令和元年東日本台風による千曲川洪水氾濫に対する気候変動影響評価

東京理科大学大学院　学生会員　○太田皓陽，伊藤毅彦
東京理科大学　正会員　二瓶泰雄
気象庁気象研究所　非会員　川瀬宏明
京都大学防災研究所　正会員　佐山敬洋，中北英一

１．はじめに

日本では，平成 29 年九州北部豪雨，平成 30 年西日本豪雨，令和元年東日本台風，令和 2 年 7 月豪雨などの大雨により，甚大な洪水被害が頻繁に発生している．その中で，令和元年東日本台風は 71 河川 142 か所の堤防決壊，80km^2 を超える広い浸水域により，死者と行方不明者を多く出すなど，甚大な洪水被害を引き起こした．豪雨災害の甚大化・頻発化は，気候変動が要因として挙げられており，Kawase et al.[1)]は気候変動により令和元年東日本台風の総降水量が 10.9%増加したことを示した．現在までに発生した豪雨・台風災害に対する気候変動の影響評価に関する研究はこれまで多く実施されつつあるものの，降雨や河川流量への影響評価が一般的であり，河川洪水氾濫まで着目した研究事例は非常に乏しい．本研究は，令和元年東日本台風を対象とした Event Attribution（EA）として，気象・流出・河川流・氾濫解析に基づいて， 今次台風による千曲川洪水氾濫における河川流量，水位，氾濫水量に対する気候変動影響を評価することを目的とする．ここでは，今次台風の現況再現解析と非温暖化数値実験を行い， 両解析の差から現況 再現結果に対する気候変動の影響評価を行う．

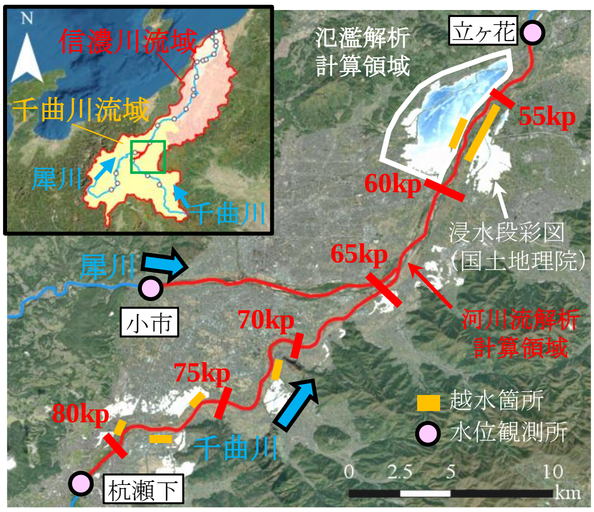
２．研究方法

(1) 令和元年東日本台風の概要： 今次台風は 2019/10/12 19 時に非常に強い勢力で伊豆半島に上陸し，関東地方を通過し，関東甲信地方・東北地方の 1 都 12 県に大雨特別警報が発表された．千曲川流域でも大雨となる．本川では越水・溢水が 11 箇所，決壊が 1 箇所にて生じた（**図−1**）．決壊地点は57.5kp 左岸であり，決壊幅は約 70m であった．このエリアでは，浸水面積は約 9.5km^2，新幹線車両基地も浸水し， 2 名の犠牲者が発生した．

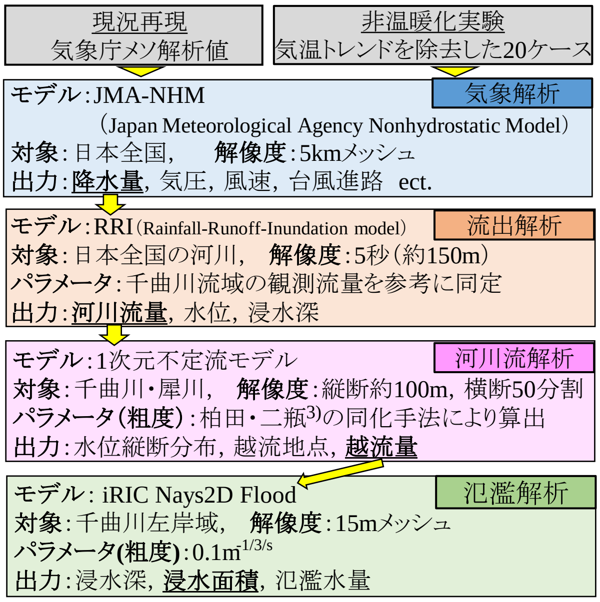
(2) 解析方法： 本研究の EA では，**図−2** に示すように，現況再現条件（今次台風）と非温暖化条件を対象として，一連の解析を実施する．気象解析では，Japan Meteorological Agency Nonhydrostatic Model (JMA-NHM)及び気象庁メソ解析値を用い，日本全国をカバーする解析とした（解像度 5km）．現況再現条件では解析期間は 2019/10/9 9:00-10/14 9:00 の 1 ケースとした．非温暖化条件では，気象庁メソ解析値から 1980 年以降の気温上昇量を 5 パターンの月平均気温トレンドで除去し，不確実性を考慮するため 3 時間毎に初期計算開始時間を遅らせた 4 パターン，全 20 ケースの解析を行う [1)]．

流出解析では，気象解析により得られた降水量を入力し，分布型流出モデル Rainfall-Runoff-Inundation（RRI）モデル [2)] を用い河川流量等を算出した．中小河川を含む日本全国の河川を対象とし（解像度：約 150m），本論文では千曲川流域の観測流量を参考にパラメータを同定した．解析期間は 2019/10/11 9:00-10/14 9:00 とした．

河川流解析は，流出解析による河川流量を入力条件とし，一次元不定流モデルを用い河川水位と越流量（本間の越流公式）等を算出した．解析区間は，57.5kp の堤防決壊地点を含む千曲川・杭瀬下（83kp）～立ヶ花（52kp）観測所と，その間に合流する犀川（小市観測所千曲川合流点）とした（格子間隔：約 100m）．なお，本解析では全ケースで堤防決壊は考慮しない．また，粗度係数は



図−1　研究対象サイトと今次台風時の氾濫状況



図−2 本研究の各解析フロー

キーワード：東日本台風，気候変動影響評価，イベントアトリビューション，非温暖化実験， 千曲川
連絡先：〒278-8510　千葉県野田市山崎 2641　東京理科大学 5 号館 3 階水理研究室　TEL：04-7124-1501（内線 4069）

© Japan Society of Civil Engineers

痕跡水位（国交省）を同化する手法で算出した 3)．

氾濫解析では，河川流解析で得られた 57.5kp 付近における越流量を与え，平面二次元解析モデル（iRIC Nays 2DFlood）を用いた．格子幅は15mであり，その地形データは5mDEMより作成した．粗度係数は一律で$0.1m^{-1/3}s$とした．解析期間は2019/10/12 0:00~10/14 0:00とした．

３．実験結果と考察

(1) 水位縦断分布及び越流状況：現況再現条件と非温暖条件の全 21 ケースにおける河川流解析により得られたピーク水位の縦断分布を**図-3** に示す．ピーク水位は，現況再現条件が全ての非温暖化条件を上回る．現況再現条件では，ピーク水位は計算区間の 85.8%で HWL を超過し，57.5kp 地点で最大の 11.3 時間超過した．これにより，左岸側では 2 か所の越水が確認された．一方，非温暖化条件では，ピーク水位の HWL 超過区間は全体の 59.4～82.3%であり，現況再現条件と同じく洪水氾濫の危険性が十分高い洪水であった．しかし，ピーク水位が現況再現条件よりも 0.43～1.19m 低く，越水が生じたのは 1 か所のみ，全 20 ケース中 2 ケースのみとなった．詳細な越流状況（**表-1**）より，現況再現条件は，非温暖化条件①，②と比べても越流水深・区間・時間共に大幅に増え，越流量に至っては非温暖化条件よりも 2 オーダーも大きい．

(2) 洪水氾濫状況：上記の越流量の差が洪水氾濫状況に及ぼす影響を把握するために，越水氾濫シミュレーションにより得られた最大浸水深マップを**図-4** に示す．ここでは，現況再現条件と非温暖化条件①の結果を示す．これより，非温暖化条件①の最大浸水深・氾濫面積は各々 0.69m，$0.63km^2$ に対して，現況再現条件では各々2.64m，$4.86km^2$ となり，大きな差が生じている．浸水深分布に着目すると，非温暖化条件①では 0.5m 以下の浸水面積が $0.61km^2$ で全体の 97%を占めている．一方で，現況再現条件では，0.5m以下は$1.88km^2$で，非温暖化条件から約3倍に増加しているだけでなく，0.5m 以上の浸水面積は $2.98km^2$ と全体の 61%を占め，現況再現条件では浸水リスクは大幅に拡大していることが示唆された．

(3) 気候変動の影響評価：一連の解析結果に基づいて，各項目に対する気候変動影響を評価するために，現況再現条件と非温暖化条件 20 ケースをまとめた結果を**図-5** に示す．ここでは，上から総降水量，ピーク河川流量，河川水位の HWL 超過区間長，HWL を基準とした水位上昇量，浸水面積の結果及び非温暖化条件の中央値・平均値も表示している．これより，全項目で，現況再現条件の方が非温暖化条件の全 20 ケースを上回るが，その差は項目により異なる．現況再現条件と非温暖化条件の中央値を比べると，総降水量は 10.9%増加したが，河川流量は 30.3%，水位上昇量は 118%も増加した．ただし，HWL 超過区間長の増加分はわずか 8.1%であり，非温暖化条件でも長区間にわたり HWL を超過していた．一方，浸水面積では，現況再現条件は非温暖化条件の平均値の約 49.8 倍に拡大した．以上より，気候変動に起因する降雨量の増加分以上に，河川流量，水位上昇量，越流量，浸水面積の方がより大きく増加していることが実証された．

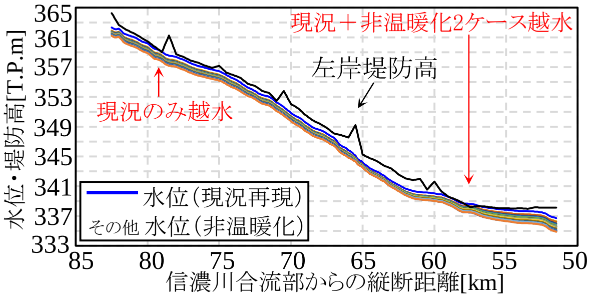


図-3 千曲川の水位縦断分布

表-1 千曲川の越流状況

ケース	越流水深 [m]	越流区間 [kp]	総越流量 [万m³]	越流時間 [h]
現況再現	0.07	79.0~79.3	3.77	2.3
	0.44	56.7~57.9	307	5.5
非温暖化条件①	0.11	57.3~57.6	5.54	2.3
非温暖化条件②	0.04	57.3~57.5	1.67	1.3

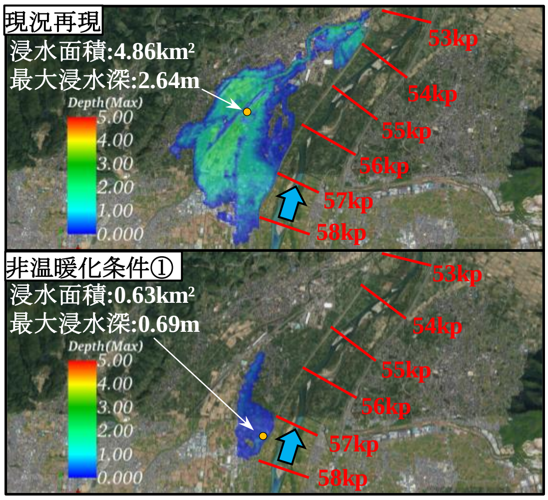


図-4　氾濫解析による最大浸水深マップ

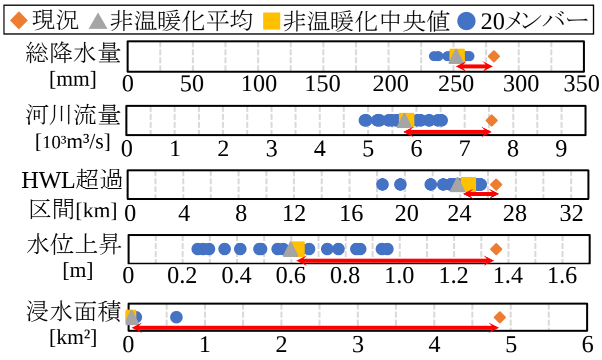


図-5　非温暖化条件と現況との比較

謝辞：本解析の千曲川河道横断面測量データと痕跡水位データは，国交省・北陸地整よりご提供頂いた．また，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 及び領域テーマ D「統合的ハザード予測」 JPMXD0717935498 の助成を受けたものです．ここに謝意を表す．

参考文献：1）Kawase et al.，SOLA，2020．2) Sayama et al., *Progress in Earth and Planetary Science*, 2020，3）柏田・二瓶：土木学会論文集 B1（水工学），2018.

© Japan Society of Civil Engineers