

大量アンサンブルデータによる 不確実性を考慮した確率雨量の算定

ますやしげかず うえむらふみひこ よしだたかとし おおむらのりあき
舩屋繁和・植村郁彦・吉田隆年・大村宣明

(株) ドーコン (〒004-8585 北海道札幌市厚別区厚別中央1条5丁目4番1号)

近年、我が国においては気候変動の影響と思われる大災害が頻発している。そのため、気候変動の影響を考慮した治水計画の立案は喫緊の課題である。現在の我が国の治水計画は、実績降雨から求めた確率雨量を基に立案されているが、気候変動を考慮した治水計画を立案するためには、気候モデルの出力降雨から確率雨量を算出する必要がある。

本研究では、大量アンサンブル気候予測データであるd4PDFを用いて、各アンサンブルメンバーから得られる確率雨量を実際に起こる可能性があった確率雨量の一つと捉え、取り得る幅を考慮した確率雨量の算定手法を示した。同手法で現在気候および気候変動後の確率雨量を算定した結果、十勝川帯広地点におけるGumbel分布による将来の確率雨量は1.33倍、GEV分布による将来の確率雨量は1.37倍となった。

本研究の内容は、平成29年度に北海道で開催された「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」で議論されたものである。

Key Words : 気候変動、確率雨量、大量アンサンブル気候予測データ

1. はじめに

平成28年8月、北海道において観測史上初めて1週間に3個の台風が上陸し、さらに台風10号の接近により、石狩川水系や十勝川水系など9河川で堤防が決壊したほか、79河川で氾濫が生じるなど、甚大な被害が発生した。これを受けて開催された、「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」において、気候変動を考慮した治水計画の必要性が提言された¹⁾。

現在の我が国における治水計画は、実績降雨を確率評価して得られた確率雨量を基に立案されているが、気候変動を考慮した治水計画を立案するためには、気候モデルの出力降雨を確率評価して得られる確率雨量を用いる必要がある。気候モデルの出力降雨は、境界条件や初期条件、気候システムに内在する非線形性による不確実性から幅を有するため、大量アンサンブルデータを用いて確率雨量の取り得る幅を考慮する必要がある。

国土交通省国土技術政策総合研究所²⁾では、気候モデルの出力降雨から全国109水系の将来の降雨量倍率を求めている。立川ら³⁾は、気候モデルが出力する大量アンサンブル気候予測データである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⁴⁾ (以下、d4PDF) に収録されているモデル出力降雨を用いて、過去実験3000年分および4°C上昇実験の異なる6つの海面水温(SST)変化パターン各900年分の年最

大雨量を、それぞれ1標本としてワイブル公式によって確率雨量を算出し、確率雨量の取り得る幅を示している。また、田中⁵⁾はd4PDFの過去実験および4°C上昇実験を対象に、各アンサンブル60年分の年最大雨量を1標本として、分散を用いる方法、プロファイル尤度を用いる方法により算出した各標本の確率雨量の95%信頼区間を平均し、確率雨量の幅を求めている。一方、北野ら⁶⁾は、d4PDF過去実験の各アンサンブルメンバーから得られる確率雨量を実際に起きる可能性があった確率雨量の分布と捉え、ガンマ分布を適用して確率雨量の取り得る分布を示している。しかしながら、4°C上昇実験での確率雨量の分布や過去実験と4°C上昇実験の比較による将来気候下での確率雨量の変化は示されていない。

本研究では、十勝川帯広地点を対象とし、d4PDFが提供する領域20kmの気候モデル(以下、RCM20)の出力降雨を用いて、現在気候下および4°C上昇後の気候下における不確実性を考慮した確率雨量を算出し、将来気候下における河川整備基本方針計画規模の確率雨量の変化を提示する。

2. 使用データ

IPCC第5次報告書(AR5)では、RCP2.6-8.5の4つの気候変動シナリオが示されており、その中でもRCP8.5シナリオは、想定される最悪シナリオである。d4PDFは、全球60kmの気

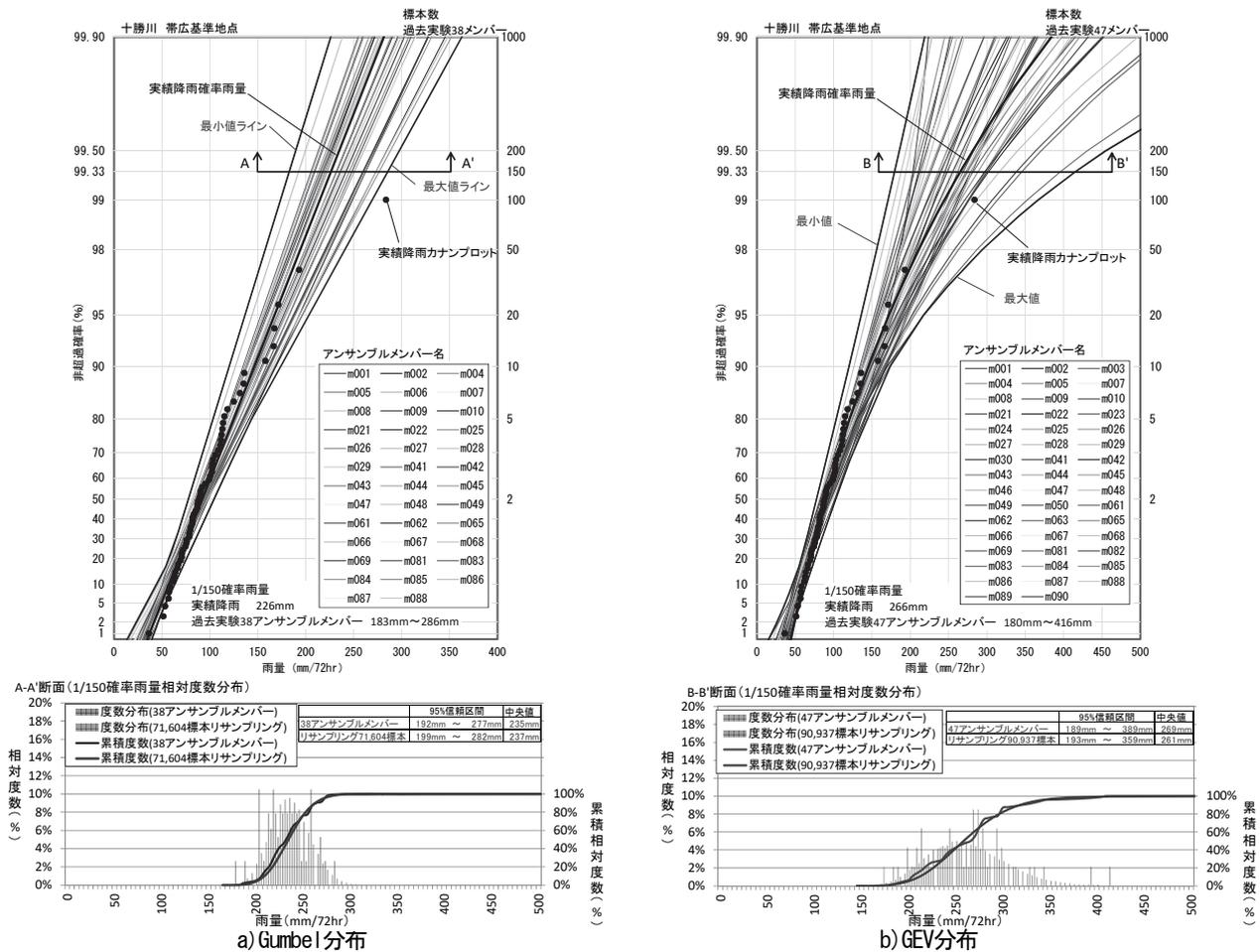


図-1 過去実験50アンサンブルメンバー確率評価結果

候モデルおよびRCM20を用いた気候モデル実験出力データベースであり、日本周辺領域の過去実験60年(1951-2010)×50アンサンブルメンバーの合計3000年、RCP8.5シナリオの2090年に相当する4°C上昇実験60年×90アンサンブルメンバー(6SST×15摂動)の合計5400年のデータを提供している。本研究では、d4PDFが提供するRCM20の出力値を境界条件とし、北海道領域を対象に領域5kmの気候モデル(以下、RCM5)で力学的ダウンスケーリングされた降雨⁷⁾を用いた。

過去実験3000年、4°C上昇実験5400年の全期間に対するRCM5による力学的ダウンスケーリングの実施は、計算資源の観点から現実的ではない。そこで、RCM20の出力降雨から年最大雨量が発生している期間を抽出し、助走期間を含めた15日間を力学的ダウンスケーリングすることにより、RCM5による過去実験3000年、4°C上昇実験5400年の年最大雨量という高解像度大量アンサンブルデータの作成を実現している。

RCM5による年最大雨量の中には、力学的ダウンスケーリングで鮮明になった地形効果で雨域が変化し、対象流域内では降雨がほとんど発生せず、年最大雨量とはなり得ない降雨が含まれていた。そこで、RCM20で確認される年最大雨量の最小値を下回ったRCM5による雨量は、確率評価の標本から除外した。一方で、RCM5による1年間を通した力学的ダウンスケーリング(以下、通年ダウンスケーリング)を実施した場合、雨域の変化によってRCM20では捉えられていなかった大雨イベントが発生する可能性がある。そこで、過去実験675年分を対象にRCM5による通年ダウンス

ケーリングを実施し、RCM20から抽出された年最大雨量との比較により、675年分の年最大雨量のうち、83%が同一の降水イベントであり、3000年分のうち上位7%の降水イベントは、RCM20で抽出された年最大雨量と同一の降水イベントで占められていることを確認した。

なお、確率評価に用いるRCM5による年最大雨量は、対象流域において国土交通省及び気象庁の雨量観測所から得られている約60年間の実績年最大雨量を用いて、ピアニの手法⁸⁾でバイアス補正を施している。

3. 不確実性を考慮した確率雨量の算出方法

(1) 過去実験の確率雨量の算出

過去実験50アンサンブルメンバーを対象に、各アンサンブルメンバー60年分の年最大雨量を1標本とし、Gumbel分布とGEV分布を用いて確率雨量を算出した。合わせて、実績降雨の年最大雨量を標本とした確率雨量も算出した(図-1)。

確率分布モデルの適合度を表すSLSC⁹⁾を確認した結果、SLSC>0.04となる確率評価結果は、Gumbel分布で12ケース、GEV分布で3ケース含まれていた。SLSC>0.04となるケースは、標本に対して確率分布モデルの適合度が低いことから、以降の確率雨量の議論からは除外することとした。

十勝川の河川整備基本方針計画規模である1/150確率雨量でみると、過去実験50アンサンブルメンバーの確率雨量はGumbel分布で183-286mm/72hr、GEV分布で180-416mm/72hrの間に分布している。一方、実績降雨の確率雨量はGumbel

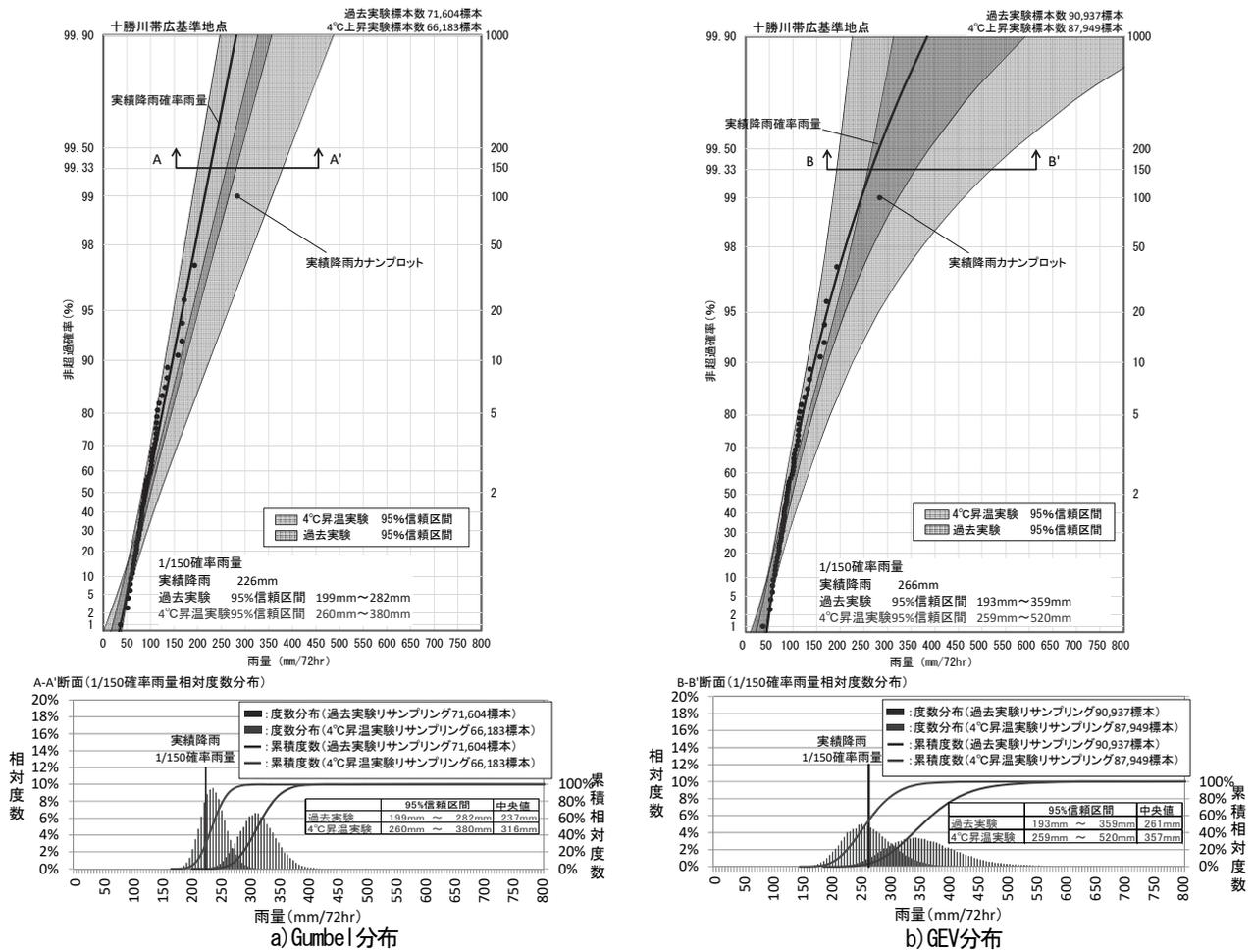


図-2 不確実性を考慮した4°C上昇後の確率雨量の変化

分布で226mm/72hr, GEV分布で266mm/72hrとなっている。

仮に、実績降雨の確率雨量が過去実験50アンサンブルメンバーの確率雨量の幅から大きく外れる結果となった場合、過去実験の実績再現性に疑問が生じるが、本研究で得られた結果は、Gumbel分布, GEV分布のいずれも、実績降雨の確率雨量は、過去実験50アンサンブルメンバーの確率雨量の幅の中に位置している。この過去実験50アンサンブルメンバーの確率雨量の幅は、過去の気象(1951-2010)を50回繰り返したときに、SST等の初期条件や境界条件の違いによって確率雨量が取り得る幅であり、実績降雨による確率雨量は、過去60年間を繰り返し経験した場合に、取り得る可能性があった確率雨量の一つと解釈することができる。

また、図-1a)をみると実績降雨最大のカナンプロットがGumbel分布による実績降雨の確率評価結果と大きく異なることが分かる。仮に、実績最大規模の降雨が今後発生した場合、実績降雨のGumbel分布による確率評価結果からは、約1/1000確率の雨量と評価することとなる。しかしながら、約60年分の実績雨量標本から得られる1/1000確率雨量は、信頼性が高いとは言い難い。一方、大量アンサンブルデータを用いて確率雨量の取り得る幅を考慮すると、約1/1000確率雨量ではなく、例えば1/150確率雨量として発生し得る降雨か否かを判断することが可能となる。

このように、大量アンサンブルデータを用いた不確実性を考慮した確率雨量の導入は、将来気候下における確率雨量の把握が可能となるのみではなく、現在気候下での確率

雨量を算出することにより、これまで想定外としていた降雨を想定内の降雨として捉えることが可能となる。

(2) 確率雨量の度数分布の鮮明化

過去実験と4°C上昇実験の確率雨量の取り得る幅を明確にするため、清水ら¹⁰⁾の方法を参考に、リサンプリングで確率雨量の度数分布を鮮明化した(図-1)。

過去実験は、1951-2010年の海面水温の観測実績を境界条件とした気候モデルの出力値である。リサンプリングにあたっては、1951年の50アンサンブルメンバーから1つの年最大雨量、1952年の50アンサンブルメンバーから1つの年最大雨量といった抽出を2010年まで繰り返し、1951年から2010年までの60年分の年最大雨量が1標本となるようにリサンプリングで10万標本を作成し、それぞれに対して確率評価を行った。中央値や95%信頼区間を確認すると、50アンサンブルメンバーの確率評価から得られた確率雨量の分布と、リサンプリングで作成した10万標本から得られた確率雨量の分布は概ね一致しており、以降の将来気候下における確率雨量の変化の議論には、リサンプリングにより得られた確率雨量の分布を用いる。なお、10万標本の確率評価を行った際にSLSC>0.04となるケースは、確率雨量の分布を作成する際には除外している。

4°C上昇実験の確率雨量のリサンプリングにも、過去実験の確率雨量のリサンプリングと同様の手法を用いる。4°C上昇実験には、6つの異なるSSTが用いられており、立川ら³⁾

のように各SSTを個別に確率評価する方法も考えられるが、本研究では各SSTの発生確率が等価であると仮定し、各年の90アンサンブルメンバーから1つの年最大雨量を抽出して60年分の年最大雨量が1標本となるようにリサンプリングを行い、SSTの違いによって取りうる幅も含めた確率雨量の幅を提示する。

4. 気候変動後の確率雨量の変化

過去実験と4°C上昇実験について、リサンプリングで作成した10万標本の確率雨量の分布を比較した。

1/150確率雨量(図-2)をみると、Gumbel分布の95%信頼区間は、過去実験で199-282mm/72hr、4°C上昇実験で260-380mm/72hrとなった。また、過去実験および4°C上昇実験の中央値は、それぞれ237mm/72hr、316mm/72hrであり、4°C上昇実験は過去実験の約1.33倍となった。一方、GEV分布の95%信頼区間は、過去実験で193-359mm/72hr、4°C上昇実験で259-520mm/72hrとなった。また、過去実験および4°C上昇実験の中央値は、それぞれ261mm/72hr、357mm/72hrであり、4°C上昇実験は過去実験の約1.37倍となった。

Gumbel分布とGEV分布を比較すると、95%信頼区間の幅はGumbel分布よりGEV分布の方が大きい。これは、2母数の確率分布モデルであるGumbel分布に対して、3母数のGEV分布は、標本中に含まれる極値に、より適合させた確率評価を行うためである。この結果は、治水計画立案時に選択する確率分布モデルによって、治水対策に大きな違いが生じる可能性があることを示している。

過去実験と4°C上昇実験を比較すると、Gumbel分布、GEV分布に関わらず、同一規模の確率雨量の分布が一部で重複している。このことは、仮に4°C上昇後を見越した治水計画を立案する場合であっても、計画対象として選択する降雨量によっては、現在気候下の同一確率規模で発生し得る降雨量を選択することも可能であることを示している。このように、確率雨量の取り得る幅を示すことによって、現在と4°C上昇後の両者を見据えた計画降雨量の選択が可能となる。

5. おわりに

本研究では、気候変動を考慮した治水計画の立案に向けて、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確率雨量の評価手法と、同手法を用いた将来気候下での確率雨量の変化を示した。

本研究で得られた主要な成果を、以下に列記する。

- 1) 実績降雨から算出した確率雨量は、過去実験の降雨から算出した確率雨量の取り得る幅に収まる。
- 2) 4°C上昇実験の十勝川帯広地点1/150確率雨量の中央値は、過去実験に対してGumbel分布で約1.33倍、GEV分布で約1.37倍となる。
- 3) GEV分布で算出される各確率雨量の95%信頼区間の幅は、Gumbel分布を用いた場合と比べて大きくなる。
- 4) 確率雨量の取り得る幅を示すことで、現在と4°C上昇後の両者を見据えた計画降雨の選択が可能となる。

本研究で提案した手法は、大量アンサンブルデータの通年ダウンスケーリングの実施に比べると、現段階では現実的な手法であり、他流域や他のRCPシナリオにも適用可能である。

今後は、気候変動を考慮した治水計画の実装に向けて、他のRCPシナリオでの不確実性を考慮した確率雨量を把握するとともに、将来気候下における洪水流量の算定と、それに対応した適応策の検討に関する一連の検討手法の構築が必要である。

謝辞：本研究は、文科省・気候変動リスク情報創生プログラムで作成されたd4PDFを使用した。解析に使用した年最大流域平均雨量は、平成29年度地球シミュレータ特別推進課題ならびに文部科学省SI-CATの支援により地球シミュレータを用いることで得られたものである。また、本研究に記した手法は、北海道大学山田朋人准教授に多大なご指導を頂いたほか、「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」で御議論頂いたものである。ここに記し、謝意を表する。

参考文献

- 1) 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。
- 2) 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。
- 3) 立川康人、宮脇航平、田中智大、萬和明、市川温、Kim Sunmin: d4PDFを用いた年最大ピーク流量の確率分布の将来変化の分析、2017年度水文・水資源学会要旨集、pp.56-57。
- 4) 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：<http://www.miroc-gcm.jp/~pub/d4PDF/index.html>。(閲覧日:2019年8月)
- 5) 田中茂信: d4PDFを用いた利根川流域降水量の極値評価、京都大学防災研究所年報、第60号B、pp.757-764、2018。
- 6) 北野利一、高橋倫也、田中茂信: 気候モデルから得られる多数のアンサンブルデータを用いた確率降水量の推定法、土木学会論文集B1(水工学)、Vol.73、No.4、I_1-I_6、2017。
- 7) 山田朋人、星野剛ら: 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。
- 8) C. Piani, J. O. Haerter, E. Coppola. Statistical bias correction for daily precipitation in regional climate models over Europe, Theoretical & Applied Climatology, vol. 99, pp187-192, 2010。
- 9) 宝馨、高塚琢馬: 水文頻度解析における確率分布モデルの評価規準、土木学会論文集、No.393/II-9、pp.151-160、1988。
- 10) 清水啓太、山田朋人、山田正: 確率限界法検定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、pp.I_331-pp. I_336、2018。