の経路を推定する手法を示している。また、河川水の同位対比の季節変動特性によって地下集水域の規模を推定できることを明らかにしている。

さらに、 d 値を用いて河川水の起源を解析し、湯田ダム流域では6月末でも河川水の50%が降雪によるものであることを明らかにし、長期流出モデルの基本構成に重要な情報を与えている。

第5章は、降水の水質特性を論じている。河川水と降水の水質を同時に測定する必要があることを指摘している。

第6章は、各章で得られた結論をまとめている。

これを要するに、著者は河川水の水質情報が長期流出モデル構築時の基本要素になり得ることを明らかにしたもので、水文学に寄与するところ大なるものがある。よって著者は、北海道大学博士(工学)の学位を授与される資格があるものと認める。