

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

Research of Influence of Climate Change on Hydrological Condition in Sorachi River Basin
Based on Statistical Downscaling Method

室蘭工業大学 学生員 ○千田侑磨 (Yuma Chida)
室蘭工業大学 学生員 谷口陽子 (Yoko Taniguchi)
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、積雪寒冷地での地球温暖化による適応策を考えていくため、気候変動に伴う水文諸量の基礎情報を詳細に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っている。本研究では、RCP8.5 に基づく 20km メッシュの気候変動予測データを 1km メッシュへ細分化する統計的ダウンスケーリング(Statistical Downscaling, 以下、SDSと称す)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、流域単位での気候変動を評価する。

本研究で重要となるのは、気候変動予測モデルのバイアス補正値を算出する際に、現況値として扱うデータに DS-JRA55(気象庁 55 年解析モデル)を使用したことである。従来の研究では、地上観測値を使用していたが、観測地点が点在する影響により、気候変動予測データの解像度である 20km メッシュに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。しかし、DS-JRA55 は日本域の細かい地形を反映した物理モデルであり、かつ観測値による補正がなされているため、従来よりも精度の高い 20km メッシュ値の空間補正が可能と考えられる。そこで、この DS-JRA55 を現況の観測値とし、RCP シナリオを適用した気象庁の気候変動予測モデルである MRI-NHRCM20（以下、NHRCM20 と称す）の現在気候値をバイアス補正する。また、その関係を将来気候値にも当てはめ、空知川流域を対象とした SDS によって将来水文量を得る。

2. 研究方法

2.1 対象地点の概要

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 であり、ウグイ類やドジョウ類、イトウの生息が見られる。本研究では治水・利水に役割を果たし、生態系への気候変動による影響を今後評価していくために、空知川流域を対象とした水文量を推定する。

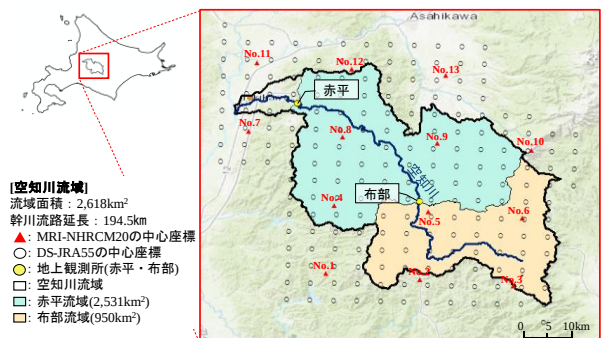


図-1 対象流域の概要

表-1 使用モデルの概要

DS-JRA55(気象庁55年再解析モデル)		
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/SST2/SST3
積雪対流スキーム	Yoshimura Scheme(YS)	Yoshimura Scheme(YS)

図-1 に対象流域の概要を示す。

2.2 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庁の NHRCM20(気候変動予測モデル)の予測結果を採用し、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 の 5km メッシュ格子点と、NHRCM20 の 20km メッシュ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。各モデルの概要を表-1 に示す。

DS-JRA55 はモデル値であるため、水文諸量の中でも水循環への感度が最も多き降水量に関しては、気象庁のレーダ解析雨量を真値として補正を行う必要がある。レーダ解析雨量の解像度が 1km メッシュで観測開始となった 2006 年 1 月から DS-JRA55 が公開されている。

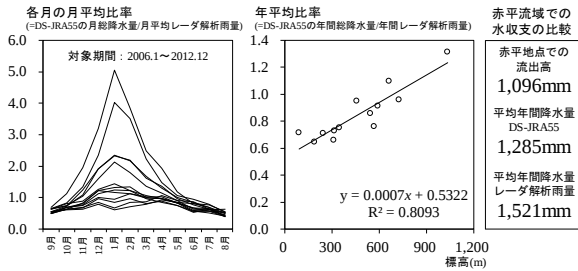


図-2 レーダ解析雨量と DS-JRA55 の降水量比較

表-2 DS-JRA55 の各気象項目データ変換方法

DS-JRA55(時間単位)		
気象項目	使用データ	変換方法
降水量(mm)	降水強度(kg/m ² /s)	1. 時間降水強度に3,600(s=1h)を乗じ水の密度1,000kg/m ³ を除すことで時間降水量(mm)を算出。 2. 1に1,000を乗じ時間降水量(mm)に直す。
降雪量(mm)	降雪強度(kg/m ² /s)	1. 時間降雪強度に3,600(s=1h)を乗じ水の密度1,000kg/m ³ を除すことで時間降雪量(mm)を算出。 2. 1に1,000を乗じ時間降雪量(mm)に直す。
気温(°C)	地上1.5m気温(°C)	—
気圧(hPa)	海面気圧(hPa)	—
全層雲量(%)	全層雲量(%)	—
風速(m/s)	地上10mのx方向の風速(m/s) 地上10mのy方向の風速(m/s)	1.x方向とy方向の風速の二乗和の平方根より合成風速を算出。 2.式(1),式(2)でMRI-NHRCM20の地上1.5m風速に変換。
相対湿度(%)	地上1.5m露点差(°C)	1. 気温・露点差で露点を算出。 2. 露点を用いて式(3)より水蒸気圧を算出。 3. 気温を用いて式(4)より飽和水蒸気圧を算出。 4. 水蒸気圧・飽和水蒸気圧により相対湿度を算出。

2012 年 12 月までの 7 年間に於いて算出した 20km メッシュ 13 個のレーダ解析雨量に対する DS-JRA55 の比を図-2 に示す。DS-JRA55 の降水量はレーダ解析雨量に比べ、夏季に過小、冬季に過大評価し、標高が高いほど過大に値が出る傾向が分かった。また、空知川流域での基準点である赤平地点で現在気候 20 年間の水収支を比較したところ、赤平での年平均流出高に対し、蒸発散量を考慮すると DS-JRA55 はレーダ解析雨量に比べ過小に降水量が出ており、DS-JRA55 の降水量をレーダ解析雨量で補正する必要があることが分かる。

また、各モデルから抽出される気象データは次元が異なるため、表-2 に示す変換方法で DS-JRA55 の降水強度、降雪強度、露点差を降水量、降雪量、相対湿度に変換し、NHRCM20 の気象データに次元と条件を合わせる。風速に関しては DS-JRA55 の 5km メッシュ毎の標高+1.5m と NHRCM20 の 20km メッシュ中心標高+1.5m の差 ΔH の正負により場合分けを行い NHRCM20 の中心標高+1.5m での風速に変換する。以下に表-2 の変換で用いる式を示す。

$$(i) \Delta H \geq 0; \quad w' = w \times \frac{\log_{10} 150}{\log_{10} [(10 + \Delta H) \times 100]} \quad (1)$$

$$(ii) \Delta H < 0; \quad w' = w \times \frac{\log_{10} [(\Delta H + 1.5) \times 100]}{\log_{10} 1000} \quad (2)$$

ここで、 w' は NHRCM20 の地上 1.5m 風速、 w は DS-JRA55 の地上 10m 風速である。

相対湿度に関しては、露点差から露点を算出し、次の式(3)から算出する水蒸気圧と、式(4)から算出する飽和水蒸気圧の比から相対湿度に変換する²⁾。

$$e = 10^{\frac{7.5}{1+237.3/T_{DEW}} + \log_{10}(6.11)} \quad (3)$$

$$e_{SAT} = 6.1078 \times 10^{\frac{aT}{b+T}} \quad (4)$$

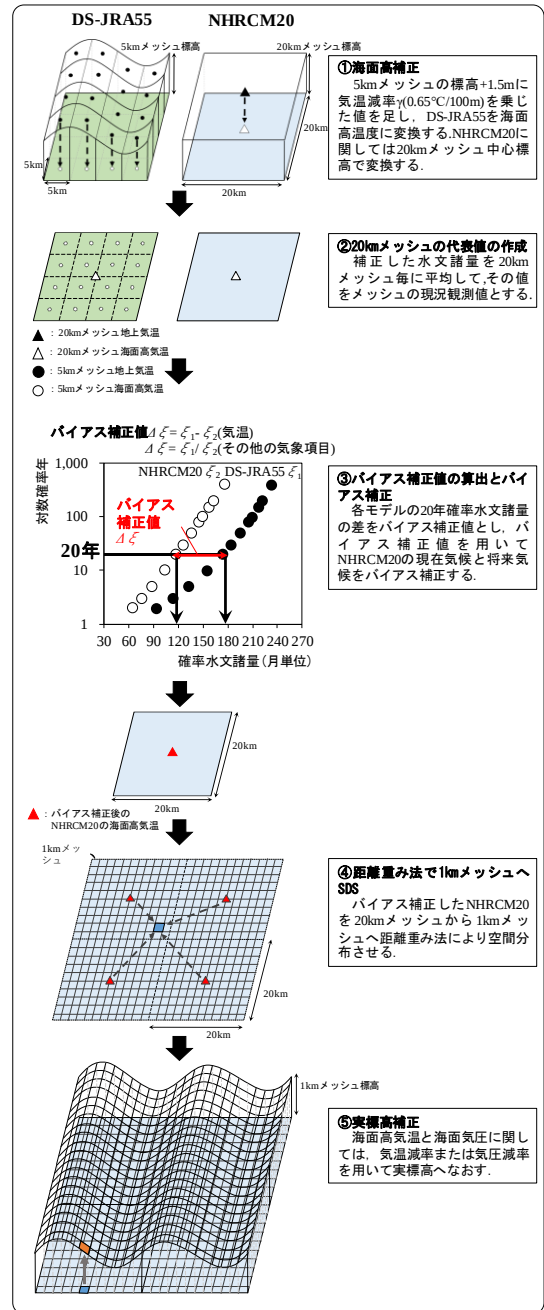


図-3 SDS手法の概要

ここで、 e は水蒸気圧(hPa)、 T_{DEW} は露点(°C)、 e_{SAT} は飽和水蒸気圧(hPa)、 T は気温(°C)、水面上で $a=7.5$ 、 $b=237.3$ である。

表-2 に示す変換を行い、DS-JRA55 の全ての気象データを日平均値に変換し SDS に使用する。

2. 3 SDS 手法

NHRCM20 から抽出される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、DS-JRA55(現況の観測値)との比較で得られる補正值を用いて現在気候と将来気候に対してバイアス補正を行う。その後、距離重み法により1kmへSDSを行う。図-3にはSDS手法の過程を模式的に示す。以下、図の順序に沿って説明を行う。

①海面高補正

DS-JRA55の気温について5kmメッシュ毎の標高に基づき補正を行う。DS-JRA55の気温は地上1.5mのものであるため、5kmメッシュ毎の標高+1.5mに気温減率 $\gamma(=0.65^{\circ}\text{C}/100\text{m})$ を乗じた値を加えて海面高温度に補正する。また、NHRCM20については20kmメッシュ中心点標高を用いて同じ気温減率で補正する。

②20kmメッシュの代表値の作成

バイアス補正を行うには、DS-JRA55とNHRCM20を比較する必要があるため、DS-JRA55の5kmメッシュの全ての気象データを20kmメッシュ毎に平均し、現況の観測値の代表値とする。

③バイアス補正值の算出とバイアス補正

バイアス補正手法に関しては藤原ら³⁾によるバイアス補正手法を用いた。この手法は気象項目が月単位の平均値の確率分布へ保存されるように補正を行う手法である。気象データの内、相対湿度に関してはDS-JRA55とNHRCM20の現在気候値との差が殆ど無かったためバイアス補正の必要が無いと判断し、今回は相対湿度を除いた6項目で補正を行った。

現在気候についてDS-JRA55(ξ_1)とNHRCM20(ξ_2)の格子点毎の月単位の20年確率海面高温度の差分($\Delta\xi=\xi_1-\xi_2$)、その他の気象項目については比率($\Delta\xi=\xi_1/\xi_2$)を算出する。その後、現在気候値で求めた $\Delta\xi$ が将来気候においても同一であると仮定し、 $\Delta\xi$ を用いてNHRCM20の現在気候値と将来気候値をバイアス補正する。

④距離重み法で1kmメッシュ値へのSDS

バイアス補正後のNHRCM20の現在気候と将来気候に空間補間法を適用し、20kmメッシュから1kmメッシュへSDSを行い、気象データの1kmメッシュ値を推定する。空間補間法については、距離重み法を採用する。

⑤実標高補正

海面高温度および海面高気圧はSDSを行った後に実標高(1kmメッシュ標高)に気温減率 $\gamma(=0.65^{\circ}\text{C}/100\text{m})$ または気圧減率 $\gamma(=0.114\text{hPa}/100\text{m})$ を乗じた値を減じて実標高の値に補正する。その他の気象項目については実標

高による補正は行わず、そのままの値を用いる。

3. 結果と考察

3. 1 SDS手法の妥当性の検討

SDSによって得られた1kmメッシュデータが、現況の観測値としたDS-JRA55と正誤性がとれるか検証した。空知川流域内の地上観測所である赤平流域と布部流域を対象に、20年間の日降水量の内31mm以上の頻度を比較したものを図-4の左図に示す。各領域の全区分において、NHRCM20の現在気候に対してバイアス補正を行うことで、バイアス補正前よりも現況値(流域平均DS-JRA55をレーダ解析雨量で補正した値)を再現できていることが確認できた。また、表-3は流域ごとに年間流出高とNHRCM20の補正前、補正後についての年間降水量を比較したものである。蒸発散量を考慮すると補正後のほうが妥当な数字となった。

さらに、図-4の右図には補正後の現在気候と、海面水温(SST1~SST3)ごとの将来気候の頻度を比較したものを示しているが、91mm以上の日降水量を上回る日数が現在気候よりも明らかに増加していることが分かる。特に現在気候では起こりえなかった日降水量271mmを超える日が20年間に5回~8回現れ、雨の降り方の変化が確認できた。

3. 2 将来気候変動の評価

図-5にはSDSにより作成された1kmメッシュの気候変動予測データの空間分布図を、表-4には1kmメッシュの気候変動予測データの流域平均値を数値でまとめたものを示す。図-5の上部の左端に現在気候を示し、将来気候については差分(将来気候-現在気候)を示す。RCP8.5の差分に着目すると、流域全体で日平均気温の4℃以上の上昇と年間降水量の250mm以上の増加が確認できる。逆に年間降雪水量では流域全体で減少傾向にあり、年間降水量は降雨量の増加が大きくなると考えられる。

また、空間分布図の南東部の標高が高い山岳地帯では、SST1、SST2で年間降水量の30mm以上の減少と、SST2、SST3で年間降雪水量が95mm以上減少しており、標高による変化の違いが確認された。

表-3 現在気候でのバイアス補正前後の水収支比較

地点名	流域面積	①年間流出高	②年間降水量		②-①	
			補正前	補正後	補正前	補正後
赤平	2,531km ²	1,096mm	1,346mm	1,536mm	250mm	440mm
布部	950km ²	1,190mm	1,351mm	1,474mm	161mm	284mm

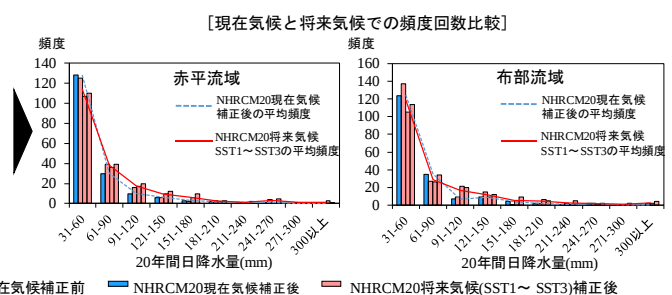
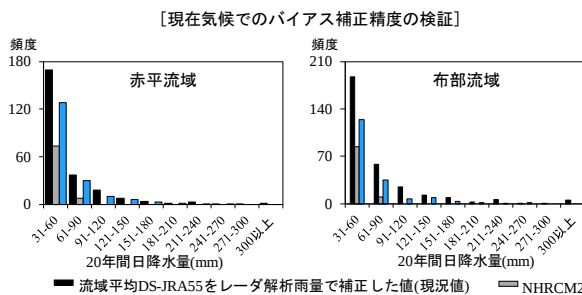


図-4 赤平・布部流域でのバイアス補正精度の検証と、頻度分布比較

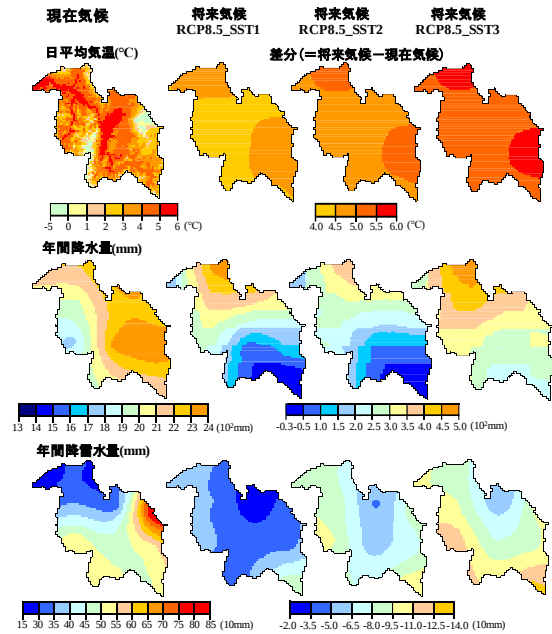


図-5 現在気候と将来気候の各気候項目の SDS 結果

表-4 現在気候と将来気候の空知川流域における各気象項目の年間比較

	現在気候	将来気候 RCP8.5_SST1	将来気候 RCP8.5_SST2	将来気候 RCP8.5_SST3
日平均気温(°C)	平均値 3.60	8.13	8.53	8.98
	差分	+4.35	+4.93	+5.38
年間降水量(mm)	平均値 1,537	1,767	1,734	1,868
	差分	+230	+197	+331
年間降雪量(mm)	平均値 455	407	378	363
	差分	-48	-77	-92

また、現在気候と将来気候の月別比較を図-6に示す。気温は月別で見ても平均で4℃以上上昇し、全ての月で1年を通して気温上昇していることが分かった。降水量は夏季である8月の最大値の変動が大きく、将来気候20年×海面水温3パターン(60パターン)でみると最大で月900mmを超える年も存在することが確認された。これは表-3で示した赤平流域の年間降水量の約60%に達するため、無視できない結果である。また、降雪量は現在気候と比較すると、降り始めの9月～11月と消雪する4月～5月において平均値が大幅に小さくなっており、最大値も小さくなっていることが分かった。

以上より、年間降水量では全てのシナリオで増加がみられ、逆に年間降雪量では全てのシナリオで減少がみられたことから、供給される水分量は雪から雨に変化することが顕著に現れた。特に標高が高い山岳地帯では降雪量減少の変化が大きく、天然ダムとして貯留する効果は低下していくことが考えられる。また、年間降水量は増加傾向にあるが、同時に気温も上昇傾向にあるため蒸発散量の増加が見込まれる。よって適切な水資源賦存量の推算には、詳細な水循環の計算を行う必要がある。

4. まとめ

本研究で得られた結果を以下に記す。

- 1) 5km メッシュ間隔で補間されている DS-JRA55 及びレーダ解析雨量を現況の観測値として使用すること

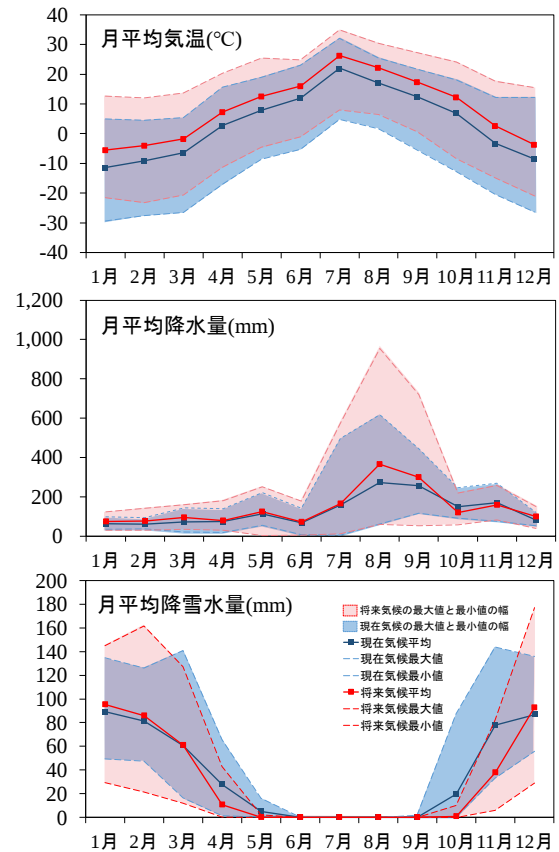


図-6 現在気候と将来気候の月別比較

により、現在気候の適切なバイアス補正と SDS ができた。

- 2) 将来気候 RCP8.5 シナリオでは、海面水温 SST1～SST3 の 3 パターンを考慮することで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、現在気候と比べ降雪期間の減少や年間降水量の増加、また日降水量 270mm 以上の頻度増加から、将来気候では雪が雨に変わり、雨の降り方も変化することが分かった。

謝辞：本研究は文部科学省(MEXT)の事業である気候変動適応技術社会実装プログラム(SI-CAT)の助成を受けた。また、本研究で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。データ処理にあたり(株)ドーコン河川環境部の田中氏にご助言頂いた。ここに記して感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 大谷圭吾,谷口陽子,中津川誠：統計的ダウンスケーリングに基づく将来の気候変化が豊平川流域の水資源量へ及ぼす影響に関する研究,平成 28 年度土木学会北海道支部論文報告集,第 73 号,B-02,2016.
- 2) 近藤純正：水環境の気象学,2.3 水蒸気含有量,4.9 放射量の推定式,朝倉書店,1994.
- 3) 藤原洋一,大出真理子,小尻利治,友杉邦雄,入江洋樹：地球温暖化が利根川上流域の水資源に及ぼす影響評価,水工学論文集,第 50 巻,2006 年 2 月.