

平成30年 5月30日現在

機関番号：12601

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2014～2017

課題番号：26820198

研究課題名(和文) 気候シナリオ類型化による気候変化が水分野に与える影響の不確実性定量化

研究課題名(英文) Classification of climate change scenarios for the qualification of uncertainty in the climate-change impact assessment for water-related issues

研究代表者

渡部 哲史 (Watanabe, Satoshi)

東京大学・大学院工学系研究科(工学部)・助教

研究者番号：20633845

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は多数存在する気候シナリオを類型化することにより、効率的に水関連分野における気候変動影響評価の不確実性を定量化することを試みた。研究期間の前半において降水量に注目して将来気候シナリオを類型化することにより、多数の将来気候シナリオの中から傾向を明らかにすることに取り組んだ。研究期間の後半では、それらを大規模アンサンブルデータ実験結果に適用し、全球および日本域の2つの空間領域において、気候変化の不確実性を踏まえた上で、水分野で重要な極端な現象(洪水や渇水)の適切な予測を行うための技術開発ならびに、それらを用いた将来評価を行った。

研究成果の概要(英文)：This study aimed to quantify the uncertainty of climate change impact assessment in water related issues efficiently by classifying existing climate scenarios. In the first half of the research period, we focused on precipitation and classified future climate scenarios, and clarified trends among many future climate scenarios. In the latter half of the research period, the method developed was applied to large-scale ensemble data experiment results for both in the global and the Japanese region. Based on the uncertainty analysis obtained by the method, an extreme phenomenon that is important for the water related issues are evaluated with the range of future projections.

研究分野：水工学

キーワード：気候変動 バイアス補正 不確実性解析 水災害

### 1. 研究開始当初の背景

気候変化の不確実性を定量的に示すためには気候モデルの違いやモデル初期値の違いによって生じる予測結果の幅を考慮する必要があるが、水分野における影響評価では気候モデルから得られた将来気候シナリオを外力として影響評価実験を行う必要があるため、計算負荷や利用可能なデータ数の問題から、考慮できる将来気候シナリオの数には限界があった。

より多くの予測結果を基に不確実性を考慮することは、水分野で重要な極端な現象(洪水や渇水)の適切な予測に非常に重要であり、最悪ケースの把握にも大きく資するものである。故に、水分野での影響評価に重要な要素である降水量に注目して将来気候シナリオを類型化することにより、多数の将来気候シナリオの中から傾向の異なるものを効率的に選択して影響評価実験を行うことで、従来よりも多数の予測結果を考慮することを可能にし、それらを基に不確実性を定量的に示すこと、また想定しうる最悪のケースを明らかにすることが重要な課題であった。

### 2. 研究の目的

本研究では影響評価実験に重要な要素である降水量の将来変化のシグナルを対象とした類型化を行い、その結果を基に代表的将来気候シナリオを選択し、それらに基づいた影響評価として将来河川流量の影響評価実験を行いその不確実性を定量化する。将来気候シナリオの類型化の際には申請者らの既往研究の結果に基づいて選んだ複数の指標を用いる。不確実性の定量化の際には各気候モデルの20世紀再現実験から得られる変化シグナルを観測値から得られる変化シグナルと比較することで得られる観測値再現性を基に求めた各類型化結果の確からしさを併せて考慮する。得られた不確実性を従来の手法で求めた場合の不確実性と比較することにより、多数の将来気候シナリオを考慮することの効果や、最悪ケースの比較を行う。

### 3. 研究の方法

本研究ではまず、降水量に関する必要なデータを取得すると共に、各将来気候シナリオから将来変化シグナルを抽出し、それらを基にした将来気候シナリオの類型化を行う。

次に、気候モデルによる降水量の20世紀再現実験の結果及び観測値の変化シグナルの抽出を行い、両者の一致度を定量的に示すと共に気候モデルと観測値の降水量に関する変化シグナルの一致度を基に、類型化された各将来変化シナリオグループの確からしさを定量的に示す。

類型化した将来変化シナリオを基にした代表的な将来気候シナリオを作成し、代表的な将来気候シナリオに基づく影響評価実験として将来河川流量のシミュレーションを行う。この際には、必要となる降水量以外の

変数の取得や、バイアス補正など影響評価実験に必要な前処理についても行う。

### 4. 研究成果

将来降水量の予測値が日単位で公開されている合計42のモデルを対象として、異なる開発機関のものを優先し、各モデルの全アンサンブル実験の結果を取得し類型化を行った。

類型化に関しては、気候モデル、温室効果ガス排出シナリオ、アンサンブル実験、陸面過程モデル、バイアス補正手法の各要素の選択によって生じる予測の幅を定量的に示すことに取り組んだ。この結果として、補正手法による予測の幅が他の要素により生じる幅よりも明らかに大きな地点を明らかにすることができた。気候変動の影響を評価する研究においては予測の不確実性を定量的に示すことが求められるが、多くの研究では上述の要素から限られた組み合わせのみを選択し、それらの組み合わせのみ考慮した評価が行われている。本研究では、影響評価を行う際に必要となるバイアス補正についても予測の幅を明らかとした。この点について考慮した研究は従来存在していないことから、本研究で得られた成果の新規性は高いと言える。また、補正手法の選択の重要性を他の要素により生じる幅と比較し、定量的に示すことで、通常、単一の補正手法のみが使われることが殆どであるという、既往の影響評価研究が持つ課題を明らかにすることができた。これらの予測の幅は全球一様ではなく、地域により各要素が持つ幅の特徴が異なった。この点を考慮するために、20世紀再現実験の結果と観測値を比較し両者の一致度を求め、各要素の予測の幅を考慮し、全球を16の区分に分けた。この地域区分に基づき、各地域における現在と将来の予測の幅を考慮した将来シナリオの設定を行った。

以上の結果を踏まえ、類型化によって得られた将来シグナルの各グループから、極端な場合や代表的な場合を選択し、それらの場合の将来気候シナリオを作成し、水循環シミュレーションを行い、将来の水災害、水資源量に関する代表的な予測結果、極端な予測結果を明らかにすることに取り組んだ。これらの過程において、気候モデルが予測した流出量を降水量の代わりに扱う研究(例えば将来の洪水被害に関する推定など、全球規模での水関連災害に関する影響評価において、降水量ではなく、流出量を基にした解析)が行われるようになっていたことから、流出量を解析の対象とする意義は大きいと認識したことから、当初の予定では主に気候モデルから得られる気象変数(例えば、気温や降水量など)に着目しそれらの傾向から各将来シナリオの特徴を把握する予定であったが、本研究でも上記の気象変数に加えて、流出量も対象としてデータ取得ならびに同様の解析を行うこととした。

流出量を対象とした理由としては、以上の理由に加えて、研究開始当初は想定していなかった事態として、大規模アンサンブル実験の世界各国における急速な進展も挙げられる。我が国においても、本研究2年次から3年次にかけて、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（d4PDF）の開発・公開が進み、利用可能な気候シナリオが急激に増加しつつあることから、気象変数ではなく気候モデルにより求められた流出量を直接利用する方法の検討を進めた。

気象変数を利用する場合は、河川流量を求めるために陸面過程の計算が必要となるが、流出量を直接利用する場合はそれが不要であり、計算コストの削減、ひいては多くのシナリオを考慮に入れることが可能となる。このことを踏まえて、当初の予定には含まれていない流出量の直接利用に関する手法の検討を行った。

このためにまず、従来は気象変数に対して適用していたバイアス補正手法を流出量に拡張することに取り組んだ。図1は開発した流出量補正による誤差の減少を示したものである。補正前（図1上）にあった誤差の大部分が補正後（図1下）で小さくなっていることがわかる。

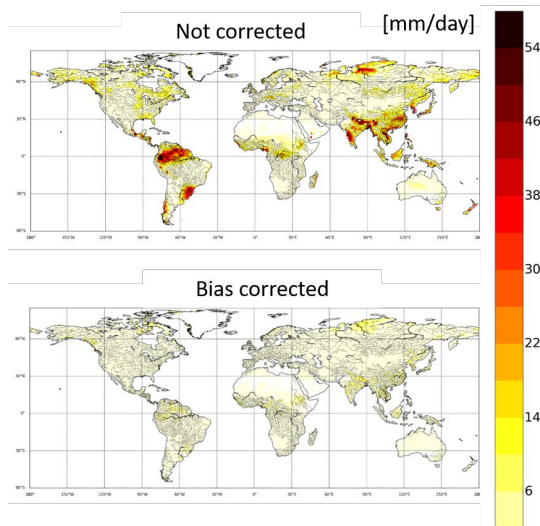


図1：補正前後の誤差の比較

さらに、従来の気象変数を用いて陸面過程の計算を行う方法との比較を行ったところ、流域により傾向は異なるものの、流出量を直接利用する方法でもおよそ従来の方と同様の結果が得られることが確認できた。

従来の気候変動研究では RCP8.5 など気温上昇の大きなシナリオが主に解析の対象となっていた。実際に上述の d4PDF も 4 度上昇時を考慮している。しかしながら、本研究実施期間内で締結されたパリ協定の影響から、2 度上昇など、従来よりも気温上昇が低いシナリオに対する注目が高まった。

この点を踏まえ d4PDF に加えて 1.5 度上昇および 2.0 度上昇のシナリオを考慮している Half a degree Additional warming,

Prognosis and Projected Impacts(HAPPI)による将来気候予測データセットを対象とした解析も行った。具体的には、全球スケールでは、気候モデルから得られた流出量を直接補正し利用する手法を基に、全球平均気温が 1.5 度ならびに 2.0 度上昇した際の全球規模での河川流量の変化を推定した。図2は 1.5 度および 2.0 度上昇時の年最大日流量に関する現在気候からの変化率を表している。結果から、2 度上昇時でも現状よりも 5 割以上変化する地域があることなどが明らかになった。

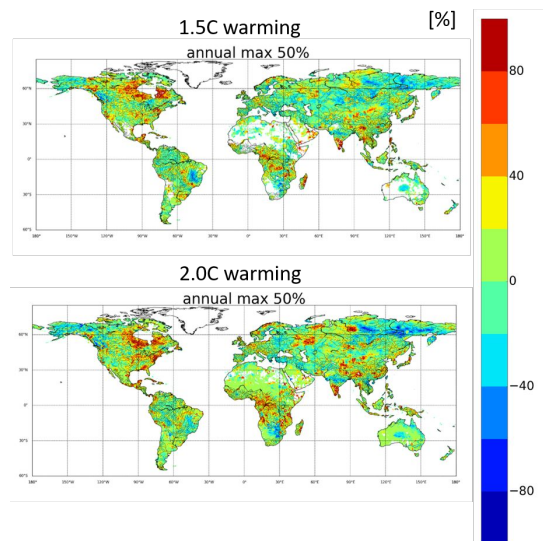


図2：1.5度・2.0度上昇時の年最大日流量に関する現在気候下からの変化率

全球での解析に加えて、日本域における大規模アンサンブルデータを用いた解析も実施した。日本域の場合は空間解像度が高いことなどから、補正の参照とすべき詳細な流出量データの取得が困難であったため、まず、降水量に着目した解析を進めた。具体的には、アメダス観測点を対象に、全球平均気温が 4.0 度上昇した際の降水量データセットを作成した。作成したデータの検証として、雄物川ならびに肱川を対象として、河川計画の立案のために、過去の観測値から極値統計により計算された流域平均の2日雨量に関する値（雄物川では 1/100、肱川では 1/150）を求め、両者を比較した。以下の表はその比較結果である。

表：現在期間降水量の再現性比較

	雄物川	肱川
規模	1/150年	1/100年
単位	mm/2day	mm/2day
計画降雨	258.7	340.0
補正結果	250.4	349.7

流域平均の方法など詳細な点では両者に違いがあるため厳密な比較とは言えない点には注意が必要ではあるが、それぞれの流域において約5%の誤差で極値統計により求めた値を再現できることが明らかとなった。適切な補正手法を用いることにより、大規模アンサンブル実験結果による結果から、過去の低頻度の事象を再現することが可能であることが示された。最も興味深い成果としては、アンサンブル実験における気候予測データから適切なシナリオ選択ならびにバイアス補正を行うことにより、現在気候下での再現実験において、従来極値統計の手法により求められていた計画降雨量が数%の誤差で再現できることが明らかになったことが挙げられる。

さらに両流域における現在の降水量と将来変化についても調べた。今回用いた d4PDF では6つの海面水温パターンにより将来予測が行われている。著者らの既往の研究から、将来予測結果においてはこの海面水温パターンによる差が顕著であることが明らかとなっているため、本研究では、将来予測を6つの海面水温パターンに分け、60年×15アンサンブル実験を基に各低頻度事象の値を6パターン作成した。結果からは、両方の流域において雄物川における300年に1回の場合を除いて、6つのパターンにかかわらず、将来予測値が現在再現値よりも大きくなることが示された。特に確率年が小さいものほど変化は明確であり、現在100年に1度の規模の降水量が、将来は50年に一度程度発生する結果となった。逆に確率年の大きい、雄物川における300年に1回の規模では、現在再現の値と将来予測の値の差が明確ではなかった。この点に関しては、極端に低頻度の事象の場合には実際に過去と将来で変化がない可能性と、今回のアンサンブル実験数ではサンプル数が十分ではない可能性の2つが考えられる。

以上のように、本研究は研究期間の前半において降水量に注目して将来気候シナリオを類型化することにより、多数の将来気候シナリオの中から傾向を明らかにすることに取り組んだ。研究期間の後半では、それらが大規模アンサンブルデータ実験結果に適用し、全球および日本域の2つの空間領域において、気候変化の不確実性を踏まえた上で、水分野で重要な極端な現象（洪水や渇水）の適切な予測を行うための技術開発ならびに、それらを用いた将来評価を行った。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文 すべて査読有](計 7 件)

渡部哲史, 内海信幸, 大規模気候予測情報類型化に向けた d4PDF 日本域降水量の特徴の把握, 土木学会論文集 B1(水

工学) Vol.74, No.4, 1\_169-1\_174. 2018.

渡辺恵, 柳川亜季, 平林由希子, 渡部哲史, 坂井亜規子, 鼎信次郎, アジア高山域における気象外力に起因する氷河融解量予測の不確実性, 土木学会論文集 B1(水工学) Vol.74, No.4, 1\_211-1\_216. 2018.

Kinoshita Y., M. Tanoue, S. Watanabe, and Y. Hirabayashi, Quantifying the effect of autonomous adaptation to global river flood projections: application to future flood risk assessments, Environmental Research Letters, 14006. 2017.

渡部哲史, 鼎信次郎, 平林由希子, クオンタイムマッピング型補正を用いた気候変化影響評価に関する考察, 土木学会論文集 B1(水工学), Vol.73, No.4, pp.1\_115-1\_120, 2017.

丸谷靖幸, 渡部哲史, 田中智大, 立川康人, 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.1\_121-1\_126, 2017.

Hirabayashi, Y., K. Nakano, Y. Zhang, S. Watanabe, M. Tanoue, Contributions of natural and anthropogenic radiative forcing to mass, Scientific report. 2016

丸谷靖幸, Matthew R. Hipsey, 渡部哲史, Sri Adiyanti, 立川康人, 水文気象データが乏しい流域を対象とした気候変動影響評価手法の検討, 土木学会論文集 B1(水工学), Vol.72, No.4, pp.37-42, 2016.

[学会発表(国際学会・口頭発表のみ)]

(計 4 件)

Watanabe S., The Importance of Bias Correction for Impact Assessments of Water-related Disasters, The International Conference on CCAW. Korea. 2017 (招待講演)

Watanabe S., H. Kim, N. Utsumi, The impact of climate change on hydrology under 1.5/2.0C degrees global warming, 4th HESSS, Tokyo, May 2017.

Watanabe, S., H. Kim, Y. Hirabayashi, S. Kanae and, T. Oki, The importance of bias correction for impact assessments of water-related disasters on a regional scale, IPCC Workshop on Regional Climate Projections and their Use in Impacts and Risk Analysis Studies, Brazil, Sep. 2015. (招待講演)

Watanabe, S., H. Kim, Y. Hirabayashi, and S. Kanae, Development of

bias-corrected large-scale runoff dataset obtained from multiple GCMs, International Symposium on Environmental Flow and Water Resources Management, Thailand, Oct. 2014.

〔図書〕(計 1 件)

Dai Y., S. Watanabe, and Y. Hirabayashi, Chp11. Global Flood Risk Modeling and Projections of Climate Change Impacts, Global Flood Hazard Applications in Modeling, Mapping, and Forecasting, Wiley Global Headquarters, in press

〔産業財産権〕

なし

〔その他〕

なし

6. 研究組織

(1)研究代表者

渡部 哲史 (WATANABE, Satoshi)  
東京大学大学院工学系研究科・助教  
研究者番号：20633845

(2)研究分担者

なし

(3)連携研究者

なし

(4)研究協力者

なし