

降雨の時空間的局地性と気候変動を考慮したリスクベース評価手法

A Risk-Based Assessment Methodology Considering Spatio-Temporal Locality of Rainfall and Climate Change

北海道大学大学院工学研究院 ○正 員 山田朋人 (Tomohito Yamada)

1. はじめに

大雨に伴う洪水，土砂災害が全国で頻発している。2020年7月には暖湿空気の梅雨前線への流入に伴い九州地方球磨川流域において同月3,4日の総雨量が7月の1ヶ月分に相当する大雨となり甚大な被害がもたらされた。

気候変動がもたらす大雨の頻度や強度への影響に関し，学術論文によって議論が進められている中，気候変動に関する政府間パネル(IPCC)の第5次評価報告書(AR5)では，気候システムの温暖化には疑う余地はないと述べられた。我が国では複数の研究機関や関係省庁等により全球・地域気候モデルを用いた将来予測ならびに影響評価が実施されている^{1),2),3)}。国土交通省では平成30年度より「気候変動を踏まえた治水計画に係る技術検討会」を開催し，令和元年10月には提言を発表している。この中でd4PDFを用いた分析結果として，過去気候に対する将来気候下の降水量の変化倍率は2℃上昇相当(2040年代相当)において，北海道全域は1.15倍，その他の地域では1.1倍としている。この2℃上昇は産業革命前からの気温上昇量を意味し，21世紀初頭には既に実測値としておよそ1℃上昇している状況にある。

現在の治水計画は過去数十年程度の観測雨量からこれまでの最大降雨量を考慮しつつ，年最大降雨量を用いた確率雨量を基にしている。一般に30年程度で平年値と言われるが年最大降雨イベントに着目すると，その長さは情報量として限定的である。我々は膨大な自由度を有する気候システムから一種の偶然性を持って生じた過去数十年を経験したこととなる。これはすなわち，時間方向の情報量に起因する不確実性の幅が必ず存在することを意味する。

我が国では文部科学省研究プロジェクトにより，「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（以降，d4PDF）」が全球気候モデルと地域気候モデ

化し，数値計算によって擬似的に気候の状態を再現・予測するものである。d4PDFは過去および将来気候を対象として，複数の初期値からなるアンサンブル実験により構成されている（過去気候：50通りの初期擾乱を与えた3000年相当分，将来気候：産業革命前から4℃上昇時に該当するRCP8.5シナリオ（別途，2℃上昇時のシナリオも存在）における計5400年相当）。過去気候については1951年から2010年の海面水温の観測値，将来気候については複数の全球大気海洋結合モデルによって予測された将来の海面水温が底面境界値としてそれぞれ気候モデルに与えられている。このd4PDFは日本を含む東アジア域では20kmの空間解像度でデータを利用でき，データ統合解析システム（DIAS）にて公開されている。

過去・将来気候下を想定した両実験データに対して気象庁気象研究所により開発されている地域気候モデル（NHRCM）を用いた力学的ダウンスケーリングを実施し，5kmの空間解像度の情報とした。以降の洪水リスク評価はこのデータが用いられている。

なお，本稿は著者が記した雑誌「河川」（山田，2020）およびイギリス気象学会誌（Yamada et al., 2021, ASL.）に記した内容を改めて記したものである。

2. 気候変動の影響を考慮したリスク評価

現行の治水計画において目標とする降雨量は，一般的に，観測年最大降雨量が従う確率分布を推定し，その確率分布において，目標とする安全度相当の年超過確率のクオンタイル値として算出される。年超過確率 p の確率雨量は，1年間に当該の確率雨量以上の降雨が発生する確率が p であるということを意味する。推定確率分布における年超過確率の逆数は，確率年として定義されており，治水計画における重要な指標となっている。我が国の一般河川流域では，100年から200年程度の確率年が

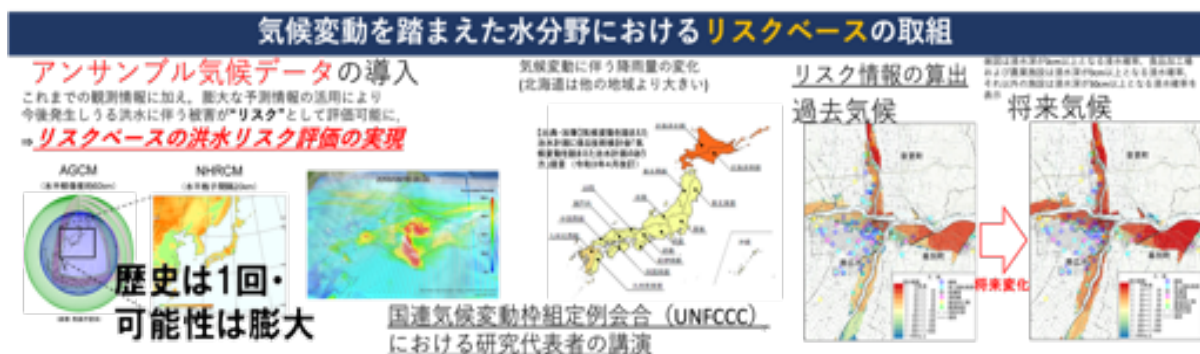


図-1 気候変動を踏まえた水分野におけるリスクベースの取り組みのまとめ。

ルを用いて作成されている。気候モデルとは大気，海洋，陸域の中で発生する様々な現象を物理法則に従って定式

計画確率年として採用されることが多い。従来では，計画確率年相当の降雨量を，過去の観測年最大降雨量に当

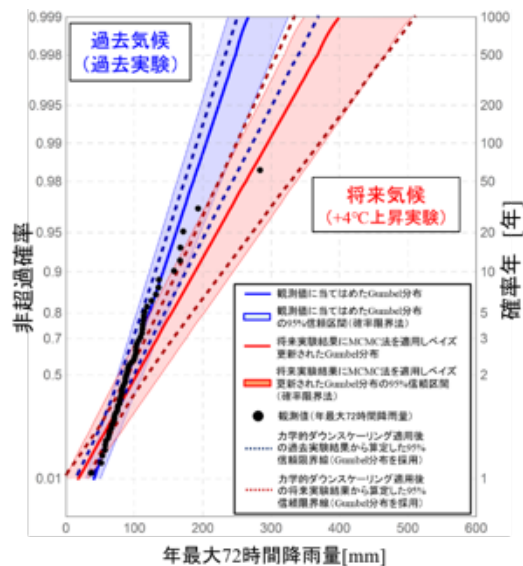


図-2 大量アンサンブル実験と統計理論の双方による確率雨量の信頼区間

てはめた確率分布による外挿によって推定せざるを得ず、現行の計画降雨量は有限な観測情報に起因する推定誤差（不確実性）を有する。このため、観測情報の有限性ならびに今後の気候変動の影響を踏まえた確率雨量の評価手法の構築は急務である。本研究では、その不確実性を幅として定量化可能とする信頼区間をアンサンブル実験により導出し、当該区間に基づく確率雨量の不確実性評価を実施した。その概要を次に示す。アンサンブル実験により、過去発生する可能性のあった降雨ならびに、将来発生する可能性のある年最大降雨量の標本が利用可能となるため、それらの標本別に確率分布の外挿による確率雨量の推定を行うことで、複数の確率雨量の推定値が得られ、これにより、確率雨量の振れ幅や頻度分布が把握可能となる。確率雨量を始めとした、データから求めた統計的推定値の振れ幅は、信頼区間として数学上定義されている。例えば、95%信頼区間は、統計的推定値の頻度分布の95%を含むものである。信頼区間は、治水計画に採用してきた確率分布や計画降雨量の振れ幅を表すため、従来では想定外として扱われるような大規模豪雨をその範囲内の事象として解釈可能とし、その生起リスクを定量化するものである。したがって、信頼区間をどこまで議論するかによって治水計画におけるリスクが検討可能となる。ここで、十勝川流域における確率雨量の信頼区間を考慮した、年最大降雨量の頻度解析結果を図2に示す。同図中において黒点は年最大流域平均72時間降雨量の観測値であり、黒実線はこれらの観測値が従うと仮定したGumbel分布である。一方、青色から紫色の範囲は過去気候、紫色から赤色の範囲は将来気候における確率雨量のアンサンブル実験による信頼区間である。過去・将来気候に関しては、アンサンブル計算結果群から、観測値と同じ期間である60年間分のデータをランダムに選択することによって同一の確率年であっても信頼区間（ここでは95%）としての幅の大きさを定量化し

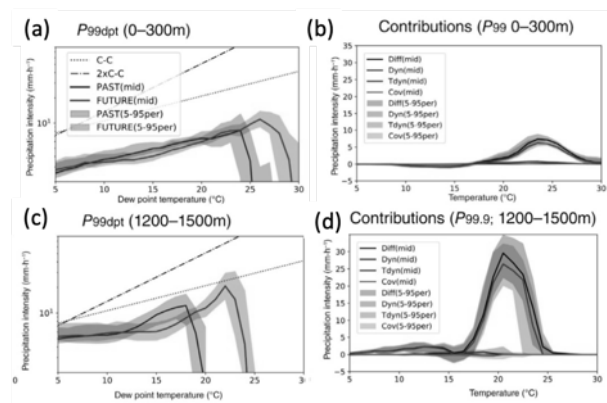


図-3 (a), (c)は降雨強度と露点温度の関係を示す。(b), (d)は降雨量の力学・熱力学の変化を示す。(a), (b)は標高0-300mにおける結果、(c), (d)は標高1200-1500mにおける結果を示す（Yamada et al., 2021, ASLのFigure5を抜粋して引用）。

た。全球平均気温が4℃も異なる両気候において紫色の範囲が存在するという事は、頻度は異なるが同規模の大雨事象は物理的に存在しうることを意味する。さらに、力学的ダウンスケーリングより算定される確率雨量の信頼区間幅は、統計理論である確率限界法に基づくものとも整合しており、その妥当性が理論的観点から担保されている。計画規模相当の降雨量の信頼区間を入力情報の一つとして、浸水・経済被害ならびに死亡リスクの定量化が実現する。

謝辞：本研究は文部科学省統合的気候モデル高度化研究プログラム領域テーマC「統合的気候変動予測」JPMXD0717935561、内閣府総合科学技術・イノベーション会議の戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)「国家レジリエンス(防災・減災)の強化」(管理法人：国立研究開発法人防災科学技術研究所)科研費基盤研究(B)19H02241の支援を受け実施されました。記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 文部科学省、気象庁、2020：日本の気候変動2020
- 2) SI-CAT ガイドブック編集委員会編、2020：気候変動適応技術の社会実装ガイドブック、技報堂出版
- 3) 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、2017：河川・海岸分野の気候変動適応策に関する研究－「気候変動下での大規模水災害に対する施策群の設定・選択を支援する基盤技術の開発」の成果をコアとして－、国総研プロジェクト研究報告第56号。
- 4) 山田朋人：アンサンブル手法による気候変動予測・リスク評価の考え方、雑誌「河川」、日本河川協会、12月号、pp.77-81、2020。
- 5) T. J. Yamada, T. Hoshino, A. Suzuki, 2021: Using a Massive High-Resolution Ensemble Climate Data Set to Examine Dynamic and Thermodynamic Aspects of Heavy Precipitation Change, Atmospheric Science Letters, 22(8).