

氏 名 (本国籍)	YANG YAN (中華人民共和国)		
学位の種類	博士 (農学)		
学位記番号	農博甲第646号		
学位授与年月日	平成27年9月24日		
学位授与の要件	学位規則第3条第1項該当		
研究科及び専攻	連合農学研究科 生物環境科学専攻		
研究指導を受けた大学	岐阜大学		
学位論文題目	Improving the Snowmelt Simulation of Hydrological Model in Amur River Basin Based on Remote Sensing Data (リモートセンシングデータに基づいたアムール川流域における融雪シミュレーションの水文学モデル改善)		
審査委員会	主査	岐阜大学 教授	平松 研
	副査	岐阜大学 准教授	大西 健夫
	副査	静岡大学 教授	土屋 智

論文の内容の要旨

本研究は、アムール川流域を適用対象として、積雪と雪解けの現象に伴う水文量の変動を、地理情報システム及び水文モデルの援用によりシミュレーションしたものであり、特に疎分布の気温観測点のデータを効率的に利用できるようにモジュール化した点に特徴がある。

学位論文は5つの章と付録からなり、第1章では序論として研究の背景、第2章では対象地区と融雪シミュレーションに使用するデータ群の詳細、第3章では気温推定手法及び本研究で使用した融雪水文モデル (Soil Water Assessment Tool, SWAT)の構造について示し、第4章では気温推定結果と融雪水文モデルによる水文量シミュレーション結果を実測値と併せて考察した上で、第5章において研究をまとめている。

本研究で使用した水文モデルは広く地理情報システム上で用いられている Soil Water Assessment Tool (SWAT)とそれに組み合わせて使用される Snow Melt Runoff Model (SRM)と呼ばれるモデルであり、温度指数モデルの導入により融雪プロセスをシミュレーションすることが可能となっている。一方で、適切な結果を得るためには多くの時空間上の観測データが必要であり、実流域では特に空間的に密なデータの取得が困難であることが少なくない。これに対し、近年は地球観測技術の向上に伴い、衛星によ

る地球観測データ（中分解能撮像分光，MODIS）により計測される地表面気温(LST)などが利用可能になってきているが，MODIS LSTは高い時空間解像度が期待できる一方で長期の観測記録は存在しておらず，そのままでは長期水文モデルへの適用は困難である．ゆえに，本論文は，時間的に優れた現地観測データと空間的に優れた衛星データを組み合わせ，時空間上のデータを適切に内挿・生成する手法を開発・検討したものであり，本論文で得られた成果は，以下の様に要約される．

対象地気温データセットを逆距離荷重法による推定データ(IDW)，気温逡減を考慮にいた改良 IDW による推定データ (IDWle)，線形回帰と MODIS LST データを組み合わせた手法による推定データの三種類の手法を用いて作成し，約 200 万 km²の流域内 87 箇所の観測所での実測データとの比較・検証を行っている．また，アムール流域上・中・下流域に位置する三つの領域(Apkoroshi 流域，Malinovka 流域，Gari 流域)を対象として SWAT を用いた融雪水文モデルに適用し，水文量（融雪）のシミュレーションおよび実測流出量データによる検証を行っている．なお，アムール川はロシアと中国の国境を流れる大河であり，その流量は積雪と融雪により大きく変動する．また，これらの変動は流域の物質循環にも大きな影響を持つことが知られており，アムール川流域のみならず，その下流のオホーツク海の水環境を評価するためには，積雪融雪を的確に水文モデルに導入する必要がある．検証の結果，次の 3 点の結論を得ている．

1. 線形回帰法 (IDE) は誤差を増大させるが，長期的にはその後差は一定の範囲内に収束することが明らかとなった．また，線形回帰法は推定データ地点と観測点の標高がいずれも低い場合に有効であることも示した．融雪シミュレーションにおいては，流域の地理的特徴の影響を受けて安定しないことを示唆している．

2. 改良 IDW (IDWle) においても地理的特徴の影響を排除することができず，融雪シミュレーション結果は改善されないことを示した．

3. MODIS LST を用いた線形回帰法は標高の高い地点において高い推定能力を示し，効果的に空間データを構築することが可能であること，他の方法と比べても融雪シミュレーションでより実測に近い結果を得ることが可能であることを実証した．本手法により，温度データ測点にばらつきがある地域において，より効率的に時空間データを構築することが可能となり，温度指数考慮型 SWAT モデルの適用範囲を大幅に向上させることに成功した．

本論文で得られた知見は，計 2 報の基礎論文に公表されており，中・高度緯度地域における融雪を伴う水文現象をより安定的にシミュレーションする手法の発展に貢献するとともに，将来的には気候変動などにより一層複雑化するとみられる水域の物質循環評価への応用が期待できるものとして評価できる．

審 査 結 果 の 要 旨

本論文は，アムール川流域を対象として，積雪と雪解けの現象に伴う水文量の変動を，地理情報システム及び水文モデルの援用によりシミュレーションしたものであり，

特に疎分布の気温観測点のデータを効率的に利用できるようにモジュール化した点に特徴がある。

使用した水文モデルは広く用いられている Soil Water Assessment Tool (SWAT) と呼ばれるものであり、温度指数モデルの導入により融雪プロセスをシミュレーションすることが可能となっている。一方で、適切な結果を得るためには多くの時空間上の観測データが必要であり、実流域では特に空間的に密なデータの取得が困難であることが少なくない。これに対し、近年は地球観測技術の向上に伴い、衛星による地球観測データ（中分解能撮像分光、MODIS）により計測される地表面気温(LST)などが利用可能になってきているが、MODIS LST は高い時空間解像度が期待できる一方で長期の観測記録は存在しておらず、そのままでは長期水文モデルへの適用は困難である。

ゆえに、本論文は、時間的に優れた現地観測データと空間的に優れた衛星データを組み合わせ、時空間上のデータを適切に内挿・生成する手法を開発・検討したものであり、本論文で得られた成果は、以下の様に要約される。

対象地気温データセットを逆距離荷重法による推定データ(IDW)、気温逓減を考慮にいた改良 IDW による推定データ (IDWle)、線形回帰と MODIS LST データを組み合わせた手法による推定データの三種類の手法を用いて作成し、観測所での実測データとの比較・検証を行った。また、アムール流域上・中・下流域に位置する三つの領域 (Apkoroshi 流域, Malinovka 流域, Gari 流域) を対象として SWAT を用いた融雪水文モデルに適用し、水文量 (融雪) のシミュレーションおよび検証を行った。その結果、以下の 3 点の結論を得た。

1. 線形回帰法 (IDE) は誤差を増大させるが、長期的にはその後差は一定の範囲内に収束することが明らかとなった。また、線形回帰法は推定データ地点と観測点の標高がいずれも低い場合に有効であることも示した。融雪シミュレーションにおいては、流域の地理的特徴の影響を受けて安定しないことを示唆している。
2. 改良 IDW (IDWle) においても地理的特徴の影響を排除することができず、融雪シミュレーション結果は改善されないことを示した。
3. MODIS LST を用いた線形回帰法は標高の高い地点において高い推定能力を示し、効果的に空間データを構築することが可能であること、他の方法と比べても融雪シミュレーションでより実測に近い結果を得ることが可能であることを実証した。本手法により、温度データ測点にばらつきがある地域において、より効率的に時空間データを構築することが可能となり、温度指数考慮型 SWAT モデルの適用範囲を大幅に向上させることに成功した。

以上のとおり、本論文は、中・高度緯度地域における融雪を伴う水文現象をより安定的にシミュレーションする手法の発展に貢献しており、将来的には気候変動などにより一層複雑化するとみられる水域の物質循環評価への応用が期待できるものとなっている。

以上について、審査委員全員一致で本論文が岐阜大学大学院連合農学研究科の学位論文として十分価値のあるものと認めた。

基礎となる学術論文

1. Yan Yang, Takeo Onishi, and Ken Hiramatsu: Improving the Performance of Temperature Index Snowmelt Model of SWAT by Using MODIS Land Surface Temperature Data, The Scientific World Journal, Subject of Geophysic, vol. 2014, Article ID 823424, 20 pages, 2014. doi:10.1155/2014/823424, 2014.
2. Yan Yang, Takeo Onishi and Ken Hiramatsu: Impacts of different spatial temperature interpolation methods on snowmelt simulations, Hydrological Research Letters, Vol. 9 (2015) No. 2 p. 27-34, <http://doi.org/10.3178/hrl.9.27>.