

犀川流域における気候変動を踏まえた降雨特性 分析結果を用いた流域治水の見える化について

荒木 蒼志¹・小林 崇¹・中堀 駿¹

¹千曲川河川事務所 流域治水課 (〒950-0912 長野県長野市鶴賀字峯村74) .

本検討は、気候変動による降雨特性の変化を把握し、流域治水の推進に資する水害リスクの評価と見える化を目的として、犀川流域を対象に解析を行った。アンサンブル気候予測データ（d4PDF）を用いて、現在気候および将来気候予測（2℃・4℃上昇）における確率雨量の算定と大雨事例の分析を実施した。その結果、将来気候予測では1時間雨量の増加や地域差が確認されるとともに、大雨要因として台風起因の事例増加が示唆された。また、解析結果を可視化することで、気候変動に伴う水害リスクや留意すべき気象パターンの理解促進を図った。今後は、流域治水の更なる推進に向けて、解析精度の向上と効果的な情報発信手法の検討が重要である。

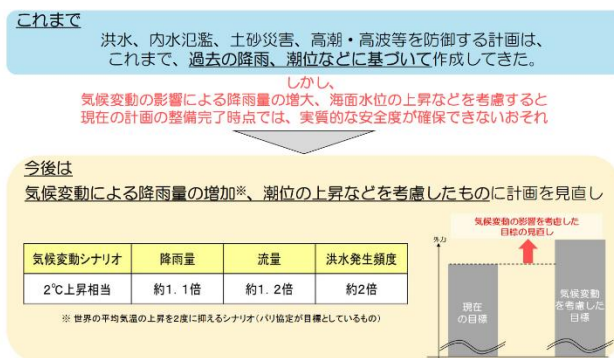
キーワード アンサンブル気候予測、d4PDF、気候変動、流域治水、見える化

1. はじめに

近年、気候変動の影響により豪雨災害が激甚化・頻発化しており、将来的にはさらなる水害リスクの増大が懸念されている。これを踏まえ、治水計画は過去の降雨実績を基準としたものから、気候変動による降雨量の増加を考慮したものへと見直しが進められている。また、気候変動の影響により当面の目標としている治水安全度が目減りすることを踏まえ、河川管理者だけでなく流域全体の人々を対象として水害リスクに対応することが求められている。このため、ハード・ソフト一体で多層的な流域治水の取組をさらに加速化・深化させるものとして、「流域治水プロジェクト2.0」の推進が重要となっている。

流域治水の推進を促すためには、将来の水害リスクを把握するとともに、行政や住民がそのリスクを理解し、自分事として認識することが重要であり、気候変動による降雨特性の変化や想定される水害リスクを分かりやすく示す必要がある。

そこで本検討では、アンサンブル気候予測データベース（d4PDF）を用いて、犀川流域を対象に過去気候および将来気候（2℃上昇・4℃上昇）の降雨特性を分析した。確率雨量の算定や大雨事例の分析を行うとともに、その結果を可視化することで、流域治水の推進に資する基礎資料の作成を目的とした。



出典：国土交通省水管理・国土保全局：『流域治水』の基本的な考え方，2020

図-1 気候変動を踏まえた流域治水の考え方

2. 検討対象範囲および解析概要

(1) 検討対象

本検討では、長野県を流下する一級河川信濃川水系犀川流域を対象とした。解析対象は、小市、陸郷、島橋の各観測所および梓川、高瀬川の2流域とし、上流域の降雨特性および大雨時の流出特性の把握を行った。これらは犀川流域の降雨特性を評価するうえで重要な代表地点・代表流域であり、将来気候予測における降雨および洪水リスクを評価するための対象として位置付けた。

(2) 使用データ

気候変動による降雨特性の変化を評価するため、文部科学省の気候変動リスク情報創生プログラムにより整備されたアンサンブル気候予測データベース d4PDF (database for Policy Decision making for Future climate change) を用いた。d4PDFは、多数のアンサンブル計算により、現在気候および将来気候において発生し得る気象場を大量に再現した気候予測データであり、気候変動適応策の検討における科学的根拠資料として活用されている。

本検討では、d4PDFを力学的にダウンスケーリングした全国5kmメッシュアンサンブル気候予測データである「d4PDF_5kmDDS_JP」を使用した。d4PDF_5kmDDS_JPは、全球約60km格子の気候予測データをもとに、日本周辺を20km格子、さらに5km格子へと高解像度化したデータである。

解析データは、現在気候を再現した過去実験、全球平均気温が現在より2℃上昇した将来実験、4℃上昇した将来実験の3ケースで構成される。各ケースは12メンバーのアンサンブル計算結果からなり、1メンバーあたり61年分、合計で732年分の気象データを有する。このため、実際の観測記録では捉えにくい極端降雨事例を多数含んでおり、確率雨量の算定や大雨事例の抽出に適している。

なお、過去実験は実際の観測雨量そのものではなく、現在気候を再現した数値シミュレーションである。また、2℃上昇実験および4℃上昇実験に含まれる生起年は、将来の特定年に発生する降雨を予測したものではなく、各気候条件下で発生し得る気象場を統計的に評価するための仮想的な年である。

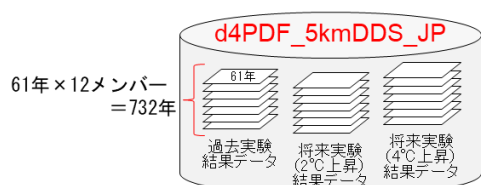


図-2 d4PDFデータイメージ図

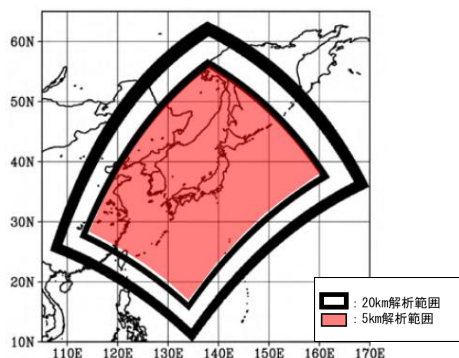


図-3 全国5kmメッシュアンサンブル気候予測データ解析範囲

(3) 解析方法

d4PDFの降雨データを用いて、過去実験、2℃上昇実験および4℃上昇実験における1時間雨量および2日間雨量の確率雨量を算定し、気候変動による降雨量の変化を評価した。また、小市、陸郷、島橋の各観測所および梓川、高瀬川の2流域を対象に、流量上位となる出水を抽出し、代表的な大雨事例を選定した。

抽出した大雨事例については、発生時期、降雨要因、台風経路、卓越風向および気象場の特徴を整理し、将来気候下における大雨発生特性を分析した。さらに、これらの結果を踏まえ、水害リスクの見える化と流域治水への活用について検討した。

3. 気候変動による確率雨量の変化

(1) 確率雨量の算定方法

気候変動による降雨量の変化を定量的に把握するため、d4PDF_5kmDDS_JPの過去実験、2℃上昇実験および4℃上昇実験を対象に、流域ごとの流域平均雨量を算定した。その後、各ケース732年分の年最大雨量を抽出し、水文統計解析により1/100確率規模の1時間雨量および2日間雨量を算定し、気候変動による降雨量の増加倍率を整理した。倍率は一般の方がわかりやすい市町村単位とし、当事務所管内で実施中の事業区間（大町地域）についてはさらに細分化した。

(2) 1時間雨量の変化

1/100確率規模の1時間雨量を比較した結果、将来気候において1時間雨量は増加する傾向が確認された。1時間雨量の最大値は、過去実験で83.2mm/hr、2℃上昇実験で89.1mm/hr、4℃上昇実験で106.1mm/hrとなった。また、最小値についても、過去実験で38.2mm/hr、2℃上昇実験で43.2mm/hr、4℃上昇実験で54.5mm/hrとなり、流域全体で増加傾向がみられた。

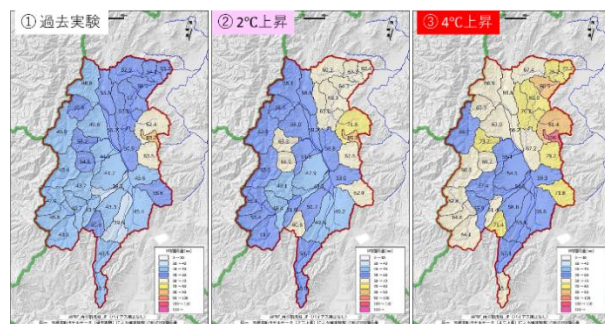


図-4 1/100確率規模の1時間雨量

変化倍率をみると、過去実験に対して2℃上昇実験では最大1.25倍、4℃上昇実験では最大1.46倍となった。

一方、最小変化倍率は2℃上昇実験で1.06倍、4℃上昇実験で1.20倍であり、増加の程度には地域差が確認された。特に、流域西側および北東部で変化倍率が大きくなる傾向がみられた。

この結果から、気候変動により短時間降雨の規模が増大し、局地的な強雨や急激な流出増加のリスクが高まる可能性が示された。

(3) 2日間雨量の変化

次に、洪水発生に大きく関係する2日間雨量について、1/100確率規模の雨量を比較した。2日間雨量についても、1時間雨量と同様に、将来気候において増加する傾向が確認された。

2日間雨量の最大値は、過去実験で404.9mm/2日、2℃上昇実験で469.8mm/2日、4℃上昇実験で524.9mm/2日となった。また、最小値についても、過去実験で232.6mm/2日、2℃上昇実験で272.6mm/2日、4℃上昇実験で300.4mm/2日となり、長時間降雨についても増加が確認された。

2日間雨量の変化倍率は、過去実験に対して2℃上昇実験で最大1.25倍、4℃上昇実験で最大1.46倍となった。また、最小変化倍率は2℃上昇実験で1.06倍、4℃上昇実験で1.20倍であった。1時間雨量に比べると地域差は小さいものの、流域全体として総雨量が増加する傾向が確認された。

このことから、気候変動により短時間強雨だけでなく、流域全体の洪水に影響する長時間降雨についても増加する可能性があると考えられる。

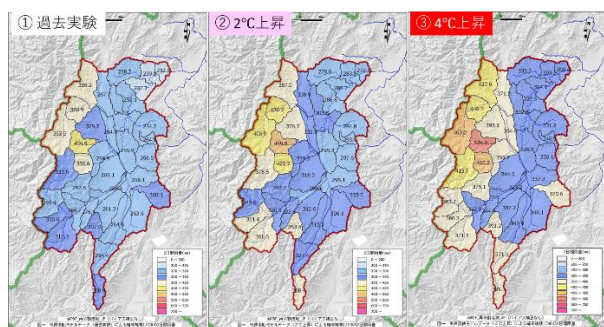


図-5 1/100確率規模の2日間雨量

(4) 小流域における降雨倍率の変化

さらに、不動沢、濁沢、黒沢川調節池流域を対象に、小流域における確率雨量の変化を整理した。1時間雨量については、4℃上昇実験において不動沢流域で73.6mm/hr、濁沢流域で68.8mm/hr、黒沢川流域で72.1mm/hrとなった。変化倍率は、不動沢流域で1.40倍、濁沢流域で1.29倍、黒沢川流域で1.34倍であり、小流域においても短時間雨量の増加が確認された。

2日間雨量については、4℃上昇実験において不動沢流域で454.9mm/2日、濁沢流域で451.3mm/2日、黒沢川流域で330.3mm/2日となった。変化倍率は、濁沢流域で1.32

倍、不動沢流域で1.30倍、黒沢川流域で1.26倍であった。

これらの結果から、流域全体の洪水リスクに加え、支川や小流域における急激な出水リスクにも留意する必要があることが示された。特に、短時間雨量の増加は小規模流域の流出応答に大きく影響する可能性があり、今後の流域治水においても重要な視点となる。

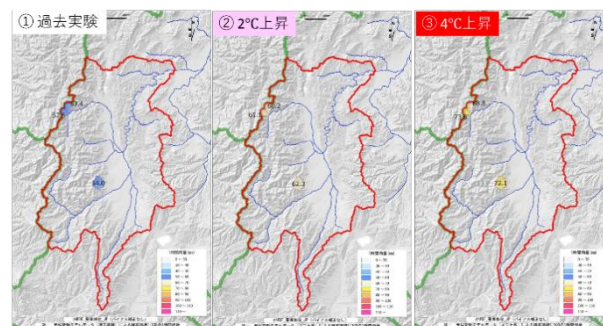


図-6 不動沢、濁沢、黒沢川調節池の1時間雨量変化倍率

4. 将来気候における大雨事例分析

(1) 大雨事例の抽出と発生要因

2℃上昇実験および4℃上昇実験では、小市、陸郷、島橋の各観測所および梓川、高瀬川の2流域における流量上位事例を対象に、季節の偏りや2日間雨量を考慮して、それぞれ代表的な11降雨を選定した。

2℃上昇実験では、選定11降雨のうち低気圧によるものが5事例で45.5%、台風によるものが4事例で36.4%、前線によるものが2事例で18.3%であった。発生時期は6月下旬から9月上旬に分布しており、特に8月下旬から9月上旬にかけて流量上位の大雨が多く確認された。

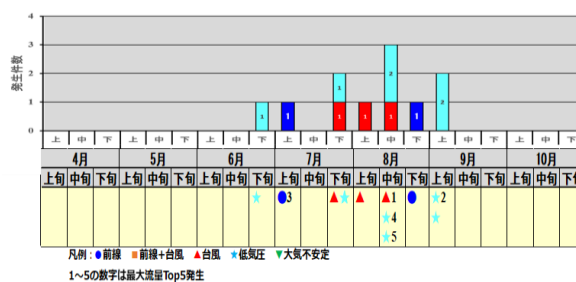


図-7 「2℃上昇」の選定11降雨の旬別発生頻度

一方、4℃上昇実験では、台風によるものが6事例で54.5%と最も多く、前線+台風および前線によるものが各2事例で18.2%、低気圧によるものが1事例で9.1%であった。発生時期は7月下旬から10月下旬に分布しており、秋台風期に加え、7月の梅雨期にも大雨事例が確認された。

これらの結果から、将来気候においても台風は重要な大雨要因であるが、2℃上昇時には低気圧起因の大雨も多く確認され、気温上昇条件により極端降雨をもたらす気象要因の構成が変化する可能性が示された。

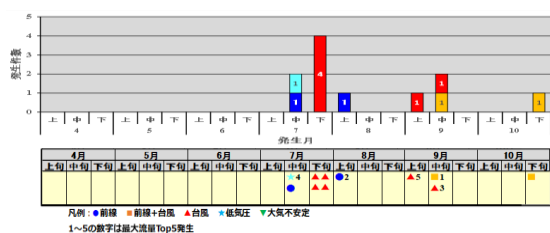


図-8 「4℃上昇」の選定11降雨の旬別発生頻度

(2) 大雨をもたらす気象場の特徴

選定した大雨事例について、台風経路、低気圧位置および前線位置を整理した。2℃上昇実験では、流域西側を北進する台風経路、流域南側を北東進する経路、西南西-東北東走向の前線性降雨、低気圧性降雨など、複数の大雨パターンが確認された。図-9には、2℃上昇実験の選定11降雨のうち、これらの特徴を代表する4事例を抜粋して示す。

図-9より、2℃上昇実験では台風性降雨だけでなく、前線性降雨や低気圧性降雨によっても大雨が発生し得ることが分かる。特に、台風や低気圧の位置関係により、南から南東方向の暖湿気が流域へ流入する場合、犀川流域周辺の山岳地形によって降雨が強化される可能性がある。このため、将来気候における水害リスク評価では、雨量の増加だけでなく、台風経路、前線走向、低気圧の位置および暖湿気の流入方向にも着目する必要がある。

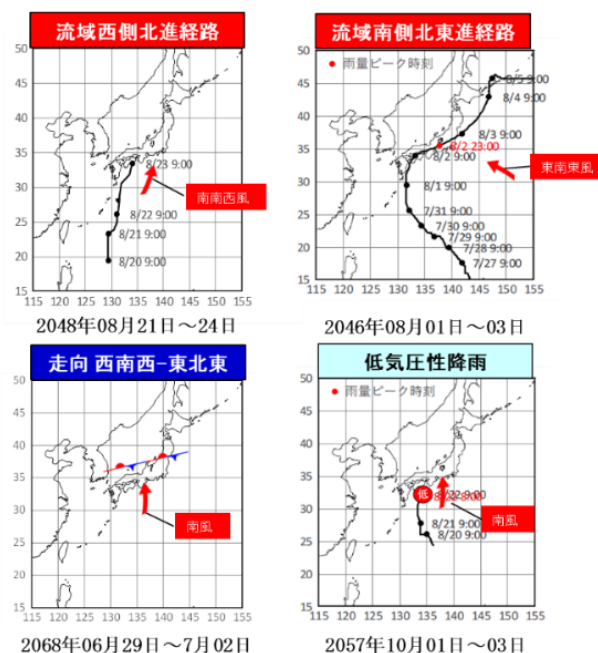


図-9 2℃上昇実験における代表的な大雨発生パターン

4℃上昇実験では、台風による大雨が多く確認された一方で、前線性降雨や低気圧性降雨の事例も含まれていた。図-10には、4℃上昇実験の選定11降雨のうち、西南西-東北東走向の前線性降雨、低気圧性降雨、流域南側を北東進する台風経路、流域南側を東進する台風経路の4事例を抜粋して示す。

図-10より、4℃上昇実験では台風を主因とする大雨に加え、前線や低気圧が関与する大雨も確認された。また、台風性降雨では、流域の南側を進む経路や南側から北東進する経路に伴い、南から南東方向の暖湿気が流域へ流入する特徴がみられた。このため、将来気候における水害リスク評価では、雨量の増加だけでなく、台風経路、前線走向、低気圧の位置および暖湿気の流入方向にも着目する必要がある。

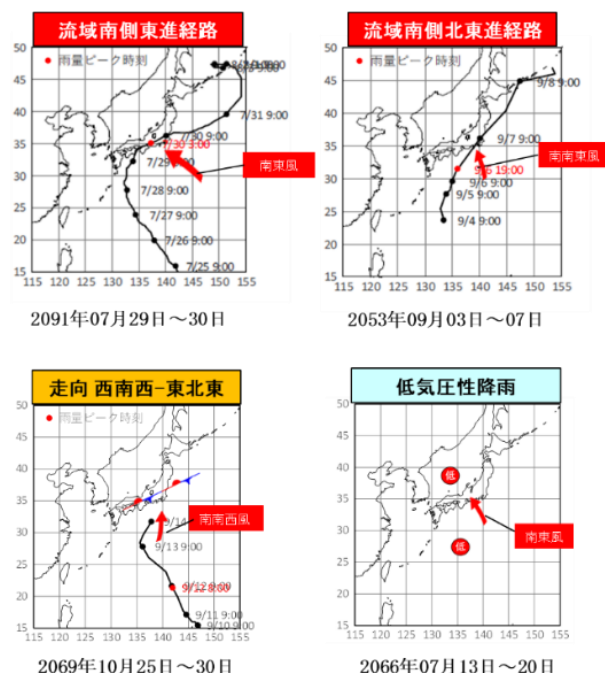


図-10 4℃上昇実験における代表的な大雨発生パターン

これらの事例に共通する特徴として、南から南東方向の暖湿気流入が挙げられる。特に、暖かく湿った空気が犀川流域周辺の山岳地形に流入する場合、地形性降雨により降雨が強化される可能性が高い。このため、将来気候における水害リスク評価では、雨量の増加だけでなく、台風経路や暖湿気の流入方向にも着目する必要がある。

5. 水害リスクの見える化と流域治水への活用

(1) 解析結果の見える化

本検討では、1/100確率規模の1時間雨量および2日間雨量について、過去実験、2℃上昇実験、4℃上昇実験を比較し、気候変動による降雨量の変化倍率を定量的に示した。また、将来気候下における大雨事例の発生要因や台風経路、暖湿気の流入方向について整理した。

特に、1時間雨量や2日間雨量の変化倍率を図化することで、「どの地域で雨量が増加しやすいか」を把握しやすくなる。また、台風経路や前線走向、暖湿気の流入方向を整理することで、「どのような気象条件で大雨となりやすいか」を確認するための情報となる。

(2) 流域治水への活用

気候変動により水災害の激甚化・頻発化が懸念されるなか、河川整備やダム整備などの河川区域内の対策だけでなく、集水域から氾濫域までを一体として捉え、あらゆる関係者が協働して水災害対策を進める「流域治水」の考え方が重要となっている。流域治水では、氾濫をできるだけ防ぎ、または減らすための対策に加え、被害対象の減少、被害の軽減、早期復旧・復興に向けた対策を、ハード・ソフト一体で多層的に進めることが求められる。

本検討で整理した降雨倍率や大雨パターンは、流域治水におけるリスク共有の基礎資料として活用できる。例えば、4℃上昇実験では1時間雨量の変化倍率が最大1.46倍、2日間雨量の最大値が524.9mm/2日に達するなど、将来の降雨規模が現在より大きくなる可能性が確認された。このような具体的な数値を示すことで、気候変動による水害リスクの増大をより明確に伝えることができる。

また、台風経路や前線走向、暖湿気流入の特徴は、台風接近時や前線停滞時に注意すべき気象条件を把握するための情報となる。これらの情報は、河川管理者による防災体制の早期確立や情報収集の着眼点となるだけでなく、流域住民が自らの地域における水害リスクを認識するための材料となる。

流域治水を推進するためには、河川管理者による対策だけでなく、雨水貯留・浸透施設の整備、土地利用や住まい方の工夫、避難体制の強化など、流域内の多様な主体による取組が必要である。

千曲川河川事務所では、住民が自らの水害リスクを確認し、避難行動を時系列で整理する取組として、マイ・タイムライン作成講習会を実施している。本検討で整理した将来の降雨量増加や注意すべき気象条件は、こうした取組と組み合わせることで、気候変動を踏まえた水害リスクの理解促進に活用できると考えられる。



図-11 住民向けマイ・タイムライン講習会の様子

6. まとめ

本検討では、気候変動に伴う降雨特性の変化を把握し、流域治水の推進に資する水害リスクの見える化を目的として、犀川流域を対象にd4PDF_5kmDDS_JPを用いた解析を行った。過去実験、2℃上昇実験および4℃上昇実験を対象に、1/100確率規模の確率雨量の算定、大雨事例の抽出、発生要因の整理および気象場の特徴分析を実施した。

確率雨量の比較を行った結果、1/100確率規模の1時間雨量が4℃上昇実験で最大106.1mm/hr、過去実験比で最大1.46倍となった。また、2日間雨量の最大値は4℃上昇実験で524.9mm/2日となり、短時間雨量および長時間降雨の双方で増加傾向が確認された。

大雨事例分析の結果では、2℃上昇実験では低気圧による事例が45.5%、台風による事例が36.4%を占め、4℃上昇実験では台風による事例が54.5%と最も多くなった。また、将来気候においても、南から南東方向の暖湿気流入が大雨発生時の重要な特徴として確認された。

以上より、気候変動下では犀川流域における水害リスクが増大する可能性が示された。これらの解析結果を、洪水ハザードマップやマイ・タイムライン等と連携させながら分かりやすく情報提供することで、住民や関係機関のリスク理解促進と、流域治水の自分事化につなげていくことが重要である。

謝辞：本稿の執筆に当たり、ご協力をいただいた関係者の皆様に心より感謝申し上げます。