

①-1 不確実性を考慮した地球温暖化が洪水・渇水特性に与える影響に関する研究

研究予算：運営費交付金（一般勘定）

研究期間：平 23～平 27

担当チーム：水災害研究グループ

研究担当者：岩見洋一、千田容嗣、牛山朋來、
長谷川聡、山崎祐介

【要旨】

地球温暖化が洪水および渇水に与える影響については、河川計画・洪水管理に直接影響を与えるため国内外で高い注目を集めており、降水量の変化および河川流況の変化に与える影響を評価することは大変重要な意義を持っている。温暖化による気候変化は不確実性を伴うが、現在まで不確実性を含めて影響評価を行っている事例は数少なく、国内だけにとどまらず外国の河川流域についても不確実性を含めて河川流況の変化を評価することは非常に重要である。そこで、国内外の河川流域を対象として、地球温暖化が洪水・渇水などの流況特性に与える影響について不確実性を含めて評価する手法を開発することを目的として研究を実施している。本研究では、利根川流域等における温暖化実験結果の力学的ダウンスケーリングの検討、チャオプラヤ川流域で不確実性を含めて温暖化が洪水流出特性に与える影響（外力）のとりまとめ、現在気候と将来気候の気候状態の比較が容易となる”比較 SPI (Comparative Standardized Precipitation Index (以下「cSPI」と呼ぶ))”の提案を行った。

キーワード：気候変動、降雨量、ダウンスケーリング、チャオプラヤ川流域、SPI

1. はじめに

気候変動に伴う降水特性の変化により、洪水災害リスクが増加することが指摘されており、このようなリスク変化に関する研究への社会的重要性は非常に高い。そこで、全球気候モデルによる各種の気候実験をもとに、気候変動に伴う洪水リスク変動について、不確実性を考慮した手法の検討を行っている。

本研究では、東アジア域の河川における洪水リスクの温暖化影響の調査、チャオプラヤ川流域について不確実性を含めて温暖化が洪水流出特性に与える影響（外力）モデルのとりまとめ、SPI を元に改良した”cSPI”の開発を行った。

2. 利根川流域における温暖化実験結果の力学的ダウンスケーリング

東アジア域の河川における洪水リスクの温暖化影響を調査しているが、本報告では、日本最大の流域面積 16,840km² を有し首都圏の水源として社会的影響が大きい利根川流域の評価と温暖化影響の検討結果を紹介する。利根川は流域内の洪水を表現するためには、GCM の解像度では難しいため、力学的ダウンスケーリングを用いて詳細な降水分布を求めた。

2.1 検討内容

実験領域は図-1 のとおりである。モデルは WRF v.3.4.1 を用い、15 km→5 km の 2 重ネスティングによるダ

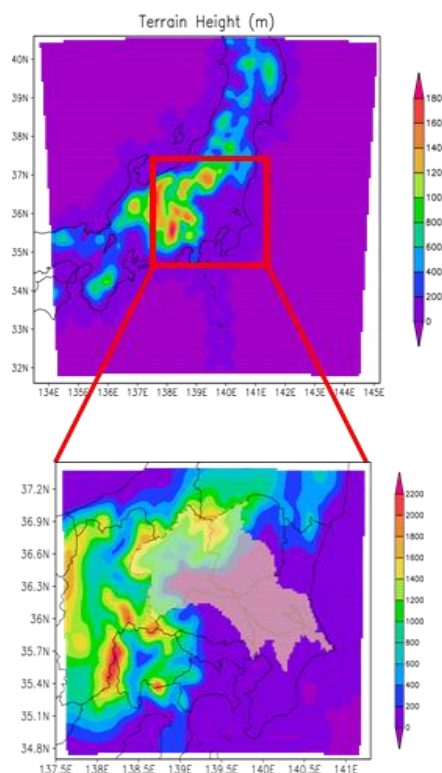


図-1. 実験領域。上が外側フレーム(15 kmメッシュ)、下図が内側フレーム(5 kmメッシュ)、下図の白い影の領域が利根川流域を示す。カラーは標高を表す。

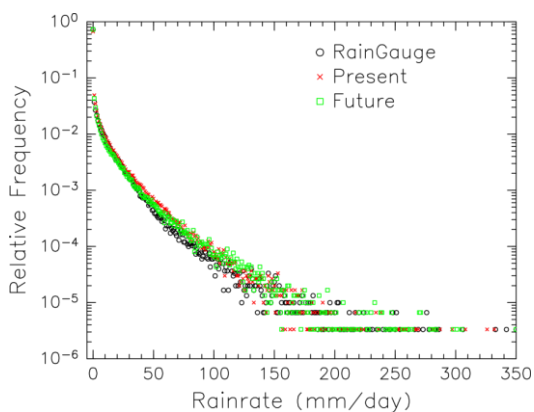
ウンスケールリングを行った。両フレームともに、成田(2008)によるチューニングを施した Kain & Fritsch 対流パラメタリゼーションを用いた。

1998 年～2007 年に起きた 3 回の洪水を対象に、ERA-interim 再解析データをダウンスケールリングし、モデルの再現状況を調べた。なお、計算された降水量はアメダス雨量の変動を良く再現した(図省略)。次に、MRI-AGCM3.2S と 3.2H の現在気候 1979 年～2003 年と RCP8.5 の将来気候 2075 年～2099 年の 25 年間についてダウンスケールリングを行った。RCP8.5 はそれぞれ平均海面温度をもとにした 1 種類である。

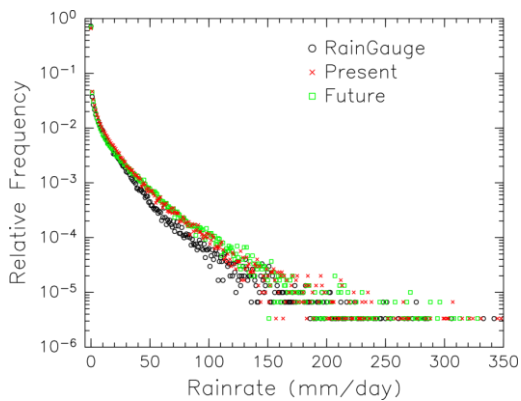
2.2 検討結果

日雨量別出現頻度をみると(図-2)、3.2S のダウンスケールリング雨量は、現在・将来気候ともに雨量計による観測雨量(以下「観測雨量」と呼ぶ)に対して 40～100mm/d の範囲でやや過大な値となったものの、概ね観測雨量と一致した。一方、3.2H のダウンスケールリング雨量は両気候とも観測雨量に対して過大になる傾向がみられた。

現在気候の流域平均雨量の月平均値をみると(図-



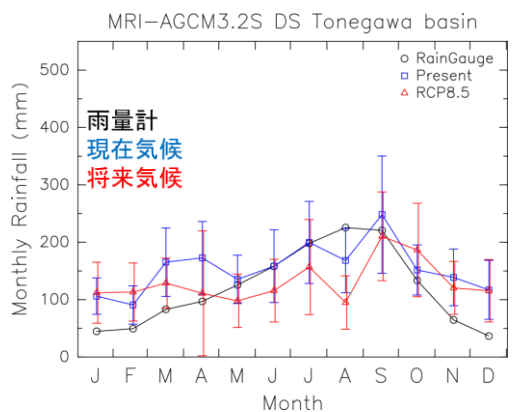
(a)3.2S



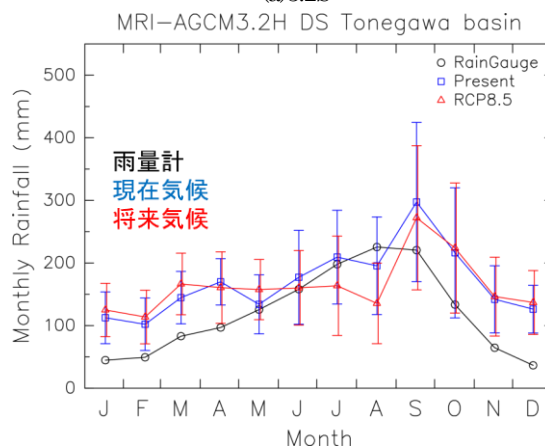
(b)3.2H

図-2.日雨量別出現頻度

3)、3.2S ダウンスケールリング雨量は、観測雨量とほぼ同等であるが、3.2H のダウンスケールリング雨量は過大評価がみられた。さらに、両気候を比較すると、3.2S・3.2H いずれも将来気候は減少した。図-4に、利根川流域平均の年最大 72 時間雨量の頻度解析を示す。3.2S 現在気候は雨量計に比べて若干過小であったが、3.2H 現在気候は雨量計とよく一致した。また、将来気候では 3.2S はほとんど変わらないものの、3.2H では増加した。20 年確率雨量の増加幅は 3.2H で 50mm 程度であった。



(a)3.2S



(b)3.2H

図-3 流域平均雨量の月平均値

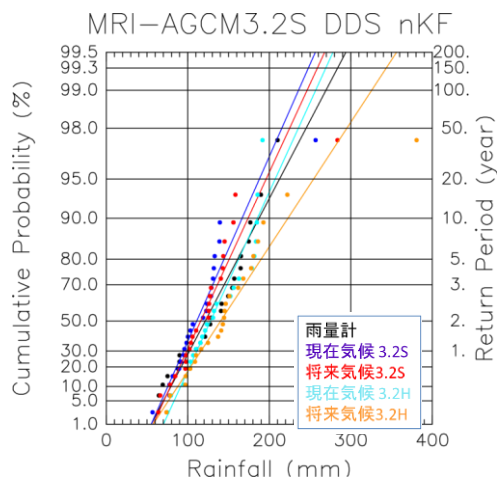


図-4 年最大 72 時間雨量の頻度解析

3. チャオプラヤ川流域における水災害リスク評価

3.1 検討内容

チャオプラヤ川流域において、SPA-m01、SFA-rcp85、SFA-rcp85-c1~c3 を用いて、それぞれ 25 年間の連続した期間の降雨流出氾濫過程を、RRI モデルにより解析を行っている。RRI による解析から得られた年最大氾濫量は、年最大値を記録した日から 6 ヶ月間さかのぼった期間の累積雨量(6 ヶ月雨量)ともっとも相関が高いので、6 ヶ月雨量と年最大氾濫量の関係や、2011 年規模の降雨及び氾濫の再現期間とその将来変化を、年最大値資料(AMS)及び閾値超過資料(POT)を用いて、検討した。

3.2 検討結果

2011 年規模の 6 ヶ月雨量は、1400mm である。この規模の降雨の再現期間は、Gumbel 分布に当てはめれば、現在気候で 25 年であるが、将来気候では 7~10 年程度になった。これは、分布関数の勾配減少によるものと、領域の x 軸方向へのシフトによるものである。一方 2011 年の洪水氾濫量は、流域面積で除して水高換算すると、150mm 程度である。これに、指数分布を用いると、再現期間は、現在気候では 31 年であるが、将来には 10~11 年になる。これは、勾配が小さくなることによるものである。

図-5 に 6 ヶ月雨量と年最大氾濫量の関係を示す。これによれば、現在気候でも将来気候でもほぼ 0.3 程度の勾配を持つ線形関係にある。ここで、1400mm を越えるような幾つかの降雨イベント発生している。さらに 0.3 の傾きから大きく上に外れている、SPA-m01(A) と SFA-rcp85-c3(B)がある。また、同じく SFA-rcp85-c3(C)は、B と雨量ではほとんど差が無いにもかかわらず、氾濫量は B の半分の 150mm 程度しかない。ここで、A および B については、年最大氾濫量の 1 ヶ月程度前に 200mm 以上の降雨がある。C は 5 月ごろから一定量の降雨があるが、

その時間当たりの増加割合は A および B ほど大きく急にはならない。このことから、雨季の終わりに 200mm 以上の降雨があると、従来の雨量の増加に対する氾濫量の増加の関係を大きく越えた氾濫量になる可能性が高くなることがわかった。図-6 は、図-5 における A、B および C の 6 ヶ月雨量の空間分布である。これをみると、A、B および C のいずれも流域中央に降水が生じている。6 ヶ月の積算雨量では、明らかに A よりも C の方が多いが、降雨の特性の違いにより、A の方が大きな氾濫量を生じていた。

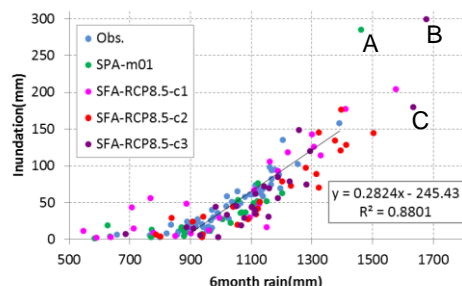


図-5 6 ヶ月雨量と年最大氾濫量の関係

図の直線は、水色で示す。観測雨量データとそれを RRI に与えて得られた氾濫量の相関関係は高い。

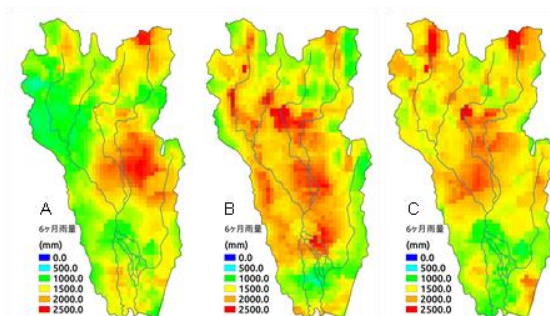


図-6 図-5 の A,B および C における 6 ヶ月雨量の空間分布

4. 気候変動評価のための SPI の改良

気象学的な乾湿の指標として世界で広く利用されている指標の 1 つとして SPI (Standardized Precipitation Index)^{*}がある。しかし、GCM や RCM を用いた疑似温暖化実験など、同一地点の異なる気候状態(例: 現在と将来気候)を比較する場合、両者の気候条件で大きく降水量が変化しても、それぞれの気候データの SPI を計算し比較しても両者の差は非常にわかりにくい。そこで、両者の気候状態の比較が容易となる新しい SPI “comparative SPI (cSPI)” を開発した。

※SPI (Standardized Precipitation Index) とは、水文条件や農業活動や社会経済活動を考慮しない気象条件のみによる渇水(気象学的渇水)や洪水の指標の一つである。気象変数として降雨データを用いて簡単に計算ができる。1 ヶ月から数年単位の様々な時間スケールの気象学的渇水の特徴付ける指標の一つであり、世界中の異なる地点や気候帯で比較可能と考えられている (WMO,2012)。対象とするある時間スケール n ヶ月の降水量が各月でガンマ分布関数に乗ると仮定して分布関数のパラメータを求め、このガンマ分布関数の累積分

布関数(CDF)を標準化したものがSPIである。SPIは、通常、連続する20-30年以上の長期間の観測データを使って計算し、計算結果は、標準偏差 $\pm 1.0\sigma$ 以内であれば通常、 $+1\sigma$ 以上で湿潤、 -1σ 以下で乾燥状態と判断されている。

4. 1 検討内容

(1) 方法

SPIとcSPIとの計算結果の比較検討を行う。cSPIの計算方法は次のとおりである。現在気候実験の降水量データからガンマ分布関数を求め、標準正規分布に変換し、従来のSPIを求める。次に、上記関数に将来気候実験の降水量データを入力して、現在気候実験を基準としたcSPIを求める。

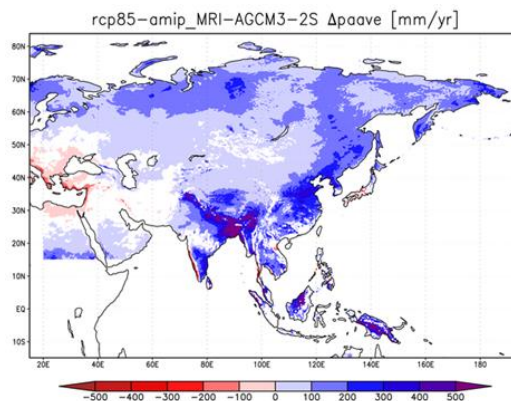
(2) 対象流域及び使用データ

対象流域は、イラン国カルン川流域とし、MRI-AGCM3.2Sを用いた創生プログラムの実験出力から、1979-2003年の現在気候実験および2075-2099年の四種のSSTを用いたRCP8.5実験の日降水量データをバイアス補正して用いた。バイアス補正時に観測値として扱う日降水量データとして、水平解像度が約 0.1875° となるTL959格子のAPHRO PR V1101を用いた。CMIP5等の粗い解像度のモデルのデータは観測データの格子に線形内挿後にバイアス補正を行った。なお、カルン川流域は、MRI-AGCM3.2S、CMIP5を、アンサンブルを使って検定すると、年降雨の変化が有意でない領域(図の白色の領域)にほぼ含まれた(図-7)。

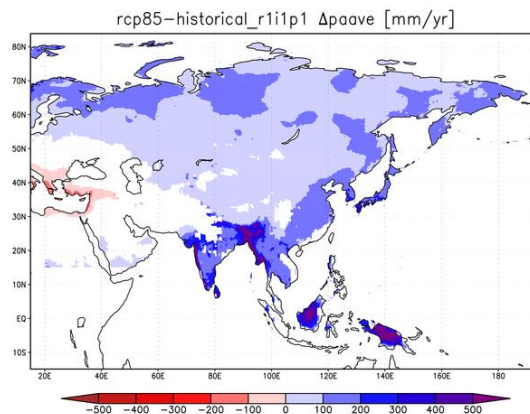
4. 2 結果

MRI-AGCM3.2S創生実験の将来気候の平均雨量を用いてイラン国カルン川流域を対象に12ヶ月規模でSPIの計算結果を図-8に、cSPIの計算結果を図-9に示す。各図の上段は時系列変化、下段はSPIあるいはcSPIによる計算値を表す図であり、上段の図は、プラスであればあるほど気象学的に洪水を示し、マイナスであればあるほど気象学的渇水を示す。下段の箱ひげ図の×は平均値、横線は下から6.68, 15, 50, 84.13, 93.32パーセントイル値で、中央値から -1.5σ 、 -1σ 、 0 、 1σ 、 1.5σ に相当する。また、左図は海面温度、右図はモデルの種類の不確実性を示す。狭い箱の上下の長さの違いは、降雨強度別の頻度の違いを反映している。

SPIの将来気候の上段の図は現在気候に比べて雨量の減少傾向がみられるが、下段の図は、中央値が0付近に、 $\pm 1\sigma$ が ± 1 SPIに収まり、気候変動の影響が明確に表現されていない。



(a)MRI-AGCM3.2Sの四種の海面水温アンサンブル



(b)CMIP5の複数気候モデルアンサンブル

図-7 アンサンブル検定結果

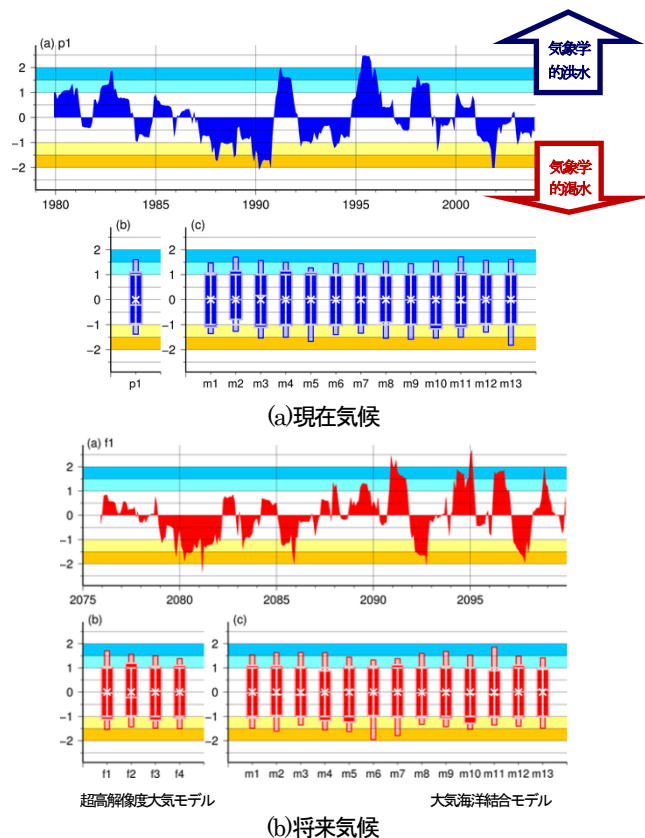


図-8 12ヶ月規模のSPI(従来指標)

一方、cSPIの上段の図をみると、SPIの将来気候と同様、渇水傾向がみられ、さらに下段の図をみると、いくつかのモデルで渇水側に平均値及び各パーセンタイル値が移動している傾向がみられる。

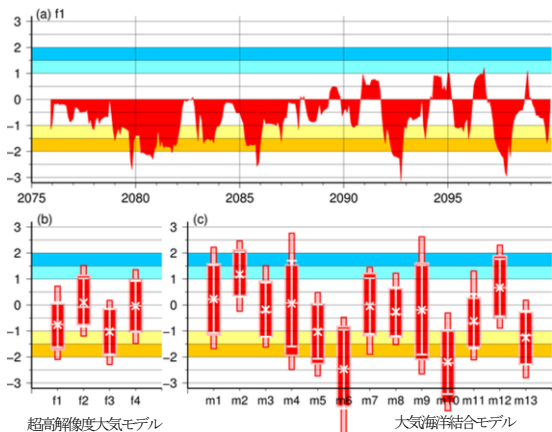


図-9 12ヶ月規模のcSPI (新たな指標)

5. まとめ

本研究では、最新の複数の全球気候モデル (GCM) の出力結果から現在気候と将来気候におけるアジア等の洪水や渇水などの流況特性の分析手法について検討してきた。今後の課題として、洪水氾濫域が土地利用の要素を含めどのように変化するのか、その対応としての洪水調節施設の運用や流域対策をどのように立案していくべきかについて検討していないことが挙げられる。

参考文献

- 1) 牛山朋来、長谷川聡、岩見洋一、2015 : 利根川流域における温暖化実験結果の力学的ダウンスケーリング、2015年度秋季大会講演予稿集、2015.10
- 2) 文部科学省研究開発局 : 気候変動リスク情報プログラム 平成27年度研究成果報告書、p108-125、2016.3
- 3) 長谷川聡、Maksym Gusyev、岩見洋一 : 気候変動評価のためのSPI、日本気象学会2015年秋季大会、2015.10
- 4) A. Hasegawa, M. Gusyev, T. Ushiyama, J. Magome, and Y. Iwami, : "Drought hazard assessment in the Pampanga River basin — Part 2: A comparative SPI approach for quantifying climate change hazards", In T. Weber, M. J. McPhee, and R. S. Anderssen, editors, MODSIM2015, 21st International Congress on Modeling and Simulation, pp. 2388-2394, Gold Coast, Australia, 12 2015, Modelling and Simulation Society of Australia and New Zealand. ISBN: 978-0-9872143-5-5, <http://www.mssanz.org.au/modsim2015/L13/hasegawa.pdf>.

CLIMATE CHANGE IMPACT ASSESSMENT ON RIVER FLOW FROM FLOOD TO DROUGHT UNDER UNCERTAINTY OF PROJECTION

Budgeted : Grants for operating expenses

General account

Research Period : FY 2011-2016

Research Team : Water related disaster research group

Author : IWAMI Yoichi

CHIDA Yoji

USHIYAMA Tomoki

HASEGAWA Akira

YAMAZAKI Yusuke

Abstract : We compared decadal-scale trend of annual precipitation in present climate condition between an observational data and global climate models (GCMs) in order to exclude inadequate GCM with very low reproducibility for each region. A statistical downscaling method based on the bias correction was improved using the bilinear interpolation instead of the nearest-neighbor method.

In this fiscal year, in order to grasp climate change impacts on flood and drought in the future in Asia, annual rainfall and monthly rainfall were compared between the present climate and the future climate in Tone river basin. Consideration was advanced in detail about the Chao Phraya basin.

SPI (Standardized Precipitation Index) is one of the flood and the drought indexes, and is considered to be useful to compare with the different climates or the different places. However it seems that the index shows the differences not to be clear for us, even if rainfall conditions are changed between the climates at the same region. So SPI (Comparative Standardized Precipitation Index) was improved and proposed as a new index “cSPI (Comparative Standardized Precipitation Index) ”.

Key words : Climate change, Precipitation, Dynamic downscaling ,Chao Phraya basin , SPI