

d4PDF を用いた地球温暖化が信濃川上中流域の 水資源や洪水に与える影響の評価

長岡工業高等専門学校 非会員 ○ 齋藤 悠斗
長岡工業高等専門学校 正会員 山本 隆広

1. はじめに

地球温暖化は、IPCC の第 6 次評価報告書¹⁾によると気候変動をもたらし、自然災害の激化や、農作物への影響、海面上昇など様々な問題を引き起こすとされている。地球温暖化予測情報第 8 巻²⁾によれば、日本では年平均気温が 1980 年から 2012 年までの期間で 100 年あたり +1.15°C の変化率で上昇している。また、日降水量が 100 mm 以上となる大雨や 1 時間降水量が 50 mm 以上となる短時間強雨が増加傾向にある。こうした気候変動が将来の水資源や洪水に与える影響を評価することは、将来の水資源管理と洪水対策を考えるために重要である。

これまで、様々な気候モデルによって気候予測が行われてきた。しかしながら、これらの気候モデルはアンサンブル実験数が少なく、低頻度の事象を十分に評価できていなかった。2015 年に公開された d4PDF(地球温暖化対策に資するアンサンブル気候予測データベース database for Policy Decision making for Future climate change)³⁾は、高解像度でアンサンブル実験数を多数(領域実験において、過去実験:50 メンバ、将来実験:90 メンバ)有している。これを用いることで、低頻度事象の将来変化をより高精度に評価することが期待できる。

本研究では、d4PDF の領域実験結果を用いて、分布型水文モデルにより流出計算を行い、地球温暖化が信濃川上中流域の水資源や洪水に与える影響を評価した。

2. 対象流域と使用データ

対象流域は信濃川上中流域 (10488 km²) とした。

本研究では、d4PDF の領域実験データを使用した。このデータは日本周辺の領域について水平解像度約 20 km で提供されており、過去実験と将来実験の二つのデータがある。将来実験の 4°C 上昇実験

は、期間を通して温暖化の程度が時間変化しないものとなっている。本研究では、データ容量の関係から一つのアンサンブル実験しか用いていないため、d4PDF を利用する利点が活かせていない。多数のアンサンブル実験を用いて温暖化影響を評価することは今後の課題である。

本研究では、d4PDF の降水量と気温のデータを過去実験、4°C 上昇実験それぞれ 19 年間分のデータを用いた。

領域データの格子は次節で説明する分布型水文モデルの入力データの格子と一致しないため、最近隣法を用いて 250 m 程度の水平解像度の格子に変換した。しかしながら、気温は標高によって変化するため、この変換は良いとは言えない。標高差を考慮し、気温減率を用いた最近隣法で 250 m 程度の水平解像度の格子に変換することは、今後の課題である。

下向き短波放射量を推定するための日照時間のデータは、山本ら⁴⁾により下向き短波放射は 2100 年までほとんど変化しないとされているため、本研究では影響が小さいものとし、データ容量の関係から過去実験・将来実験共に、気象庁の地域気象観測システム (Automatic Meteorological Data Acquisition System, これ以降、AMeDAS と言う) の 1990 年から 2009 年までのデータを用いた。

観測値として、AMeDAS の降水量、気温および日照時間を用いた。図-1 には、対象流域の概要図と、AMeDAS 観測所の配置、観測データの種類を示した。図中の○印は降水量、気温、日照時間を観測している地点、▲印は降水量のみを観測している地点である。データ期間は 1990 年から 2009 年の 19 年間とし、1 時間ごとのデータを用いた。

3. 手法

分布型水文モデル

信濃川上中流域の分布型水文モデルは陸ら⁵⁾のモデリングシステムを基に星野ら⁶⁾が構築したものをを用いた。このモデルは流域を約 250 m 水平解像度の格子に分割し、格子毎に流出量、蒸発量などを計算しており、表面流出、中間流出、地下水流出の成分毎に線形貯水池モデルを用いている。これにより、時間遅れを伴って格子中心点に各流出成分が流入する。格子中心点間は、実河川と仮想な流路で結ばれ、流れの方向は周囲 8 方向のうち、最大の標高勾配となる方向に形成された擬河道網において河川水が追跡計算される。降雨流出モデルには流出 3 成分を考慮した新安江モデルを用いた。新安江モデルは世界有数の流域面積を誇る黄河などの大河川流域スケールの適用実績があり、特に湿潤・半湿潤地域において良好な結果が得られている。日本の流域においても、新安江モデルの適用実績は少なからずある。蒸発モデルにはマッキング法、河川水の河道追跡モデルには kinematic wave 法を用いた。

モデルのパラメータは、星野ら⁶⁾によって同定されたパラメータを用いた。

4. 結果と考察

小千谷地点における分布型水文モデルによる、観測値、過去実験、将来実験の計算結果を比較し、温暖化が水資源に及ぼす影響を評価する。AMeDAS の降水量、気温、日照時間の観測値を用いて分布型水文モデルによって流出計算を行った結果を以下では、BASE とする。

(1) 水資源への影響

まず、BASE、過去実験、将来実験における 19 年平均の流域平均月降水量を図-2 に示す。これを見ると、過去実験と将来実験において冬から春(2-4 月)の降水量は平均 10 mm/month 弱増加していることが分かる。また、それ以外の期間の降水量はほぼ減少し、特に 8 月の降水量は 60 mm 程度も減少していることが分かる。BASE と過去実験においては、2 月の結果以外には BASE と過去実験の差(バイアス)があり、BASE をうまく再現できていないことが分かる。

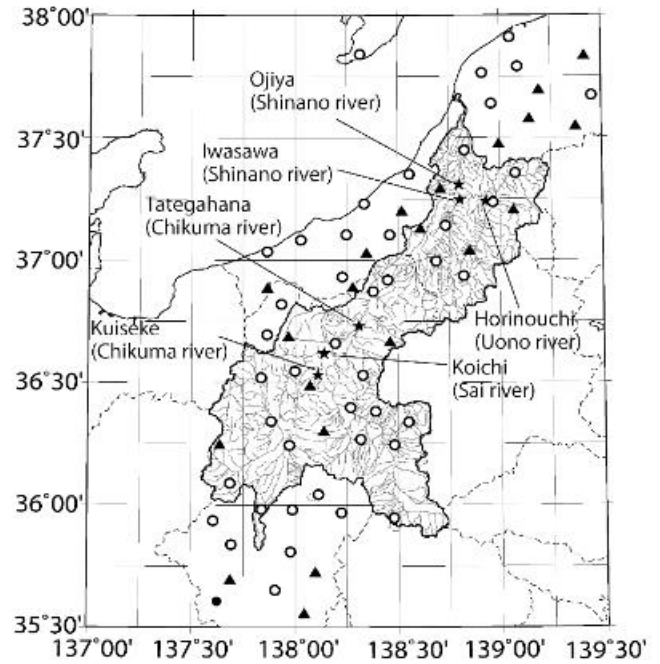


図-1 信濃川上中流域図。最下流地点は大河津分水路の最下流である。○印は降水、気温、日照時間を観測している AMeDAS 観測所、▲印は降水のみを観測している AMeDAS 観測所、★印は国土交通省が管理している流量観測所を示す。

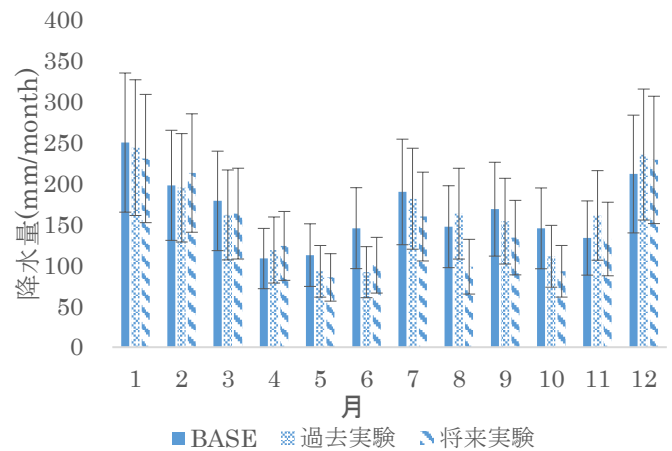


図-2 流域平均月降水量(19年平均)

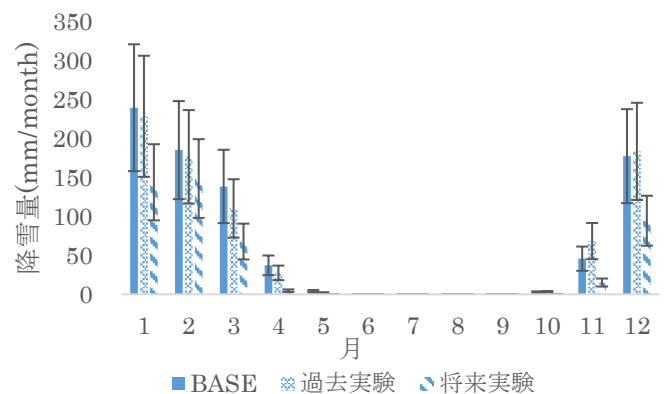


図-3 流域平均月降雪量(19年平均)

BASE, 過去実験, 将来実験における19年平均の流域平均月降雪量を図-3に示す. これを見ると, 将来の降雪量はすべての月において減少していることが分かる. 特に1, 12月の降雪量においては約80mm減少していることが分かる.

また, BASE, 過去実験, 将来実験における19年平均の流域平均月融雪量を図-4に示す. これを見ると, BASE, 過去実験においては, 融雪量のピークが4月であるのに対して, 将来実験においては1-3月の融雪量の変化は少ないが, 2月に融雪のピークを迎え, 5月ではほとんど融雪が終了していることが分かる.

また, 小千谷地点のBASE, 過去実験, 将来実験における19年平均の河川流量の結果を図-5に示す.

これを見ると, 過去実験と将来実験において4-11月における河川流量は平均で40mm/month弱減少していることが分かる. また, 冬(1-3, 12月)の河川流量は増加している. これは, 将来の冬の融雪量が増加しているためであると考えられる.

19年平均の流域平均降水量, 流域平均蒸発散量, 年流出量を表-1に示す. これを見ると, 過去実験と将来実験において将来の年降水量は約150mm減少, 蒸発散量は約10mm増加し, その結果, 年流出量は約150mm減少していることが分かる.

(2) 洪水への影響

小千谷地点のBASE, 過去実験, 将来実験における洪水イベントごとの最大流量の上位5位までを表-2に示す. これを見ると, 過去実験と将来実験において, 一番大きな洪水イベントでは約2000m³/s増加していることが分かる. また, 4, 5位においても将来実験の最大流量は, 過去実験から約2500m³/s増加していることが分かる.

また, 各洪水イベントの発生月を表-3に示す. これを見ると, BASEの1位を除くとBASE, 過去実験, 将来実験の1-3位までの発生月は同じであったが, 将来の大きな洪水イベントの発生時期は大きく変化しないことが示唆される.

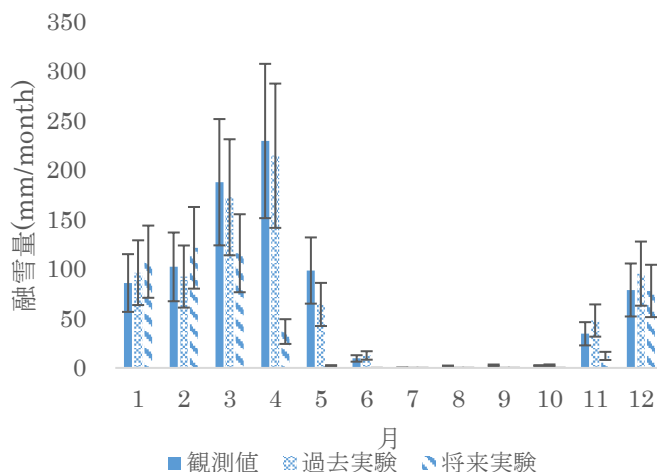


図-4 流域平均月融雪量(19年平均)

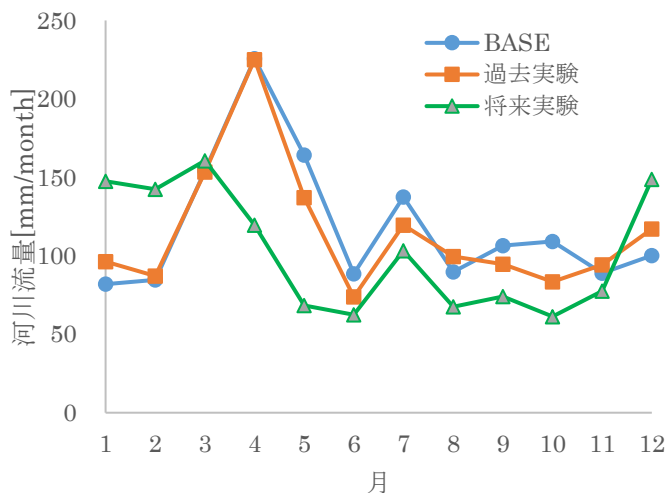


図-5 小千谷地点の流出量(19年平均)

表-1 流域平均年降水量・蒸発量・流出量
(19年平均)

	降水量(mm)	蒸発量(mm)	流出量(mm)
BASE	1989.453	534.093	1431.220
過去実験	1910.227	505.060	1381.482
将来実験	1762.141	513.746	1233.094

表-2 洪水イベントごとの最大流量上位5位

	BASE(m ³ /s)	過去実験(m ³ /s)	将来実験(m ³ /s)
1	11738.2	11824.1	13090.8
2	9171.8	11645.6	10074.6
3	8175.0	7131.8	8406.2
4	4951.3	5632.9	8382.7
5	4617.4	4623.9	7110.9

表-3 各洪水イベントの発生日

	BASE	過去実験	将来実験
1	10月	9月	9月
2	7月	7月	7月
3	9月	9月	9月
4	10月	7月	8月
5	9月	10月	6月

5. まとめ

本研究では、d4PDF 領域実験の過去実験と将来実験の4°C上昇実験のデータを用いて、地球温暖化が小千谷地点の水資源と洪水に与える影響の評価を試みた。得られた結果をまとめると、以下ようになる。

- i. 将来の冬から春の降水量は、現在と比較して10 mm 弱増加し、その他のほとんどの期間で降水量は減少する。その結果、年降水量が約150 mm 減少する。
- ii. 将来の降雪量は、現在と比較してすべての期間において減少する。また、1, 12月においては降雪量が約80 mm 減少する。
- iii. 現在の融雪量が4月にピークを迎え、6月で融雪が終わるのに対し、将来の融雪量は2月にピークを迎え、5月に融雪が終了する。
- iv. 将来の河川流量は、現在と比較して冬に流出量が増加し、それ以外の期間では減少する。その結果、年流出量が150 mm 程度減少する。
- v. 将来の洪水イベントごとの最大流量の上位5位を現在と比較すると、一番大きな洪水イベントにおいて2000 m³/s 増加し、それ以外の洪水イベントにおいてもほとんど増加する。また、上位3位までの洪水イベントの発生日は変化しないことが示唆される。

最後に、今後の課題を述べる。

- i. 本研究ではアンサンブル実験を一つしか用いていないためd4PDFの強みである実験数の多さを生かしていない。今後、多数のアンサンブル実験を用い、影響を評価する必要がある。
- ii. 本研究では、気温データを分布型水文モデルの入力データの格子に変換する際に、最近隣法を用いた。しかしながら、気温は標高によって変

化するため、気温減率を考慮した方法で変換する必要がある。

- iii. d4PDFのデータには、観測値との差(バイアス)がある。大きなバイアスがあるデータを使うと適切な影響評価を行うことができない。本研究では、バイアスについて考慮していないため、今後の研究ではバイアス補正を行う。
- iv. 本研究では、対象流域を信濃川上中流域としたが、小千谷地点の影響評価までしか行っていない。今後、信濃川上中流域の他の地点の影響評価を行う必要がある。

参考文献

- 1) IPCC. Summary for Policymakers. IPCC Sixth Assessment Report. 2021. <https://www.ipcc.ch/> (参照 2022-10-06)
- 2) 気象庁地球環境・海洋部. 地球温暖化予測情報第8巻. <https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/GWP/Vol8/index.htm> 1(参照 2022-10-06)
- 3) Mizuta, R. et al. : Over 5000 years of ensemble future climate simulations by 60 km global and 20 km regional atmospheric models, Bulletin of the American Meteorological Society, vol.98, pp.1383–1398, 2017 <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-16-0099.1>.
- 4) 山本 隆広, 花崎 直太, JUNG Huicheul, 高橋 潔, 脇岡 靖明. 全球水資源モデルH08を利用した季節性を考慮した世界の温暖化水資源影響評価に向けてー将来気象データに対するH08の応答に関するー考察ー. 第23回(2010年度)水文・水資源学会総会・研究発表会
- 5) 陸 旻皎・小池俊雄・早川典生:分布型水文情報に対応した流出モデルの開発, 土木学会論文集, 411/II-12, pp. 135-142, 1989.
- 6) 星野大雅・平沢勇之助・戸倉駿人・山本隆広:念最大流量非超過確立を用いた洪水危険指標の開発の試み, 水文学論文集, Vol. 59, pp. 1489-1494, 2015.