

氏 名	かざ 風	ま 間	もう 聡
授 与 学 位	博 士 (工 学)		
学位授与年月日	平成 7 年 3 月 24 日		
学位授与の根拠法規	学位規則第 4 条第 1 項		
研究科, 専攻の名称	東北大学大学院工学研究科 (博士課程) 土木工学専攻		
学 位 論 文 題 目	中規模域における水循環に関する研究		
指 導 教 官	東北大学教授 澤本 正樹		
論 文 審 査 委 員	東北大学教授 澤本 正樹	東北大学教授 首藤 伸夫	
	東北大学教授 須藤 隆一	東北大学教授 川村 宏	

論 文 内 容 要 旨

第 1 章 序 論

広域の水循環を理解するため近年、様々な機関で観測、数値計算が行われ、解析されている。しかし、これらの解析は密度の低い観測点のデータを頼りとしており、これが大きな誤差を産む原因になっている。人工衛星によるリモートセンシングは広域を定時的に観測できる利点を持ち、この問題の解決に有効であると考えられる。しかし、リモートセンシング技術において、得られたデータの定量化は大きな問題である。これらを背景に本研究では、東北大学で受信されている NOAA 衛星 AVHRR センサを用いて、衛星データの水分量の定量化を試み、中規模域における水循環を明らかにする事を目的としている。対象としたのは、地域規模と流域規模の中間に位置する東北地方 60,000km²である。

第 2 章 適当な流域における水循環

広域の水循環を求める前に観測密度が高くその精度が保証されている群馬県と新潟県境にある福島県の滝ダム流域 2,000km²を対象に水循環を調べた。この流域は世界的にも有数の豪雪地帯である。高低差は最下点で 335m、最高点で 2,346m と大きく、土地開発が行なわれておらず、90%以上が広葉樹林帯で覆われている。

流域の観測降水量とダムへの流出量を年単位で単純に比較すると、ほぼ 1 : 1 になり、損失が全くないことになり、物理的におかしいこととなる。そこで、山岳地帯の降水量の求め方に問題が

あると考え、降雨量と降雪量の高度との関係を調べた。その結果、降雨はランダムに発生しているが、降雪は標高が上昇するにつれて増加していることが理解された。そこで、降雪量の補正を次のように行った。1) 融雪初期に行われる広域積雪深調査を利用して、流域内の積雪量を求める。2) この量から流域の平均積雪水等深を求める。3) この値を降水量観測点の積雪水等深と比較し、その係数を各観測点の降雪量にかけて山岳地帯の降雪量を見積もる。

地下水の変化については、積雪期に地下水位を減少させ、融雪期に上昇させるという、簡単な地下水収支式を提案した。蒸発散については、日本の湿潤地帯で一致するとされる Thornthwaite 法を用いた。その結果、1988年から1991年までの流域水収支は良好に表すことができた。

第3章 東北地方における積雪量について

広域の積雪量を求める方法は、いまだ開発されていない。広域の積雪量を求めるには、面情報と縦（積雪深）の情報が必要になる。そこで面情報はリモートセンシングを用いて取得し、縦情報を推定式によって求めた。

積雪域は、NOAA 衛星の場合、以下のように判定できる。1) ch. 1（可視域）で白い部分は雲か雪である。2) ch. 4（赤外域）で温度の低い箇所は高層の雲。3) ch. 3（中間赤外域）で輝度温度の高い箇所は水粒（低層の雲、霧等）である。4) 残った白い部分が積雪域である。なおこれらの閾値は GTD（Ground Truth Data）との比較から得られた。しかし、雲が存在するとその下の情報は分からないため、前後1週間を最大に画像を合成して、雲の部分をも他の晴れた画像のデータと入れ替えた。15日間の合成でも雲が残った場合は、内分補間によって内挿した。その結果、ほぼ1月に1シーズンの積雪域分布図（積雪マップ）を手に入れることが出来た。

次に積雪深の分布は、緯度、経度、高度の線形関数で表す方法を考えた。この関数は奥羽山脈の東西を別に考え、各画像毎に係数を同定した。その方法は計算速度も速く、脊梁山脈付近では良好の結果を与えることがわかった。しかし、北上山地では過大に評価し、この領域に問題が残った。そこでより局所性が表現できるように、雪線からの標高差を利用して積雪深を求める方法を開発した。これは流域内の積雪深が標高の線形関数で表せる性質を用いたものである。この結果、計算時間は大幅に増えたが、計算精度は上昇し、細かい地域まで良好に表現できるようになった。

この雪線を用いた方法で東北地方の積雪量の季節変化を調べたところ、多雪、小雪年に関わらず積雪域はあまり変わらないが、積雪量は大きな変化が見られた。また、その最大水資源量は東京都の年間家庭用水量の5倍以上であり、莫大な水資源が存在することが確かめられた。

第4章 東北地方の降水量

水循環のシステムにおいて降水は入力にあたり、この量を正確に捉えることは重要である。特に水文学の分布データを作成する際、降水のイベントによって性格が異なるため、その降水パターンを把握しておくことが必要である。そこで、AMeDAS データの降水を3つのイベントに分け、その分布を把握した。分類したイベントは、台風、梅雨、降雪である。これを年降水量に占める割合を東北地方全域について定性的に調べた。また、これらの値を位置データと併せて主成分分析を行っ

て定量的にも解析した。その結果、福島浜通りぞいは台風による水資源が多い。梅雨の場合は降水分布に特徴はみられないし、しかも期間が永いにも関わらず、降水量は少ない。降雪は高度と強い相関があることが再確認された。

降水量の解析を行うのにはよく AMeDAS データが利用されるが、その観測密度が十分であるかを岩木川流域において AMeDAS 点 9 点と建設省のデータ 13 点によって調べた。相互相関をそれぞれ求めた結果、AMeDAS 点はどこかの現象に含まれ、降水現象を表すには AMeDAS 点で十分なことが確認された。

通常、点データで補間する際、重み付き平均法がとられるが、そのパラメータは決定されていない。そこで最適化を実際の降水現象と比較して行った。しかし、もともと山岳地帯に観測点が少ない上に山岳地帯の降雪量は増加するため、正しく降水量が表すことが出来ない。そこで、積雪深の分布データから山岳部の降雪量を補正し、降水の分布データを作成した。

こうして得られた降水分布データは、多いところで山岳地帯で 200mm 程度増え、今まで論じられていた量よりかなり大きめの値が得られた。

第 5 章 東北地方の水収支

蒸発散はその場所の、降水、日射、気温、土壌その他で決定される。これらの諸量は間接的にその土地の植生が表していると考えられる。そこで、NOAA 衛星から求められる植生活性度 (NDVI) を利用して蒸発散を求めた。東北地方の 3 流域と韓国の 5 流域で適用したところ、NDVI と蒸発散は比例関係にあり、NDVI から蒸発散が求められることが確認された。

上で求めた降水、蒸発散と流量年表による流出量から、東北地方の一級河川 14 流域の水収支を求めた。その結果、流量の精度が悪く、良好な水収支の結果が得られなかった。そこで、年地下貯留変化量を 0 と仮定し、流出量を降水量と蒸発散量との差から求め、東北地方の年水収支を 3 年間求めた。その平均値は降水量 1635mm、流出量 917mm、蒸発散量 718mm であり、この値はアマゾン川流域の値と酷似しており興味深い結果となった。

また、気温の分布データ等と上の結果を併せることから、流出率の分布、乾燥示数の分布、放射乾燥度の分布を調べた。これらの値を用いることでその土地の水資源の状態が理解される。流出率は、山岳地帯と河口近辺で高い値を示し、中腹部で低い値を示す。これは、中腹部の水資源が山岳部からの流出量でまかなわれていることを示している。また、乾燥示数、放射乾燥度からは青森三本木、郡山等で乾燥が大きいことを示された。これらの地域は新渡戸疎水や安積疎水等で知られるように用水路建設によって水資源がまかなわれており、その背景がこれらの示数で示されたことになる。放射乾燥度では、東北地方の高山域ではツンドラの気候帯と同じ値を取っており、この地域の大きい流出率を裏付ける結果となっている。

第 6 章 結 論

1. 始めに 2,000km² の流域で水収支を求めた。その結果、降雪量の補正によって良好な結果が得られた。

2. NOAA 衛星を利用することから、積雪マップを作成した。その後、雪線を用いた方法から積雪深分布を測定した。
3. まず、降水の分布を定性的、定量的に把握した。その後、解析のための AMeDAS データの適当性を示した。その後、重み付き平均法のパラメータの同定を行い、山岳部分の降雪量を積雪深情報から補正し、降水量の分布データを作成した。
4. 蒸発散量の分布を NDVI から求めた。これらの水文量と気候示数等から東北地方の水循環を明らかにした。

審 査 結 果 の 要 旨

地球上の水循環は地球規模環境系の最も重要な構成要素の1つである。従来、全球規模では気候区分程度での議論が、小試験流域では物理過程の詳細を考慮した議論が行われてきた。しかし、数万平方kmの中規模域では水文データの分布特性の把握が困難で十分な解析法の提示が遅れていたのが実状である。

本研究は、東北大学で受信している NOAA 衛星データおよび数値地理情報・AMeDAS 情報を有機的に組み合わせ、中規模域での水文諸量の分布値の推定法を明らかにし、対象領域である東北地方全域の水循環、特に雪の水循環に果たす役割を明確にした結果をまとめたものであり、全6章よりなる。

第1章は序論であり、研究の背景を述べるとともに、既往の研究を調べ、本研究の位置づけを明らかにしている。

第2章では、積雪が顕著でかつ比較的数据が豊富な只見川源流約2000平方kmを対象として水収支解析法を明らかにしている。すなわち、積雪の多い地域では降雪評価を適切に行わないと水収支を説明しえないこと、標高による積雪特性を考慮することで積雪量を評価しうること、無雪期の水収支は、降水・蒸発散・流出で釣り合っていること、冬期は積雪による貯留と地下水からの流出水の補給が重要であること、融雪期は融雪水の流出、地下水位の回復が重要であることを明らかにしている。これらは重要な知見である。

第3章では東北地方全体での積雪総量の推算法を開発し、雪の水資源量を評価している。そのためにも、冬期の複数の衛星画像から積雪マップを作成する方法を示している。次に、積雪深を雪線情報と標高データとから見積もる方法を開発している。これによると東北地方全体の冬期の積雪総量は7.4km³に達し、東京都の家庭用水量の4.5倍の水資源量に相当することを明らかにしている。これらは新しい成果である。

第4章では、東北地方の降水特性の分布を明らかにしている。まず分布解析に用いる AMeDAS データの観測点密度の信頼性を、岩木川の流域を対象にして検証している。次に、東北地方全体の、梅雨、台風、降雪の3タイプ別の分布特性を明らかにし、水循環における各事象の役割を論じている。これは重要な知見である。

第5章では、それまでの章の成果を総合して東北地方の降水・蒸発散・流出率分布図を提示するとともに水循環の各要素間流束を示している。さらに以上の成果を発展させ、乾燥度、自然一次生産量の分布から環境に対する人為的効果を示す新たな指標の提案を行っている。これらは極めて重要な成果である。

第6章は結論である。

以上要するに、本論文は衛星データと数値地理情報・気象情報を総合的に解析する手法を開発し、中規模域での水循環および環境の評価をしたものであり、水文学ならびに広域の環境学の発展に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は博士（工学）の学位論文として合格と認める。