



気候変動により北海道の今世紀末の降水量が顕著に増加

～極端降水量が約 1.4 倍になり氾濫被害が顕著に増加することをスーパーコンピュータで予測～

ポイント

- ・スーパーコンピュータを用いた膨大な演算により、将来の極端降水量の増加量を予測。
- ・将来の極端降水量は約 1.4 倍となり、河川洪水流量と洪水氾濫による被害が顕著に増加。
- ・極端降水量や河川流量、氾濫被害の将来予測は、気候変動を踏まえた治水対策に大きく貢献。

概要

北海道大学大学院工学研究院の山田朋人准教授らの研究グループは、国立研究開発法人海洋研究開発機構、気象庁気象研究所、国土交通省北海道開発局、北海道と連携し、海洋地球科学分野などで利用されてきた海洋研究開発機構のスーパーコンピュータ「地球シミュレータ*1」を用い、将来の極端降水量が顕著に増加することを明らかにしました。計算に当たっては、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*2 を基に、気象庁気象研究所の地域気候モデルによって水平解像度 5km の高解像度大規模アンサンブル計算*3 を実施しました。

併せて、平成 28 年 8 月に記録的な大雨で大きな被害を受けた北海道十勝川及び常呂川で将来の極端降水量増加の影響を試算するとともに、河川洪水流量と洪水氾濫による被害が増加することを示しました。

なお、本解析は平成 29 年度地球シミュレータ特別推進課題のもとに行われたものであり、北海道地方における気候変動予測（水分野）技術検討委員会による最終とりまとめ資料として 2018 年 4 月 19 日に公開されました。また、本研究成果は 2018 年 11 月 1 日（木）に土木学会論文集 B1（水工学）に掲載されました。

【背景】

気候変動に関する政府間パネル IPCC 第 5 次報告書では、世界平均地上気温が上昇するにつれて、中緯度の陸域のほとんどと湿潤な熱帯域において、今世紀末までに極端な降水がより強く、より頻繁となる可能性が非常に高いとされています。そのような中、平成 28 年 8 月、北海道に観測史上初めて 3 個の台風が上陸、1 個の台風が接近し、記録的な大雨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 河川で氾濫が発生するなど、甚大な被害が発生しました。これを受けて、国土交通省北海道開発局と北海道は共同で「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」を設置し、平成 29 年 3 月、同委員会のとりまとめにおいて、「特に、日本の中でも降雨量が少なかった北海道においては、過去の降雨や水害等の記録だけではなく、気候変動による将来の影響を予測・評価し、具体的なリスク評価をもとに、治水対策を講じるべきである。」としました。

さらに、同委員会を踏まえ、国土交通省北海道開発局と北海道によって平成 29 年 6 月に設置された「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」では、北海道地方における気候変動影響のリスク（降雨量、洪水流量の変化）について、最新の知見に基づいた科学的予測が行われました。

【研究手法】

これまでの研究において、モデルによるシミュレーションが実際の降雨（実績降雨）を再現できるようにするには 5km 程度の水平解像度が必要だと指摘されています。このため、d4PDF に収録されている水平解像度 20km の地域気候モデルによる計算（以下、20km 領域実験という）結果を基に、水平解像度 5km の大規模アンサンブル計算を実施しました*4。

なお、20km 領域実験は、水平解像度約 60km の全球大気モデルによる計算結果をダウンスケーリングしたものです（図 1）。60km 全球大気モデル及び 20km、5km の地域気候モデルはいずれも気象庁気象研究所で開発されたモデルを用いています。また、過去実験については 3000 年分（=60 年（1951 年～2010 年）×50 アンサンブルメンバ）、将来実験については最も気温が上昇するシナリオ（RCP8.5）の 21 世紀末を想定（産業革命以前から 4℃上昇）した 5400 年分（=60 年×90 アンサンブルメンバ）の計算結果があります。ここで行った 5km ダウンスケーリング実験は、年最大雨量が計算された事例を対象としています。

平成 28 年 8 月北海道大雨激甚災害で大きな被害を受けた十勝川・常呂川流域を対象に大規模アンサンブル計算結果から流域平均年最大雨量を算出し、ピアニの方法を用いてバイアス補正*5し、将来の降雨量の変化を整理しました。

これまで、防災（水）の分野では過去の実績降雨を基に、起こり得る極端降水量を推定していました。しかし、この方法では気候変動後の極端降水量を予測することができないため、気候シミュレーションによる高解像度大規模アンサンブル計算が必要となります。このような計算は膨大な計算資源が必要となるため、スーパーコンピュータ「地球シミュレータ」の使用によって、初めて可能となるものです。

【研究成果】

高解像度大規模アンサンブル計算の結果、水平解像度 20km では不明瞭だった日高山脈周辺の降雨分布が明瞭になり、山地の影響等を受けて降雨が変化することがわかりました（図 2）。さらに、解析雨量との比較によって、短時間豪雨の再現性の向上を確認しました（図 3）。

十勝川帯広基準地点では、流域平均 72 時間年最大雨量を対象にバイアス補正を実施した結果、過去実験における年最大雨量の累積度数が観測実績に概ね一致していることを確認しました。過去実験と比べ将来実験では超過確率 1/150 相当*6（毎年、1 年間にその規模を超える大雨が発生する確率が 1/150）の降雨量は 1.38 倍に増加することがわかりました（図 4）。常呂川北見基準地点でも同様に、流域平均 24 時間年最大雨量を対象にバイアス補正を実施した結果、過去実験における年最大雨量の累積度数が観測実績に概ね一致していること、過去実験と比べ将来実験では超過確率 1/100 相当（毎年、1 年間にその規模を超える大雨が発生する確率が 1/100）の降雨量は 1.42 倍に増加することがわかりました。また、1 時間あたりの強い雨の頻度も増加することがわかりました（図 5）。

過去と将来の降雨分布の大規模アンサンブル計算結果を基に、分布型の流出計算モデル*7を用いて河川の洪水流量を算出しました。さらに過去と将来の計算降雨の分析結果と流出計算結果から、ピーク流量や流域平均雨量が大きいケースを選定し、氾濫計算を行いました（図 6）。将来実験の中で流域の総降雨量が最大となるケースでは、浸水面積 28,200ha、浸水深は川沿いの多くの区間で 5m を超える結果となりました（図 7）。

その他のケースの平均値でも、十勝川流域では、浸水面積が 4 割、浸水家屋数が 2 割増加し、常呂川流域では、浸水面積が 3 割、浸水家屋数が 4 割増加することがわかりました。想定死者数は従来の LIFESim 手法*8と、氾濫流速や水位上昇速度を考慮したオランダの手法*9を用いて算出し、いずれの

手法でも将来の死者数は約6~13倍増加し、浸水深が大きくなる影響で人的被害が著しく増加することがわかりました（表1）。

【今後への期待】

本解析では十勝川流域・常呂川流域を対象として気候変動による将来の降雨、流量、氾濫被害の変化を明らかにしました。このような気候変動後の極端降水量や河川流量、氾濫被害の増加の予測は、気候変動適応策の検討に大いに貢献するものと考えられます。今後は、他の河川流域への影響や、気候変動の影響が顕著になることが懸念される中小河川や山間部における影響の現れ方について分析を進めるとともに、今回実施した高解像度大規模アンサンブル計算に基づく詳細な降雨データを用い、将来の洪水リスクの変化を定量的に予測する検討を進めることが重要です。

文献情報

論文名	大量アンサンブル気候予測データを用いた大雨の時空間特性とその将来変化の分析
著者名	星野 剛 ¹ 、山田朋人 ¹ 、稲津 将 ² 、佐藤友徳 ³ 、川瀬宏明 ⁴ 、杉本志織 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 気象庁気象研究所、 ⁵ 海洋研究開発機構）
雑誌名	土木学会論文集 B1（水工学）（水理学・水文学の専門誌）
公表日	日本時間 2018 年 11 月 1 日（木）
論文名	北海道における気候変動に伴う洪水外力の変化
著者名	山田朋人 ¹ 、星野 剛 ¹ 、舩屋繁和 ² 、植村郁彦 ² 、吉田隆年 ² 、大村宣明 ² 、山本太郎 ³ 、千葉学 ³ 、戸村 翔 ³ 、時岡真治 ⁴ 、佐々木博文 ⁴ 、濱田悠貴 ⁴ 、中津川誠 ⁵ （ ¹ 北海道大学大学院工学研究院、 ² 株式会社ドーコン 水工事業本部 河川部、 ³ 一般財団法人北海道河川財団 企画部、 ⁴ 国土交通省北海道開発局 建設部、 ⁵ 室蘭工業大学大学院）
雑誌名	土木学会河川技術論文集（河川の計画・維持管理の専門誌）
公表日	2018 年 6 月
加えて、本成果は以下の資料に詳細が記載されています。	
文献名	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:技術検討委員会【最終とりまとめ資料】（詳細）
URL	https://www.hkd.mlit.go.jp/ky/kn/kawa_kei/splaat000000vdyw-att/splaat0000019r1f.pdf

お問い合わせ先

北海道大学大学院工学研究院 准教授 山田朋人（やまだともひと）
TEL 011-706-6188 FAX 011-706-6188
メール tomohito@eng.hokudai.ac.jp

北海道大学大学院工学研究院 博士研究員 星野 剛（ほしのつよし）
TEL 011-706-6188 FAX 011-706-6188
メール hoshino@eng.hokudai.ac.jp

国土交通省北海道開発局建設部河川計画課 河川調整推進官 岡部博一（おかべひろかず）
TEL 011-709-2311（内線 5327） FAX 011-709-2144
メール okabe-h29n@mlit.go.jp

国土交通省北海道開発局建設部河川計画課 企画係長 佐々木博文 (ささきひろふみ)

T E L 011-709-2311 (内線 5327) F A X 011-709-2144

メール sasaki-h22ap@mlit.go.jp

気象庁気象研究所環境・応用気象研究部 主任研究官 川瀬宏明 (かわせひろあき)

T E L 029-853-8620 F A X 029-855-7240

メール hkawase@mri-jma.go.jp

配信元

北海道大学総務企画部広報課 (〒060-0808 札幌市北区北8条西5丁目)

T E L 011-706-2610 F A X 011-706-2092 メール kouhou@jimu.hokudai.ac.jp

【参考図】

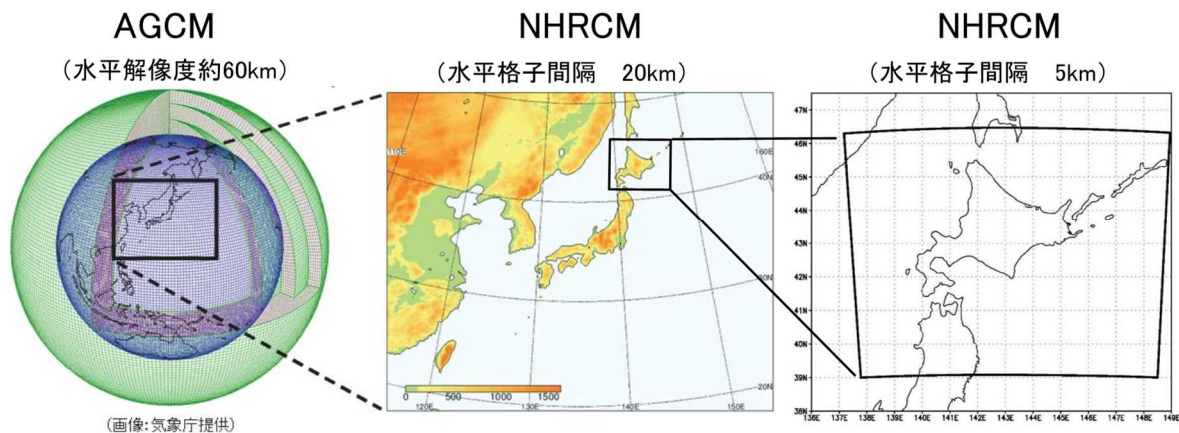


図1：水平解像度5kmへの力学的ダウンスケーリング (d4PDF利用の手引き(2015)を基に作成)

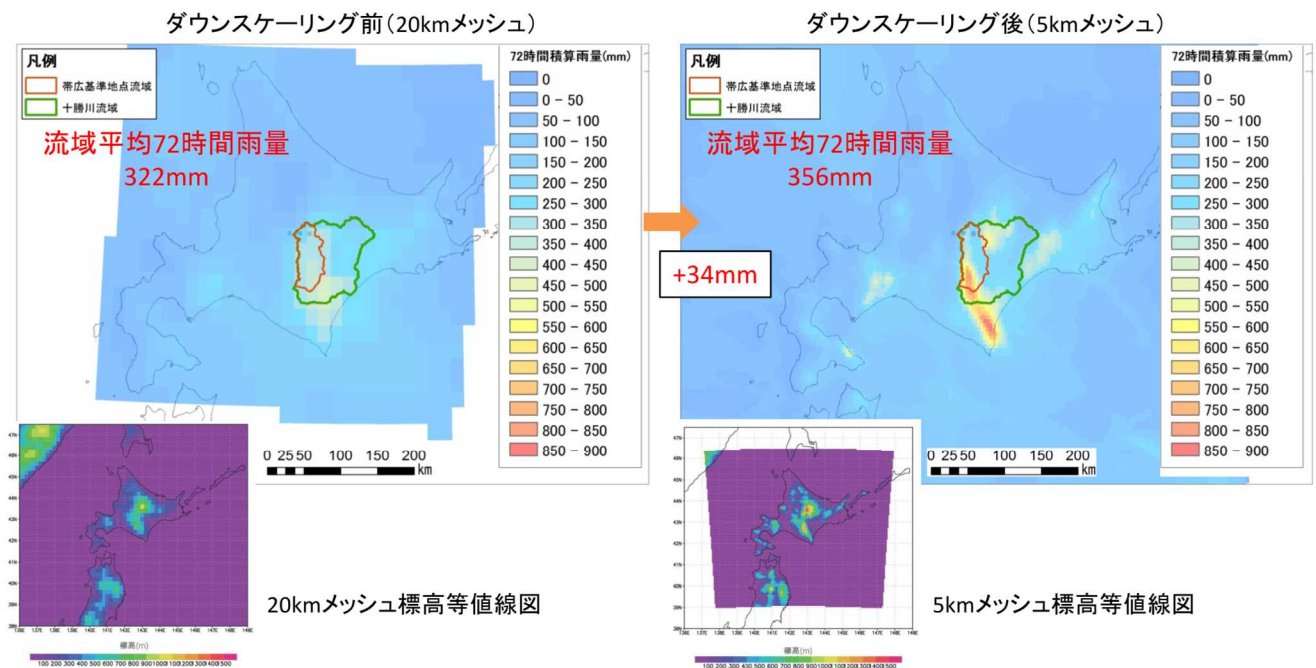


図2：ダウンスケーリング前後での降雨量・降雨分布の変化 (十勝川流域でのある大雨事例での比較)

ダウンスケーリング後の降雨分布は、ダウンスケーリング前と比較して降雨分布が明瞭になったほか、日高山脈の影響を強く受けたことにより十勝川流域の降雨量が増加したと考えられる。

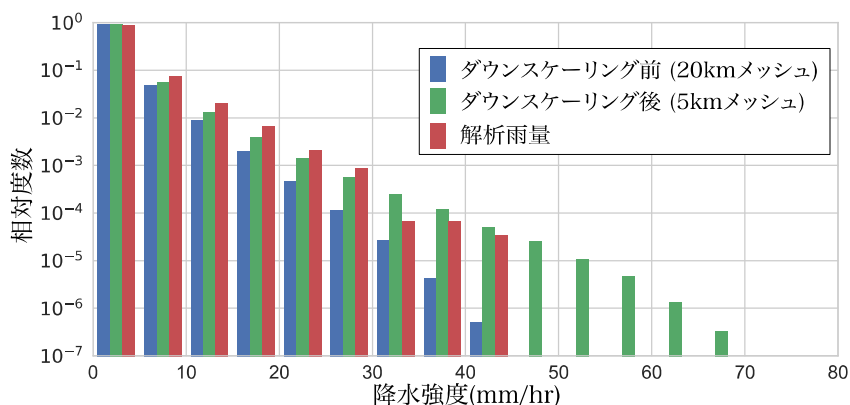


図 3：モデル解像度による時間降水強度の再現性（十勝川流域）

流域内の降水の強度別の頻度分布を作成（値が大きいほど高頻度）。ダウンスケール前（青）と比べてダウンスケール後（緑）の降水強度の頻度は、観測された降水強度である解析雨量（赤）とよく一致しており、d4PDF(20×20km)を5kmにダウンスケールすることにより、強い短時間雨量の再現性が高まったことがわかる。この傾向は、特に降水強度が高いほど顕著である。なお、解析雨量は2006年から2016年までの11年分のデータを使用したため、サンプル数が少なく50mm/hrを上回る降雨強度が現れなかった。

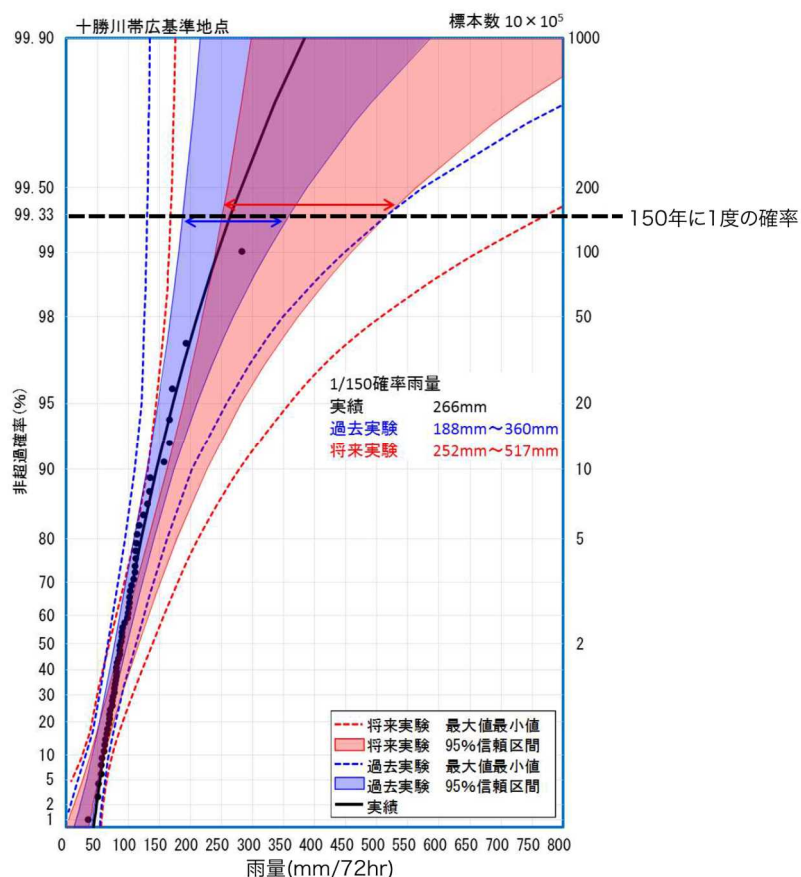


図 4：過去実験及び将来実験の確率雨量（十勝川流域）

大規模アンサンブル計算により、信頼区間が算出可能となった。十勝川帯広基準地点において超過確率 1/150 相当の降雨量は 1.38 倍に増加。同様に、図は省略しているが、常呂川北見基準地点において超過確率 1/100 相当の降雨量は 1.42 倍に増加。

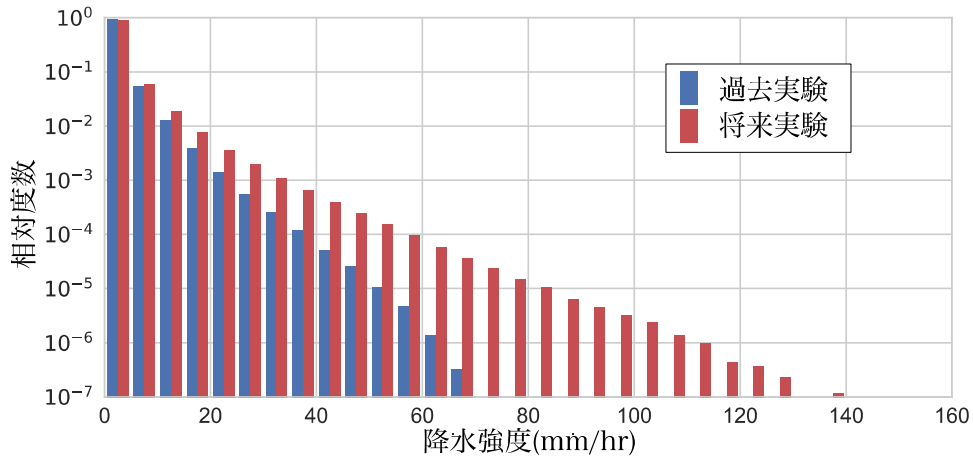


図 5：過去実験及び将来実験の時間降水強度（十勝川流域）

短時間強雨の頻度は増加している。例えば、青グラフでは降水強度が 50mm/hr の頻度は 10^{-5} 程度だが、赤グラフでは 10^{-5} 程度の頻度の降水強度は 80mm/hr 程度となっており、これは過去における「1 時間に 50mm の雨」と同じくらいの頻度で、将来は「1 時間に 80mm の雨」が降ることを示している。

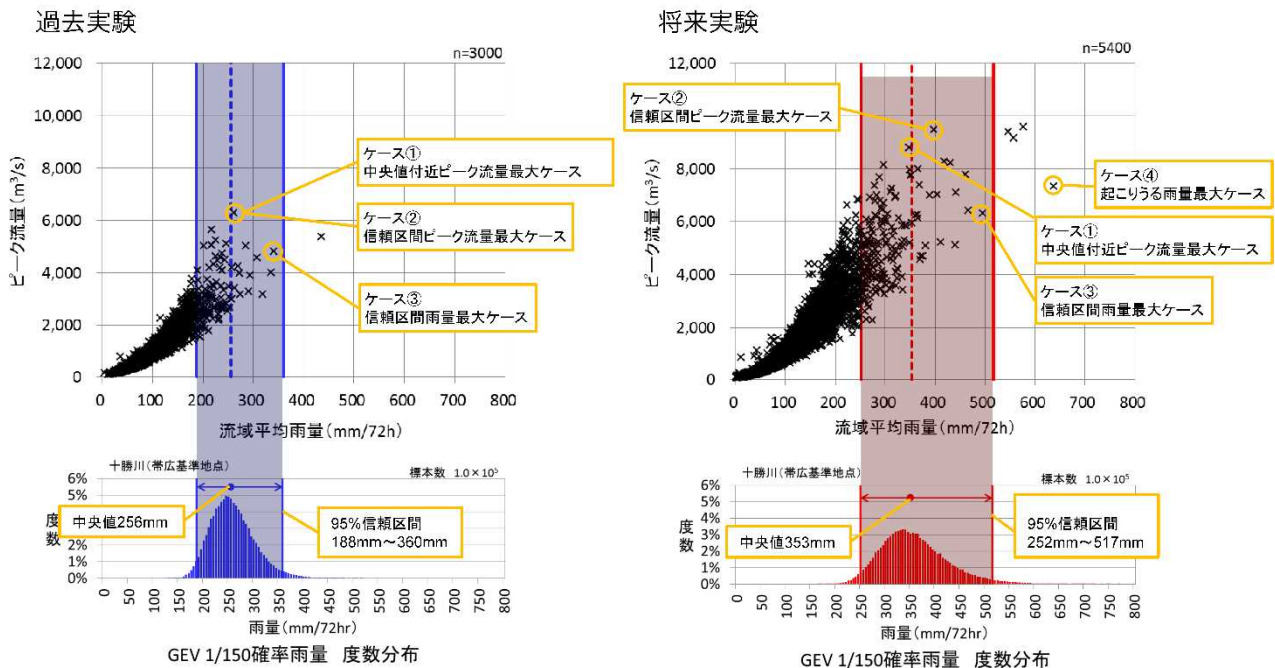


図 6：十勝川帯広基準地点におけるリスク評価に用いる降雨イベントの設定

リスク評価に用いる降雨イベントとして、十勝川帯広基準地点における超過確率 1/150 相当の降雨量のとりうる範囲のうち、①中央値付近のピーク流量最大ケース、②95%信頼区間内のピーク流量最大ケース、③95%信頼区間内の流域平均 72 時間雨量最大ケースを抽出した。なお、将来実験については、将来発生しうる最悪の事態を想定するため、④5400 ケースの中から流域平均 72 時間雨量が最大となるケースを抽出した。

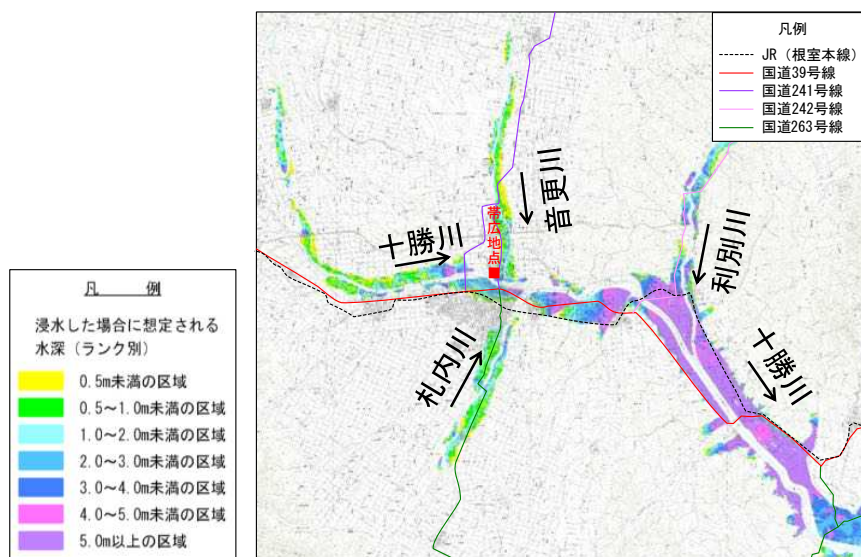


図 7：十勝川流域における将来実験の氾濫計算結果の一例

図 6 における④（雨量が最大となるケース）におけるシミュレーションの結果。浸水面積は 28,200ha に及ぶ。図中の多くを占める紫部分は、5m 以上浸水することが予想されるエリア。

リスク評価項目	十勝川流域			常呂川流域		
	過去実験	将来実験	変化	過去実験	将来実験	変化
浸水面積 (ha)	14,100	19,500	1.4倍	6,700	8,400	1.3倍
農地被害面積 (ha)	11,500	15,900	1.4倍	5,200	6,300	1.2倍
浸水家屋数 (戸)	25,600	29,500	1.2倍	10,400	14,500	1.4倍
浸水要配慮者施設数 (箇所)	40	65	1.6倍	13	21	1.6倍
浸水人口 (人)	53,400	60,800	1.1倍	22,900	31,000	1.4倍
想定死者数 (人)	160	370	2.3倍	30	200	6.7倍
最大孤立者数 (人)	23,700	31,800	1.3倍	6,000	11,500	1.9倍

想定死者数の算出手法	帯広市街地			北見市街地		
	過去実験	将来実験	変化	過去実験	将来実験	変化
オランダ手法	78	462	5.9倍	12	130	10.8倍
LIFESim	6	75	12.5倍	4	47	11.8倍

表 1：リスク評価の結果（上：各項目の被害数量の変化，下：想定死者数の変化）

被害数量は避難率 40%，想定死者数は避難率 0% の場合。いずれも図 6 におけるケース①～③の平均値。上の表の想定死者数は LIFESim 手法により算出した結果。

【用語解説】

*1 地球シミュレータ … 海洋研究開発機構 (JAMSTEC) が所有する、地球温暖化予測や地球内部変動等の様々な研究に利用されているスーパーコンピュータ。2002 年から運用が開始され、2015 年から第 3 世代が稼働開始、従来よりもさらに複雑なパラメータを扱い、大規模なシミュレーションを高速実行できるようになった。

- *2 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) … 地球温暖化の影響評価と適応策の策定のため、気候変動予測とそれに伴う不確実性の定量評価を目的として作成された高解像度大規模データベース。文部科学省・気候変動リスク情報創生プログラム及び海洋研究開発機構・地球シミュレータ特別推進課題において作成された。水平解像度約 60km の高解像度全球大気モデル (全球実験) と水平解像度 20km の地域気候モデル (領域実験) の結果で構成される。過去気候再現実験 (過去実験) は 1951 年から 2010 年, 将来気候予測実験 (将来実験) は RCP8.5 シナリオの 21 世紀末 (地球の平均気温が産業革命以降 4°C 上昇した状態) を想定している。全球大気モデルの過去実験で用いる海面水温は, 観測された海面水温に観測誤差に基づく微小量 (摂動と呼ぶ) を加えた異なる 100 ケースの海面水温のデータを作成し, 100 アンサンブルメンバ (個々のケースのこと。*3 参照) の計算を行った。領域実験は半分の 50 アンサンブルメンバの計算を行っている。将来実験では, 過去実験で用いた海面水温に, 国内外の異なる大気海洋結合モデルで計算された 6 つの特徴的な海面水温の将来変化分を加算し, さらに 15 種類の摂動を加えることで, 計 90 アンサンブルメンバの計算を行った。実験設定の詳細は d4PDF の WEB ページ (<http://www.miroc-gcm.jp/~pub/d4PDF/>) を参照されたい。
- *3 大規模アンサンブル計算 … 気象予測などで行われる計算手法で, 数値計算には誤差があるものと仮定し, 初期値などの計算条件をわずかに変えるなどして計算を複数行うこと。アンサンブル計算を構成している個々のケースをアンサンブルメンバという。
- *4 d4PDF の水平解像度 20km の実験から気象庁気象研究所の地域気候モデルを用いて水平解像度 5km へダウンスケーリングするシステムを用いて, 高解像度大規模アンサンブル計算を実施した。このシステムは, 文部科学省気候変動適応技術社会実装プログラム (SI-CAT) の支援を得て構築した。
- *5 ピアニの方法, バイアス補正 … バイアス補正とは, 数値計算モデルに起因する一定の誤差であるバイアス (系統誤差) を補正すること。ピアニの方法 (Piani ら, 2010) では, 気象モデルの計算値と実績値 (観測値) の関係を最小二乗法により近似直線で表して補正する。
- *6 (年) 超過確率 … 各年の降雨量などを統計的に処理し, ある値を超過する可能性を年確率で示したもの。例えば超過確率 1/100 は, 毎年, 1 年間にその規模を超える大雨が発生する確率が 1/100 (1%) であることを示す。
- *7 分布型の流出計算モデル … 流域を細かくメッシュ状に分け, メッシュごとに細かく降雨流出モデルの計算を行って, 河川への流出量を算出する計算手法。レーダー雨量など細かな雨量情報を有効に使える。本検討においては, 北海道の直轄河川の流出計算で実績がある 2 段タンク型貯留関数モデルを用いた。
- *8 LIFEsim 手法 … 水害の被害の推定のために米国で開発された死者数算定プログラムのこと。「水害の被害指標分析の手引 (H25 試行版) 国土交通省水管理・国土保全局 (平成 25 年 7 月)」に適用方法が示されている。
- *9 オランダの手法 … オランダでは, Floris プロジェクトに代表される洪水リスク評価の取り組みにおいて, 氾濫流が持つ流体力や水位上昇速度を考慮した死者数の推定法 (Jonkman, 2007) を用いている。流体力や水位上昇速度の大きさによって氾濫域を領域区分し, 各領域の死者数を各国の水害事例から算定した水深-死亡率カーブを用いて推定する手法である。