

勢力を増す台風

～我々はどのようなリスクに直面しているのか～

2023

//////////////////// 気候変動への適応策を考えるきっかけに //////////////////////

近年、台風や大雨による気象災害が毎年のように発生し、生活環境や企業活動に大きな影響をもたらしています。その原因の一つとして地球温暖化があると言われています。地球温暖化に伴い、強度の強い熱帯低気圧の割合は現在よりも増すことがIPCC報告書でも指摘されています。環境省では、甚大な被害をもたらした令和元年東日本台風や平成30年台風第21号を例に、地球温暖化が進行し、世界平均気温が工業化以前に比べて2℃、4℃上昇した場合にどのような影響をもたらすようになるのか、スーパーコンピュータを活用して予測しました。気候変動の身近なリスクを知っていただき、今後の気象災害対策や気候変動への適応策を考えるきっかけとしていただければ幸いです。

////////////////////

地球温暖化が進行した将来の令和元年東日本台風の姿

令和元年 東日本台風の概要

参考1

令和元年10月6日に発生した令和元年東日本台風は、「大型で強い」勢力で伊豆半島に上陸、その後関東地方を通過しました。関東甲信地方、東北地方を中心に広い範囲で記録的な大雨となりました。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位の値を更新しました。

台風の勢力はどうなる？

13-14 ページ参照

実際の台風は…

- ☑ 東京湾接近時の中心気圧965hPa

台風は勢力を増すほど、中心気圧が低くなる傾向があります。地球温暖化が進むと、台風がより発達した状態で上陸する可能性を示しています。

将来：地球温暖化が進むと…

東京湾接近時の中心気圧が低下します。

- ☑ 2℃上昇シナリオ：平均4.3hPa低下 (-3.6~13.1hPa)
- ☑ 4℃上昇シナリオ：平均11.3hPa低下 (3.9~22.0hPa)

雨はどうなる？

13-14 ページ参照

実際の台風は…

- ☑ 10月10日から13日までの総降水量は、神奈川県箱根で1,000ミリに達し、東日本を中心に17地点で500ミリ超え。
- ☑ 時間降水量の最大値95mm/h(岩手県普代)。関東地方の1時間降水量の最大値は85mm/h(神奈川県箱根)。

猛烈な雨
レベル

気象庁が作成した「雨の強さと降り方」では、80mm/h以上の雨は「猛烈な雨」と分類され、「息苦しくなるような圧迫感がある。恐怖を感じる。」とされています。

将来：地球温暖化が進むと…

降水量が増加します。

累積降水量(関東・東北地方)

- ☑ 2℃上昇シナリオ：平均4.4%増加 (-9.1~16.1%)
- ☑ 4℃上昇シナリオ：平均19.8%増加 (2.2~37.2%)

時間降水量

- ☑ 2℃上昇シナリオ：平均17.9%増加 (-28.5~48.2%)
- ☑ 4℃上昇シナリオ：平均29.5%増加 (-7.8~66.7%)

風速はどうなる？

13-14 ページ参照

実際の台風は…

- ☑ 最大風速は34.8m/s(東京都大田区羽田)
- ☑ 最大瞬間風速は43.8m/s(東京都江戸川区臨海町)となり観測史上1位を更新しました。

※最大風速は、10分間の平均風速の最大値。最大瞬間風速は、最大風速のおおよそ1.5倍程度になることが多いと言われています。

強い台風
レベル

気象庁が定める台風の強さの階級では、最大風速が33m/s以上となると「強い台風」と区分されます。

将来：地球温暖化が進むと…

風がさらに強まります。

- ☑ 2℃上昇シナリオ：
最大風速が平均2.5m/s増加 (-1.7~12.2m/s)
- ☑ 4℃上昇シナリオ：
最大風速が平均3.1m/s増加 (-2.4~10.0m/s)

気象庁が作成した「風の強さと吹き方」では、平均風速30m/s以上の風は「猛烈な風」とされ、屋外での活動は極めて危険な状況となります。台風通過が予想される時は、風に飛ばされる可能性があるものを事前に片付ける、頑丈な建物の中で過ごすなど、これまで以上に安全に気をつけて過ごす必要があります。

洪水はどうか？

15-16 ページ参照

実際の台風は…

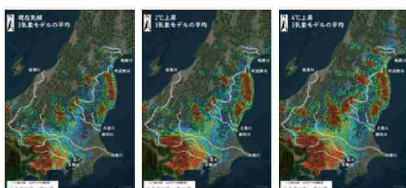
- ☑ 東日本全域にわたり大きな被害が発生しました。阿武隈川水系で長期的な河川整備の目標である河川整備基本方針の流量を超過しました。



長野県上田市
橋梁が倒壊し、鉄道が不通となりました。



東京都世田谷区
これまで被災したことのない都市部の市街地にも浸水被害を及ぼしました。



将来：地球温暖化が進むと…

河川の最大流量(ピーク流量)がさらに増加します。

- ☑ 2℃上昇シナリオ：平均10%上昇(3~16%)
- ☑ 4℃上昇シナリオ：平均23%上昇(14~34%)

4℃上昇シナリオでは、特に影響を受けた8水系のうち、5水系で長期的な河川整備の目標である河川整備基本方針の流量を上回る予測となりました。

浸水被害が発生する地域がさらに広がり、浸水の経験の少ない地域でも発生する可能性が高まります。

高潮はどうか？

17-18 ページ参照

実際の台風は…

- ☑ 最大潮位偏差+1.6m* (観測所：東京(東京都中央区))

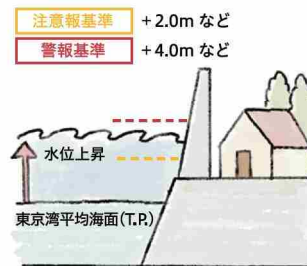
もし、満潮時に台風が最悪コースを取っていたら、浸水の可能性もありました。

*基準面 T.P.(東京湾平均海面)からの高さを示しています。本シミュレーションではT.P.が+3.2mを超えると予測されており、沿岸部の浸水の可能性がさらに高まります。

将来：地球温暖化が進むと…

東京湾の高潮リスクがさらに高まります。

- ☑ 2℃上昇シナリオ：最大潮位偏差は、平均1.1%上昇(-49.3~79.7%)
- ☑ 4℃上昇シナリオ：最大潮位偏差は、平均21.4%上昇(-20.6~95.7%)



*潮位偏差については30ページ参照

台風が勢力を増すと、高潮によって海水が護岸や堤防を超えて、沿岸の低地で浸水被害が発生する可能性が高まります。また、地球温暖化によって海面上昇が進行すると、高潮リスクをさらに強める一因となります。

シミュレーションの条件

- 本シミュレーションでは、まず、実際の台風と同様の位置で発生し、同様の経路を取りながら発達する台風をコンピュータの中に再現しました。(これを本パンフレットでは「現在気候」と表現します)
- 次に、地球温暖化によって世界平均気温が工業化以前(18世紀半ば頃)より2℃、4℃上昇したという条件下で令和元年東日本台風と同様の台風が発生した場合、どのように発達し、どのような影響をもたらすのか複数のモデルを用いたシミュレーションによって評価しました。

シミュレーションの留意事項

- このパンフレットで示された2℃、4℃上昇シナリオの予測結果は、「現在気候」との比較であり、「観測値」との比較ではないことに留意が必要です。
- 本シミュレーションでは、現在気候の計算結果を実際の観測データと比較し、一定の再現性を確認していますが、実際の台風を完全に再現したものではありません。
- また、このような台風が将来どのような頻度で発生するかを示すことは評価の対象外であり、災害のリスクを総合的に評価したものではありません。
- 本文中の将来変化率の平均値については、まず各予測モデル及びアンサンブルにおける将来変化率を求め、それらの平均値を計算するという順序で算出しています。
- 例外的に高潮については、先に現在気候・2℃上昇シナリオ・4℃上昇シナリオのそれぞれにおける最大潮位偏差の各予測モデル及びアンサンブル平均値を求め、その変化率を計算するという順序で算出しております。
- ※同じ予測モデル及びアンサンブルであっても、現在気候・2℃上昇シナリオ・4℃上昇シナリオのそれぞれで台風の経路がずれることがあります。高潮の場合、そのような経路のずれが最大潮位偏差の値に与える影響が大きくなります。このような温暖化以外の要因による変化が、予測結果へ大きな影響を与えないよう、高潮においては、平均値を先に求める方法を採用しております。

地球温暖化が進行した将来の平成30年台風第21号の姿

平成30年台風第21号の概要

参考2

平成30年8月28日に発生した平成30年台風第21号は、「非常に強い」勢力で徳島県に上陸、近畿地方を縦断し日本海に抜けました。西日本を中心に広い範囲で大雨・強風を引き起こし、大阪府、和歌山県等で観測史上第1位の最大風速を記録しました。また、大阪府、和歌山県等では過去の最高潮位の記録が更新されました。

台風の勢力はどうか？

19-20 ページ参照

実際の台風は…

- ☑ 徳島県上陸時の中心気圧950hPa

統計を開始した1951年以降、上陸時に最も中心気圧が低かった台風は、1961年に高知県に上陸した第二室戸台風の925hPaとされています。温暖化によって同程度以上に発達した台風が上陸する可能性が高まります。

将来：地球温暖化が進むと…

上陸時の中心気圧が低下します。

- ☑ 2℃上昇シナリオ：平均 19.4hPa 低下 (11.3~30.8hPa)
- ☑ 4℃上昇シナリオ：平均 22.9hPa 低下 (-1.3~38.2hPa)

風速はどうか？

19-20 ページ参照

実際の台風は…

- ☑ 「非常に強い」勢力を保ったまま上陸した台風は、1993年以来25年ぶりのことでした。
- ☑ 最大風速は48.2m/s（高知県室戸岬）
- ☑ 大阪府関西空港では46.5m/sを記録。関西国際空港ではタンカーが連絡橋に衝突するなど事故も発生しました。

大阪府

強風のため電柱が倒壊した。家屋、特に多くの屋根に被害が発生しました。



台風第21号による電柱倒壊
大阪府泉南市

大阪府泉佐野市

関西国際空港ではタンカーが連絡橋に衝突しました。



将来：地球温暖化が進むと…

風がさらに強まります。

- ☑ 2℃上昇シナリオ：最大風速が平均8.6m/s増加(3.0~15.5m/s)
- ☑ 4℃上昇シナリオ：最大風速が平均10.2m/s増加(-4.0~31.5m/s)

さらに、都市部で風害を引き起こすような局所的な強風の強さも強まります。

※最大風速については19-20ページ、局所的な強風の評価は25ページを参照

最大風速が54m/s以上となると「猛烈な台風」と区分され、米国のハリケーンの基準ではカテゴリー4以上に相当します。温暖化が進行すると、猛烈な台風が勢力を保ったまま上陸するリスクが高まります。

非常に強い台風レベル

気象庁が定める台風の強さの階級では、最大風速が44m/s以上となると「非常に強い台風」と区分されます。

※平成30年台風第21号における局所的な風速の分析はLESモデル²⁷ページの解析値に基づいており、気候モデルの予測値に基づいている令和元年東日本台風（1ページ）のケースとは評価方法が異なります。

雨はどうか？

19-20 ページ参照

実際の台風は…

- ☑ 9月3日から5日までの総降水量の最大値は378.5mm（愛知県茶臼山）
- ☑ 1時間降水量の最大値は92mm/h（高知県田野）

将来：地球温暖化が進むと…

降水量が増加します。

累積降水量(中国・四国・近畿・東海地方)

- ☑ 2℃上昇シナリオ：平均 10.1% 増加 (-10.1~51.5%)
- ☑ 4℃上昇シナリオ：平均 17.9% 増加 (-6.0~44.8%)

時間降水量

- ☑ 2℃上昇シナリオ：平均 2.2% 増加 (-40.6~57.1%)
- ☑ 4℃上昇シナリオ：平均 17.6% 増加 (-14.7~63.4%)

猛烈な雨レベル

高潮はどうか？

23-24 ページ参照

実際の台風は…

- 最大潮位偏差^{30ページ参照}+2.8m、最高潮位+3.3m、(観測所：大阪(大阪府大阪市)
高波の影響もあり、関西国際空港等で浸水が発生しました。

大阪府泉佐野市

関西国際空港で浸水が発生しました。



(画像：国土交通省※10)

大阪府泉佐野市

関西国際空港で排水作業が行われました。



(画像：国土交通省※10)

将来：地球温暖化が進むと…

高潮リスクがさらに高まります。

- 2℃上昇シナリオ：最大潮位偏差は、平均 27.5% 上昇 (-51.7~127.6%)
- 4℃上昇シナリオ：最大潮位偏差は、平均 23.0% 上昇 (-27.4~281.6%) (いずれも大阪港)

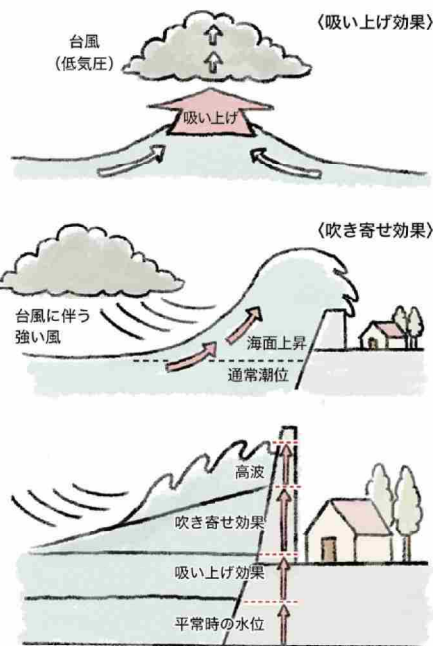
警報レベル

高潮警報は、対象区域の潮位が高潮警報基準に達すると予想される場合に発表されます。大阪府大阪市や泉佐野市などでは、T.P.(東京湾平均海面)+2.2mが高潮警報基準と定められています。

高潮とは？

- 台風や低気圧の中心では気圧が周辺より低いため、気圧の高い周辺の空気は海水を押し下げ、中心付近の空気が海水を吸い上げるように作用する結果、短時間で海面が上昇します。これを「**吸い上げ効果**」といいます。気圧が1ヘクトパスカル(hPa)下がると、潮位は約1センチメートル上昇するとされています。
- 「吸い上げ効果」に加えて、台風や低気圧に伴う強い風が沖から海岸に向かって吹くと、海水は海岸に吹き寄せられ、海岸付近の海面が上昇します。これを「**吹き寄せ効果**」といいます。この効果による潮位の上昇は風速の2乗に比例し、風速が2倍になれば上昇する海面水位は4倍になります。顕著な高潮被害はこの「吹き寄せ効果」で発生することが多いと考えられます。
- また、特に高潮によって水位が上昇している時は、高波も同時に発生し、数メートルから10メートルを超える高さまで発達します。高波により高潮だけでは到達しない高さまで水が押し寄せ、被害が拡大することがあります。^{※3}

※高波は、強風が吹くことによって海面に生じる短周期(周期5~20秒)の波のことです。数十分~数時間かけて海面が上昇する高潮とは異なる現象を指します。風が強いほど、長時間吹くほど、また発達する距離が長いほど、波は高くなる傾向があり、台風の時には極端な高波が発生しやすくなります。高潮による水位上昇と合わさることで、沿岸部での水位がより高くなる考えられます。



洪水はどうか？

21-22 ページ参照

実際の台風は…

- 高潮が発生し潮位が上がったことで河川の水が海へ流れにくくなり、兵庫県等の一部の中小河川で氾濫が発生しました。

将来：地球温暖化が進むと…

河川のピーク流出高が増加します。

※ピーク流出高とは、ピーク流量をその上流の集水面積で除した値で、洪水氾濫の発生可能性を示す一つの指標です。

シミュレーションの対象とした大規模な河川では、ピーク流量が増加するものも減少するものもありましたが、今回実施したシミュレーションでは、どの河川でも、またいずれの気候シナリオでも、ピーク流量の平均値が河川整備計画の流量に達する結果となったケースはありませんでした。

INDEX [目次]

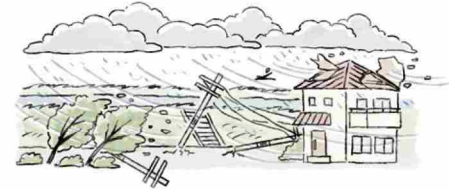
1-2

地球温暖化が進行した将来の
令和元年東日本台風の姿



3-4

地球温暖化が進行した将来の
平成30年台風第21号の姿



INTRODUCTION

はじめに

目次	5
はじめに	6
謝辞	6

CHAPTER 1

第1章 気候変動と適応

台風発達のメカニズム	7
地球温暖化によって勢力を増す台風の一般の生活への影響	7
台風の影響への適応	8

CHAPTER 2

第2章 個別の評価結果

第2章の内容説明	9
本プロジェクトにおけるシミュレーションの手法	10
過去の被害の概要	11-12
地球温暖化が進行した条件下の令和元年東日本台風の様相	13-14
地球温暖化が進行した条件下の令和元年東日本台風による洪水への影響	15-16
地球温暖化が進行した条件下の令和元年東日本台風による高潮への影響	17-18
地球温暖化が進行した条件下の平成30年台風第21号の様相	19-20
地球温暖化が進行した条件下の平成30年台風第21号による洪水への影響	21-22
地球温暖化が進行した条件下の平成30年台風第21号による高潮への影響	23-24
地球温暖化が進行した条件下の平成30年台風第21号による強風への影響	25

CHAPTER 3

第3章 参考情報

第3章の内容説明	26
台風に関連する最新の科学的知見	26
評価の手法	27-28
気候変動適応関連ツールの紹介	29
用語の説明・出典	30

はじめに

INTRODUCTION

近年、台風や大雨による気象災害が毎年のように発生し、生活環境や企業活動に大きな影響をもたらしています。その背景として、地球温暖化に伴う気温上昇や大気中の水蒸気量の増加、日本近海における海面水温の上昇があると考えられています。例えば、令和元年東日本台風については、気温及び海面水温の上昇が降水量の増加に寄与したことが示されています。

では、地球温暖化がさらに進行した場合、台風の気圧や降水量等はどのように変化し、我々の生活にどのような影響をもたらすのでしょうか。このような知見は、気候変動の影響を回避・軽減する適応策の検討において重要な情報となります。そのため環境省では、「気候変動による災害激甚化に関する影響評価業務（令和2年度～令和5年度）」において、令和元年東日本台風及び平成30年台風第21号を例に、工業化以前（18世紀半ば頃）と比較して2℃及び4℃温暖化した状況で発生した場合、どのような影響をもたらすかをシミュレーションしました。

令和元年東日本台風及び平成30年台風第21号という実際に発生した台風を例にシミュレーションを行うことで、地球温暖化が進むにつれて台風がどの程度深刻な影響をもたらすのか、また、地球温暖化の進み方によってその影響がどのように変わり得るのか、行政機関、企業、市民の皆様によりわかりやすくご提供することを目指しています。

謝辞

ACKNOWLEDGMENTS

「気候変動による災害激甚化に関する影響評価業務」（令和2年度～令和5年度）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」（平成29年度～令和3年度）及び「気候変動予測先端研究プログラム」（令和4年度～）、気象庁気象研究所より気象モデルの貸与及び関連データの提供を受けました。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	：東京大学 大気海洋研究所 准教授	多々納 裕一	：京都大学防災研究所 社会防災研究部門長 防災社会システム研究分野 教授
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 附属統合データサイエンス センター 特任助教	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
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	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
佐山 敬洋	：京都大学防災研究所 社会防災研究部門 防災技術政策研究分野 教授	中北 英一	：京都大学防災研究所所長 気象・水象災害研究部門 水文気象災害研究分野 教授
塩籠 秀夫	：国立研究開発法人国立環境研究所 地球システム 領域（地球システムリスク解析研究室）室長	脇岡 靖明	：国立研究開発法人国立環境研究所 気候変動適応センター センター長
高数 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	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
竹見 哲也	：京都大学防災研究所 気象・水象災害研究部門長 暴風雨・気象環境研究分野 教授	森 信人	：京都大学防災研究所 副所長 気象・水象災害研究部門 沿岸災害研究分野 教授
		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 教授
		若月 泰孝	：茨城大学 理工学研究科（理学野） 地球環境科学領域 准教授

※ 敬称略。所属、役職は2023年6月時点

第1章

気候変動と適応

第1章の内容説明

第1章では、台風発達のメカニズムや台風による一般の生活への影響、気候変動に伴って変化する台風の影響へ対応するための「気候変動適応」に向けた行動について紹介します。

台風発達のメカニズム

熱帯または亜熱帯地方で発生する低気圧を「熱帯低気圧」と呼びますが、このうち北西太平洋または南シナ海に存在し、なおかつ低気圧域内の最大風速（10分間平均）がおおよそ17m/s以上のものを「台風」と呼びます。

台風は暖かい海面から供給された水蒸気が凝結して雲粒になるときに放出される熱をエネルギーとして発達します。上陸した台風が急速に衰えるのは水蒸気の供給が絶た

れ、さらに陸地の摩擦によりエネルギーが失われるからです^{参考4}。

また、将来の変化について、地球温暖化に伴い大気が保持できる水蒸気量が増加するため、熱帯低気圧に伴う降水が強まることや、地球温暖化に伴う海面水温上昇を中心とした環境場の変化により、熱帯低気圧がより強い強度まで発達できるようになるといったことが考えられています^{参考5}。

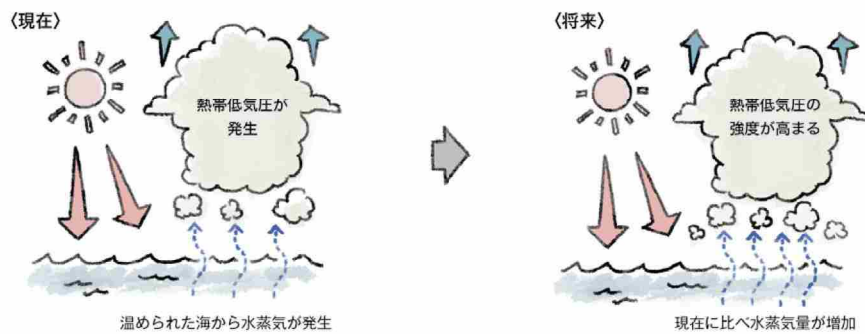


図1 台風の発生イメージ/将来変化イメージ

地球温暖化によって勢力を増す台風の一般の生活への影響

台風による降水や強風、それに伴う河川氾濫や土石流・斜面崩壊、高潮・高波により、人的被害、経済被害、建物への被害、農作物への被害、ライフラインの停止など、台風による影響が連鎖することで多くの甚大な被害が発生していますが、地球温暖化がさらに進行すると、このような被害のリスクがより高まる可能性があります。

本パンフレットで紹介するシミュレーション結果等を参考に、こうした被害を最小限に抑えるため、気候変動を踏まえた気象災害への備えを自分ごととして考えておくことが重要です。

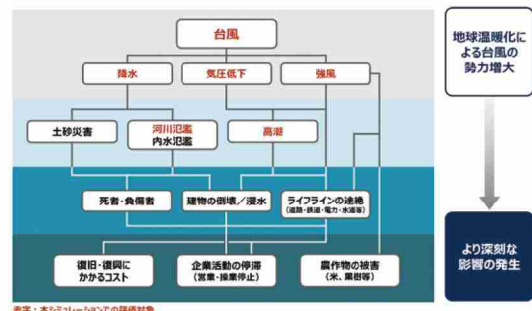


図2 台風による影響の連鎖

台風の 影響への適応

気候変動による影響は、自然災害に関するものだけでなく、気温上昇による農作物の品質低下、熱中症による救急搬送人員の増加など、身近なものも含め様々なものがあります。こうした気候変動の影響による被害を回避・軽減することを一般に「気候変動適応」といいます。ここでは気候変動によって影響の増大が懸念される台風への適応に向けた行動について考えます。

気候変動に伴って変化する台風の影響に「適応」しよう

POINT 1 地球温暖化の影響は既に現れ始めていることを知る

令和元年東日本台風によって、地球温暖化の影響を加味しない限り説明が困難なレベルの水蒸気量が日本列島付近に供給されたことが示唆され、地球温暖化の影響は日本でも既に出始めていることが報告されています。

将来の社会のために二酸化炭素排出を削減するなど地球温暖化を緩和する努力がなされていますが、現在の社会で生じている地球温暖化の影響は、今後さらに増大していきます。まずはそれを知ることで「過去に経験のない台風かもしれない」と、事前に備える行動に繋げていくことが大切です。

POINT 2 完全な防御は無いことを知る

私たちは、「専門家が議論しているのだから災害に対する堤防等の物理的なハード対策は万全な対策だ」と思いがちです。しかし、激甚化する自然災害に対応できるよう、ハード対策を増強していくには長い年月を要します。現状のハード対策だけでは、今までのように完全には対応しきれなくなる可能性があることを知り、川から水があふれても被害をできるだけ減らせるように、流域の上・中・下流が一体となった流域治水対策を行うことや、自助共助といった行動で補おうとする姿勢が大切です。

POINT 3 今すぐ実行する

科学的な予測情報に基づき、今後どんな対応があるのかを考え、実行に移すには時間を要します。激甚化の程度に不確実性があるからといって、適応としての対策を行わずにいると対応が間に合わなくなる可能性があります。

～流域治水と3つの柱～参考 6.7

気候変動による水害の頻発化、激甚化に対応するため、本川、支川、上流、下流など流域全体を俯瞰し、あらゆる関係者が協働して行う「流域治水」への転換が必要です。

POINT 1 氾濫をできるだけ防ぐ・減らすための対策

堤防等の河川整備をさらに加速化することに加え、遊水機能の確保や利水ダムでの事前放流、官民による雨水貯留などにも取り組み、対策の充実強化を図ります。

POINT 2 被害対象を減少させるための対策

氾濫が発生した場合も想定し、リスクのより低い地域への居住誘導や、浸水が想定される高さ以上に居室を確保する住まい方の工夫等を行います。

POINT 3 被害の軽減・早期復旧・復興のための対策

被害の軽減のため、水害リスク情報の空白域を解消する等の土地のリスク情報の充実や、高齢者等の避難の実効性確保といったことも大切です。

POINT 4 リスク情報を適切に発信・理解する

災害発生を見越した情報の発信には正確性と迅速性が求められますが、両者はトレードオフの関係にあります。例えば、早期に発せられた河川氾濫情報を活用するためには、予測の不確実性を加味したタイムラインを設定し、防災行動に繋げることが肝心です。

POINT 5 自助共助によって被害を回避・最小化する

災害への備えは誰でもできます。最悪のシナリオで台風が近づいてきたとき、安全な場所を確保し身を守るのは、地方公共団体やあなた自身の役割です。そのためには、地域の人々とも協力しながら、食料、避難経路、タイムスケジュールを事前に考えておくことも大切です。

そして、これからの地球温暖化の状況下では、これまで使っていた避難先や避難経路では十分に対応しきれなくなる場合があるので、科学的な情報に基づく見直しを行うことが大切です。

POINT 6 最悪のシナリオを想定する

気候変動に伴い、これまで経験したことがないような災害が発生するリスクが高まっていると考えられます。ハード対策を強化し自助共助を何重に施していても、有事の際には最悪のシナリオを想定して危機管理を行いましょう。そうすれば、「逃げ遅れゼロ」や「社会経済被害の最小化」に繋がります。



図3 遊水池による対策、個人で準備できる避難バッグ

第2章

個別の評価結果

第2章の内容説明

第2章では、冒頭に紹介した将来の地球温暖化が進行した条件下での台風のシミュレーション結果について、より詳しい内容を紹介します。

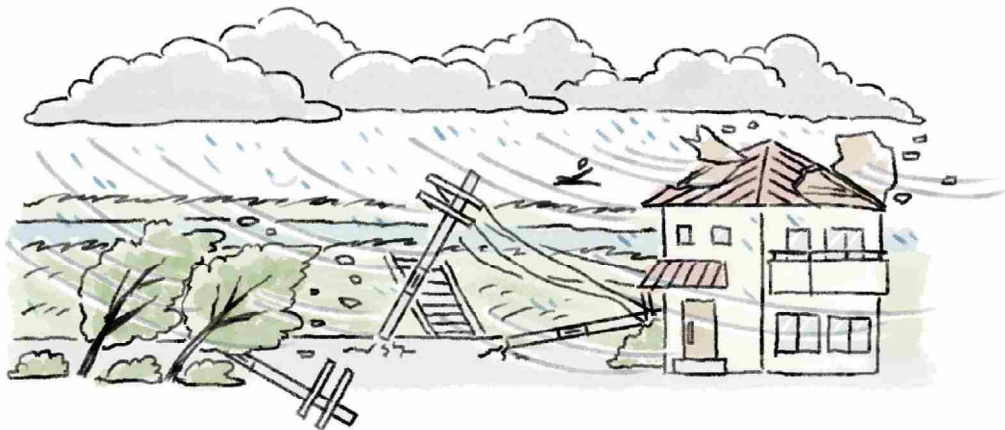
この章では、令和元年東日本台風と平成30年台風第21号という2つの台風について、中心気圧・風速・降水量の変化、洪水・高潮への影響に関する評価結果を紹介しています。また、平成30年台風第21号については、強風の影響評価も行っています。

これらの予測結果を得るために行ったシミュレーションの流れや前提条件についてもこの章で説明しています。それぞれの結果の解釈の仕方を掴むための手がかりとして参考にいただければ幸いです。

令和元年東日本台風 p13-18



平成30年台風第21号 p19-25



本プロジェクトにおけるシミュレーションの手法

地球温暖化が進行した将来における台風の影響を評価するため、文部科学省の「統合的気候モデル高度化研究プログラム」(平成29年度～令和3年度)並びに「気候変動予測先端研究プログラム」(令和4年度～)、気象庁気象研究所、東京大学生産技術研究所、「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⁶ページ参照の協力・指導を受け、気象モデルを用いて、温暖化が進行した条件において令和元年東日本台風及び平成30年台風第21号が発生した場合の気象の状態をコンピュータ上で計算(シミュレーション)しました。

最初に、各台風が発生した当時の気象の状態を表す入力データをもとに、気象モデルのシミュレーションによって入力データよりも詳細な各台風発生時の気象の状態をコンピュータ上に再現します。次に、地球温暖化が進行した条件を考えるため、気候変動に関する予測データ(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)³⁰ページ参照を用いて、地球温暖化によって海面水温や気温がどの程度変化するかを示すデータを作成します。最後に、各台風が発生した当時の気象の状態に、地球温暖化に伴う変化量を足し合わせて再度シミュレーションを行うことにより、地球温暖化が進行した状況において各台風が発生した場合の気象の状態を計算しています。このような手法は擬似温暖化³⁰ページ参照と呼ばれています。この手法は既にいくつかの台風、ハリケーンに適用されて、評価手法が確立されています。気象モデルにより再現された現在と将来の各台風の降水量等をもとに、河川、高潮、強風の3種類のモデルを用いて評価を実施します。

河川モデルでは、雨が地面に落ちてから地表や地中を

通って河川に流れ込み、河道を流下する過程を計算し、ピーク流量(流量の最大値)を評価しています。また、高潮モデルでは、台風に伴う気圧の低下や海上の風によって海面水位が変化する効果(吸い上げ効果・吹き寄せ効果)³⁰ページ参照を計算し、台風による東京湾及び大阪湾での水位上昇量を評価しています。

以降では、実際に発生した各台風を再現したシミュレーションの結果を「現在気候の結果」、地球温暖化が進行した条件でのシミュレーションの結果を「将来気候の結果」と呼びます。地球温暖化によって将来どの程度気温が上昇するかは、今後の地球温暖化対策がどの程度推進されるかによって変わりますが、ここでは、世界平均気温が工業化以前と比べて約2℃上昇した場合、約4℃上昇した場合の2つのシナリオを考えます。これらをそれぞれ「2℃上昇シナリオ」、「4℃上昇シナリオ」と呼びます。また、シミュレーションと実際の台風の状況を比較するために、気象庁が台風の分析を行った結果として公表している「気象庁解析値³⁰ページ参照」を用いています。

シミュレーションによって計算された結果は、入力する気象情報のもつ揺らぎ、モデルの特性による差異等による不確実性を含んでいます。本プロジェクトでは少しずつ異なる入力を使用することによって多数の計算結果(アンサンブル)を出力します。それらのデータを多数用意することや気象・河川・高潮の各シミュレーションにおいて現象の表現方法が異なる複数のモデルを用いて平均やばらつきの程度といった統計的な情報を計算し、不確実性が含まれる中でも起こり得る可能性が高い状況を評価しています。このような多数の計算結果によって現象を確率的に捉える手法をアンサンブル実験³⁰ページ参照と呼びます。

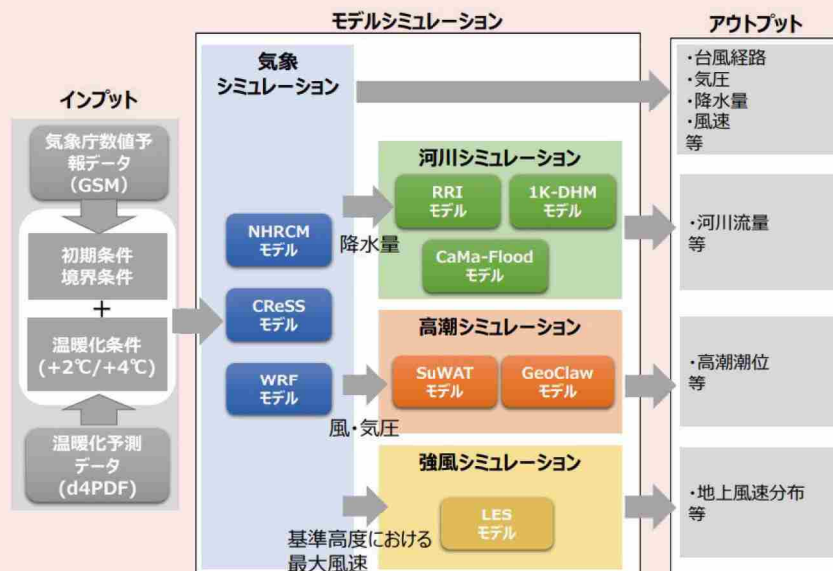


図4 シミュレーションモデルを用いた評価の全体図

SUMMARY OF DAMAGE

過去の被害の概要

ここでは参考のため、実際に発生した二つの台風による被害の概要をまとめています。

令和元年東日本台風

令和元年10月6日に日本のはるか南方で発生した令和元年東日本台風は、日本の南海上で「大型で猛烈な」台風に至り、10月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ました。

台風による発達した雨雲や台風周辺の湿った空気の影響で、関東甲信地方、東北地方を中心に広い範囲で記録的な大雨となりました。気象庁の観測では、10月10日から13日までの総降水量は、神奈川県箱根で1,000ミリに達し、東日本を中心に17地点で500ミリを超えました。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となりました。

長野県長野市

信濃川水系千曲川で破堤、広域の氾濫が発生した。

(画像：国土交通省)

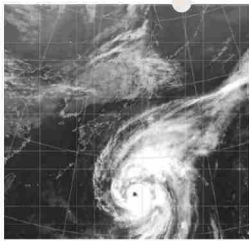


(画像：国土交通省)



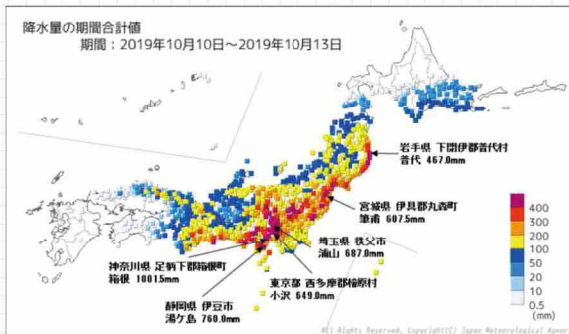
日本に接近する令和元年東日本台風

(令和元年10月10日21時)



(画像：気象庁^{※1})

期間降水量分布図 (10月10日0時~10月13日24時)



出所) 気象庁^{※1}

長野県上田市

上田電鉄別所線千曲川橋梁の左岸側橋台が落橋し、鉄道が不通となった。



福島県郡山市

多くの家屋が浸水被害に遭った。

長野県長野市

氾濫により家屋の倒壊も引き起こした。



東京都世田谷区

これまで被災したことのない、都市部の市街地にも浸水被害を及ぼした。



(画像：環境省^{※9})

栃木県佐野市

台風が去った後は大量の災害廃棄物が発生した。



(画像：環境省^{※9})

図5 令和元年東日本台風の被害の様子

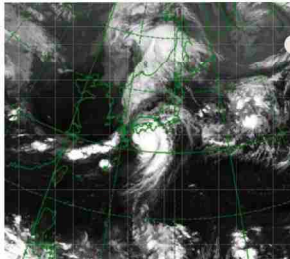
この台風により、広範囲で河川の氾濫、土砂災害等が発生し、死者91名、行方不明者3名、重傷者42名、軽傷者334名の被害となりました。また、多数の住宅が被害を受け、全壊3,273棟、半壊・一部損壊63,743棟、浸水が29,556棟を数えました。ライフラインの被害も相次ぎました。停電が約52万戸(ピーク時)、断水が約16.8万戸(ピーク時)発生したほか、鉄道の運休等の交通障害の発生、道路の損壊や道路への土砂の流入、橋梁の流出などにより多数の孤立地域が発生し、住民生活に大きな支障が生じました。農林漁業等の経済活動にも大きな影響を及ぼしました。

多くの河川で決壊が発生し、国管理河川では6水系7河川14か所、都道府県管理河川では20水系67河川128か所で決壊が発生しました。

(被害規模の数値は「令和2年版防災白書」より引用^{※9})

● 平成30年台風第21号 ●

平成30年8月28日に発生した台風第21号は、9月4日12時前に「非常に強い」勢力を保ちつつ徳島県南部に上陸しました。その後、兵庫県神戸市付近に再び上陸し、速度を上げながら近畿地方を縦断、日本海を北上して温帯低気圧に変わりました。台風の接近・通過に伴って、西日本から北日本にかけて非常に強い風が吹き、高知県室戸岬で最大風速48.2m/sを観測しました。その他、大阪府関西空港や和歌山県和歌山など53地点では最大風速の観測史上第1位を更新しました。また、大阪府、和歌山県、兵庫県、徳島県では過去の最高潮位を超える値が観測されました。



(画像：気象庁^{※2})

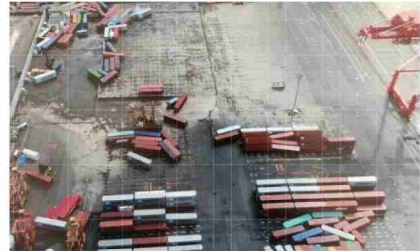
徳島県に上陸した平成30年台風第21号
(平成30年9月4日09時)



(画像：国土交通省^{※11})

兵庫県尼崎市

堤防に守られた住宅街でも浸水が発生した。



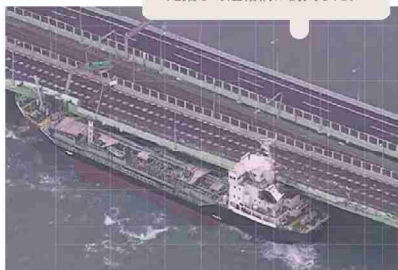
(画像：国土交通省^{※11})

兵庫県神戸市

神戸港でコンテナの倒壊・漂流が発生した。

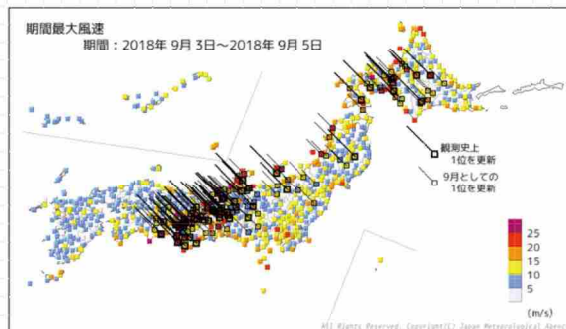
大阪府泉佐野市

関西国際空港ではタンカーが走錨して連絡橋に衝突した。



(画像：国土交通省^{※14})

期間最大風速分布図(9月3日～9月5日)



出所 気象庁^{※2}

(画像：国土交通省^{※13})



台風第21号による電柱倒壊
大阪府泉南市

大阪府

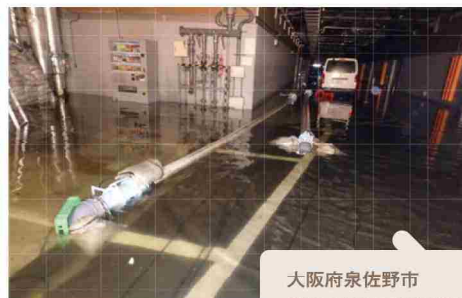
強風のため電柱が倒壊した。家屋、特に多くの屋根に被害が発生した。

大阪府大阪市

大阪港でクレーンが部品庫に衝突した。



(画像：国土交通省^{※12})



(画像：国土交通省^{※12})

大阪府泉佐野市

関西国際空港で排水作業が行われた。

図6 平成30年台風第21号の被害の様子

この台風で、全国で土砂災害や記録的な暴風等により死者14名、重傷者46名の人的被害が発生しました。家屋の被害は近畿圏を中心に8万棟を超え、特に大阪府では全壊28棟、半壊436棟、一部破損が約6.5万棟に達しました。

ライフラインの被害も大きく、医療施設では最大で157医療機関の停電、23医療機関の断水が発生しました。近畿地方では1週間程度の断水が発生した地域もあり、その間飲料水やトイレが使用不可になりました。関西国際空港では強風に伴う高波により浸水被害が生じた他、強風により停泊中のタンカーが連絡橋に衝突し、空路と陸路が遮断されたことで空港内の乗客等が孤立しました。神戸港等では高潮による浸水等により機能が停止するなど産業活動・経済活動に支障をきたしました。

なお、大阪市街地の高潮による浸水被害は、大阪湾における水門閉鎖等の適切な高潮対策によって防がれました。この水門は、第二室戸台風クラスへの備えを考慮して作られていたもので、それが効果的に働いたことになります。

(被害規模の数値は「令和元年版防災白書」より引用^{※10})

令和元年東日本台風

地球温暖化が進行した条件下の令和元年東日本台風の様相

地球温暖化が進行した条件下での令和元年東日本台風の様相を、気象シミュレーションにより評価しました。

POINT 1

台風経路の再現性が高いアンサンプルの選択

台風によって生じる河川氾濫や高潮の被害は台風の強度と経路によって大きく異なります。台風の強度がより強くなれば、降雨量の増加や中心気圧の低下、風速の増加によって河川、高潮の被害が大きくなることが想定されます。また、台風の経路は地域ごとの風速・雨・潮位変化に影響し、さらに高潮がどの地域でどの程度発生するかということにも影響します。例えば、東京湾に近接した経路を取ると、東京湾の高潮の危険性は上がります。将来気候における台風強度の変化に着目した影響評価を行うために、気象庁GSM³⁰ページ参照によるアンサンプル予報による27通りの入力データを用いたアンサンプル実験の中から、3つの気象モデルそれぞれにおいて実際の台風と近い経路を取る5つのケース(図7)を選択し、全15ケースを対象に評価を実施しました。

同じ台風を評価するためにあえて3種類の気象モデルを使っている理由は、特徴の異なる3種類のモデルの結果を組み合わせることで、将来起こり得る台風の変化についてより妥当性の高い結論を得ることを目指しているためです。3種類の気象モデルの間に優劣をつけることはできず、いずれのモデルによる結果も、将来あり得る台風の状況を示したものであるとご理解下さい。

以降の気象・河川・高潮シミュレーションの計算結果は、これらの15ケースをもとにしたものです。なお、図や文章にて示される計算結果のばらつきは、特に注記がない限り各気象モデルで選択された5ケースの値の下限と上限を表しています。

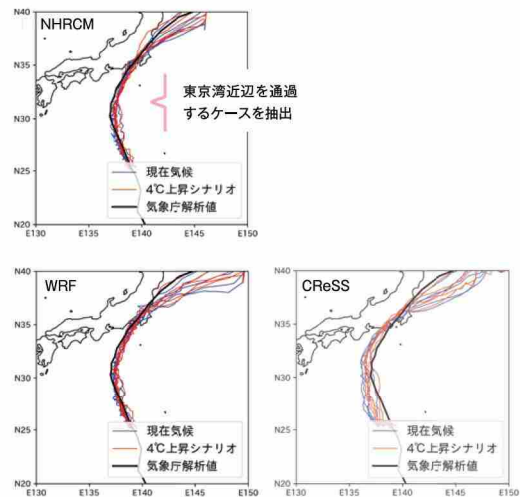


図7 本パンフレットで扱う気象モデルによる5ケースの台風経路の再現性

POINT 2

気圧の変化

将来気候における台風の中心気圧の低下を確認しました。令和元年東日本台風の東京湾接近時^{*}の中心気圧を気象庁解析値から計算すると964hPaでした。東京湾接近時の中心気圧を示した結果(図8)より、3つの気象モデル全てにおいて現在気候(青)と比較して将来気候(赤)の中心気圧が低下していることが確認できます。5ケースの平均値を比較すると、2°C上昇シナリオでは現在気候に比べて3気象モデル(NHRCM, WRF, CRSS)にて1hPa~8hPa、4°C上昇シナリオでは現在気候と比べて6hPa~14hPa低下し、台風強度が増す結果となりました。全15ケースの2°C上昇シナリオにおける中心気圧の低下は-3.6hPa~13.1hPa、4°C上昇シナリオでは3.9hPa~22.0hPaとなりました。

^{*}: 台風の中心が北緯35.5度を通過した時点を経済湾接近時と定義し、線形内挿によって計算した。

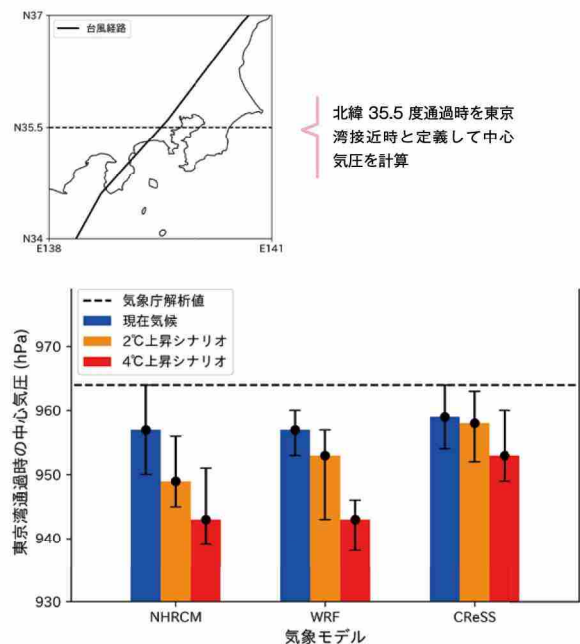


図8 東京湾接近時の中心気圧(5ケースの平均値(棒グラフ)・各気象モデルで選択された5ケースの値の下限と上限(エラーバー)を示す。)

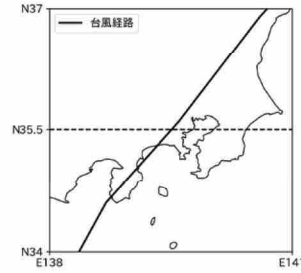
POINT 3

風速の変化

将来気候における台風の最大風速の上昇を確認しました。令和元年東日本台風の東京湾接近時^{※1}の最大風速^{※2}を気象庁解析値から計算すると35.5m/sでした。東京湾接近時の最大風速を示した結果(図9)より、3つの気象モデル全てにおいて現在気候(青)と比較して将来気候(赤)の最大風速が上昇していることが確認できます。5ケースの平均値を比較すると、2℃上昇シナリオでは現在気候に比べて3気象モデル(NHRCM, WRF, CReSS)それぞれで1m/s~5m/s、4℃上昇シナリオでは現在気候と比べて1m/s~5m/s増加する結果となりました。全15ケースの2℃上昇シナリオにおける最大風速の上昇は-1.7m/s~12.2m/s、4℃上昇シナリオでは-2.4m/s~10.0m/sとなりました。

※1：台風の中心が北緯35.5度を通過した時点を東京湾接近時と定義し、線形内挿によって計算した。

※2：最大風速は、地上及び海上10mにおける最大風速と定義する。



北緯 35.5 度通過時を東京湾接近時と定義して最大風速を計算

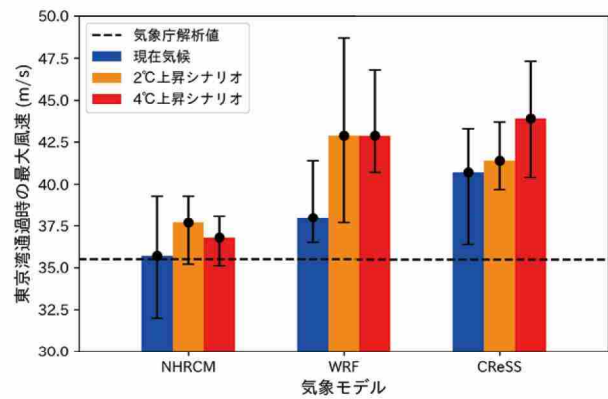


図9 東京湾接近時の最大風速(5ケースの平均値(棒グラフ)・各気象モデルで選択された5ケースの値の下限と上限(エラーバー)を示す。)

POINT 4

降水量の変化

将来気候における降水量の上昇を確認しました。令和元年東日本台風は気象庁解析雨量における関東・東北地方の累積降水量^{*}が平均198mmでした。気象シミュレーションでは、3つの気象モデル全てにおいて関東・東北地方の累積降水量が現在気候と比較して将来気候では増加していました(図10)。5ケースの平均値を比較すると、2℃上昇シナリオでは現在気候に比べて3気象モデル(NHRCM, WRF, CReSS)それぞれで0%~7%、4℃上昇シナリオでは現在気候と比べて14%~24%増加する結果となりました。全15ケースの2℃上昇シナリオにおける累積降水量の増加は-9.1%~16.1%、4℃上昇シナリオでは2.2%~37.2%となりました。また、全15ケースの2℃上昇シナリオにおける1時間降水量の最大値の増加は-28.5%~48.2%、4℃上昇シナリオでは-7.8%~66.7%となりました。

※：2019年10月11日0時から2019年10月14日0時までに降った雨の総量と定義した。

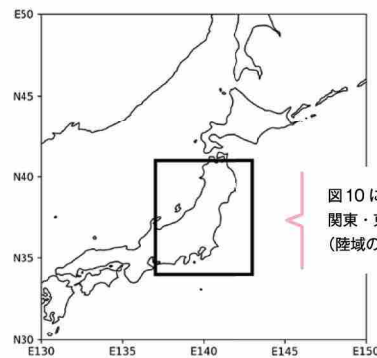


図10における関東・東北地方の領域(陸域のみ)

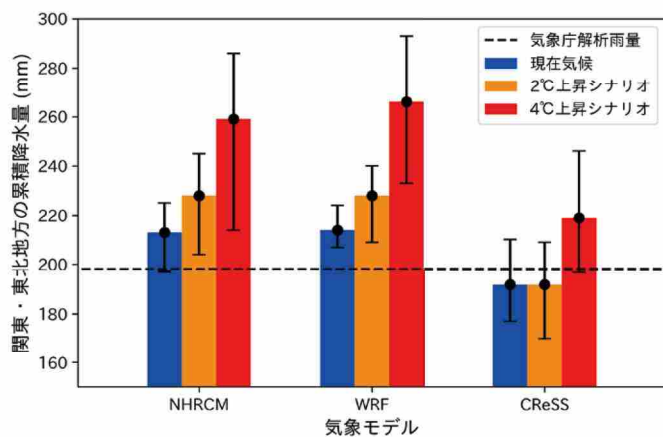


図10 関東・東北地方における累積降水量(5ケースの平均値(棒グラフ)・各気象モデルで選択された5ケースの値の下限と上限(エラーバー)を示す。)
(累積期間：2019/10/11 00:00~10/14 00:00)

地球温暖化が進行した条件下の 令和元年東日本台風による「洪水」への影響

SIMULATION

特に令和元年東日本台風の被害が大きかった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））を対象に、河川災害リスクの指標であるピーク流量（最大流量）などを各水系の基準地点*で算出し、現在気候と将来気候（2℃、4℃）で比較しました。3種類の気象モデル（NHRCM、WRF、CReSS）と3種類の河川モデル（RRI、1K-DHM、CaMa-Flood）を組み合わせて評価することで、地球温暖化が進行した条件下での河川災害リスクについてより妥当性の高い評価を得ることを目指しました。ただし、ピーク流出高はRRIのみで出力している点、1K-DHMは氾濫域を計算しておらず、CaMa-Floodは詳細な堤防の高さなどを詳細に再現していない点に留意する必要があります。

*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。例えば、荒川の基準地点には「岩淵」がある。

POINT 1

流域平均雨量と ピーク流量（荒川）

荒川における基準地点*より上流域に降った雨（流域平均雨量）と、基準地点におけるピーク流量を算出しました。現在気候の再現性が比較的高かった荒川水系を見ると現在気候と比べて、2℃上昇シナリオ、4℃上昇シナリオともに流域平均雨量とピーク流量の増加が予測されました。2℃上昇シナリオでは、3気象モデル・3河川モデルの計算のうち、河川整備計画*、参考15を上回る流量が予測されるケースが、4℃上昇シナリオでは、さらに河川整備基本方針*、参考15をも上回る流量が予測されるケースがあることがわかりました。

*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。

*河川整備計画（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）。

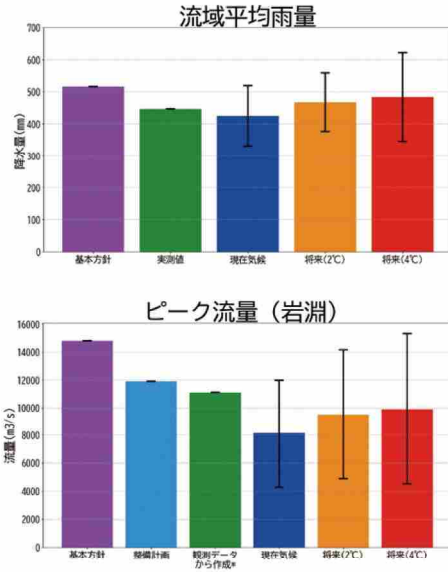
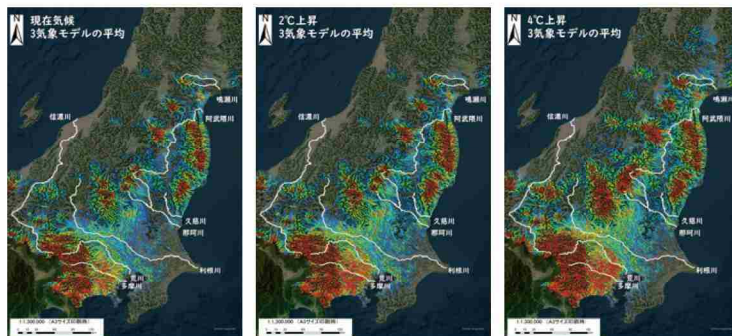


図11 荒川流域における流域平均雨量とピーク流量
(3気象モデル×3河川モデル×5ケースの45通りの平均（棒グラフ）・標準偏差（エラーバー）、括弧内の値は現在気候からの倍率を示す。※観測流量に、ダム流入量と氾濫流量を加算した「ダム・氾濫戻し流量」を表示する。)

POINT 2

ピーク流出高の変化

ピーク流出高とは、ピーク流量をその上流の集水面積で除した値で、洪水氾濫の発生可能性を示す一つの指標です。中小河川で洪水氾濫が発生する目安であるピーク流出高30mm/h（赤色部分）を超える領域が2℃上昇シナリオ、4℃上昇シナリオでは拡大している様子が見て取れます。



ピーク流出高(mm/h)

- 1mm/h以上9mm/h未満
- 9mm/h以上12mm/h未満
- 12mm/h以上15mm/h未満
- 15mm/h以上18mm/h未満
- 18mm/h以上21mm/h未満
- 21mm/h以上24mm/h未満
- 24mm/h以上27mm/h未満
- 27mm/h以上30mm/h未満
- 30mm/h以上

図12 ピーク流出高の変化（3気象モデル×5ケースの15通りの計算の平均、河川モデルRRIで計算、左から現在気候・2℃上昇・4℃上昇）

POINT 3

流域平均雨量の変化(8水系全体)

令和元年東日本台風により特に影響を受けた8水系全体の傾向を見ると、基準地点上流域の流域平均雨量は、2℃上昇シナリオでは、3気象モデル・3河川モデルの平均で6% (0~11%)、4℃上昇シナリオでは、同じく17% (11~26%) 増加する傾向となりました。

(文章中の数値は8水系の変化率の平均と、最小値~最大値を示す)

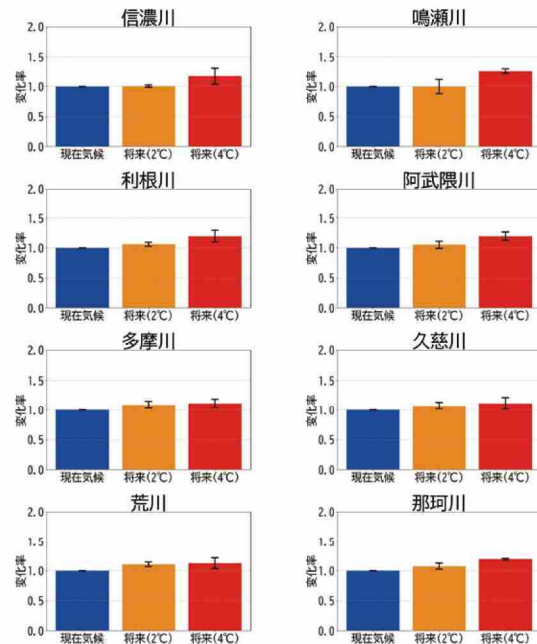


図13 対象河川・基準地点と流域平均雨量の変化
(3気象モデル×3河川モデル×5ケースの計45通りの平均(棒グラフ)・標準偏差(エラーバー)、現在気候の平均値を1として示す)

POINT 4

ピーク流量の変化(8水系全体)

8水系の基準地点のピーク時の流量は、2℃上昇シナリオでは、3気象モデル・3河川モデルの平均で10% (3~16%)、4℃上昇シナリオでは、同じく23% (14~34%) 増加する傾向となりました。一般的にピーク流量の変化幅は流域平均雨量の変化幅と比べると大きくなると言われており、その知見と整合する結果となりました。

(文章中の数値は8水系の変化率の平均と、最小値~最大値を示す)

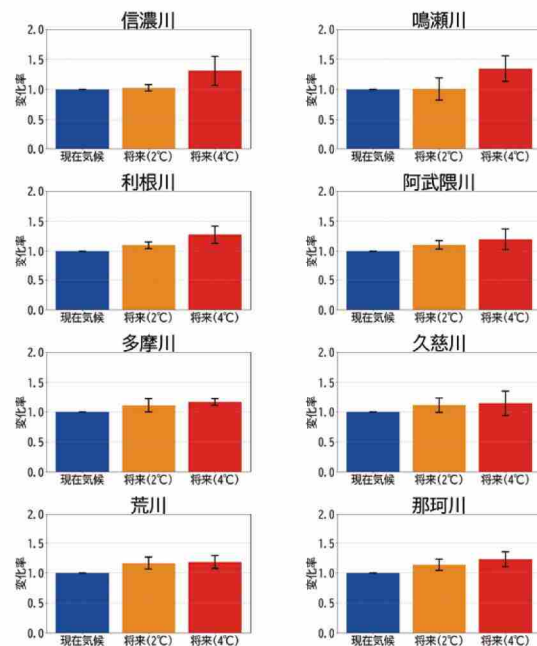


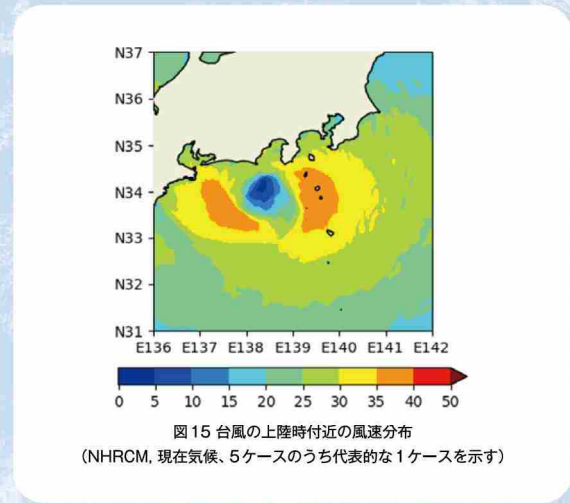
図14 対象河川・基準地点とピーク流量の変化
(3気象モデル×3河川モデル×5ケースの計45通りの平均(棒グラフ)・標準偏差(エラーバー)、現在気候の平均値を1として示す)

地球温暖化が進行した条件下の 令和元年東日本台風による「高潮」への影響

SIMULATION

東京湾付近での高潮影響（潮位偏差）を計算し、現在気候と将来気候（2℃上昇シナリオ、4℃上昇シナリオ）で比較しました。3種類の気象モデル（NHRCM、WRF、CReSS）及び2種類の高潮モデル（GeoClaw及びSuWAT）を組み合わせて評価することで、地球温暖化が進行した条件下の高潮についてより妥当性の高い評価を得ることを目指しました。以下では、天文潮位を除いた台風による純粋な潮位の変化の最大値（以降、最大潮位偏差）についての結果を示します。また、本結果は高波の効果を含まない結果となっています。

高潮を評価するため、気象モデルによって得られた気圧と風速を用いています。図15は、高潮の評価に用いた海上付近の風速の例を示したものです。台風の眼から少し離れたエリアを中心として強い風が吹いていることが確認できます。



POINT 1

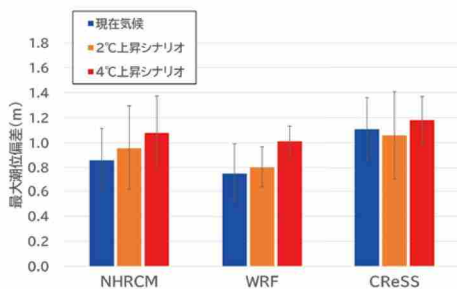
最大潮位偏差の変化

将来気候において高潮による最大潮位偏差は上昇し、東京湾の代表地点（図16）における最大潮位偏差の変化（図17）を見ると、2℃上昇シナリオ、4℃上昇シナリオともに令和元年東日本台風に伴う最大潮位偏差が増加する結果となりました。現在気候と比較し、将来気候において台風の中心気圧が低下し、風速が増加したため、吸い上げ効果及び吹き寄せ効果^{30ページ参照}が強まり、高潮による潮位偏差が大きくなったものと考えられます。

2℃上昇シナリオでの最大潮位偏差の上昇割合は平均1.1%（NHRCM:8%、WRF:7%、CReSS:8%）、4℃上昇シナリオでは平均21.4%（NHRCM:19%、WRF:32%、CReSS:16%）であり、モデル間で差が見られました。2種類の高潮モデル（GeoClaw及びSuWAT）の結果は、多くのケースにおいて最大潮位偏差は0.1m程度であり高潮モデル間で大きな違いは見られませんでした。



東京湾における最大潮位偏差 (GeoClaw)



東京湾における最大潮位偏差 (SuWAT)

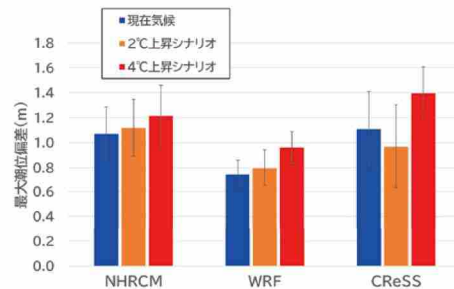


図17 東京湾最大潮位偏差の変化 (左: GeoClaw, 右: SuWAT)
(それぞれ5ケースの平均 (棒グラフ)・標準偏差 (エラーバー) を示す)

POINT 2

潮位上昇の変化

図18は、東京湾周辺における高潮による最大潮位の空間的な分布を可視化したものです。

令和元年東日本台風の襲来時には干潮時に高潮が生じましたが、よりリスクの高い満潮時に台風が襲来すると仮定し、令和元年東日本台風襲来時の満潮時の天文潮位を加えた計算を実施しました。さらに、気候変動に伴う海面水位上昇を考慮するため、IPCCの海洋・雪氷圏特別報告書(SROCC)の平均海面水位上昇量を加えた計算を行いました。

現在気候でも、満潮時には現状の防護水準を上回る最大潮位発生の可能性があると予測されました。また、将来気候における最大潮位は、いずれのケースも増加傾向にあるという結果となりました。

特に満潮時の潮位及び将来気候条件における海面水位上昇量を考慮すると、東京湾での最大潮位は3.2m*を超える場合があり、高潮浸水リスクは増加するという結果となりました。

※潮位は東京湾平均海面(T.P.)による表示。東京湾の防潮堤の高さがT.P.+3.5～6.9mであるため、防潮堤の天端近くまで高潮が到達する想定となり、高波の影響が加わると、海水が防潮堤を超えて流入する可能性も考えられる。

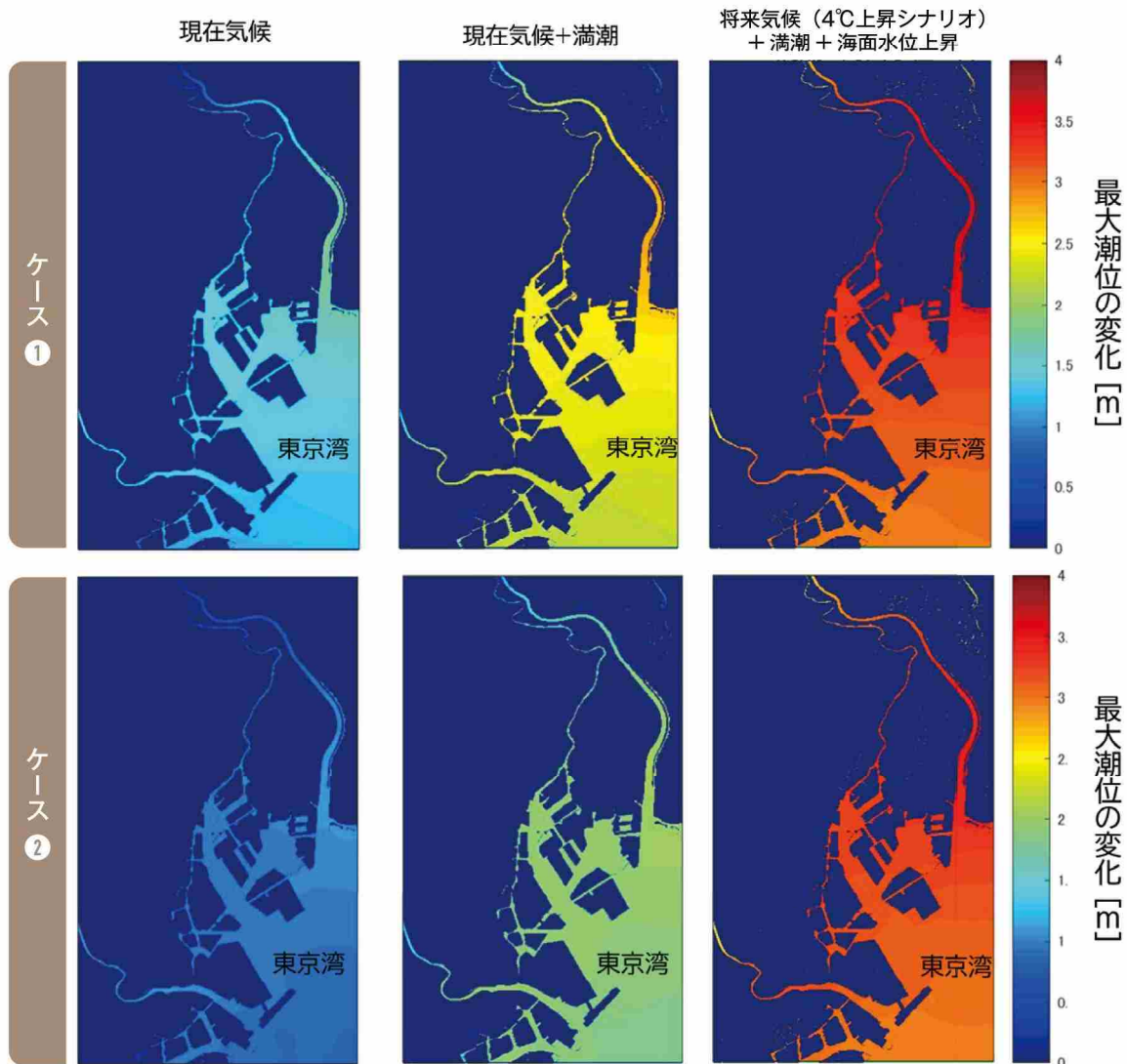


図18 東京湾周辺における最大潮位の変化(満潮時+海面水位上昇を考慮)

(気象モデルNHRM、高潮モデルSuWATによる結果。5ケースのうち代表的な2つのケースを示す。評価において堤防は考慮していない。)

平成30年台風第21号

地球温暖化が進行した条件下の平成30年台風第21号の様相

地球温暖化が進行した条件下での平成30年台風第21号の様相を、気象シミュレーションにより評価しました。

POINT 1

台風経路の再現性が高いアンサンブルの選択

台風によって生じる河川氾濫や高潮の被害は台風の強度と経路によって大きく異なります。台風の強度がより強くなれば、降雨量の増加や中心気圧の低下、風速の増加によって河川、高潮の被害が大きくなることが想定されます。また、台風の経路は地域ごとの風速・雨・潮位変化に影響し、大阪湾に近接した経路を取ると、大阪湾の高潮の危険性は上がります。将来気候における台風強度の変化に着目した影響評価を行うために、気象庁 GSM のアンサンブル予報による27通りの入力データ、5通りの計算開始時を用いたアンサンブル実験の中から、3つの気象モデルそれぞれにおいて実際の台風と近い経路を取る10ケース（図19）を選択し、全30ケースを対象に評価を実施しました。

以降の気象・河川・高潮シミュレーションの計算結果は、これらの30ケースをもとにしたものです。なお、図や文章にて示される計算結果のばらつきは、特に注記がない限り各気象モデルで選択された10ケースの値の下限と上限を表しています。

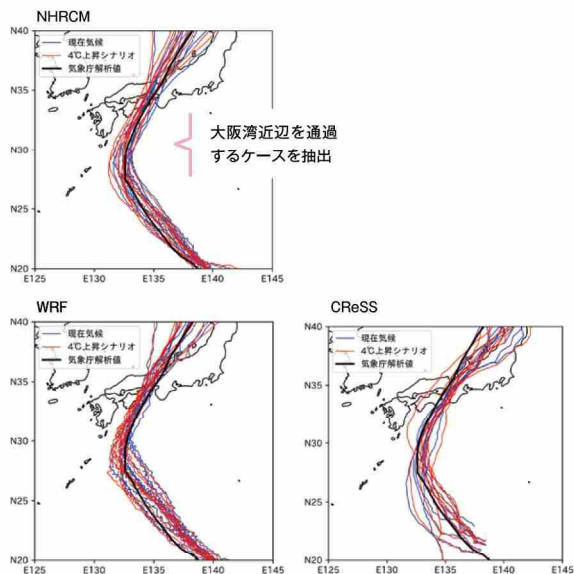


図19 本パンフレットで扱う気象モデルによる計算結果各10ケースの台風経路の再現性

POINT 2

気圧の変化

将来気候における台風の中心気圧の低下を確認しました。平成30年台風第21号の上陸時*の中心気圧を気象庁解析値から計算すると950hPaでした。上陸時の中心気圧を示した結果（図20）より、3つの気象モデル全てにおいて現在気候（青）と比較して将来気候（赤）の中心気圧が低下していることが確認できます。10ケースの平均値を比較すると、2°C上昇シナリオでは現在気候に比べて各気象モデル（NHRCM, WRF, CReSS）にて17hPa~22hPa、4°C上昇シナリオでは現在気候と比べて16hPa~27hPa低下し、台風強度が増す結果となりました。全30ケースの2°C上昇シナリオにおける中心気圧の低下は11.3hPa~30.8hPa、4°C上昇シナリオでは-1.3hPa~38.2hPaとなりました。

*：台風の中心が四国南端（北緯33.5度）を通過した時点を上陸時として定義し、線形内挿によって計算した。

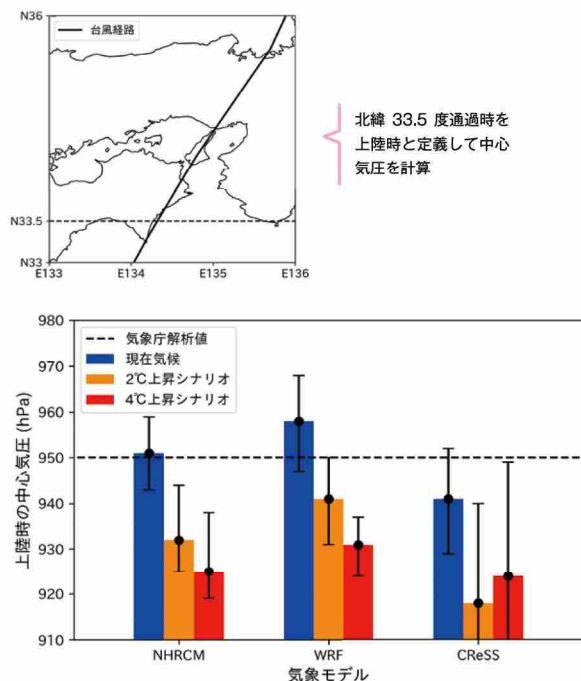


図20 上陸時の中心気圧(10ケースの平均値(棒グラフ)・各気象モデルで選択された10ケースの値の下限と上限(エラーバー)を示す。)

POINT 3

風速の変化

将来気候における台風の最大風速の上昇を確認しました。平成30年台風第21号の上陸時^{*1}の最大風速を気象庁解析値から計算すると45m/sでした。大阪湾通過時の最大風速を示した結果(図21)より、3つの気象モデル全てにおいて現在気候(青)と比較して将来気候(赤)の最大風速が上昇していることが確認できます。10ケースの平均値を比較すると、2℃上昇シナリオでは現在気候に比べて各気象モデル(NHRCM, WRF, CReSS)にて8m/s～9m/s、4℃上昇シナリオでは現在気候と比べて7m/s～15m/s大きくなる結果となりました。全30ケースの2℃上昇シナリオにおける最大風速の上昇は3.0m/s～15.5m/s、4℃上昇シナリオでは-4.0m/s～31.5m/sとなりました。

^{*1}: 台風の中心が四国南端(北緯33.5度)を通過した時点を上陸時として定義し、線形内挿によって計算した。

^{*2}: 最大風速は、地上及び海上10mにおける最大風速と定義する。

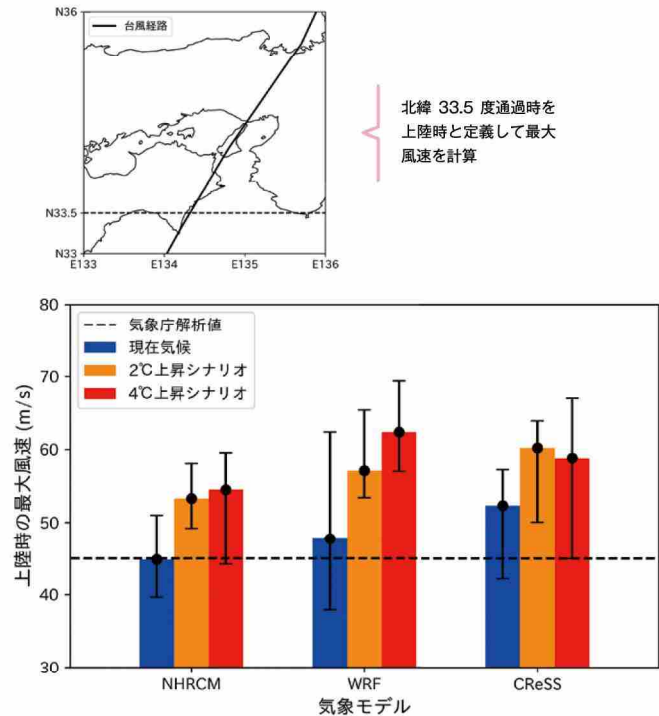


図21 上陸時の最大風速(10ケースの平均値(棒グラフ)・各気象モデルで選択された10ケースの値の下限と上限(エラーバー)を示す。)

POINT 4

降水量の変化

将来気候における降水量の上昇を確認しました。平成30年台風第21号は気象庁解析雨量における中国・四国・近畿・東海地方の累積降水量が平均87mmでした。気象シミュレーションでは、3つの気象モデル全てにおいて累積降水量が現在気候(青)と比較して将来気候(赤)では増加していました(図22)。10ケースの平均値を比較すると、2℃上昇シナリオでは現在気候に比べて各気象モデル(NHRCM, WRF, CReSS)にて-3%～+25%、4℃上昇シナリオでは現在気候と比べて9%～30%大きくなる結果となりました。全30ケースの2℃上昇シナリオにおける累積降水量の増加は-10.1%～51.5%、4℃上昇シナリオでは-6.0%～44.8%となりました。また、全30ケースの2℃上昇シナリオにおける1時間降水量の最大値の増加は-40.6%～57.1%、4℃上昇シナリオでは-14.7%～63.4%となりました。

^{*}: 2018年9月3日0時から2018年9月6日0時まで降った雨の総量と定義した。

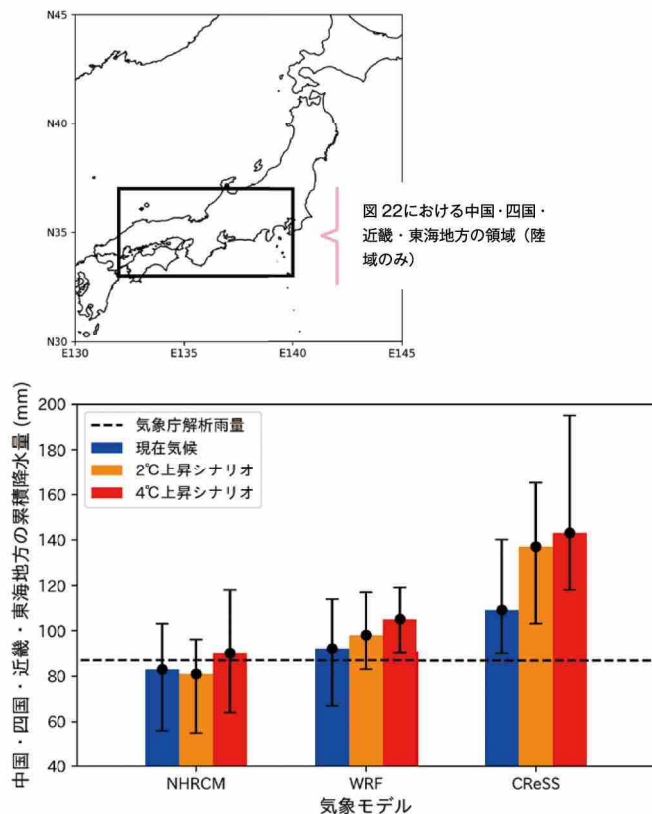


図22 中国・四国・近畿・東海地方における累積降水量(10ケースの平均値(棒グラフ)・各気象モデルで選択された10ケースの値の下限と上限(エラーバー)を示す。)
(累積期間: 2018 9/3 00:00～9/6 00:00)

地球温暖化が進行した条件下の 平成30年台風第21号による「洪水」への影響

SIMULATION

近畿地方及び中部地方において、流域内人口が多くかつ、流域内人口密度が高い*16水系を対象に、河川災害リスクの指標であるピーク流量（最大流量）などを各水系の基準地点*2で算出し、現在気候と将来気候（2℃、4℃）で比較しました。3種類の気象モデル（NHRCM、WRF、CReSS）と3種類の河川モデル（RRI、1K-DHM、CaMa-Flood）を組み合わせて評価することで、地球温暖化が進行した条件下での河川災害リスクについてより妥当性の高い評価を得ることを目指しました。ただし、1K-DHMは氾濫域を計算しておらず、CaMa-Floodは堤防の高さなどを詳細に再現していない点に留意する必要があります。

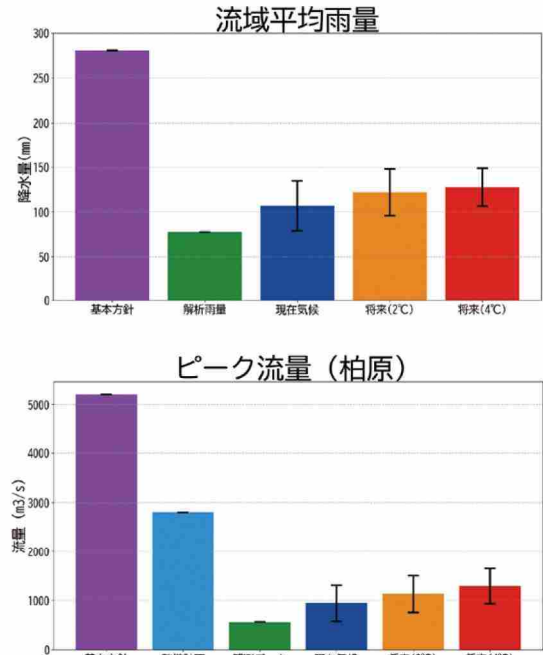
*1 国土交通省公表資料（一級水系における流域等の面積、総人口、一般資産額等について）より算出。
*2 基準地点：治水もしくは利水計画上、河川管理を適正に行うための基準となる地点。例えば大和川の基準地点には「柏原」がある。

POINT 1

流域平均雨量と ピーク流量（大和川）

近畿地方において、流域内人口密度が最も高い大和川水系について、流域平均雨量とピーク流量を算出しました。現在気候と比べて、2℃上昇シナリオでは流域平均雨量とピーク流量の変化傾向が明確ではありませんが、4℃上昇シナリオでは流域平均雨量とピーク流量の増加が予測されました。今回実施したシミュレーションでは、いずれの気候シナリオでも、ピーク流量の平均値が河川整備計画の流量に達する結果となったケースはありませんでした。

図23 大和川流域における流域平均雨量とピーク流量
(3気象モデル×3河川モデル×10ケースの90通りの計算の平均
(棒グラフ)・標準偏差(エラーバー)。*観測流量に、ダム流入量と
氾濫流量を加算した「ダム・氾濫戻し流量」を表示する。)



POINT 2

ピーク流出高の 変化

ピーク流出高とは、ピーク流量をその上流の集水面積で除した値で、中小河川の洪水氾濫の発生可能性を示す一つの指標です。近畿地方において、中小河川で洪水氾濫が発生する目安であるピーク流出高30mm/hには達する箇所は見られませんが、現在気候と比べて、2℃上昇シナリオ、4℃上昇シナリオではピーク流出高が増加する様子が見られました。

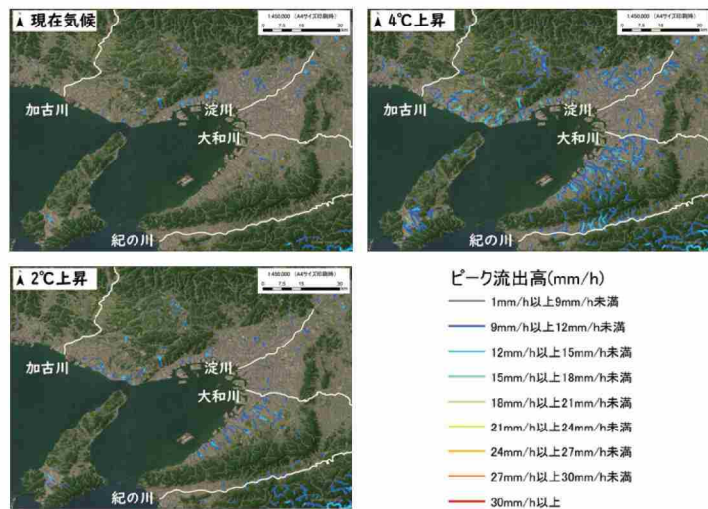


図24 ピーク流出高の変化
(3気象モデル×10ケースの30通りの計算の平均、河川モデルRRIで計算、左上：現在気候、
左下：2℃上昇、右上：4℃上昇)

POINT 3

流域平均雨量の変化(6水系)

近畿地方及び中部地方において、流域内人口が多くかつ、流域内人口密度が高い6水系について、流域平均雨量を算出しました。6水系全体の傾向を見ると、基準地点上流域の流域平均雨量は、2℃上昇シナリオでは、平均して10%増加(3%減少～29%増加)、4℃上昇シナリオでは、平均して19%増加(1%増加～47%増加)し、水系によって増減の傾向が異なる結果となりました。

(文章中の数値は6水系の変化率の平均と、最小値～最大値を示す)

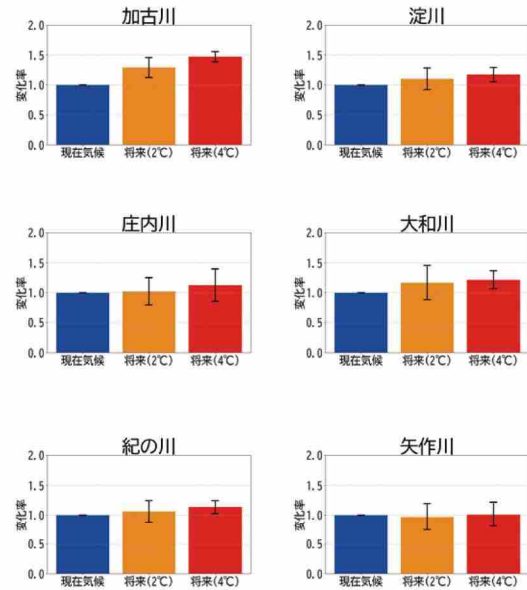


図 25 6水系の流域平均雨量の変化

(3気象モデル×3河川モデル×10ケースの90通りの計算の平均(棒グラフ)・標準偏差(エラーバー)、現在気候の平均値を1として示す。)

POINT 4

ピーク流量の変化(6水系)

近畿地方及び中部地方において、流域内人口が多くかつ、流域内人口密度が高い6水系について、ピーク流量を算出しました。2℃上昇シナリオでは、平均すると18%増加(5%減少～60%増加)、4℃上昇シナリオでは、平均して41%増加(3%増加～115%増加)し、流域平均雨量以上に、水系によって増減の傾向が異なる結果となりました。ただし、今回実施したシミュレーションでは、いずれの河川、またいずれの気候シナリオでも、ピーク流量の平均値が河川整備計画の流量に達する結果となったケースはありませんでした。

(文章中の数値は6水系の変化率の平均と、最小値～最大値を示す)

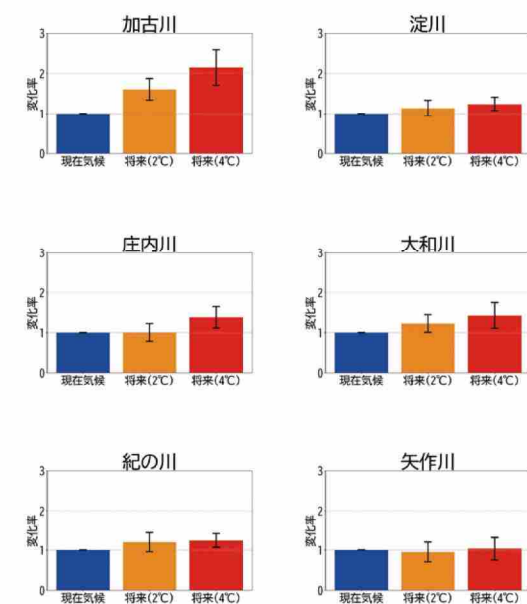


図 26 6水系の基準地点のピーク流量の変化

(3気象モデル×3河川モデル×10ケースの90通りの計算の平均(棒グラフ)・標準偏差(エラーバー)、現在気候の平均値を1として示す。)

地球温暖化が進行した条件下の 平成30年台風第21号による「高潮」への影響

SIMULATION

大阪湾に面した沿岸部での高潮影響（潮位偏差）を計算し、現在気候と将来気候（2℃上昇シナリオ、4℃上昇シナリオ）で潮位偏差の違いを比較しました。3種類の気象モデル（NHRCM, WRF, CReSS）及び2種類の高潮モデル（GeoClaw及びSuWAT）を組み合わせて評価することで、地球温暖化が進行した条件下での高潮についてより妥当性の高い評価を得ることを目指しました。

高潮を評価するため、気象モデルによって得られた気圧と風速を用いて計算を行いました。図27はそれらのうち大阪湾付近での地上付近の風速の例を示したものです。現在気候では最大風速が40m/sを下回っていますが、4℃上昇シナリオでは50m/sに達するケースも確認されました。

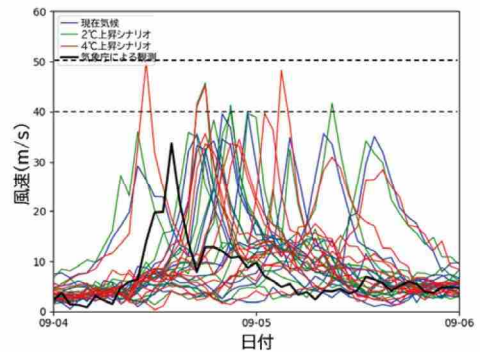


図27 台風による大阪湾付近の風速の時間経過 (NHRCM, 大阪平野内の地点)

POINT 1

最大潮位偏差の変化

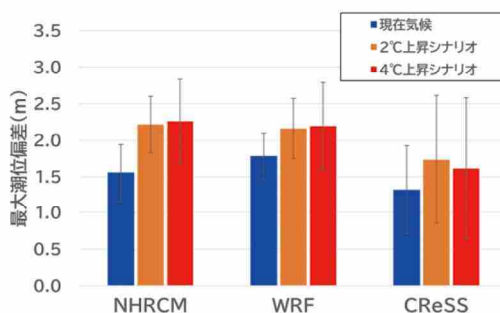
平成30年台風第21号では、将来気候において潮位偏差は上昇し、大阪湾の代表地点（図28）における最大潮位偏差の変化（図29）を見ると、2℃上昇シナリオ、4℃上昇ともに最大潮位偏差が増加する結果となりました。現在気候と比較し、将来気候において台風の中心気圧が低下し、風速が増加したため、吸い上げ効果及び吹き寄せ効果^{30ページ参照}の両者が強まり、高潮による潮位偏差が大きくなったものと考えられます。

2℃上昇シナリオでの最大潮位偏差の上昇率は平均27.5%（NHRCM:30%、WRF:24%、CReSS:29%）、4℃上昇シナリオでは平均23.0%（NHRCM:31%、WRF:23%、CReSS:14%）であり、気象モデル間で差が見られました。2種類の高潮モデル（GeoClaw及びSuWAT）の結果を比較すると、GeoClawの方がやや潮位が高い結果となりました。



図28 潮位の評価地点
背景地図：地理院地図（国土地理院）

大阪湾における最大潮位偏差(GeoClaw)



大阪湾における最大潮位偏差 (SuWAT)

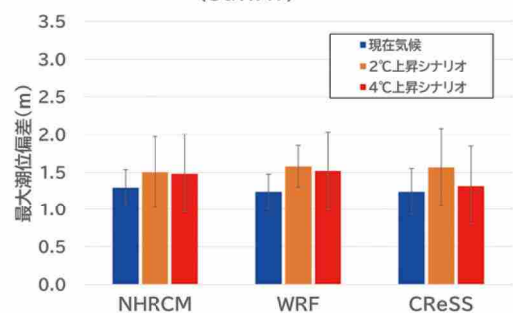


図29 大阪湾最大潮位偏差の変化（左：GeoClaw、右：SuWAT）
（それぞれ10ケースの平均（棒グラフ）・標準偏差（エラーバー）を示す）

POINT 2

潮位上昇の変化

図30は大阪湾周辺における高潮による潮位の空間的な分布を可視化したものです。

この図において、現在気候の結果は、10ケースのうち最も観測された潮位に近い1ケースを選択して示しており、2℃上昇シナリオ及び4℃上昇シナリオの結果は、現在気候で選択した1ケースにおける将来変化を示しています。このケースでは現在気候よりも2℃上昇シナリオの方が全体的に高潮による最大水位が高く、4℃上昇シナリオではさらに大きな潮位変化となることが確認されました。また、10ケースを平均した場合には図31の通り潮位が増加する傾向となっていますが、個々のケースでは潮位が増加しないケースも見られました。他に、台風の風による吹き寄せ効果によって、湾奥に向かって潮位が上昇する傾向が見られます。平成30年台風第21号では、大阪湾でのこれまでの最高潮位を更新(T.P.+329cm)したものの、市街地への浸水は発生しませんでした。一方で将来の地球温暖化を想定した場合には、より強い台風によって高潮の被害を発生させる最大潮位の変化が確認されました。

※潮位は最大潮位による表示

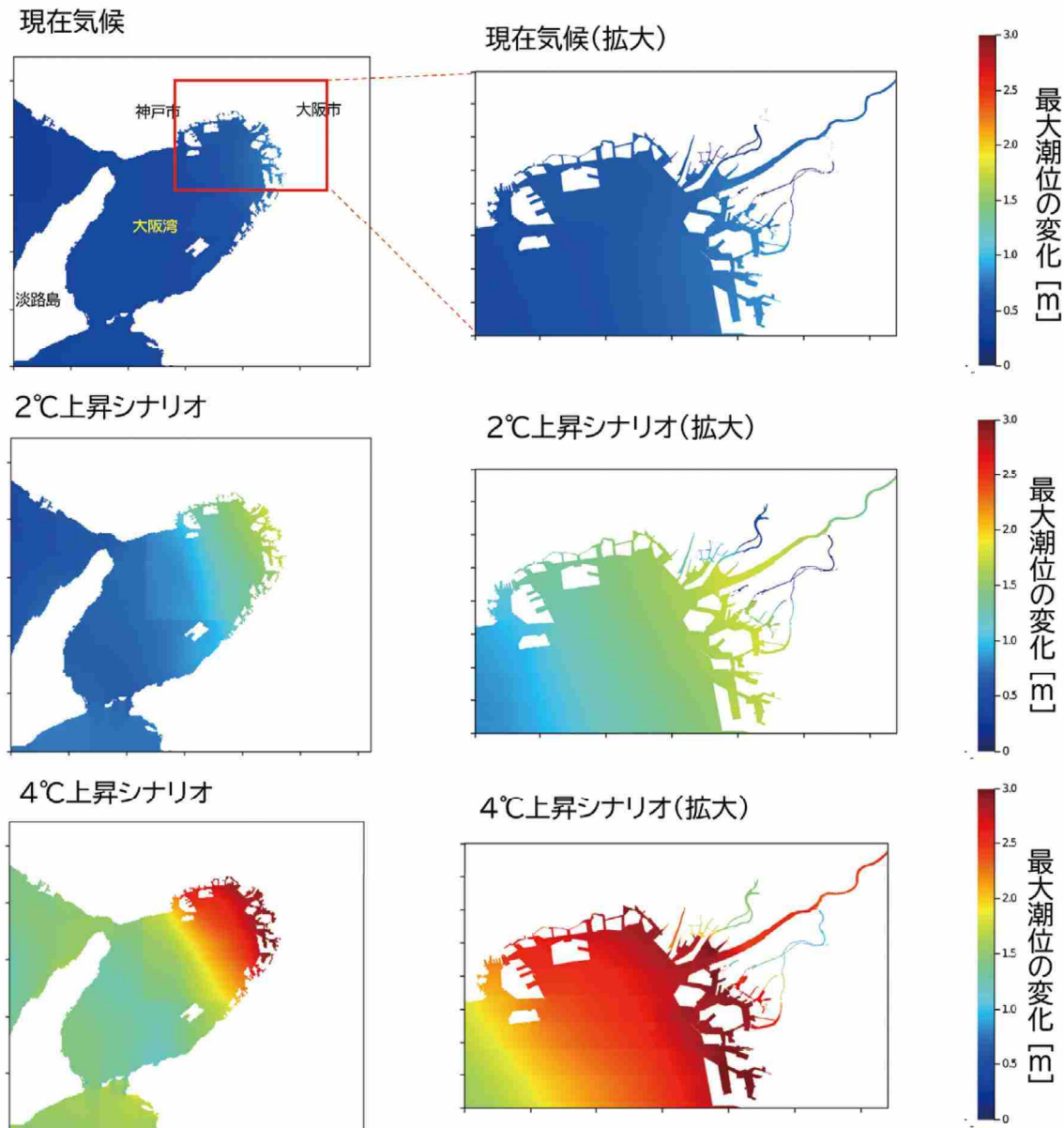


図30 大阪湾周辺における最大潮位の変化

(気象モデルNHRM、高潮モデルGeoClawによる結果。10ケースのうち代表的な1つのケースを示す。評価において堤防は考慮していない。また、p18の令和元年東日本台風の場合と異なり、平成30年台風第21号においては満潮や海面水位上昇を考慮したシミュレーションは実施していない。)

地球温暖化が進行した条件下の 平成30年台風第21号による「強風」への影響

SIMULATION

平成30年台風第21号では、大雨や高潮に加えて、大阪平野を中心として強風による建物などの被害ももたらされました。本パンフレットでは、今後さらに地球温暖化が進行した場合、台風による強風にどのような影響を与えるかを、個々の建物や高架道路などの詳細な地形情報を考慮したLESモデル*を用いた分析によって評価しました。この評価では、気象モデルより得られた広いエリアの風速の情報をもとに、市街地を含む狭いエリアでの瞬間的な風の変化を評価しています。

*風害につながる都市域の突風現象を表現することを目的とした、細かい空間スケールの乱流を評価可能な数値流体力学モデル。詳細については27ページ参照。

POINT 1

強さの変化

短い期間で局所的に生じる風の強さを評価するため、大阪平野の市街地の一部地域を対象としてLESモデルで計算された30秒ごとの風速の瞬時値の最大値を指標（以下、「風速」と表現します。）として評価しました。地上から10mの高さの風速の変化（図31）を見ると、2℃上昇シナリオでは平均9%(-42%~31%)程度、4℃上昇シナリオでは平均11%(-31%~55%)程度風速が増大する結果となりました*。現在気候と比較し、将来気候において台風の中心気圧が低下し、勢力が強くなったため、風速が平均的に大きくなったものと考えられます。3つの気象モデル（NHRCM、WRF、CReSS）による評価結果には個別のケースでは違いが見られましたが、平均的には2℃上昇シナリオ、4℃上昇シナリオともに風速が強くなる傾向が確認されました。今回の結果は特定の地域に対して得られた傾向であり、対象地域の選び方によって異なる結果が得られる可能性があります。

*台風の経路によって局所的な風速は大きく変化し得るため、変化率がマイナスの（風速が減少する）ケースも確認されました。

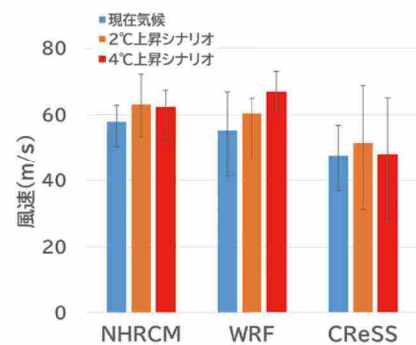


図31 地上10m高さの風速の変化
(エラーバーは最小ケース～最大ケース)

POINT 2

強風の空間分布

LESモデルによって様々な高度で評価された風速の空間的な分布（図32）を見ると、高度が高くなるほど強い風が吹いています。高度9m（左から2番目）においては、公園や空き地等の遮蔽物が少ないエリア、及び大通りに沿って特に風速の高いエリアが存在することが確認できます。

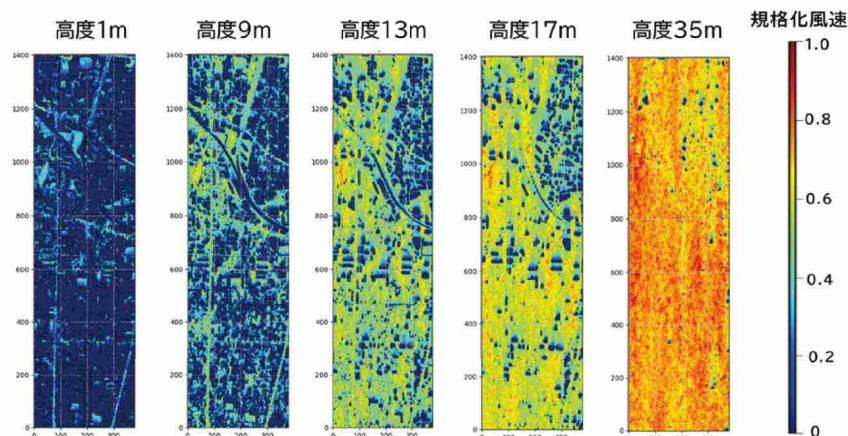


図32 様々な高度で評価された風速の空間的な分布
(参照高度(475m)の平均値を1とした場合の相対値(規格化風速)で表現)

第3章

参考情報

第3章の内容説明

第3章では世界全体及び日本における熱帯低気圧（台風）についての将来予測の情報や、気候変動への適応（8ページ参照）に関連した様々な情報を得ることができるツール・文書についてまとめています。

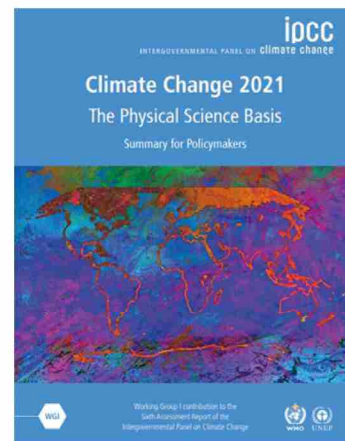
さらに、第2章で紹介したシミュレーションにて使用した各種計算モデルの特徴や計算諸元についても整理しています。

熱帯低気圧に関連する最新の科学的知見

世界全体における評価

世界各地で発生する「熱帯低気圧」（発生場所によって台風・ハリケーン・サイクロンと呼称が異なります。）について、気候変動によってどのような変化が生じるかは、日本だけでなく世界でも大きな関心を集めています。気候変動に関する科学的な知見を取りまとめている気候変動に関する政府間パネル（IPCC）³⁰ページ^{参考5}が2021年に発行した最新の予測^{参考16}では、「非常に強い熱帯低気圧（カテゴリー 4～5^{*}）の割合と最も強い熱帯低気圧のピーク時の風速は、地球規模では、地球温暖化の進行に伴い増加する」（確信度が高い）とされています。

※1分間平均の最大風速に基づき定義された熱帯低気圧の強さ。カテゴリー 4は58～69 m/s、5は70 m/s以上。



IPCC第6次評価報告書（第1作業部会）^{参考16}

日本における評価

日本国内でも、地球温暖化による台風の将来変化に関しては積極的な研究が行われています。令和2年に文部科学省・気象庁が公表した「日本の気候変動2020^{参考5}」では、そういった研究による知見がまとめられ、地球温暖化によって日本付近の台風の強度が強まり、台風による降水量も増加する（いずれも確信度が中程度）ことが予測されています。



文部科学省・気象庁：日本の気候変動2020^{参考5}

気象モデル

NHRCM

NHRCMは、2004年から2017年まで気象庁がオペレーションで用いている非静力学モデル(JMANHM)をもとに気象研究所が開発した長時間積分可能な領域気候モデルです。本プロジェクトでは気象庁GSMのアンサンブル予報をモデルの入力値として使用し、シミュレーションを行っています。

出所) 気象研究所技術報告 第73号 気象研究所非静力学地域気候モデルによる日本付近の将来気候変化予測について https://www.mri-jma.go.jp/Publish/Technical/DATA/VOL_73/tec_rep_mri_73.pdf

WRF

WRFは、米国大気研究センター(NCAR)と米国環境予測センター(NCEP)にて開発された、学術研究と天気予報の双方に対応した非静力学領域気象モデルです。データ同化システムと並列計算やシステムの拡張性をサポートする豊富なソフトウェアを特徴としています。本プロジェクトではNHRCMの5km解像度の実験をモデルの入力値として使用し、シミュレーションを行っています。

出所) NCAR WRF - Weather Research & Forecasting Model <https://www.mmm.ucar.edu/weather-research-and-forecasting-model>

CReSS

CReSSは、名古屋大学によって開発された、積雲対流パラメタリゼーション^{30ページ参照}を用いない非静力学気象モデルです。CReSSは大規模な並列計算機で効率よく実行できるように設計され、その並列計算により雲の詳細な時間発展のシミュレーションを行うことができます。また、簡略化した1次元海洋モデルを結合し台風に伴う海面水温低下を考慮しています。本プロジェクトではNHRCMの5km解像度の実験をモデルの入力値として使用し、シミュレーションを行っています。

出所) 雲解像モデルCReSSの概要 http://rain.hyarc.nagoya-u.ac.jp/~tsuboki/mlit_res/src_jpn/cress_synopsis.html

表 計算諸元

モデル名	NHRCM	WRF	CReSS
計算領域・計算格子	日本周辺 (単方向ネスティング ^{30ページ参照} による20km解像度から5km、2kmへの力学的ダウンスケーリング ^{30ページ参照})	日本周辺(4km)	日本周辺(4km)
初期値・境界条件	気象庁GSMのアンサンブル予報 ^{30ページ参照}	NHRCM(5km)の計算結果	NHRCM(5km)の計算結果
ナッジング ^{30ページ参照} の有無	有	有	無

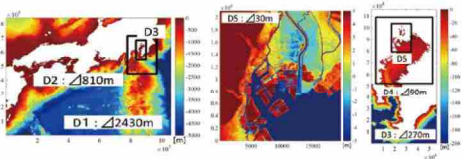
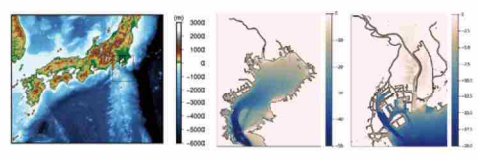
強風モデル

モデル名	LESモデル		
概要	風害につながる都市域の突風現象を表現することを目的とした、細かい空間スケールの乱流を評価可能な数値流体力学モデル	イメージ	
再現現象	地表面付近の局所的な風		
入力変数	風速		
対象地域	大阪平野の都市部(南北3km × 東西1km)	出所	京都大学プレスリリース https://www.kyoto-u.ac.jp/ja/research-news/2019-02-06 等
解像度	空間:2m、時間:10秒		
出力変数	最大瞬間風速 など		

河川モデル

モデル名	RRI	1K-DHM	CaMa-Flood
概要	低平地での大規模な氾濫を迅速に予測するための手法として開発。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あふれる現象を流域一体で予測する空間分布型モデル。中小河川の洪水予測などにも応用可。	降雨流出モデルであり、流域中のセルを河道セル及び斜面セルに分けて計算が行われる。表面流及び中間流を考慮したキネマティックウェーブモデルを用いて降水データから河川流量を算出する。	世界の河川ネットワーク全体について、地球規模で効率的な流量計算を実現するために、集水域単位に離散化された氾濫モデル。全球超高解像度水文地形データを利用しており、マイクロ・マクロ双方で精度良く利用できる。
再現現象	流出解析・氾濫解析	流出解析	河道追跡（※MATSIRO5を用いて陸面過程を計算した後に計算）
入力変数	降水量	降水量	降水量、気温、水蒸気、下向き短波、長波、雲量（MATSIRO5）
水文地形情報	J-FlwDir	HydroSHEDS	J-FlwDir
解像度	5秒	30秒	1分
出力変数	河川流量、河道水位 など	河川流量 など	河川流量、河道水位、流速、氾濫面積 など
イメージ			
出所	ICHARM ホームページ (https://www.pwri.go.jp/icharm/research/rri/index_j.html) 等	1K-FRM/DHM ホームページ (http://hywr.kuciv.kyoto-u.ac.jp/products/1K-DHM/1K-DHM.html) 等	CaMa-Flood ホームページ (http://hydro.iis.u-tokyo.ac.jp/~yamada/ca-ma-flood/) 等

高潮モデル

モデル名	SuWAT (Kim et al., 2008)	GeoClaw (Clawpack Dev. Team, 2020)
支配方程式	非線形長波方程式	非線形長波方程式
入力気象データ	気圧（海面更正気圧）、 風速（u10, v10: 高度10m風速）	気圧（海面更正気圧）、 風速（u10, v10: 高度10m風速）
地形データ	中央防災会議10mメッシュデータ ※堤防なし	中央防災会議10mメッシュデータ ※堤防なし
モデルの計算領域・計算領域の地理的な範囲・空間解像度（グリッドサイズ）	範囲：東京湾を対象 解像度：固定グリッドモデル、5段階ネスティング計算、2.5kmから30mメッシュ 	範囲：東京湾を対象 解像度：解適合格子法（AMR）を利用（動的に水位上昇海域周辺の空間解像度を变化）、最小解像度は30m 

出所) 京都市沿岸災害研究分野作成資料を基に作成

気候変動適応に関する日本の取組み

平成30年12月1日に気候変動適応法が施行され、国や地方公共団体、事業者、国民の各主体が気候変動適応を推進するための枠組みが整備されています。環境省は令和2年12月17日に「[気候変動影響評価報告書](#)」を公表しました。同報告書は、各主体が適応策を検討する際に必要な情報を効率的に抽出できるよう、様々な分野・項目ごとに、既に報告されている気候変動の影響や、将来予測される影響をとりまとめ、影響の重大性・緊急性・確信度を評価しています。また、気候変動適応法に基づき、気候変動適応に関する施策の総合的かつ計画的な推進を図るために策定された「[気候変動適応計画](#)」（平成30年11月27日閣議決定）は、「気候変動影響評価報告書」が示した科学的知見を踏まえ、令和3年10月22日に改訂版が閣議決定されました。



気候変動影響評価報告書参考17

気候変動適応情報プラットフォーム

気候変動による影響への対応を考える際に役立つ情報を一元的に発信する「[気候変動適応情報プラットフォーム \(A-PLAT\)](#)」^{参考18}が、国立環境研究所気候変動適応センターにより提供されています。

適応に取り組むに当たって役立つ下記コンテンツのほか、参考情報のリンク集、気候変動関連ニュース、普及啓発のための動画などを掲載しています。

- 国及び地方公共団体の適応計画紹介ページ
- 全国・都道府県情報（適応策を検討する上で役立つデータを都道府県別に掲載）
- 地方公共団体における気候変動適応計画策定ガイドライン（地方公共団体における適応計画の策定にあたり参考となるよう、具体的な手順などを整理したもの）
- 地方公共団体会員専用ページ（情報交換用）
- 気候変動影響に関する文献一覧
- 適応への取り組み事例紹介ページ



気候変動適応情報プラットフォーム (A-PLAT)

気候変動適応に役立つ予測情報

気候変動影響評価のためには、気候（気温・降水など）がこれまでにどのように変化してきたのか、また、将来どのように変化するのかに関する情報が必要不可欠です。日本の気候変動の現状や予測について、以下のような文献やデータが利用できます。

- 文部科学省・気象庁は令和2年12月に「[日本の気候変動2020](#)」^{参考15}を公表しました。日本の気候（気温・降水など）について、観測結果や将来予測が詳しくまとめられています。また、令和4年12月に、国内の気候変動研究プログラム等において作成された気候予測データを取りまとめた「[気候予測データセット2022](#)」^{参考19}を利用上の注意点をまとめた解説書とあわせて公表しました。
- 文部科学省では気候変動等の地球規模課題の解決に資する情報システムとして、地球環境ビッグデータ（観測情報、気候変動予測情報等）を蓄積・統合解析する「[データ統合・解析システム \(DIAS\)](#)」^{参考20}を開発・運用しています。

このパンフレットで使われている用語

潮位偏差

月や太陽の影響によって生じる潮位の変化を天文潮位といい、天文潮位と観測潮位の差を潮位偏差という。

吸い上げ効果

高潮が生じる原因の一つとなる、気圧の低下によって海面を抑える力が弱まり、海面が上昇する効果。

吹き寄せ効果

高潮が生じる原因の一つとなる、浅い湾で強い風が陸に向かって吹くことで海水が吹き寄せられ、海面が上昇する効果。

d4PDF

文部科学省「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℃上昇実験データ及び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る。^{参考21}

擬似温暖化手法

過去の気象データを初期・境界条件とした再現実験を行うとともに、過去の気象データに地球温暖化による海面水温、気温等の変化分を足し合わせたものを初期・境界条件とする擬似温暖化実験を行い、両者を比較することで地球温暖化に伴う現象の変化を評価する手法。

気象庁解析値

台風の中心位置や中心気圧・最大風速などを専門家が後日に解析してまとめ、気象庁が公表しているデータ。

アンサンブル実験

気象データの揺らぎやモデルの特性からくる計算結果の不確実性を把握するために、多数の計算結果 (アンサンブル) を用いて確率的な評価を行う実験。特に気象の状態は僅かに異なる2つの初期値からシミュレーションを行っても、計算が進むにつれて大きな差が生まれる性質を持つ。アンサンブル実験を行うことによって、気象シミュレーションの不確実性を統計的に把握し、起こり得る可能性が高い気象の状態の特定や、極端現象の確率的な評価を行うことが可能となる。

気象庁 GSM

GSMは全球モデル (Global Spectral Model) の意。地球全体の大気を対象

とした気象庁の数値予報モデル。気象庁では、全球数値予報モデルの計算結果を図示化した数値予報天気図を1日2回 (一部資料は1日1回) 作成している。数値予報ではアンサンブル予報という手法を利用し、少しずつ異なる初期値を多数用意した多数の予報を行うことで数値予報の誤差を統計的に考慮した予報を行っている。

気候変動に関する政府間パネル (IPCC)

人為起源による気候変動、影響、適応及び緩和方策に関し、科学的、技術的、社会経済学的な見地から包括的な評価を行うことを目的として、1988年に世界気象機関 (WMO) と国連環境計画 (UNEP) により設立された組織。自然科学的根拠 (WG1)、影響・適応・脆弱性 (WG2)、気候変動の緩和 (WG3) に関するレポートがおおよそ5～8年ごとに刊行されている。最新の第6次評価報告書は2021-2023年に刊行されている。^{参考16}

積雲対流パラメタリゼーション

積雲対流現象は降雨を引き起こす現象の一つであるが、気象モデルの解像度より小さい規模の対流現象はモデル内の物理過程としてあからさまに表現することができない。積雲対流パラメタリゼーションは、大規模な気象の状態等をパラメータとして用いて解像度より小規模な対流現象を評価する手法である。

ネステイング

ダウンスケージングを実施する際の、親モデルと子モデルの入れ子構造のこと。親モデルから子モデルに一方向的に情報を引き渡すものを単方向ネステイング、両モデル間で情報を交換するものを双方向ネステイングという。

力学的ダウンスケージング

あるモデル (親モデル) の出力を初期・境界条件にして、それより空間解像度の高いモデル (子モデル) を計算し、空間的に詳細な解析値を得ること。なお、観測値と解析値との統計的関係を用いた空間詳細化手法を統計的ダウンスケージングという。

ナッジング/スペクトルナッジング

数値モデルに実測データ等を取り入れ、モデルの再現性を高める手法の一つ。解析値を外部の気象条件 (観測値やダウンスケージング時の親モデル等) に近づくよう強制を加えた上でシミュレーションを行う手法をナッジングという。ある空間スケールの現象 (通常は大きなスケールの現象) のみに限定してナッジングを行う手法をスペクトルナッジングという。解析モデルで表現し得る小さなスケールの現象を生かしつつ、大きなスケールでは外部の気象条件に近づけることができる。

出典・参考

- 1 気象庁「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)」
(<https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/bosai/report/2019/20191012/20191012.html>, 2023年2月21日閲覧)
- 2 気象庁「台風第21号による暴風、高潮等 平成30年 (2018年) 9月3日～9月5日 (速報)」
(<https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/bosai/report/2018/20180911/20180911.html>, 2023年2月21日閲覧)
- 3 気象庁「台風第24号に関する気象情報」(<https://www.jma.go.jp/jma/press/1809/28a/2018092813.html>, 2023年2月21日閲覧)
- 4 気象庁「台風とは」(<https://www.jma.go.jp/jma/kishou/kyou/tphoon/1-1.html>, 2023年2月21日閲覧)
- 5 文部科学省・気象庁「日本の気候変動2020」(<https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/ccj/index.html>, 2023年2月21日閲覧)
- 6 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」(https://www.mlit.go.jp/river/kasen/suisin/pdf/01_kangaekata.pdf, 2023年2月21日閲覧)
- 7 国土交通省「カワナビ」(<https://www.mlit.go.jp/river/kawanavi/prepare/>, 2023年2月21日閲覧)
- 8 内閣府「令和2年版防災白書」(http://www.bousai.go.jp/kaigirep/hakusho/r02/honbun/0b_1s_01_03.html, 2023年2月21日閲覧)
- 9 環境省「災害廃棄物対策フォトチャンネル」(http://koukikishori.env.go.jp/photo_channel/r01_typh19/detail/?id=HA-10-02-002&rtmp=search&p=1, 2020年12月7日取得)
- 10 内閣府「令和元年版防災白書」(https://www.bousai.go.jp/kaigirep/hakusho/h31/honbun/0b_1s_01_03.html, 2023年2月21日閲覧)
- 11 国土交通省「平成30年台風第21号」(<https://www.mlit.go.jp/policy/shingikai/content/001335631.pdf>, 2023年2月21日閲覧)
- 12 国土交通省近畿地方整備局「災害写真ライブラリー」(https://www.kkr.mlit.go.jp/bousai/saigairairurari/pictures_list.php?disaster_id=47, 2023年2月21日閲覧)
- 13 国土交通省 報道発表資料「1月10日「無電柱の日」にイベントを開催します」(https://www.mlit.go.jp/report/press/road01_hh_001086.html, 2023年2月21日閲覧)
- 14 国土交通省近畿地方整備局「平成30年台風21号関連情報」(https://www.kkr.mlit.go.jp/bousai/taiou/kinki/h30_taihuu21gou.html, 2023年2月21日閲覧)
- 15 国土交通省社会資本整備審議会河川分科会「気候変動を踏まえた水災害対策検討小委員会 (第2回)」
(https://www.mlit.go.jp/river/shingikai_blog/shaseishin/kasenbunkakai/shoujinkai/kikouhendou_suigai/2/pdf/00_hosokusetsumei.pdf, 2023年2月21日閲覧)
- 16 IPCC第6次評価報告書 第1作業部会報告書 政策決定者向け要約 暫定訳 (文部科学省・気象庁)
(https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/ipcc/ar6/IPCC_AR6_WG1_SPM_JP_20220512.pdf, 2023年2月21日閲覧)
- 17 環境省「気候変動影響評価報告書の公表について」, 2020年12月17日 (<https://www.env.go.jp/press/108790.html>, 2023年2月21日閲覧)
- 18 環境省「気候変動適応情報プラットフォームポータルサイト」(<https://adaptation-platform.nies.go.jp/>, 2023年2月21日閲覧)
- 19 文部科学省・気象庁「気候予測データセット2022」(<https://diasjp.net/ds2022/>, 2023年2月21日閲覧)
- 20 データ統合・解析システム (DIAS) (<https://diasjp.net/about/>, 2023年2月21日閲覧)
- 21 文部科学省気候変動リスク情報創生プログラム「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)」
(<https://www.miroc-gcm.jp/d4PDF/about.html>, 2023年2月21日閲覧)

勢力を増す台風

～我々はどのようなリスクに直面しているのか～ **2023**

本冊子に掲載のシミュレーション結果は、
環境省「気候変動による災害激化に関する影響評価業務」(令和2年度～令和4年度)の成果です。
本冊子の図表等には、引用に際して許諾申請が必要なものがあります。

企画・監修／環境省

編集／株式会社三菱総合研究所

株式会社バスコ

エム・アール・アイリサーチアソシエイツ株式会社

問合せ先／環境省地球環境局総務課気候変動対応室

