

水収支の評価に基づく

気候変動による空知川流域の流量変化の推定

Estimation of runoff change in Sorachi river basin due to climate change based on verification of water balance

室蘭工業大学 学生員 ○川口世理香 (Serika Kawaguchi)
室蘭工業大学 学生員 千田侑磨 (Yuma Chida)
室蘭工業大学 正 員 中津川誠 (Makoto Nakatsugawa)
(株)ドーコン 正 員 工藤啓介 (Keisuke Kudo)

1. はじめに

本研究は、積雪寒冷地である空知川流域での地球温暖化による適応策を考えていくため、現在気候と将来気候の流量の変化を得ることを目的とする。対象流域は北海道の空知川流域とし、IPCC 第5次評価報告書(以下、IPCC AR5 と称す)に対応した気候変動予測データを用いて流域レベルでの地球温暖化の影響を評価した。IPCC AR5 の RCP(代表濃度経路)シナリオは、RCP2.6, 4.5, 6.0, 8.5 と4つのシナリオが用意されており、数値が大きくなるほど2100年時点での放射強制力が大きくなる。本研究では、井芹ら¹⁾の統計的ダウンスケーリング手法(Statistical Downscaling, 以下、SDS と称す)を参考に、RCP8.5に基づく20km格子の気候変動予測データを1km格子へ細分化する手法を用いて、空知川流域での詳細な将来気候データを作成した。また、将来気候データを長期水循環モデルに使用して、現在気候と将来気候の流量の変動を評価した。

本研究では、積雪寒冷地における水循環を評価するため、雪の変化を考慮できる熱・水収支モデル(Long-term Hydrologic Assessment model considering Snow process, 以下、LoHAS と称す)と分布型流出モデルを適用した。特に融雪期の流出量の再現率を向上させるため、融雪期の観測流出高と計算流出高の比率を冬期降水量の補正に用いたことが本研究の特徴である。また、空知川流域のように流域面積が大きく、上流部と下流部で標高差が大きい流域では、降水量の補正を行う際に、標高の高い地点に重みをつけて補正を行う必要があることが分かった。そのうえで、現況再現で得られた関係を将来気候にも当てはめ、空知川流域における現在気候と将来気候の流量を比較し、流域単位での気候変動の影響を評価した。

2. 研究方法

2.1 対象地点の概要

対象河川とする空知川は、北海道中央部を流れる一級河川石狩川水系の一次支川である。石狩川水系の支川の中で最も長く、流域面積は2,618km²である。治水、利水、環境といった観点で重要な河川であり、特に北海幹線水路から取水したかんがい用水は、北海道の基幹産業である農業を支えている。図-1に流域の概要を示す。

2.2 SDSによる気象データの作成

(1) 使用データ

本研究ではIPCC AR5のRCPシナリオを適用した気象

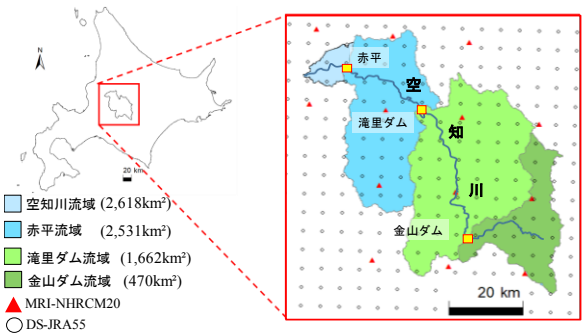


図-1 対象流域の概要

表-1 使用モデルの概要

レーダ解析雨量		
	現況再現	現況気候
空間解像度	1km	
対象期間	2010.9~2015.8	1984.9~2004.8
DS-JRA55(領域ダウンスケーリングモデル)		
	現況気候(観測値として扱う)	
空間解像度	5km	
対象期間	1984.9~2004.8	
MRI-NHRCM20(気候変動予測モデル)		
	現在気候	将来気候
空間解像度	20km	20km
対象期間	1984.9~2004.8	2080.9~2100.8
将来予測シナリオ	—	RCP8.5
海面水温パターン	HadISST	SST1/SS2/SS3
積雪対流スキーム	Yoshimura Scheme(YS)	Yoshimura Scheme(YS)

庁のNHRCM20(気候変動予測モデル)の予測結果を用いた。また、予測シナリオはRCP8.5について海面水温SST1~SST3の3パターンとした。RCP8.5シナリオは地球温暖化への適応策を一切行わなかった場合の最悪のシナリオであり、現在気候との変化量を最も大きく評価する。現況の観測値として扱うDS-JRA55(領域ダウンスケーリングモデル)²⁾の5km格子点と、NHRCM20の20km格子点の気象データを抽出し、現在気候及び将来気候を対象に計算を行う。また、DS-JRA55はモデル値であるため実測値とは違いがある。そのため、水文諸量の中でも水循環への感度が最も大きい降水量に関しては、気象庁のレーダ解析雨量を真値として補正を行った。各モデルの概要を表-1に示す。

(2) SDS手法

NHRCM20の現在気候値は現況の気候値を厳密に再現していないことから、現況の気候値との比較でバイア

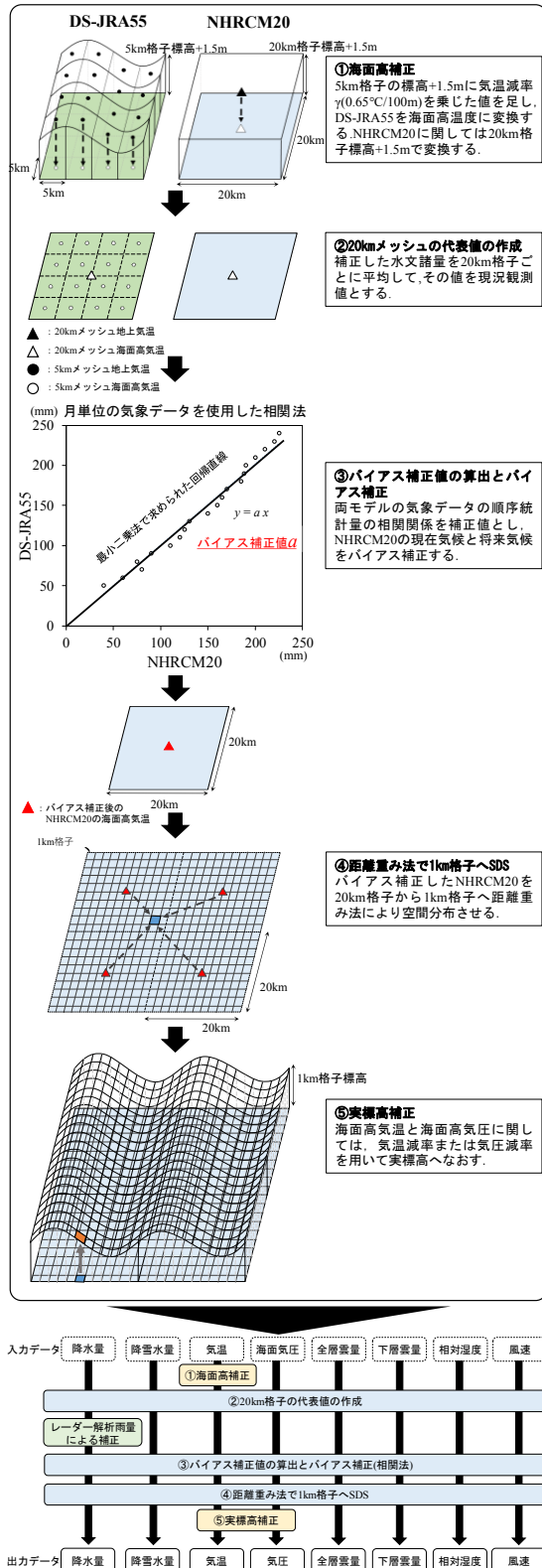


図-2 SDS手法の概要

ス補正をする必要がある。現況の気候値として観測値を使用する場合、観測地点の点在により、NHRCM20の20km格子へ空間補間する際に、近傍の観測地点数のばらつきから、補間した値に精度の保証が得られなかった。丸谷ら³⁾は観測値としてJRA55(気象庁55年長期再解析)を使用していたが、本研究では千田ら⁴⁾の研究を参考に、DS-JRA55を現況の観測値とし、空間的により精密なバ

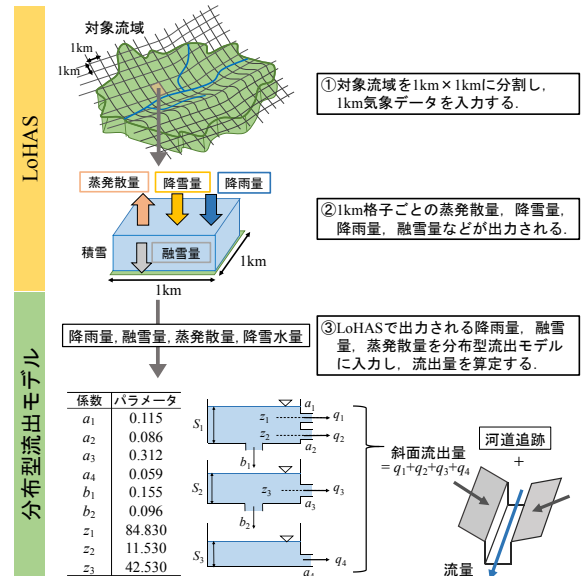


図-3 長期水循環モデルの概要図

イアス補正手法を適用する。バイアス補正にはいくつかの手法があるが、本研究では図-2に示すようにモデル値と実測値の順序統計量の相関から補正率を求める方法(Piani C, *et al.*⁵⁾、以下、相関法と称す)を用いた。相関法は、現在気候についてDS-JRA55とNHRCM20の格子点毎の月単位の気象データの線形関係で補正を行う手法である。また、現在気候値で求めた補正率が将来気候においても同一であると仮定し、NHRCM20の現在気候値と将来気候値にバイアス補正を行った。ここで、気象項目のうち、下層雲量については全層雲量のバイアス補正値を適用した。その後、距離重み法によりNHRCM20の現在気候と将来気候を空間補間し、1km格子の気象データを作成した。SDS手法の概要を図-2に示す。

2. 3 長期水循環モデル

(1) 熱・水収支モデル LoHAS

積雪寒冷地では、水循環に雪が大きく関わるため、積雪や融雪現象を考慮する必要がある。そこで、流域水循環に関する研究等⁶⁾で実績があるLoHASを用いて詳細な水文諸量を算出した。LoHASは、対象流域を1km格子に分割し、1km格子の気象データ(降水量、風速等)を入力値に、蒸発散量、融雪量等を推定するモデルである。LoHASの概要図を図-3に示す。

(2) 分布型流出モデル

1km格子の流出量を推定するため、分布型流出モデルによる計算流出量を求めた。その手法として臼谷ら⁷⁾の提案する「流域貯留量」を初期値とする斜面流出・河道追跡を組み合わせた分布型流出モデルを用いた。入力データとしてLoHASで算出した1km格子の降雨量、降雪水量、融雪量、蒸発散量と、対象流域の地質情報を用いて、格子ごとに直列3段タンクを用いて流量を計算した。タンクモデルのパラメータのうち、表層地質に関連しないパラメータについては、既往研究⁷⁾で設定された値を基に、金山ダムでの実測流入量に対する誤差が最小となるようにトライアル計算により同定した。分布型流出モデルの概要図を図-3に示す。

表-2 レーダ解析雨量補正前の計算結果

地点	流域面積 (km ²)	降水量		③蒸発散量 (mm)	④計算流出高 [*] (mm)	⑤観測流出高 (mm)	誤差(mm) ④-⑤
		①降雨量 (mm)	②降雪水量 (mm)				
金山ダム	498	1,037	382	466	928	1,285	-357
滝里ダム	1,662	1,094	432	470	1,015	1,342	-327
赤 平	2,531	1,128	507	500	1,117	1,190	-73

※本来は④=①+②-③となるが、計算開始時と終了時の貯留の差で必ずしも一致しない。

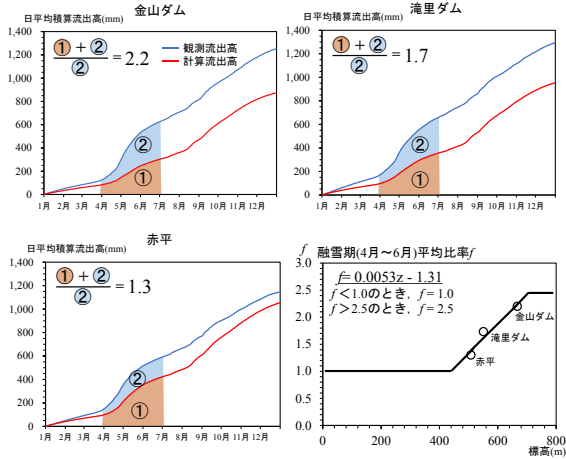


図-4 各地点の流出高マスカープと比率の算出方法

3. 結果と考察

3.1 水収支の現況再現と降水量の補正

まず、LoHAS と分布型流出モデルの妥当性を評価するため、現況再現として計算対象を2010年9月1日～2015年8月31日とし、通年比較をするため、比較対象を2011年1月1日～2014年12月31日とした。比較対象期間において、レーダ解析雨量を使用した計算流出高を算出し、観測流出高と比較した。レーダ解析雨量を用いた流出高の計算結果を表-2に示す。表-2の結果から、赤平では計算流出高は観測流出高に近い値となるが、上流部の金山ダム、滝里ダムでは300mm以上過小評価している。そこで、計算流出高の改善のため、以下の2種類の方法で補正を行った。

(1)方法①；降水量を2倍にする補正

レーダ解析雨量を用いた計算流出高を5年平均で日ごとに積算し、各地点で観測流出高の5年平均値のマスカープと比較したものを図-4に示す。この結果、融雪期(4月～6月)での計算流出高が約2倍過小評価してしまうことがわかった。これは、降雪期(12月～3月)のレーダ解析雨量の精度が悪く、降雪水量を過小評価していると考えた。そこで、流域全体で降水量を2倍にする補正を行った。

上記のとおり補正したレーダ解析雨量を入力値とする計算流出高の結果を表-3に示す。3地点を比較すると、表-2の補正前と比べ金山ダムと滝里ダムでは、計算流出高を観測流出高に近づけることができたが、下流部の赤平地点では計算流出高が約220mm過大評価する結果となった。

(2)方法②；標高の違いを勘案した補正

方法①の補正結果より、流域全体を一律で補正した場合、上流部と下流部の計算流出高が均等に変化した。この原因として、標高が高くなるほど、降水量は増える

表-3 方法①で補正を行った計算結果

地点	流域面積 (km ²)	降水量		③蒸発散量 (mm)	④計算流出高 [*] (mm)	⑤観測流出高 (mm)	誤差(mm) ④-⑤
		①降雨量 (mm)	②降雪水量 (mm)				
金山ダム	498	1,038	556	467	1,097	1,285	-188
滝里ダム	1,662	1,097	659	466	1,236	1,342	-106
赤 平	2,531	1,132	803	493	1,412	1,190	222

※本来は④=①+②-③となるが、計算開始時と終了時の貯留の差で必ずしも一致しない。

表-4 方法②で補正を行った計算結果

地点	流域面積 (km ²)	降水量		③蒸発散量 (mm)	④計算流出高 [*] (mm)	⑤観測流出高 (mm)	誤差(mm) ④-⑤
		①降雨量 (mm)	②降雪水量 (mm)				
金山ダム	498	1,037	542	468	1,081	1,285	-204
滝里ダム	1,662	1,094	568	469	1,137	1,342	-205
赤 平	2,531	1,129	654	498	1,257	1,190	67

※本来は④=①+②-③となるが、計算開始時と終了時の貯留の差で必ずしも一致しない。

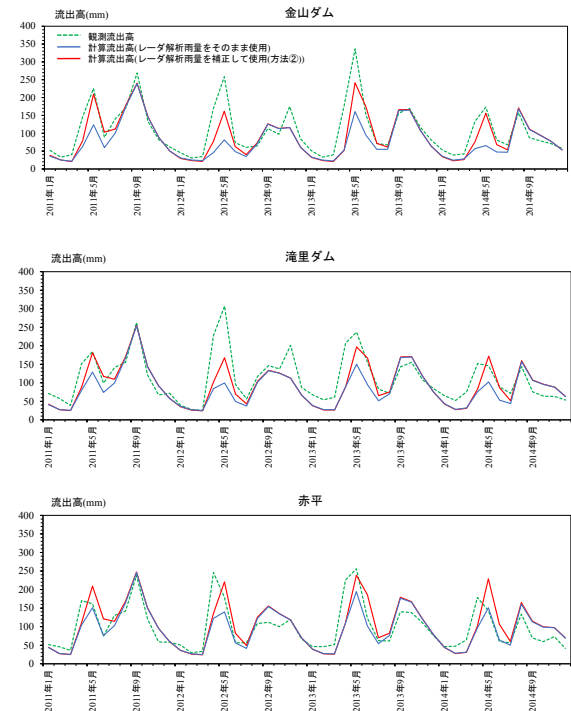


図-5 方法②の補正前後のハイドログラフ

が、その補正が適切に行われていないと考えた。そこで、方法①と同様に計算流出高に対する観測流出高の比率を日ごとに算出し、地点ごと(金山ダム、滝里ダム、赤平)に融雪期(4月～6月)で平均した比率 f を求めた。この融雪期平均比率 f と地点ごとの平均標高の関係を求めて指標化したものを図-4右下に示す。この際、 f の下限を1.0、上限を2.5とした。次に、1km標高ごとの補正值 f ($1.0 \leq f \leq 2.5$)を算出し、各格子の降雪期(12月～3月)のレーダ解析雨量を補正した。このような補正で得られた水収支の結果を表-4に示す。3地点を比較すると、表-2の補正前と比べ、上流部ではまだ過小評価だが、計算流出高を観測流出高に近づけることができた。標高を勘案した補正により、低平地を多く含む下流部の過大評価と、標高の高い上流部の過小評価を改善する補正ができることが確認できた。また、図-5に示すハイドログラフからは、降水量の補正により、融雪期である4月～6月の計算流出高のピークも改善されている。よって、方法②の補正方法を用いて、NHRCM20の現在気候と将来気候の降水量を補正し、流出計算を行うことにした。

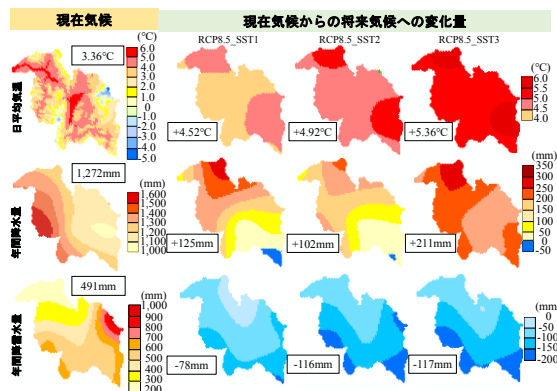


図-6 現在気候と将来気候の SDS の結果

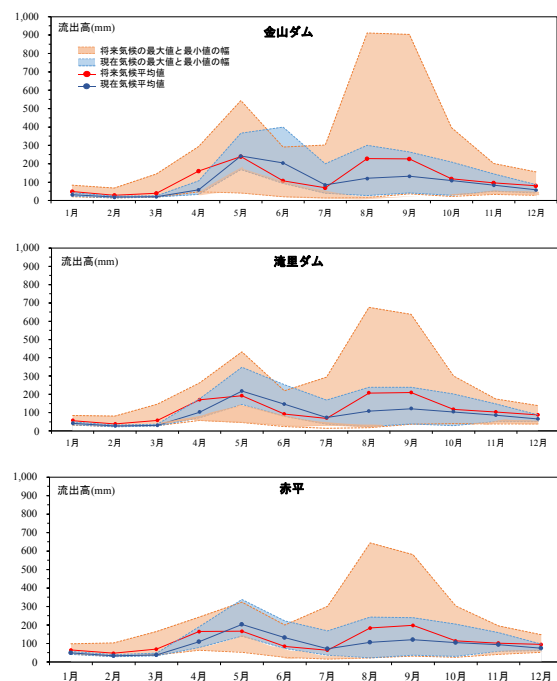


図-7 将来気候と現在気候の月別流出高の比較

3. 2 現在気候と将来気候の流出高の変化の推算

SDSによって作成したデータを用いて将来気候における 1km 格子ごとの気候変動予測データの分布図を図-6 に示す。左から順に現在気候, 将来気候の SST1, SST2, SST3 を表す。RCP8.5 シナリオにおいて, 日平均気温は約 4℃~5℃上昇し, 年間降水量は約 100mm~200mm の増加傾向が確認できる。しかし, 年間降雪量は約 100mm の減少傾向にある。このことから, 年間降水量のうち, 降雪の減少と降雨の増加が示唆される。

次に, SDS の気象データを入力値とする各地点の現在気候と将来気候の月別流出高の比較を図-7 に示す。結果は現在気候が 20 年分の幅, 将来気候が 60 年分の幅を示している。3 月~6 月の平均流出高に着目すると, ピークの時期は 5 月で変わらないが, 将来気候では 4 月に流出高が増加するのに対し, 5 月~6 月には減少することが確認できた。また, 夏季(7月~9月)に, 金山ダムにおいては最大で月 900mm を超える年も存在することが確認できた。一方で, 最小流出高に着目すると, 月 100mm を下回る年が存在しており, 将来気候における

流出高の変動が大きくなっていることが確認できた。

以上より, 各月の流出高に着目すると, 融雪期の 4 月に増加し, 6 月に減少していることから, かんがい用水の需要が増加する 4 月~6 月に安定した供給を行うため, ダムによる貯留・供給のタイミングを見直す必要があると考えられる。さらに, 8 月~9 月での最大流出高が約 3 倍になる年が存在し, 洪水リスクの増大も示唆される。このことから, 気候変動に適應した利水と治水両面の対策が必要であることがわかる。

4. まとめ

本研究で得られた結果を以下に記す。

- 1) 降水量を補正するにあたり, 融雪期の流出量の改善のために, 標高を考慮した降雪期の降水量の補正が実用的であることが, 水収支の比較から確認できた。
- 2) 60 アンサンブルの将来気候シナリオでは, 現在気候との変動の不確実性の幅を示すことができた。それにより, 季節別の流出高の変動が確認され, 利水と治水両面の適應策が必要となる。

謝辞: 本研究は文部科学省(MEXT)の事業である気候変動適應技術社会実装プログラム(SI-CAT)及び国土交通省河川砂防技術研究開発公募(地域課題分野(河川生態))の助成を受けたものである。利用したデータセットは, 文部科学省の委託事業により開発・運用されているデータ統合解析システム(DIAS)の下で, 収集・提供されたものである。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 井芹慶彦ら: 領域気候モデルとバイアス補正手法に起因する不確実性が早期浦ダム貯水量将来変化の推定に与える影響, 平成 27 年度流域学会誌, Vol.3, No.1, pp.23-32, 2015.
- 2) 気象庁, JRA-55 領域ダウンスケーリング(DS-JRA55), http://jra.kishou.go.jp/DSJRA-55/index_ja.html, (最終閲覧日: 2018 年 10 月 1 日).
- 3) 丸谷靖幸ら: ローカルスケールの気候変動影響評価に向けた JRA-55 降水量に対する統計的補正手法の検討, 土木学会論文集 B1(水工学), Vol.73, No.4, pp.115-117, 2017.
- 4) 千田侑磨ら: 統計的ダウンスケーリングに基づく空知川流域の水文量の気候変動に伴う影響の推定, 平成 29 年度土木学会北海道支部論文報告集, Vol.73, B-02, 2017.
- 5) Piani C. *et al.*: Statistical bias correction of global simulated daily and temperature for the application of hydrological models, Journal of hydrology, 395, pp.199-215, 2010.
- 6) 工藤啓介ら: 気候変動に伴う積雪寒冷地汽水湖の水質変化予測, 水文水資源学会 2017 年研究発表会要旨集, pp.120-121, 2017.
- 7) 臼谷友秀ら: 流域貯留量を考慮した流出計算法の凡用性について, 土木学会論文集 B1 (水工学), Vol.68, No.4, pp.463-468, 2012.