

北海道における気候変動による洪水リスク変化の評価

課題責任者

山田 朋人 北海道大学 大学院工学研究院

著者

山田 朋人^{*1}, 稲津 将^{*2}, 佐藤 友徳^{*3}, 星野 剛^{*1}, Dzung Nguyen-Le^{*1},
初塚 大輔^{*3}, 杉本 志織^{*4}, 川瀬 宏明^{*5}

*1 北海道大学 大学院工学研究院, *2 北海道大学 大学院理学研究院, *3 北海道大学 大学院地球環境科学研究院,
*4 海洋研究開発機構 シームレス環境予測研究分野, *5 気象庁 気象研究所

2016年8月、北海道で観測史上初めて1週間に3個の台風が上陸し、その後の台風第10号の接近と合わせて全道各地で記録的な大雨が発生した。これにより、堤防決壊等による浸水被害だけでなく道路や農地など多岐にわたる被害が全道各地にもたらされた。この洪水後に国土交通省北海道開発局および北海道が設置した委員会では「気候変動による将来の影響を科学的に予測し、具体的なリスク評価をもとに治水対策を講じるべき」と提言がなされた。この提言を受け国土交通省北海道開発局および北海道は「北海道地方における気候変動予測（水分野）技術検討委員会」を設置し、将来の洪水リスクを検討した。また、平成30年度からは国土交通省本省において「気候変動を踏まえた治水計画に係る技術検討会」が開かれ、気候変動を踏まえた治水計画に関する検討が開始されている。このように今後の治水対策を考える上で将来の洪水リスクをいかに評価するかが重要かつ喫緊の課題となっている。本研究は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）の力学的ダウンスケーリングを実施し、北海道内の流域を対象に過去と温暖化進行後の気候条件下での洪水外力の変化およびそれに伴う洪水リスクの変化を定量的に評価した。地球シミュレータの利用により前述の委員会での議論の核となる結果を短期間で得ることが可能となり、本成果に基づいて今後の治水対策が議論されることとなった。

キーワード：気候変動, 適応策, 洪水リスク, 力学的ダウンスケール, アンサンブル実験, d4PDF, 気象研究所地域気候モデルNHRCM

研究背景

北海道では近年、線状降水帯や台風による豪雨が頻発しており、その傾向の変化も指摘されている [1][2]。この一方で、温暖化が進行した際には年最大クラスの降雨量は全国的に増加し、その増加率は北日本においてより大きいことが複数の予測結果より示されている (例えば [3][4])。

2016年8月、北海道で観測史上初めて1週間に3個の台風が上陸し、その後の台風第10号の接近と合わせて全道各地で記録的な大雨が発生した。これにより、堤防決壊等による浸水被害だけでなく道路や農地など多岐にわたる被害が全道各地にもたらされた。この洪水後に国土交通省北海道開発局および北海道が設置した委員会 [5] では「気候変動による将来の影響を科学的に予測し、具体的なリスク評価をもとに治水対策を講じるべき」と提言がなされた。この提言を受け国土交通省北海道開発局および北海道は「北海道地方における気候変動予測（水分野）技術検討委員会」[6] を設置し、将来の洪水リスクを検討した。また、平成30年度からは国土交通省本省において「気候変動を踏まえた治水計画に係る技術検討会」が開かれ、気候変動を踏まえた治水計画に関する検討が開始されている。このように今後の治水対策を考える上で、将来の洪水リスクをいかに評価するかが重要かつ喫緊の課題となっている。

近年、膨大な気候シミュレーションによる大量アンサンブル気候予測データベース（d4PDF） [7] が作成され、

過去の気候や温暖化進行後の気候における数千年分の気候データが利用可能となった。洪水リスクの評価にこのデータを用いる最大の利点は気候システムの自由度がもたらす極端現象の生起確率を物理モデルを用いたモンテカルロ手法として推定可能とする点にある。我が国をはじめとする先進国ではこれまで数十年間に渡る降雨観測を継続しており、それにより自然現象の理解の進展ならびに確率降雨等を基軸とした治水計画が作られてきた。一方、降雨をもたらす気候システムの自由度は膨大な大きさを有しており、数十年間で各地域が経験しうる降雨イベントが発生したとは言い難い。大量アンサンブルデータの使用は計画規模に相当する大雨の生起確率を物理的モンテカルロ手法によって評価可能とし、数十年間の観測に基づいて設定された確率雨量の振れ幅を推定可能とする。また、洪水被害は降雨の時空間的なパターンにも依存するが、大量アンサンブルデータ内には様々な降雨の時空間分布が含まれることから、流域平均降雨量だけでなく降雨の時空間分布を踏まえた洪水リスクの評価が可能となる。このように大量アンサンブルデータの利用は洪水リスクの評価に新たな視点を加えうるものである。

本研究は大量アンサンブルデータを用いて過去と温暖化進行後の気候条件下での洪水リスクを把握するものであり、北海道内の十勝川帯広基準地点集水域（十勝川流域）および常呂川北見基準地点集水域（常呂川流域）を対象

従来と温暖化進行後の洪水リスクを定量的に評価した。地球シミュレータの利用により前述の委員会での議論の核となる結果の短期間での取得が実現し、本成果に基づいて今後の治水対策が議論されることとなった。

洪水リスクの評価

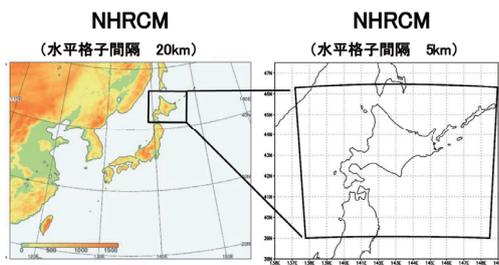
本研究は図1に示すように降雨量の算定から洪水被害の推定までを実施するものであり、これら一連の過程を経ることで洪水リスクの定量化を実現した。本研究では「地球温暖化対策に資するアンサンブル気候予測データベース、database for Policy Decision making for Future climate change (d4PDF)」[7]の領域実験を使用する。d4PDF 領域

実験は領域気候モデルにより作成された水平解像度 20 km の気候予測データである。過去実験は、長期観測データが得られる 1951 年から 2010 年の 60 年を対象に異なる初期値、海水と海面水温に摂動を加えた 50 メンバの数値計算である (60 年 × 50 メンバ = 3000 年)。一方、将来実験 (4℃ 上昇実験) は、産業革命以前に比べて全球平均温度が 4℃ 上昇した世界を想定し、過去 60 年間の海面水温に 6 種類の海面水温パターンとそれに摂動を与えた 15 メンバの数値計算である (60 年 × 海面水温 6 パターン × 15 メンバ = 5400 年)。

本研究では洪水事例に着目することから d4PDF 領域実験の過去実験 (計 3000 年)、4℃ 上昇実験 (計 5400 年)

大量アンサンブル気候データの力学的DS

- 地形形状や流域形状を解像するため力学的ダウンスケーリング (気象モデルによる対象領域の高解像度化) を実施し、20kmから5kmへと変換
- 力学的DSにより、降雨量 (図2) や降雨特性 (1時間降雨強度 (図3)、降雨の時空間分布) が実績値に近づくことを確認



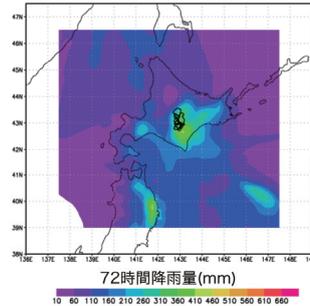
d4PDF領域実験

過去実験(60年x50アンサンブル=3000年)
4℃上昇実験(60年x90アンサンブル=5400年)

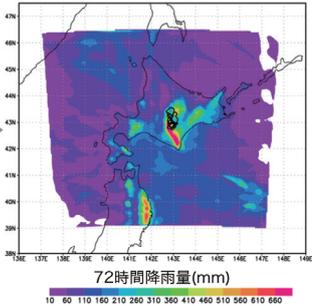
年最大降雨イベントの
力学的DSを実施

DS実施例

d4PDF領域実験(20x20km)



ダウンスケーリング後(5x5km)



標高の高い箇所に降雨が集中

計画規模降雨の確率評価

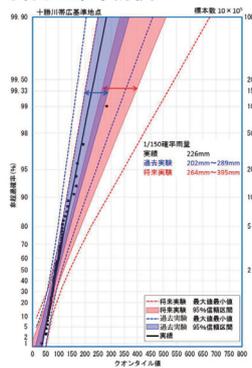
バイアス補正の実施

- 年最大降雨量の頻度分布の実績値との差異は小さい
- ピアニの手法に従い、バイアス補正を実施。(補正係数は十勝川で0.99、常呂川で1.10)

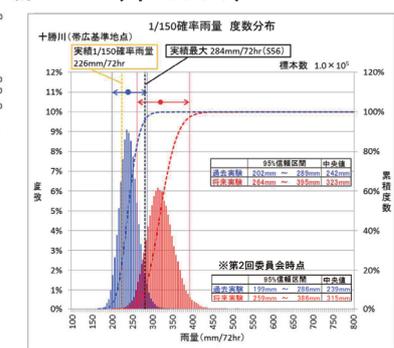
計画規模降雨の確率評価

- DSにより得られた降雨量に対し、確率分布への当てはめを実施
- 確率分布のすそ野部分の評価を行うため、リサンプリングによって標本を大量に作成 (10万標本を作成)
- 過去実験と4℃上昇実験の確率降雨の信頼区間が重複しており、将来の確率雨量は現在気候においても発生する可能性を有す
- 温暖時において計画降雨量は増大(中央値は1.38倍 (十勝川)、1.42倍 (常呂川))

降雨の確率評価



計画降雨量(1/150確率)の取りうる幅



洪水リスクの定量化

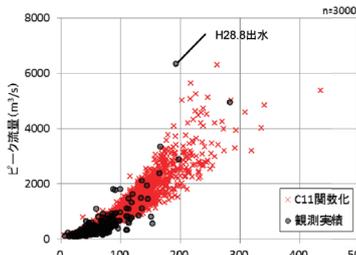
降雨流出モデルを用いた洪水ピーク流量の算出

- 流域平均では同一の洪水量であっても降雨の時空間パターンに応じてピーク流量および氾濫の被害は大きく異なること(大量アンサンブルの必要性)が明らかに

氾濫モデルを用いた氾濫被害の推定

- 同様の確率規模においても氾濫の被害は温暖時において増大(想定死者数2.3倍など)

降雨量とピーク流量の関係



氾濫被害の推定

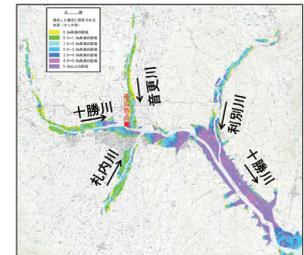


図1 本研究の実施内容 (一部、北海道地方における気候変動予測 (水分野) 技術検討委員会第3回資料より抜粋。)

における各年での6月1日から12月1日までの期間で計画降雨継続時間における流域平均降水量が最大となる降水イベントを選定した。計画降雨継続時間は十勝川流域で72時間、常呂川流域で24時間である。次に、流域形状および地形形状をより忠実に反映した降雨量情報を作成するため、各年での水平解像度20 kmから得られた年最大降雨イベントを力学的ダウンスケーリング (DS) により水平解像度5 kmへと変換した。

DSにはd4PDF領域実験の作成に使用されたモデルである気象研究所非静力学地域気候モデル (NHRCM) [8]を用いた。DSの対象領域は北海道周辺の800x800 kmとした。DSの対象期間は水平解像度20 kmから得られた各年での最大降雨量の発生期間を含む15日間とした。DSにより得られた過去実験の降雨量と実績の降雨量とを比較し、バイアス補正を実施した。DS実施後の降雨量は実績値と概ね良好な対応関係にあり、バイアス補正係数は十勝川流域で0.99、常呂川流域で1.10であった。

次に、バイアス補正後の降雨量を用い、アンサンブルメンバそれぞれに対して確率雨量を算出した。大量のアンサンブルメンバを用いることで複数 (過去実験50メンバ、4℃上昇実験90メンバ) の確率雨量を算出可能となる。確率雨量の度数分布をより鮮明にするために10万通りのリサンプリングを実施し、確率雨量の信頼区間を評価した。バイアス補正およびリサンプリング手法の詳細に関しては別報 [6][9][10]を参照されたい。

最後にDSおよびバイアス補正により得られた降雨の時空間分布を入力情報として、降雨流出モデルを用いることで洪水ピーク流量を算出した。治水計画におけるピーク流量の算定には各流域での代表的な大雨事例に対して降雨量の引き伸ばしが適用されることがあるが、膨大なアンサンブル情報を用いることで降雨の引き伸ばしを用いずとも様々な降雨の時空間分布が反映された確率ピーク流量の算出が可能となる。

結果

d4PDF過去実験 (3000年分) のDS前後と実績の年最大流域平均降雨量を比較し、DSが降雨量に与える影響を評価した [11]。図2に十勝川流域での年最大流域平均72時間降雨量の頻度分布を示す。同図より、既往最大の降雨量以上の大雨も大量アンサンブルデータには複数含まれていることが確認でき、低頻度の大雨の確率的な評価に適した情報であることが確認できる。また、図2より、降雨量の大きい事例の頻度がDS後では多くなり、より実績の頻度に近づいている。DS後に降雨量が増大する箇所は日高山脈周辺であることから、この降雨量の変化はDSによる地形の高解像度化の影響が大きいと考えられる。

図3に十勝川流域での流域平均72時間降雨量が最大となる期間における流域内の各格子点の1時間降雨強度の頻度分布を示す。同図にはDS前後の結果と2006年から2016年までのレーダーアメダス解析雨量から同一の条件で集計した結果を示す。各データは空間解像度が異なるため、緯度経度0.05°間隔の格子情報へと線形補間し、流

域内の格子点情報を集計した。同図より、d4PDF領域実験では1時間強雨の頻度が実績値と比較して少ないのに対し、DS後の結果ではレーダーアメダス解析雨量と同程度の頻度で出現していることがわかり、DSにより実際の年最大降雨イベントに近い降雨の特徴が得られることが確認された。

図4にDS実施後、バイアス補正前の過去実験と4℃上昇実験の年最大降雨量の頻度分布を示す。同図より温暖条件下での年最大降雨量は大きいことがわかる。特に計

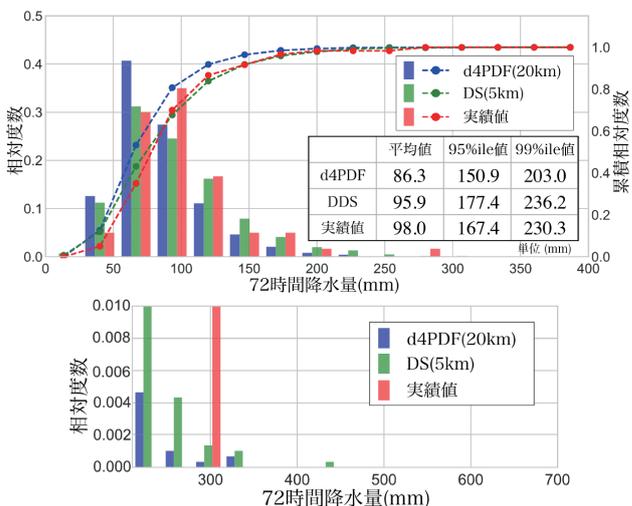


図2 十勝川流域での年最大流域平均72時間降雨量の相対頻度分布 (下は99%ile値以上に着目したもの)

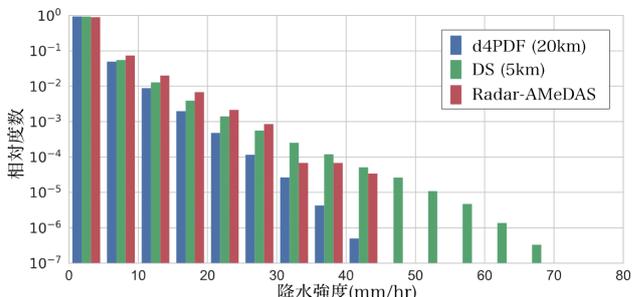


図3 十勝川流域でのDS前後と実績の1時間降水強度の比較

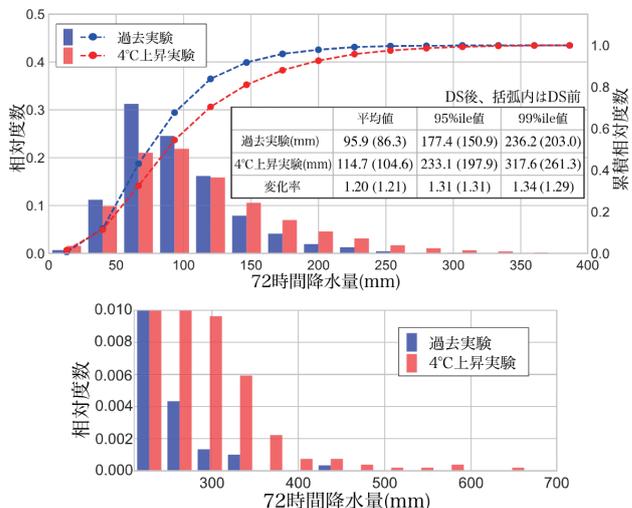


図4 DS後の過去実験と4℃上昇実験の十勝川流域での年最大流域平均72時間降雨量の頻度、下は99%ile値以上の降雨量に着目したもの。

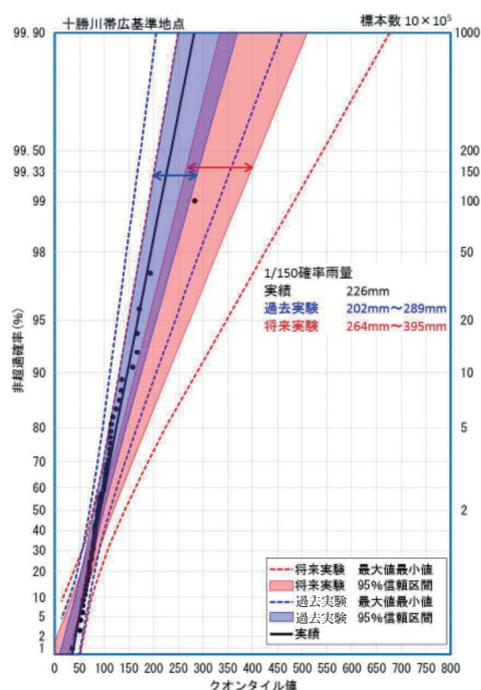


図5 リサンプリング実行後の降雨データを用いた Gumbel 分布を適用した確率雨量（十勝川流域における流域平均 72 時間降雨量 (mm)）。北海道地方における気候変動予測（水分野）技術検討委員会第 3 回資料より抜粋。

画規模に相当する 99%ile 値の降雨量の変化率は大きく、十勝川流域で 1.34 倍、常呂川流域で 1.38 倍となり、温暖時における洪水リスクの上昇が確認できる。

図 5 は十勝川流域における力学的ダウンスケールとバイアス補正後の過去（青色の範囲）および将来気候（赤色の範囲）下の確率雨量を示す。なお、黒点は観測実績を表す。この図から両気候ともに確率雨量は幅を有していることがわかる。これは黒点で示される観測実績は過去 60 年間で生じうる確率雨量の一例であることを意味し、過去 60 年間で 50 回存在していた場合を気候モデルによって検討することで明らかとなった。このような確率雨量の信頼区間は理論的・統計的にも算出できることが示されている [12]。なお、観測実績である黒点の最大値は 283 mm であり、実績値に基づく約 1/1000 確率の雨量に相当する。これに対し、本検討は気候場の自由度を考慮したことにより、降雨が最大となる観測実績は 1/100 確率の雨量に対するある信頼区間で発生するものと確率統計的に表される。さらには、過去実験と 4℃ 上昇実験の信頼区間が重複していることから、4℃ 上昇時の気候における大雨は現在の気候においても同一の生起確率で生じる可能性があることを意味しており、将来想定される豪雨への対策は、現在想定される豪雨への対策ともなるということが本検討において示された。

降雨流出解析の結果、同程度の流域平均雨量であっても洪水ピーク流量は振れ幅を有しており、流域平均雨量が大きいほどその幅は大きくなることがわかった。これは、強度の大きい雨における洪水被害の算定においては降雨の時空間分布の考慮がより重要となることを意味し、洪水リスクの推定に大量アンサンブルデータを用いるこ

との重要性が明らかとなった。また、同程度の確率規模の降雨を対象とした氾濫解析による被害想定の結果、温暖時における被害は十勝川、常呂川流域において増大し、その被害規模は数倍程度となる。これは温暖時における洪水リスクの増大を示す結果であり、アンサンブルメンバー全てに対して氾濫解析を実施することで洪水リスクの定量的な評価が可能となる。降雨流出解析、氾濫解析結果の詳細は別報を参照されたい [6]。

まとめ

大量アンサンブル気候データを用いた洪水外力の評価手法を示した。同手法は物理的モンテカルロ手法により、過去数十年の観測値に基づく確率雨量の信頼性を評価できる。また、流域平均雨量だけでなく降雨の時空間分布をも考慮できることから、降雨の時空間分布の違いを踏まえた洪水リスクの評価を可能とする。

十勝川流域、常呂川流域を対象に大量アンサンブルデータに基づいた洪水リスク評価を実施し、以下の結論を得た。

- ・ DS の実施により、年最大降雨量および 1 時間強雨の頻度が実績値に近づく。
- ・ 温暖化進行後の気候において年最大降雨量は増大、降雨の時空間分布は集中化する傾向にある。
- ・ 確率雨量の信頼区間を算出したことで、将来の大雨への備えはこれまでの気候条件下で想定する大雨に対しても有効となりうることを確認した。
- ・ 流域平均降雨量が大きい程、降雨の時空間分布が洪水ピーク流量に与える影響は大きく、洪水リスクの算定には大量アンサンブルデータが重要となる。
- ・ 洪水リスク（降雨の生起確率と洪水被害の積）は温暖化進行後の気候条件下において増大する。

これらの成果は「北海道地方における気候変動予測（水分野）技術検討委員会」[6]での議論の中核をなし、本成果に基づいて今後の治水対策が議論されることとなった。これは従来の観測に基づく洪水外力の設定から観測とシミュレーションにより予測される将来の大雨に備える治水対策のパラダイムシフトとなるものである。これらの成果は地球シミュレータの利用により前述の委員会 [6]の期間内に得ることが可能となり、政策の検討のスピードを踏まえると今後より一層、水防災分野における High performance computing の重要性は高まるものと思われる。

謝辞

本研究は中津川誠 教授（室蘭工業大学）、時岡真司氏、佐々木博文氏、濱田悠貴氏（国土交通省北海道開発局）、山本太郎氏、千葉学氏、戸村翔氏（北海道河川財団）、吉田隆年氏、大村宜明氏、舛屋繁和氏、植村郁彦氏（株式会社ドーコン）とともに実施し、短期間で成果を上げることができた。また、本研究の遂行にあたっては MEXT/SICAT にご支援をいただいた。本研究では、創生プログラムのもとで作成された、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を使用した。ここに記して謝意を表します。

文献

- [1] T. J. Yamada, J. Sasaki, N. Matsuoka: Climatology of line-shaped rainbands over northern Japan in boreal summer between 1990 and 2010, *Atmos. Sci. Let.*, 13, 133-138, 2012.
- [2] 北野慈和, 山本太郎, 小林彩佳, 山田朋人: 2016年8月を含む1961年以降に北海道周辺を通過・上陸した台風の統計的解析, 土木学会論文集 B1 (水工学), Vol.73, No.4, I_1231-I_1236, 2017.
- [3] 星野剛, 山田朋人: 大量アンサンブル気候予測データを用いた日本国内全一級水系を対象とした年最大流域平均降水量の分析, 土木学会論文集 B1 (水工学), Vol.74, No.4, I_187-I_192, 2018.
- [4] 国土交通省 国土技術政策総合研究所 気候変動適応研究本部: 気候変動適応策に関する研究 (中間報告), 国土技術政策総合研究所資料, No.749, 2013.
- [5] 平成28年8月北海道大雨激甚災害を踏まえた水防災対策検討委員会: 平成28年8月北海道大雨激甚災害を踏まえた今後の水防災対策のあり方, 2017.
- [6] 北海道地方における気候変動予測 (水分野) 技術検討委員会 (https://www.hkd.mlit.go.jp/ky/kn/kawa_kei/splaat000000vdyw.html)
- [7] Mizuta, R., and Coauthors: Over 5000 years of ensemble future climate simulations by 60 km global and 20 km regional atmospheric models, *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, pp.1383-1393, 2016.
- [8] H. Sasaki, A. Murada, M. Hanafusa, M. Oh'izumi and K. Kurihara: Reproducibility of Present Climate in a Non-Hydrostatic Regional Climate Model Nested within an Atmosphere General Circulation Model. *SOLA*, 7, 173-176, 2011.
- [9] 舩屋繁和ら: 実河川流域における大量アンサンブル気候予測データに基づく不確実性を考慮した将来気候下での確率雨量, 土木学会論文集 B1 (水工学), 投稿中.
- [10] 植村郁彦ら: 実河川流域における大量アンサンブル気候予測データに基づく年最大流域平均雨量の算定, 土木学会論文集 B1 (水工学), 投稿中.
- [11] 山田朋人ら: 北海道における気候変動に伴う洪水外力の変化, 河川技術論文集, 第24巻, 2018.
- [12] 清水啓太, 山田朋人, 山田正: 確率限界法に基づく確率分布モデルの信頼区間を導入した新しい水文頻度解析手法, 土木学会論文集 B1 (水工学), Vol.74, No.4, I_331-I_336, 2018.

Assessment of Flood Risk in Hokkaido Associated with Climate Change

Project Representative

Tomohito J. Yamada Faculty of Engineering, Hokkaido University

Authors

Tomohito J. Yamada^{*1}, Masaru Inatsu^{*2}, Tomonori Sato^{*3}, Tsuyoshi Hoshino^{*1}, Dzung Nguyen-Le^{*1}, Daisuke Hatsuzuka^{*3}, Shiori Sugimoto^{*4} and Hiroaki Kawase^{*5}

^{*1} Faculty of Engineering, Hokkaido University, ^{*2} Faculty of Science, Hokkaido University, ^{*3} Faculty of Environmental Earth Science, Hokkaido University, ^{*4} Department of Seamless Environmental Prediction Research, Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, ^{*5} Meteorological Research Institute, Japan Meteorological Agency

In August 2016, 4 typhoons sequentially attacked Hokkaido region (Northern part of Japan) within 2 weeks and caused severe flood damage. Because this sequential typhoon attack is the first time in recorded history and remarked maximum rainfall amount on many observatories in Hokkaido region and this heavy rainfall caused various flood disasters (inundation caused by dyke break, damaged to load and farmland), it became one of a trigger that led river administrators (Hokkaido development and Hokkaido prefecture) to consider flood risk change associate with climate change. They organized a committee in order to project future flood risk in Hokkaido. Ministry of Land, Infrastructure and Transport has also organized a committee since fiscal 2018 in order to consider flood prevention plan associate with climate change. As can be seen these backgrounds, projection of future flood risk became important and urgent issue. This study quantified flood risk under both historical and 4K warmer climate conditions over 2 river basins (Tokachi and Tokoro river basins) in Hokkaido by using a large ensemble simulation dataset (database for Policy Decision making for Future climate change (d4PDF)). Using Earth simulator enables to finish these quantification during a period of the committee though this study required heavy computational resource, future flood plan is going to be discussed based on the results.

Keywords: climate change, adaptation, flood risk, dynamical downscaling, ensemble experiment, d4PDF, NHRCM

Background

Recently, heavy rainfall caused by line shaped rain band and typhoon has frequently occurred in Hokkaido, Japan, and changes of their tendency have pointed out (Yamada et al., 2012, Kitano et al., 2016). In addition, when global warming progresses, it is indicated from multiple prediction results that annual maximum rainfall increases nationwide and the rate of increase is especially high in northern Japan (e.g. Hoshino and Yamada, 2018).

In August 2016, 4 typhoons sequentially attacked Hokkaido region (Northern part of Japan) within 2 weeks and caused severe flood damage. Because this sequential typhoon attack is the first time in recorded history and remarked maximum rainfall amount on many observatories in Hokkaido region and this heavy rainfall caused various flood disaster (inundation caused by dyke break, damaged to load and farmland), it became one of a trigger that led river administrators (Hokkaido development and Hokkaido prefecture) to consider flood risk change associate with climate change. In fact, they organized a committee in order to project future flood risk in Hokkaido. Ministry of Land, Infrastructure and Transport has also organized a committee since fiscal 2018 in order to consider

flood prevention plan associate with climate change. As can be seen these backgrounds, projection of future flood risk became important and urgent issue. This study quantified flood risk under both historical and 4K warmer climate conditions over 2 river basins (Tokachi and Tokoro river basins) in Hokkaido by using a large ensemble simulation dataset.

Methodology

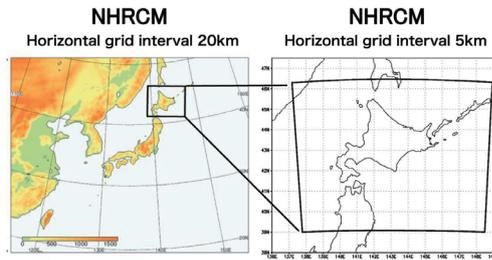
This research conducted flood risk quantification which started with simulation of rainfall and ended with simulation of flood damage (Fig.1). In this research, we use database for Policy Decision making for Future climate change (d4PDF) (Mizuta et al., 2016) which consists of large ensemble climate simulation results (historical climate: total 3,000 years, 4 K warmer climate: total 5,400 years) at 20 km horizontal resolution. This quantification is consists of 5 steps. (1): to detect annual maximum rainfall event in target river basin from 20 km horizontal resolution data. (2): to conduct dynamical downscaling (DS) using a regional climate model NHRCM (Sasaki et al. 2011) for rainfall event detected by previous step. DS can reflect topographic effect more precisely and spatial resolution of the DS results (5km horizontal resolution) are

high enough to define shapes of the target river basins. (3): bias correction reference to observation results (Uemura et al., in prep). (4): to calculate return probable rainfall under historical and warmer climate. In this step, we conducted a resampling

in order to obtain shape of return probable rainfall distinctly (Masuya et al., in prep). (5): to estimate peak discharge and flood damage (inundation area, number of fatalities, etc.) by a rainfall runoff model and a flood simulation model.

Dynamical downscaling

- We conducted dynamical downscaling(20km to 5km) in order to reflect topographic effect more precisely and to define shapes of the target river basins
- After DS, rainfall amount(fig.2) and characteristics(hourly precipitation intensity(fig.3) and spatiotemporal distribution) of rainfall became similar to actual rainfall events.



Evaluation of return probable rainfall

Bias correction

- Conducted bias correction by Piani's method (correction coefficient are 0.99 for Tokachi river basin and 1.10 for Tokoro river basin)

Evaluation of plan rainfall amount

- We conducted a resampling in order to obtain shape of return probable rainfall distinctly (number of sample is 10^5).
- Reliable sections of return probable rainfall can be calculated and the sections under historical and 4K warmer climate condition are partly over-wrapped.
- **Plan rainfall amount under 4K warmer condition is higher** (changing rate of median value are 1.38 (Tokachi river basin) and 1.42 (Tokoro river basin))

Quantification of flood risk

Calculation of peak discharge

- We calculated peak discharge by rainfall runoff model.
- The result showed **spatiotemporal distribution of rainfall highly affected peak discharge**. It means large ensemble dataset is important for estimation of flood risk.

Estimation of flood damage

- We estimated flood damage by inundation model.
- The results showed **4K warmer condition cause bigger damage** at same return period. (Changing rate of fatalities is 2.3)

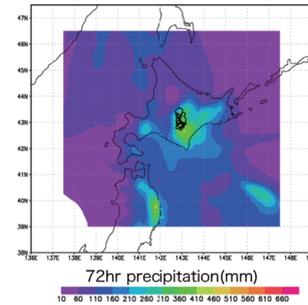
d4PDF experiment

Historical (60yrs x 50member=3000yrs)
4K warmer (60yrs x 90member=5400yrs)

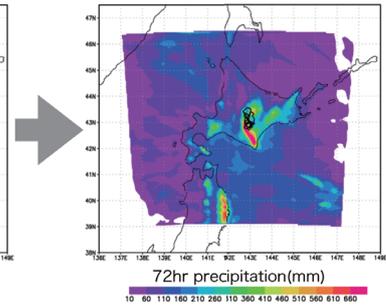
Conducted DS for annual maximum rainfall event

Example

d4PDF(20x20km)

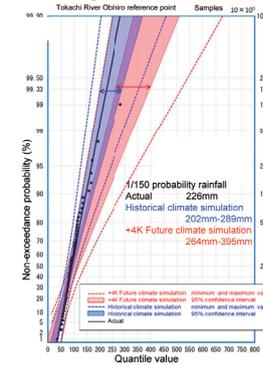


After DS(5x5km)

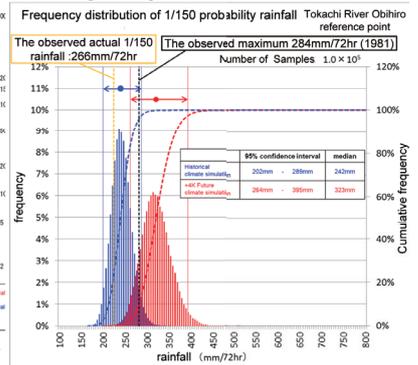


Rainfall increase around high mountain area.

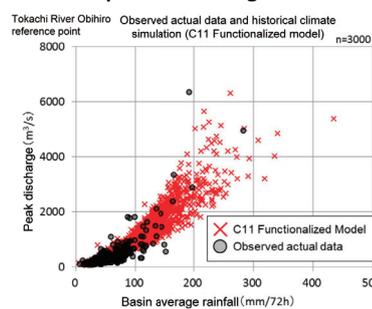
Return probable rainfall



Range of plan rainfall(1/150)



Relation between rainfall and peak discharge



Estimated inundation area

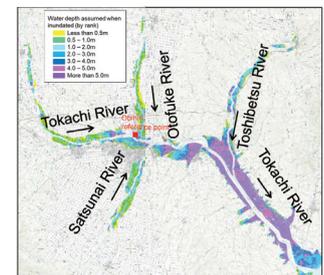


Fig. 1 Contents of this research

Results

The results of DS under historical climate condition and annual maximum rainfall obtained from observation results have similar frequency (Fig. 2) (Yamada et al., 2018). There are many cases of over maximum recorded rainfall, it means this dataset is effective to evaluate extreme heavy rainfall event. Rainfall intensity is shown in Fig. 3 and the result of DS also has similar frequency in terms of intensive rainfall. These results show that DS is effective way to make many possible heavy rainfall patterns.

Result of annual maximum rainfall under historical and 4 K warmer climate conditions are shown in Fig. 4. Annual maximum rainfall under 4 K warmer climate condition is heavier in both 2 river basins. 99 percentile values are especially heavier (rate of increase, Tokachi river basin: 1.34, Tokoro river basin: 1.38).

Figure 5 shows return period of rainfall in Tokachi river basin. Because the method uses the large ensemble dataset, reliable sections of return probable rainfall can be calculated and the sections under historical and 4 K warmer climate conditions are partly over-wrapped. This result shows difficulty and limitation of probable rainfall evaluation based on several decades observation data. Estimated flood damage under 4 K

warmer condition is also become bigger on same occurrence probability. Inundation area is about 1.4 times increase in both of two river basins and number of fatalities is 2.3 times increase in Tokachi river basin and 6.7 times increase in Tokoro river basin. These results show necessity of flood protection plan considering climate change and these quantified flood risk can be greatly helpful for adaptation plan.

These results became the core of the discussion at the committee related to future flood risk in Hokkaido, Japan which was held in fiscal 2017, future flood control measures are going to be discussed based on these results. Using Earth Simulator enables to finish these quantification during a period of the committee. The importance of HPC is increasing in the field of water disaster prevention.

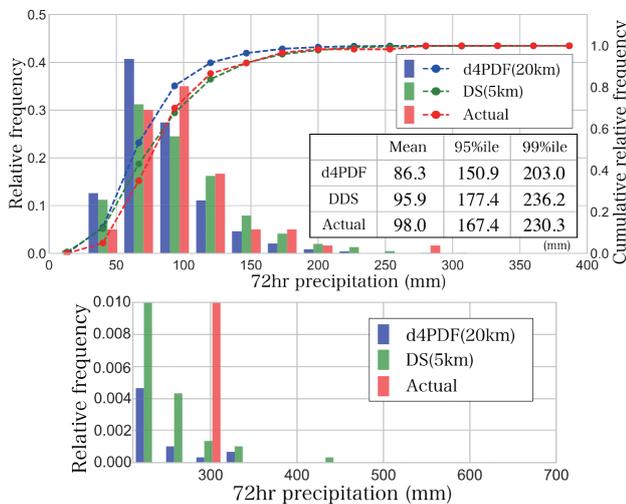


Fig. 2 Frequency of annual maximum precipitation in Tokachi river basin (d4PDF, DS and actual). Lower figure is focus on over 99%ile.

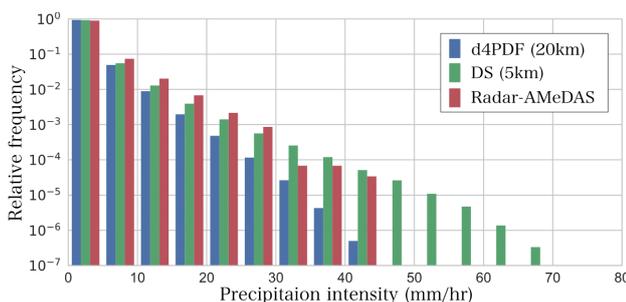


Fig. 3 Frequency of hourly precipitation intensity

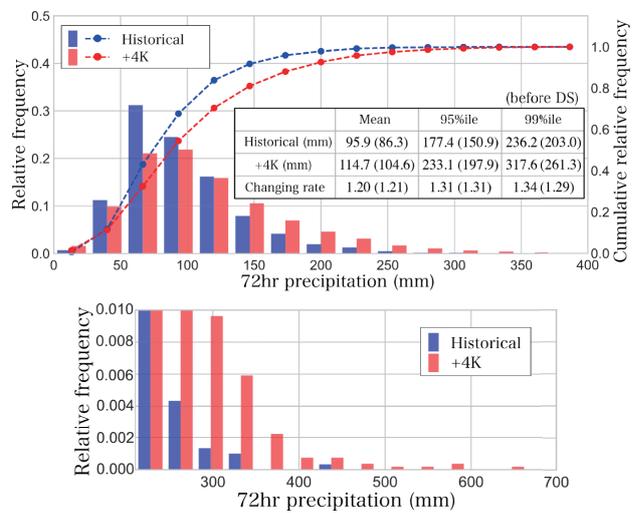


Fig. 4 Frequency of annual maximum precipitation in Tokachi river basin(Historical and +4K climate conditions). Lower figure is focus on over 99%ile.

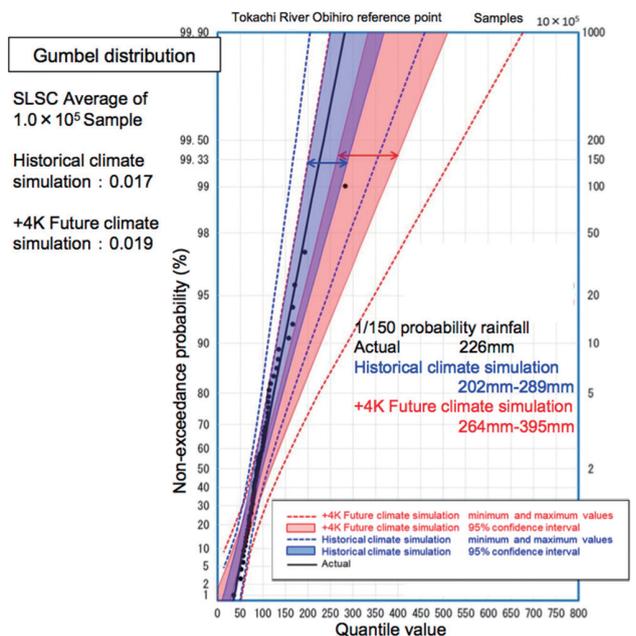


Fig. 5 Return probable rainfall (Historical and 4K warmer climate conditions)

Acknowledgement

This study was conducted with Prof. Nakatsugawa (Muroran institute of technology), Mr. Tokioka, Mr. Sasaki, Mr. Hamada (Hokkaido Regional Development Bureau, Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism), Dr. Yamamoto, Mr. Chiba, Mr. Tomura (River center of Hokkaido), Mr. Yoshida, Mr. Omura, Mr. Masuya and Mr. Uemura (Docon Co., Ltd.). This study was supported by MEXT/SICAT. This study utilized the database for Policy Decision making for Future climate change (d4PDF), which was produced under the SOUSEI program.

Reference

- [1] T. J. Yamada, J. Sasaki, N. Matsuoka: Climatology of line-shaped rainbands over northern Japan in boreal summer between 1990 and 2010, *Atmos. Sci. Let.*, 13, 133-138, 2012.
- [2] Y. Kitano, T. Yamamoto, A. Kobayashi, T. J. Yamada: Statistical analysis of typhoon related events in Hokkaido and surroundings in the last 56 years including the 2016 heavy rainfall, *Journal of Japan Society of Civil Engineers*, Vol.73, No.4, I_1231-I_1236, 2017. (in Japanese with English abstract)
- [3] T. Hoshino, T. J. Yamada: Analysis of annual maximum precipitation over first-class river basins in Japan using a large-ensemble dataset(d4PDF), *Journal of Japan Society of Civil Engineers*, Vol.74, No.4, I_187-I_192, 2018.
- [4] Mizuta, R., and Coauthors: Over 5000 years of ensemble future climate simulations by 60 km global and 20 km regional atmospheric models, *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, pp.1383-1393, 2016.
- [5] H. Sasaki, A. Murada, M. Hanafusa, M. Oh'izumi and K. Kurihara: Reproducibility of Present Climate in a Non-Hydrostatic Regional Climate Model Nested within an Atmosphere General Circulation Model. *SOLA*, 7, 173-176, 2011.
- [6] S. Masuya, and Coauthors: Probability rainfall considering uncertainty based on a massive ensemble climate projections in actual river basin, *Journal of Japan Society of Civil Engineers*, in prep. (in Japanese with English abstract)
- [7] F. Uemura, and Coauthors: Estimation of annual maximum rainfalls based on a massive ensemble climate predictions in actual river basin, *Journal of Japan Society of Civil Engineers*, in prep. (in Japanese with English abstract)
- [8] T. J. Yamada, and Coauthors: The influence of climate change on flood risk in Hokkaido, , *Journal of Japan Society of Civil Engineers*, *Advances in river engineering*, 2018. (in Japanese with English abstract)

