

(詳細版) 気候変動による災害激甚化に関する影響評価 (中間報告) について

1. 目的

日本では近年、平成 29 年 7 月九州北部豪雨、平成 30 年 7 月豪雨、令和元年東日本台風など、大きな気象災害をもたらす気象現象が多くみられます。日本損害保険協会の調べによると、国内での風水害等による保険金支払額の上位 10 件のうち半数以上が、最近 5 年間に発生しています (出典: 一般社団法人 日本損害保険協会調べ (2020 年 3 月末現在))。気候変動により、今後も大雨や洪水の発生頻度が増加すると予測されており、これまでの想定を超える気象災害が各地で頻繁に生じる可能性のある、気候危機ともいえる時代に入ったことを認識し、将来の気候変動影響を見据えた適応策の立案・実施が求められています。

このような背景のもと、環境省では令和 2 年度より、将来の気候変動影響を踏まえた適応策の実施に役立てるため、近年大きな被害をもたらした台風について、文部科学省の気候変動研究プログラムの成果等を活用して、地球温暖化が進行した世界で同様の気象現象が発生した場合どのような影響をもたらされるか評価する事業を実施しています。1 年目 (令和 2 年度) は、統計開始以来最大の水害被害額を記録した令和元年東日本台風を対象とし、地球温暖化が進行した将来の気候下で同様の台風が発生した場合の中心気圧や雨量、風速などの変化、それによる洪水や高潮への影響について、スーパーコンピュータを用いたシミュレーションを行いました。

2. 調査方法概要

本事業では実際に日本に襲来した特定の台風について、地球温暖化が進行した条件下において、同じ位置で台風が発生し、実際と近い経路を通過した場合の中心気圧や雨量、風速などの変化、それによる洪水や高潮への影響について、スーパーコンピュータを用いたシミュレーションを行っています。その方法は概ね下記の通りです。

- (1) 気候変動に関する予測データ (d4PDF¹) から、地球温暖化が進行した場合 (2℃上昇シナリオ、4℃上昇シナリオ*¹) の海面水温や気温の変化を、現在の気象条件に反映。
- (2) 気象モデル*²を用いて、(1)のそれぞれの気象条件下で対象となる台風の経路、中心気圧、雨量、風速などを、27 ケースについてシミュレーション*³。
- (3) 対象となる台風の経路と近いケースを 5 ケース選択し、そのシミュレーション結果をもとに、河川モデル*²を用いて河川流量等を、高潮モデル*²を用いて東京湾における水位上昇量等を各々シミュレーション。

*1 地球温暖化が進行した場合として、以下のシナリオを設定。

2℃上昇シナリオ: 世界平均気温が工業化以前 (18 世紀半ば頃) より 2℃上昇 (積極的な緩和策により将来の温暖化をかなりの程度抑制した場合) すると仮定

4℃上昇シナリオ: 世界平均気温が工業化以前 (18 世紀半ば頃) より 4℃上昇 (現状を超える緩和策が行われず、温暖化の抑制ができなかった場合) すると仮定

上記結果と、対象となる台風が発生した際の気象条件において、同台風を気象モデルで再現するために実

施したシミュレーション（このシミュレーションの結果を以下では「現在気候」とします）とを比較しています。

- *2 本資料では、主に気象モデル NHRCMⁱⁱ、河川モデル RRIⁱⁱⁱ及び 1K-DHM^{iv}、高潮モデル SuWAT^vによる結果を紹介。
- *3 この 27 ケースとは、27 通りの将来予測ではなく、1 つの予測のばらつきで 27 通りの結果があることを示します。

(留意点)

・本調査は、過去の台風と同様の台風が発生した場合の気候変動の影響について評価することを目的としたものであり、シミュレーションした台風が今後発生することを示すものではありません。また、台風はその経路によって大雨や強風等の影響が大きく異なります。本資料では、あくまでも、台風が今回選択した 5 ケースの経路をたどった場合を想定したシミュレーションであることに留意が必要です。

3. 結果概要

(1) 中心気圧、雨量、風速の変化

今回のシミュレーションでは、2℃上昇シナリオ、4℃上昇シナリオともに、現在よりも強い勢力を保ったまま日本に接近し、関東・東北地方により多くの雨をもたらす結果となりました*³。これは、海面水温の上昇によって海から水蒸気が台風に供給されやすくなること、気温の上昇によって大気が蓄えることができる水蒸気量が多くなることが主な要因と考えられます。

・東京湾付近での中心気圧：現在気候に比べ平均 8 hPa（2℃上昇シナリオ）又は平均 14hPa（4℃上昇シナリオ）低下

※令和元年東日本台風での神奈川県川崎市付近通過時の中心気圧は 965hPa

・関東・東北地方の累積降水量：現在気候に比べ平均 6%（4~11%）増加（2℃上昇シナリオ）又は平均 22%（9~32%）増加（4℃上昇シナリオ）

・最大発達時の風速：現在気候に比べ平均 2.6m/s（0.9~4.3m/s）増加（2℃上昇シナリオ）又は平均 3.4m/s（1.7~5.5m/s）増加（4℃上昇シナリオ）

※令和元年東日本台風での最大発達時の風速は 55m/s

- *3 シナリオ毎に行った 27 ケースのシミュレーションのうち、実際の台風と近い経路を取る 5 ケース（以下同じ）について、その結果を平均と幅（最小値~最大値）で示しています。

(2) 洪水への影響^{vi}

特に令和元年東日本台風による被害が大きかった 8 水系（荒川、多摩川、利根川、千曲川（信濃川）、那珂川、久慈川、阿武隈川、鳴瀬川（吉田川））を対象として、各水系の基準地点^{vii}について、その上流域に降った雨（流域平均降水量）と河川災害リスクを見る一つの指標であるピーク流量（最大流量）を算

出しました。その結果、地球温暖化が進行した場合を想定したシナリオでは、いずれの水系においても、2℃上昇シナリオでは、平均して15% (-1~29%)、4℃上昇シナリオでは、平均して29% (2~42%) 増加する結果となりました。

例として、現在気候の再現性が比較的高く、また令和元年東日本台風通過時には氾濫を防ぐことができた荒川水系では、流域平均降水量が、2℃上昇シナリオで、約1.08倍、4℃上昇シナリオで約1.18倍となり、ピーク流量が2℃上昇シナリオで河川整備計画^{viii}の想定流量を上回る、4℃上昇シナリオで基本方針^{ix}の想定流量に相当する結果となりました。

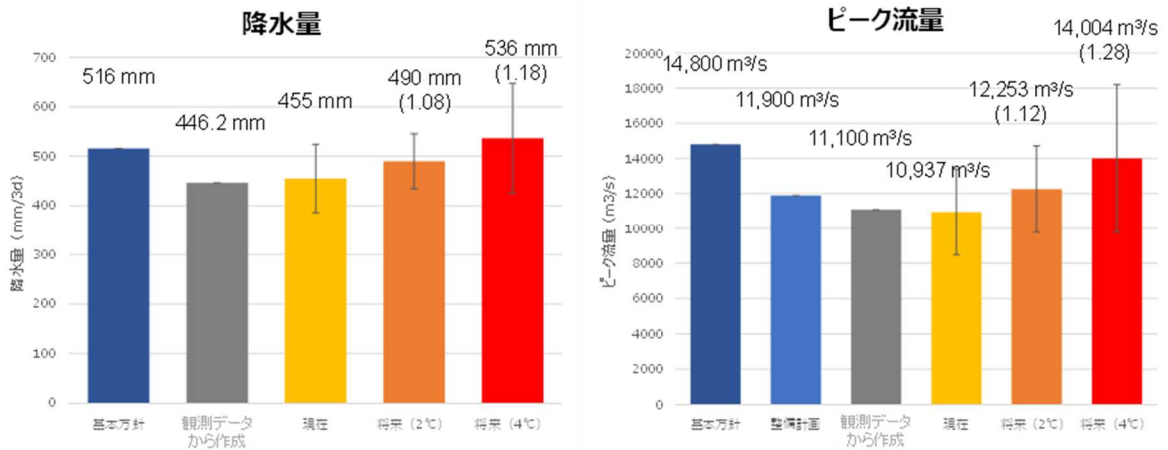


図1 荒川水系における流域平均降水量とピーク流量 (RRIと1K-DHMの平均(棒グラフ)・標準偏差(エラーバー)、括弧内の値は現在気候からの倍率を示す)

また、洪水氾濫の発生可能性を示す指標の1つであるピーク流出高(ピーク流量をその上流の集水面積で割った値)を算出した結果、中小河川において氾濫が発生する目安^xとなる30 mm/h(赤色)を超える箇所が、現在気候に比べ2℃上昇シナリオでは1.44倍、4℃上昇シナリオでは2.28倍となる結果となりました。令和元年東日本台風では、東日本全域にわたり大きな被害が発生しましたが、将来の気候変動下で同様の台風が発生した場合には、被害が発生する地域が更に広がる可能性が示唆されました。*

4

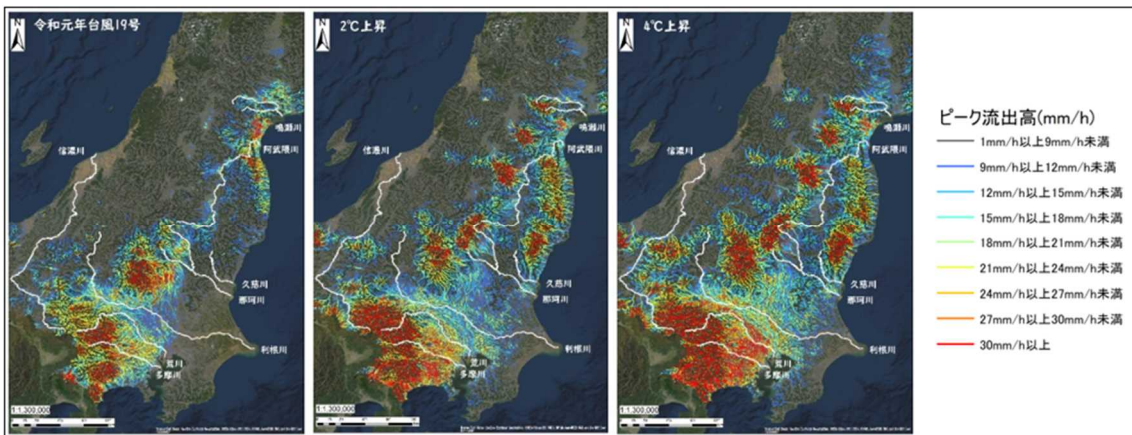


図2 ピーク流出高の変化 (RRI、2℃上昇、4℃上昇シナリオは5ケースの平均を示す)

*4 本シミュレーションでは、複数の流域をまたぐ広い領域を同時に扱っているため、個々の河川の流量の定量的な評価には不確実性が多く含まれます。また現実には、上流で氾濫が発生することにより下流での流量が減少する場合がありますが、今回のシミュレーションでは、そのような可能性は考慮していません。本結果では、ピーク流量・ピーク流出高により洪水氾濫発生の可能性を示していますが、詳細には河川堤防や防潮堤等の整備状況等も考慮する必要があります。

(3) 高潮への影響

高潮による東京湾の潮位の変化（最大潮位偏差^{xi}）について、地球温暖化が進行した場合を想定したシナリオでは、現在気候に比べ平均 5%（2℃上昇シナリオ）又は平均 13%（4℃上昇シナリオ）増加する結果となりました。これは、台風を中心気圧が低下し、風速が増加したことにより、吸い上げ効果^{xii}及び吹き寄せ効果^{xiii}が強まったことが主な要因と考えられます。

実際の令和元年東日本台風において、台風の接近が仮に満潮と重なっていたら昭和 24 年のキティ台風（台風第 10 号）通過時の最高潮位（東京湾の平均海面より最大 2.02m 上昇）を超えていた可能性が指摘されています。本結果でも、現在気候において令和元年東日本台風が東京湾に接近した際に満潮だった場合に、東京湾及び河川の河口付近の最大水位が 2m を超えると予測されたケースがあるなどキティ台風通過時の最高潮位をやや上回っていた可能性が示されました（図 3 中列）。*⁵

さらに、地球温暖化が進行した 4℃上昇シナリオにおいては、将来の海面水位の上昇も加味した場合、満潮時に台風が接近すると東京湾及び河川の河口付近の最大水位が、東京湾の平均海面より 3.2m 以上上昇する（図 3 右）ことが予測されました。

*5 本結果では高潮による浸水への影響には言及できていませんが、同影響を把握するためには、最大水位の上昇の他、河川堤防や防潮堤等の整備状況等も考慮する必要があります。また、高潮のシミュレーション結果は、台風の経路等の条件によって異なる結果となりますので、留意が必要です。

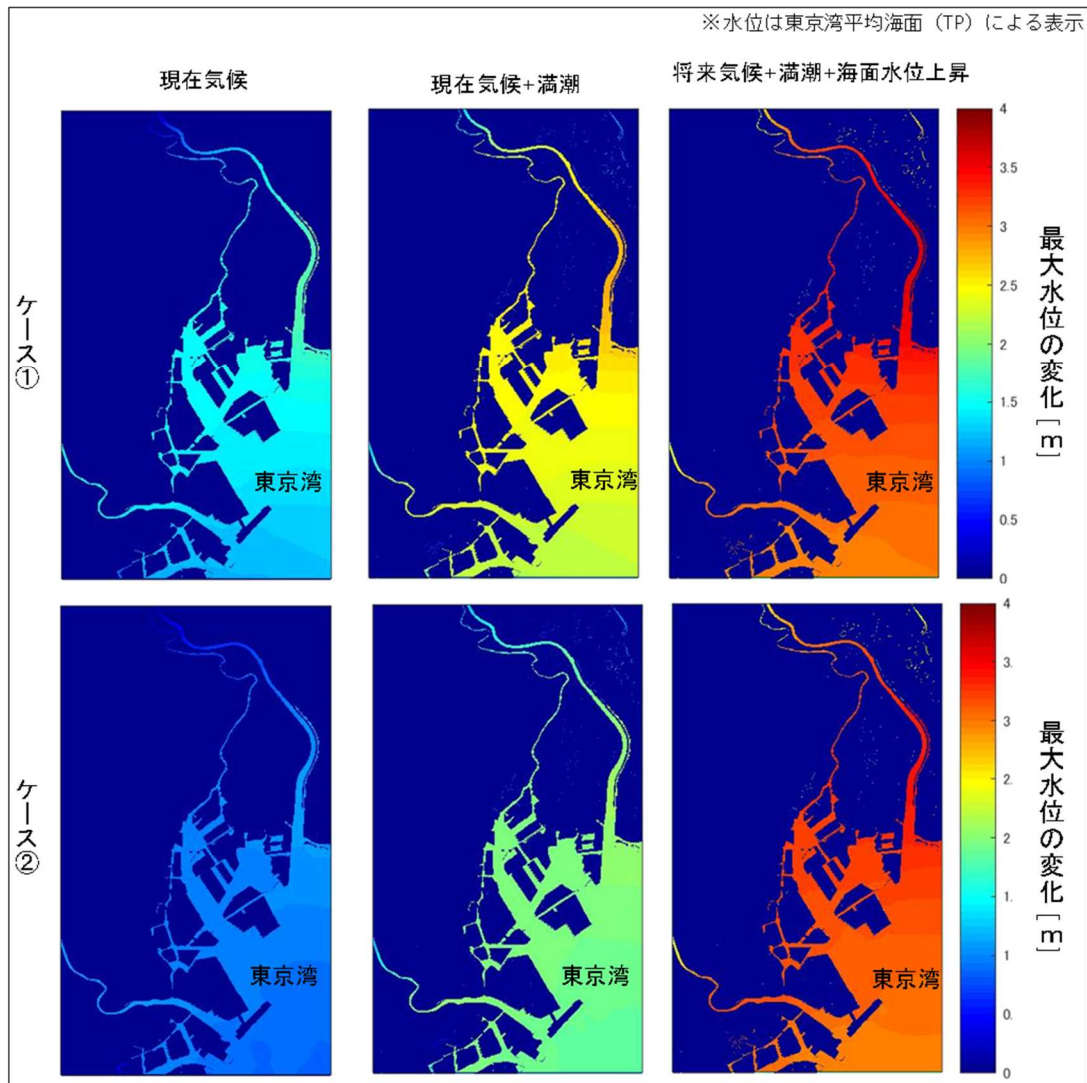


図3 東京湾周辺における最大水位の変化（満潮時+海面水位上昇を考慮）
 (SuWAT、5ケースのうち2ケースの結果を示す)

3. 今後の予定

令和3年度は、本結果の更なる検証や充実を行うとともに、平成30年に近畿地方などに大きな被害をもたらした、平成30年台風第21号も対象とする予定です。

4. 謝辞

「令和2年度気候変動による災害激甚化に関する影響評価業務」の実施にあたり、文部科学省「統合的気候モデル高度化研究プログラム^{xiv}」・京都大学・名古屋大学・東京大学・気象庁気象研究所より気象・河川・高潮各モデルの貸与・関連データの提供並びにモデル移植等に当たる指導を受けました。シミュレーションの実行のための計算機については、国立研究開発法人国立環境研究所より同機関が保有するスーパーコンピュータの計算機リソースの提供を受けました。さらに、国土交通省より関連データの提供及び助言を受けました。また、本業務においては、気象庁気象研究所、国立環境研究所、京都大学、北海道大学、名古屋大学、茨城大学のメンバー（下表）から構成される「気候変動による災害激甚化に関する影響評価検討委員会」を設置し、調査の方針や結果の検証等に関して助言を受けました。ここに記して感謝の意を表します。

「気候変動による災害激甚化に関する影響評価検討委員会」メンバー

今田 由紀子	気象庁気象研究所 気候・環境研究部 第一研究室 主任研究官
金田 幸恵	国立大学法人東海国立大学機構 名古屋大学 宇宙地球環境研究所 統合データサイエンスセンター 特任助教
川瀬 宏明	気象庁気象研究所 応用気象研究部 第二研究室 主任研究官
佐山 敬洋	京都大学防災研究所 社会防災研究部門 准教授
塩竈 秀夫	国立環境研究所 地球環境研究センター（気候変動リスク評価研究室） 室長
高藪 出（座長）	気象庁気象研究所 気候・環境研究部 第一研究室 主任研究官
竹見 哲也	京都大学防災研究所 暴風雨・気象環境研究分野 准教授
立川 康人	京都大学大学院工学研究科 社会基盤工学専攻 教授
仲江川 敏之	気象庁気象研究所 応用気象研究部 第二研究室 室長
中北 英一	京都大学防災研究所 気象・水象災害研究部門 教授
肱岡 靖明	国立環境研究所気候変動適応センター 副センター長
村田 昭彦	気象庁気象研究所 応用気象研究部 第一研究室 室長
森 信人	京都大学防災研究所 気象・水象災害研究部門 教授
山口 宗彦	気象庁気象研究所 応用気象研究部 第三研究室 主任研究官
山田 朋人	北海道大学大学院工学研究院 土木工学部門 河川・流域工学研究室 准教授
若月 泰孝	茨城大学理学部 降水・災害気象学研究室 准教授

（参考）令和元年東日本台風（台風第 19 号）の概要

令和元年東日本台風は、令和元年 10 月 6 日に南鳥島近海で発生、12 日 19 時前に大型で強い勢力で伊豆半島に上陸し、その後関東地方を通過して、13 日 12 時に日本の東で温帯低気圧へ変わりました。

雨については、10 日から 13 日までの総降水量が、神奈川県箱根で 1000 ミリに達し、東日本を中心に 17 地点で 500 ミリを超過しました。特に静岡県や新潟県、関東甲信地方、東北地方の多くの地点で 3、6、12、24 時間降水量の観測史上 1 位の値を更新するなど記録的な大雨になりました。この大雨について、10 月 12 日から順次、静岡県、神奈川県、東京都、埼玉県、群馬県、山梨県、長野県、茨城県、栃木県、新潟県、福島県、宮城県、岩手県の 1 都 12 県に大雨特別警報が発表され、最大級の警戒が呼びかけられました。

風については、東京都江戸川臨海で最大瞬間風速 43.8 メートルとなり観測史上 1 位を更新したほか、関東地方の 7 か所で最大瞬間風速 40 メートル*を超過しました。

この台風の影響で、関東・東北地方を中心に 142 か所で堤防が決壊、東日本を中心として 20 都府県に

わたり 950 件を超える土砂災害が発生するなど、極めて甚大な被害が広範囲で発生（水害被害額：約 1 兆 8,800 億円：統計開始以来最大）しました。

<出典>

令和元年東日本台風（台風第 19 号）による大雨、暴風等

令和元年(2019 年)10 月 10 日～10 月 13 日（速報）（気象庁ホームページ）

<https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/bosai/report/2019/20191012/20191012.html>

令和元年東日本台風の発生した令和元年の水害被害額が統計開始以来最大に 令和元年の水害被害額（確報値）を公表（令和 3 年 3 月 31 日国土交通省報道発表資料）

https://www.mlit.go.jp/report/press/mizukokudo03_hh_001056.html

* 参考：風速の目安（気象庁ホームページ）

https://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/yougo_hp/kazehyo.html

-
- ⁱ d4PDF：文部科学省「気候変動リスク情報創生プログラム」及び「気候変動リスク情報創生プログラムが作成した「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（database for Policy Decision making for Future climate change）」の 4℃上昇実験データおよび 2℃上昇実験データ。多数の実験例（アンサンブル）を活用することで、台風や集中豪雨などの極端現象の将来変化を、確率的に、かつ高精度に評価することができます。
 - ⁱⁱ NHRM：気象研究所が開発した地域気候モデル。日本周辺を 20km、5km、2km 四方のメッシュに分けて詳細な気候の変化をシミュレーションすることができます。
 - ⁱⁱⁱ RRI：降雨流出氾濫モデル。流域に降った雨が河川に集まる現象、洪水が河川を流下する現象、河川を流れる水が氾濫原に溢れる現象を流域一体で予測することができます。
 - ^{iv} 1K-DHM：降雨流出モデル。降水データから河川流量を算出することができます。
 - ^v SuWAT：京都大学、熊本大学、関西大学が共同で開発した高潮・波浪・潮汐結合モデル。風速や気圧のデータから、潮・波浪・氾濫などをシミュレーションすることができます。
 - ^{vi} 本シミュレーションでは、複数の流域をまたぐ広い領域を同時に扱っているため、個々の河川の流量の定量的な評価には不確実性が多く含まれます。また、現実には、上流で氾濫が発生することにより下流での流量が減少する場合がありますが、今回のシミュレーションでは、そのような可能性は考慮していません。
 - ^{vii} 基準地点：治水もしくは利水計画上、河川管理を適正に行うために基準となる地点
 - ^{viii} 河川整備計画：基本方針に沿って定める中期的な具体的整備の内容（計画対象期間：20~30 年程度）。
 - ^{ix} 河川整備基本方針（基本方針）：長期的な河川整備の最終目標。
 - ^x 令和元年東日本台風において氾濫が発生した中小河川を対象としてピーク流出高を計算した研究において、「ピーク流出高がおおよそ 30 mm/h を超える状況になると、中小河川では河川の流下能力を超えて堤防決壊や越水が発生することがわかってきている」とされている。（佐山敬洋「令和元年台風 19 号による洪水災害と降雨流出特性」 京都大学防災研究所年報. A, 63(A):82-90 2020)
 - ^{xi} 最大潮位偏差：天文潮位からの差が最大となったときの潮位偏差。（満潮・干潮や大潮・小潮のように、月や太陽の起潮力によって起こる潮位の変化を「天文潮」、その潮位を「天文潮位」、実際の潮位と天文潮位の差分を「潮位偏差」と言う）
 - ^{xii} 吸い上げ効果：気圧の低下によって海面を押さえる力が弱まり海面が上昇する効果。
 - ^{xiii} 吹き寄せ効果：海水が吹き寄せられることで海面が上昇する効果。
 - ^{xiv} 文部科学省「統合的気候モデル高度化研究プログラム」：「統合的気候変動予測」領域テーマ C の体系的番号「JPMXD0717935561」を利用しました。