

# 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～

[令和元年東日本台風の擬似温暖化実験]



# はじめに

## はじめに

令和元年10月に発生した令和元年東日本台風（台風第19号）は、東日本を中心とした広い範囲に大雨をもたらし、河川の氾濫等により各地で甚大な被害が発生しました。この台風については、進路に沿った海域の海面水温が平年よりかなり高く、台風が発達しやすい環境にあったことが指摘され、当時から地球温暖化との関係性に関心が持たれていました。

近年、過去に発生した個々の台風について、温暖化に伴う気温や海面水温の上昇の寄与を評価する手法の開発が進み、温暖化の影響による気圧や降水量等の変化を定量的に示すことができるようになってきました。令和元年東日本台風については、過去（工業化以降、現在まで）の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<sup>参考1</sup>。

では、今後更に地球温暖化が進行した場合、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るため、環境省の「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」では、令和元年東日本台風が、工業化以前（18世紀半ば頃）と比較して2℃及び4℃温暖化した状況において発生した場合、どのような影響をもたらすかを調査しました。

本パンフレットは、令和元年東日本台風という実際に発生した台風を対象とすることで将来の台風がどの程度深刻な影響をもたらすのか、また、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について、行政機関、企業、市民の皆様等に分かりやすく提供することを目指しています。

## 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」及び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。

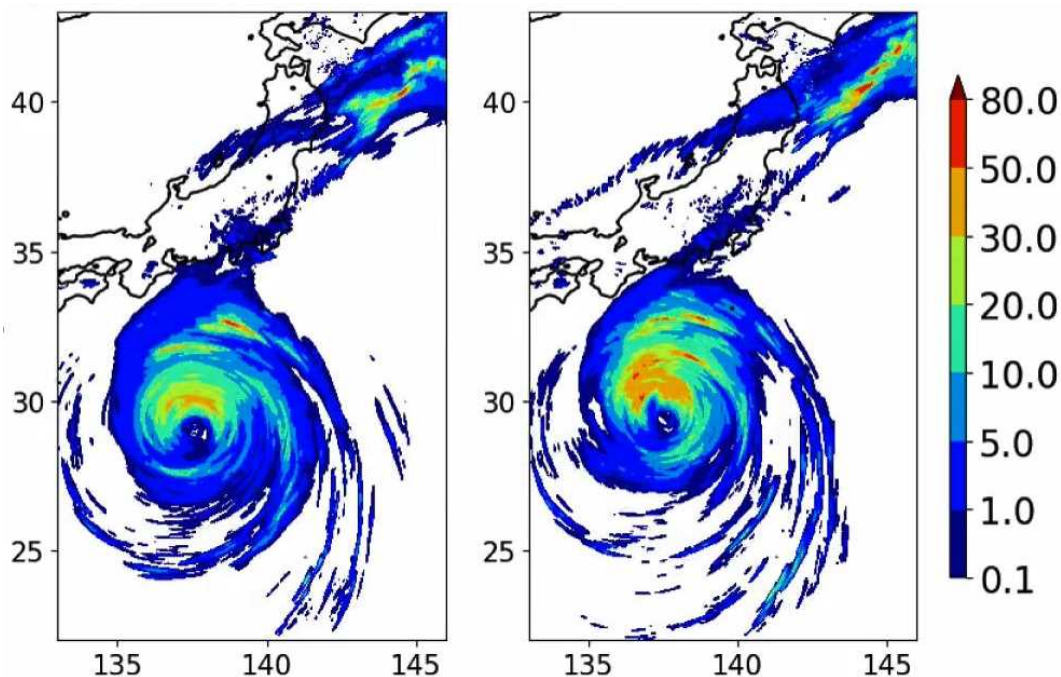
### 「気候変動による災害激甚化に関する影響評価検討委員会」メンバー

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	名古屋大学 気象学研究室 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
脇岡 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

※ 敬称略。所属、役職は  
2021年3月時点

## Contents

表紙	1
はじめに	2
目次	3
本パンフレットの概要	4-5
令和元年東日本台風における被害の概要	6
シミュレーションの概要	7
地球温暖化が進行した条件下の令和元年東日本台風の特徴	8-9
地球温暖化が進行した条件下の台風による洪水への影響	10-11
地球温暖化が進行した条件下の台風による高潮への影響	12-13
地球温暖化が進行した条件下の台風による影響のまとめ	14
台風の影響への適応	15
シミュレーションモデルの説明	16-17
気候変動適応に向けての関連情報	18
用語の説明・出典	19
裏表紙	20



イメージ図：本プロジェクトでシミュレーションされた台風による時間降水量(mm)分布の一例  
左：現在の台風の再現計算、右：4℃上昇シナリオ  
気象モデルNHRCMIによる結果の一部

# 本パンフレットの概要

## 概要

令和元年10月に関東甲信地方から東北地方にかけて広い範囲でさまざまな被害をもたらした令和元年東日本台風（台風第19号）は、工業化以降の気温及び海面水温の上昇により、総降水量が増加したことが示されています<sup>参考1</sup>。

このような知見も踏まえ、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、シミュレーションによって評価した結果を本パンフレットにまとめています。

2℃及び4℃気温が上昇した状況は、それぞれ「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」、「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」と考えることができます。今後の対策により気温上昇を2℃に抑えた場合、4℃上昇した場合に比べて、台風に関する影響をどの程度軽減できるか、という視点での比較も可能です。

シミュレーションの手順として、まず、実際の令和元年東日本台風と同様の位置で発生し、同様の経路をと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（以降の文章や図表で「現在気候」と表現します）。その後、世界平均気温が工業化以前より2℃、4℃上昇した気候状態を予測した、d4PDFというデータを用いて、温暖化によって生じる海面水温や気温の変化分のデータを作成し、それを現在の気候条件に足し合わせました。このような気候条件の下で、令和元年東日本台風と同様の台風の発達をシミュレーションしました（以降の文章や図表でそれぞれ「2℃上昇シナリオ」、「4℃上昇シナリオ」と表現します）。これらの現在気候と将来気候のシミュレーションについて、台風中心付近の気圧変化や、台風に伴う降水の様子などを比較しました（以下、「気象シミュレーション」といいます）。さらに、河川モデル・高潮モデルを用いて河川の流量や高潮に及ぼす影響も評価しました。

図1に、NHRCMという気象モデルによる、現在気候（青線）及び4℃上昇シナリオ（赤線）における台風の経路を示します。経路のばらつきによる差異を考慮に入

れるため、複数のケースを計算していますが、本パンフレットでは、台風経路の気象庁解析値<sup>p19参照</sup>（黒線）を比較的良好に再現する5つのケースの結果を用いています。

図2には、10月11日から14日の期間での関東・東北地方における降水量の合計（積算降水量）と、各時刻での1時間あたりの降水量（時間降水量）を示しています。積算降水量については、図1に示した5つのケースによる降水量を細線で、それらの平均値を太線で示しています。現在気候（青線）と比較して、2℃上昇シナリオでは平均して6.3%（5ケースの最小値及び最大値は3.7%及び10.9%）、4℃上昇シナリオでは平均して22.2%（8.5%及び31.6%）増加する結果となりました。

このような降水量の増加は、主として、気温が上昇することによって大気が蓄えることができる水蒸気の量が多くなること、及び、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によって説明されます。

### 計算結果に関する留意点

- 本シミュレーションでは、「令和元年東日本台風と同様の台風が将来の気候条件の下で襲来」すること前提としています。そのため、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できません。日本に近づく台風の頻度や強度が将来どのように変化するかについては、気候変動に関する政府間パネル（IPCC<sup>p19参照</sup>）の報告書などを参照してください。
- 本シミュレーションで扱う3種類の気象モデル（図5参照）のうち、本パンフレットでは単一の気象モデル（NHRCM）の結果を示していますが、異なるモデルを用いた場合、特に定量的な評価について異なる結果となる可能性があります。
- 本パンフレットでは、定量的な結果について、5つのケース（図1に示すもの）の最小値と最大値を記載しているものがあります。これは、標準偏差のように、可能性の高い範囲を表すものではありません。また、平均値についても、より多くのケースを用いて評価した場合、異なる結果となる可能性があります。

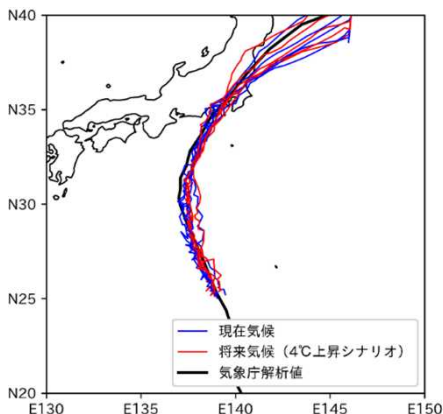


図1 令和元年東日本台風の経路

（気象庁の解析値（p7参照）と気象モデルNHRCMによる現在気候及び4℃上昇シナリオでの再現結果）

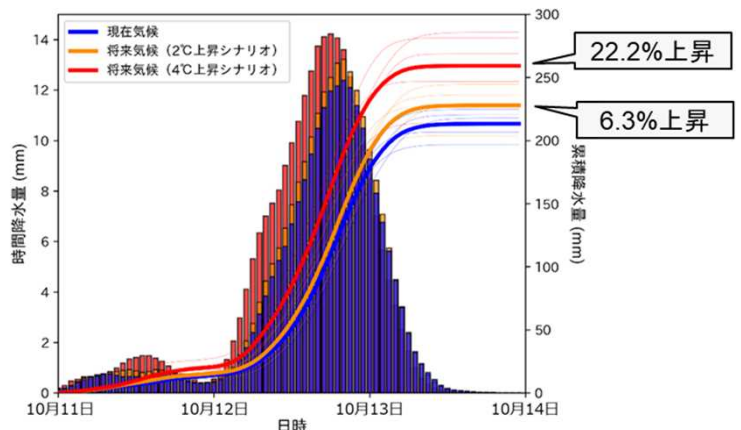


図2 関東・東北地方の累積降水量と時間降水量

（気象モデルNHRCMによる現在気候と2℃上昇、4℃上昇シナリオの再現結果。棒グラフが時間あたりの降水量、線が累積降水量を示す。）

## 概要

以下では、気象シミュレーションの結果を用いて、河川モデル・高潮モデルにより河川の流量や高潮への影響を評価した結果を紹介します。

河川に関しては、気象シミュレーションで計算された降水量等を用いて、特に令和元年東日本台風の影響が大きかった荒川、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）の8水系をピックアップし、河川災害リスクを見る一つの指標である、各水系の基準地点におけるピーク流量（最大流量）をシミュレーションにより算出し、現在気候と将来気候の結果を比較しました。結果の妥当性を高めるため、3種類の河川モデル（RRI、1K-DHM、CaMa-Flood）を用いたシミュレーションを実施しましたが、以下の記述はRRI及び1K-DHMというモデルによる結果に基づきます。

上記の8水系の基準地点におけるピーク流量は、現在気候と比較して、2°C上昇シナリオでは平均して15%増加、4°C上昇シナリオでは平均して29%増加する傾向となりました。（評価の詳細はp10-p11を参照）。図3に荒川と利根川の結果を示していますが、図11に示す5つのケースによるピーク流量の平均値は、温暖化の影響によって増加する傾向が確認されました（図3）。

このように河川のピーク流量が増加している主な原因は、流域での降水量が増えることですが、5ケースの平均値で比較すると、降水量の増加の度合いよりも大きな度合いでピーク流量が増加する結果となりました。

現実に、令和元年東日本台風では広範囲で河川の氾濫や土砂災害等が発生しましたが、温暖化が更に進行すると、このような災害のリスクがより高まることが示唆されます。

ただし、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限界があります。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、本シミュレーションではそのような可能性を考慮していないことにも留意が必要です。

高潮に関しては、気象シミュレーションで計算された台風の気圧及び風向・風速に基づき、東京湾付近での高潮に対する影響を評価するため、GeoClaw及びSuWATという2種類の高潮モデルを用いたシミュレーションを実施しました。

高潮による東京湾の潮位の変化（潮位偏差）について、GeoClawを用いた計算では、現在気候と比較して、2°C上昇シナリオでは平均して12%増加、4°C上昇シナリオでは平均して26%増加という結果となりました。一方、SuWATによる計算では、2°C上昇シナリオでは平均して5%増加、4°C上昇シナリオでは平均して13%増加という結果となりました。（評価の詳細はp12-p13を参照）。定量的な結果にはモデルによる差異がありますが、温暖化した気候において潮位偏差が上昇する傾向がみられます。図4に、現在気候及び4°C上昇シナリオにおける、東京湾周辺の海域での潮位偏差の分布の例を示します。

本シミュレーションでは、将来気候において、現在気候に比べ、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<sup>p19参照</sup>が強まり、高潮による潮位が大きくなったものと考えられます（気圧、風速の変化についてはp8-p9を参照）。

高潮に伴う浸水について、直接は評価していませんが、以上の結果から、温暖化が更に進行すると、浸水のリスクが増加することが示唆されます。

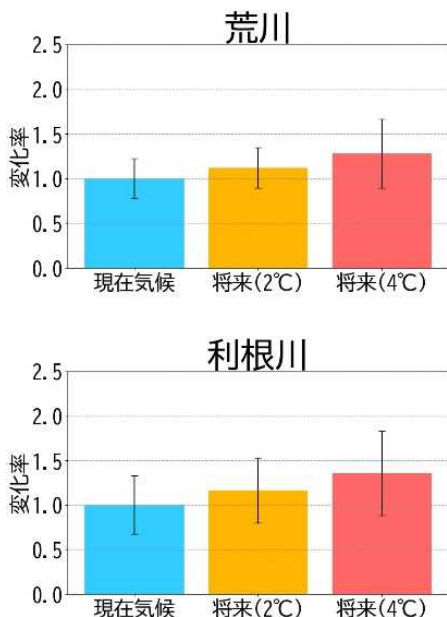


図3 河川流量（ピーク流量）の変化

（RRIと1K-DHM計10ケースの平均（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）

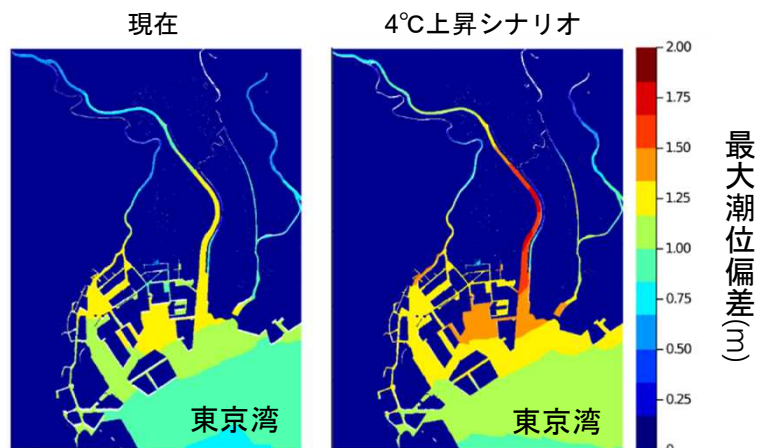


図4 高潮による最大潮位偏差の変化

（現在気候と4°C上昇シナリオを比較したものSuWATを使用した1ケースを例として表示）

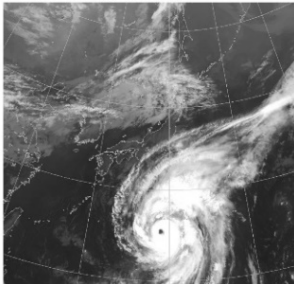
# 令和元年東日本台風における被害の概要

## 各地を襲った令和元年東日本台風

令和元年10月6日に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まで発達した後北上し、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、神奈川県箱根町で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。

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：気象庁参考<sup>2</sup>)

長野県長野市  
千曲川で破堤、広域の氾濫が発生した。



(画像：国土交通省)

長野県上田市  
橋梁が倒壊し、鉄道が不通となった。



(画像：国土交通省)

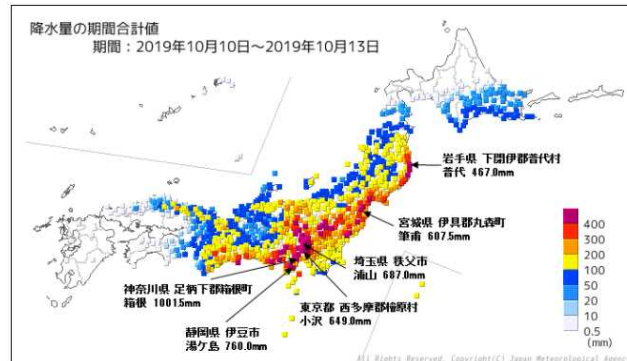
長野県長野市  
氾濫により家屋の倒壊も引き起こした。



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：環境省参考<sup>3</sup>)



期間降水量分布図（10月10日0時～10月13日24時）

出所）気象庁参考<sup>2</sup>

福島県郡山市  
多くの家屋が浸水被害に遭った。



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：環境省参考<sup>3</sup>)

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。長野県長野市では、信濃川水系千曲川の堤防決壊により多くの被害が発生し、千曲川に架かる上田電鉄所線千曲川橋梁の左岸側橋台が落橋しました。

（被害規模の数値は「令和2年版防災白書参考<sup>4</sup>」より引用）

# シミュレーションの概要

## 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（統合プログラム）並びに気象庁気象研究所の協力・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、令和元年東日本台風が発生した当時の気象の状態を表す入力データを元に、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令和元年東日本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、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（d4PDF<sup>p19参照</sup>）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、令和元年東日本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令和元年東日本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<sup>p19参照</sup>と呼ばれています。この手法はすでにくつつかの台風、ハリケーンに適用されて、評価手法が確立されています。令和元年東日本台風に関しても、現在までの地球温暖化による寄与がどのような影響を与えたかの研究は既に行われています（川瀬ら、2021）<sup>参考5</sup>。

気象モデルにより再現された現在と将来の令和元年東日本台風の降水量等を元に、河川モデルを用いて、雨が地面に落ちてから地表や地中を通して河川に流れ込み、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、高潮モデルを用いて、台風に伴う気圧の低下や海上の風によって海面が上昇する効果（吸い上げ効果・吹き寄せ効果<sup>p19参照</sup>）を計算し、台風による東京湾での水位上昇量を評価しています。

以降の結果では、実際に発生した令和元年東日本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導入されるかによって変わりますが、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ています。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態を比較するために、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<sup>p19参照</sup>」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、モデルの特性からく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。それらを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（図5）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の評価をしています。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<sup>p19参照</sup>と呼びます。

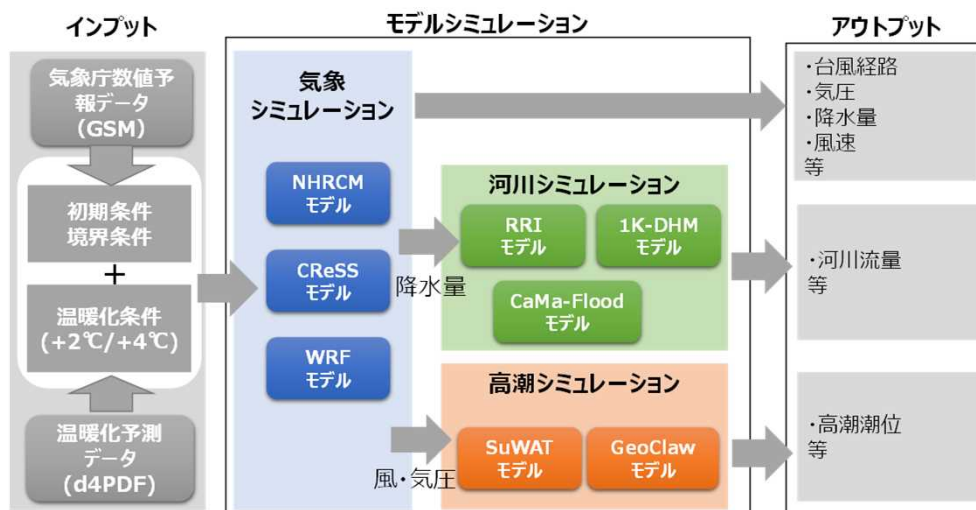


図5 シミュレーションモデルを用いた評価の全体図

# 地球温暖化が進行した条件下の令和元年東日本台風の特徴

地球温暖化が進行した条件での令和元年東日本台風の特徴を、気象シミュレーションにより評価しました。以下では気象モデルNHRCMによる評価結果を主に紹介します。

## 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のが想定されます。また、台風の経路は雨がどの地域に多く降るかに影響し、東京湾に近接した経路をとると、東京湾の高潮の危険性は上がります。

本プロジェクトでは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によるアンサンプル予報p19参照による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、実際の台風と近い経路を取る5つのケース（図6）を選択しました。

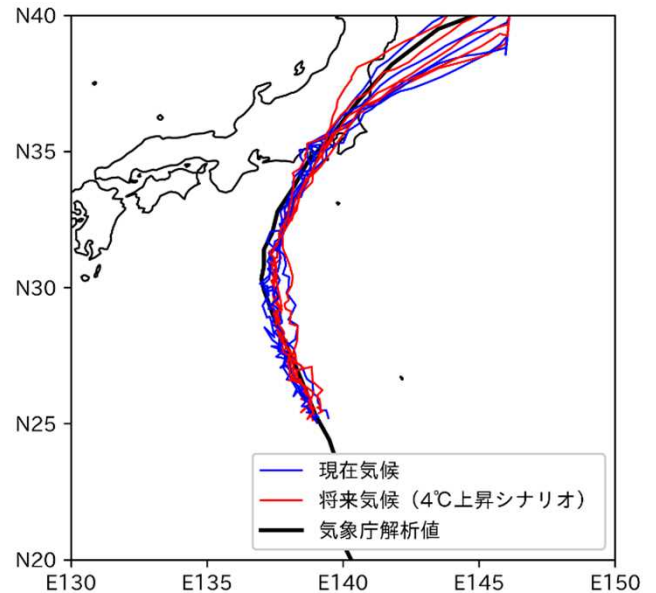


図6 本パンフレットで扱う5ケースの台風経路の再現性

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5ケースを基にしたものです。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5ケースの値の下限と上限を表しています。

## 気圧の変化

将来気候における台風の中心気圧の低下が確認できました。令和元年東日本台風は伊豆半島に上陸する前後での気圧が955hPaで、東京湾通過時の気圧は965hPaでした。中心気圧の時間変化を表示した結果（図7）より、現在気候（青線）と比較して将来気候（赤線）での気圧が低下していることが確認できます。気象シミュレーションにおいて、東京湾通過時の気圧を比べると、2°C上昇シナリオでは、現在気候に比べ平均8hPa低下、4°C上昇シナリオでは平均14hPa低下する結果となりました。また、台風が東京湾に接近した時点での気圧分布（図8）を見ても、現在気候（上）と比較して将来気候（下）の気圧が低下していることが分かります。

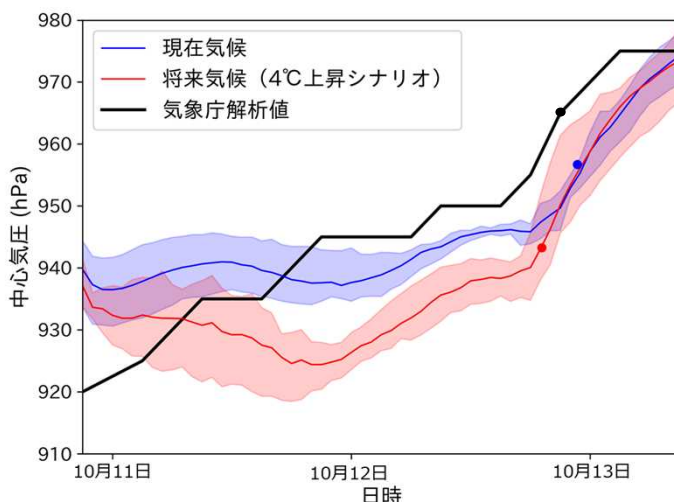


図7 中心気圧の時系列変化

（5ケースの平均値とばらつきによって表現）  
（青/赤の点は台風が東京湾に接近した際の時刻と中心気圧の平均を示す）

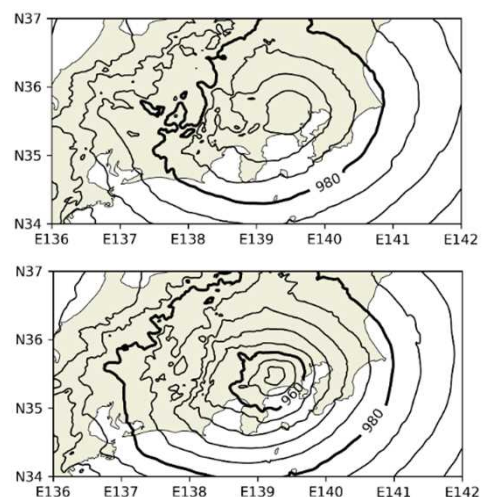


図8 東京湾接近時の気圧分布

（上図：現在気候、下図：将来気候（4°C上昇シナリオ））  
（5ケースの中の一例を示している。）



## 風速の変化

令和元年東日本台風の最大発達時の風速は55m/sでした。気象シミュレーションにおいて風速を比べると、現在気候に比べて、2℃上昇シナリオでは、平均2.6m/s（5ケースの最小値及び最大値は0.9m/s、4.3m/s）増加、4℃上昇シナリオでは平均3.4m/s（同じく1.7m/s、5.5m/s）増加する結果となりました。また、東京湾上※の最大風速も2℃上昇シナリオでは平均して0.9m/s（同じく-2.1m/s、2.3m/s）増加、4℃上昇シナリオでは平均して3.1m/s（同じく0.0m/s、5.5m/s）増加する結果となりました（図9）。

※ 東京湾の中心部（北緯35.5度、東経139.9度）を対象とした。

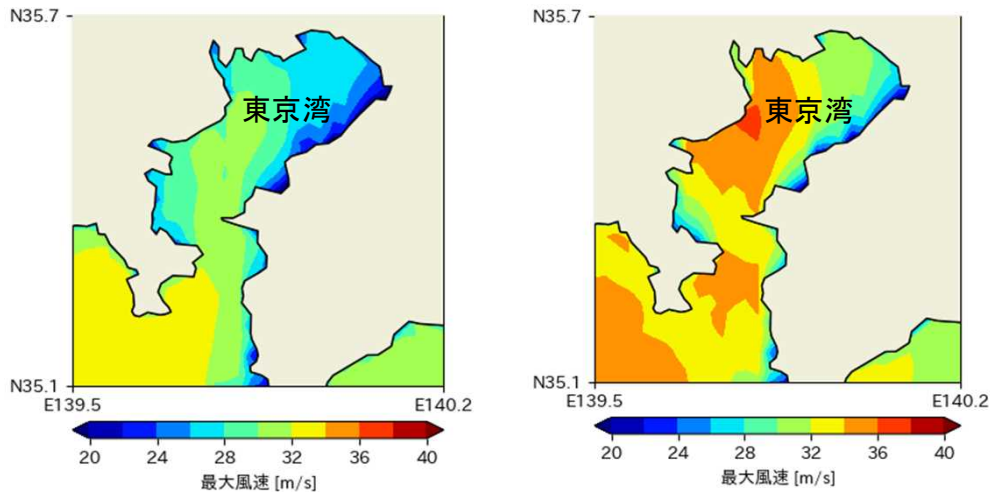


図9 東京湾上の最大風速の分布（左図：現在気候、右図：将来気候（4℃上昇シナリオ）（5ケースの中の一例を示している。）

## 降水量の変化

令和元年東日本台風では、神奈川県箱根町で期間中に1,000mmもの降水量を記録したのをはじめ、関東地方では100mm～1000mmの降水量がありました。気象シミュレーションでは、関東・東北地方の累積降水量が、現在気候に比べて、2℃上昇シナリオでは平均して6%（5ケースの最小値及び最大値は4%、11%）、4℃上昇シナリオでは平均して22%（同じく9%、32%）増加する結果となりました（図10）。降水量の増加は、主として、気温が上昇すること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、及び、海面水温の上昇によって海から水蒸気が台風へ供給されやすくなることによって説明されます。

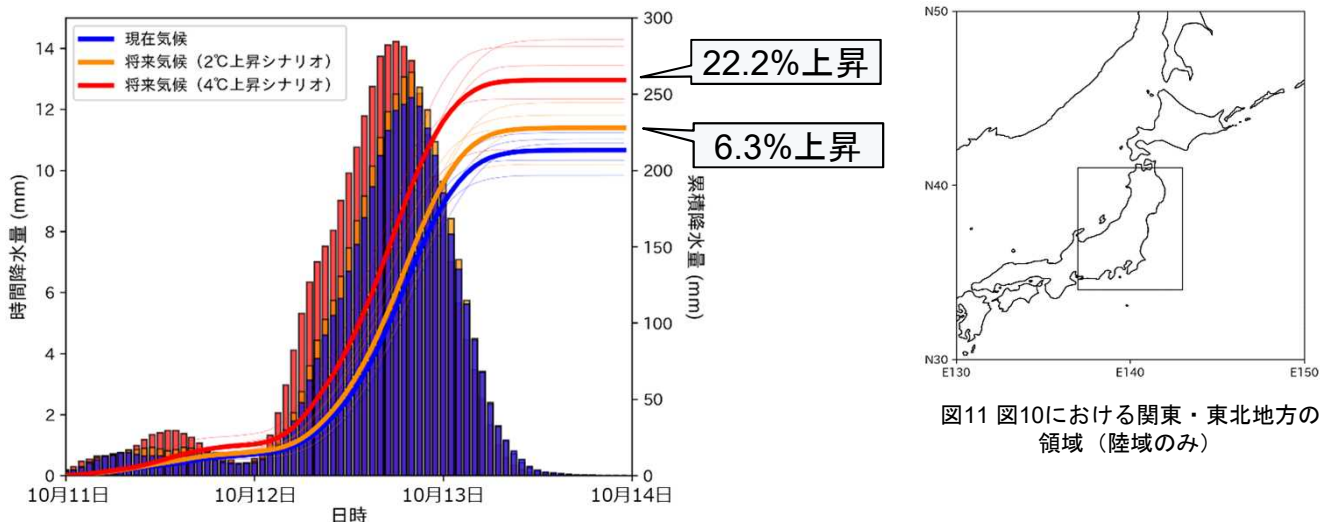


図11 図10における関東・東北地方の領域（陸域のみ）

図10 関東・東北地方において平均した時間降水量・累積降水量の変化

（棒グラフと太線は5ケースの平均を示し、総降水量は各ケースの結果も細い線で示している。）

# 地球温暖化が進行した条件下の台風による洪水への影響

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））をピックアップし、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。RRI、1K-DHM、CaMa-Floodの3種類の河川モデルを用いた計算を実施しました。ここでは、気象シミュレーションのうちNHRCMの結果を入力したRRI、1K-DHMの計算結果を紹介します。なお、1K-DHMは氾濫域を計算しておらず、RRI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、河川管理を適正に行うために基準となる地点。荒川では「岩淵」が基準地点となっている。

## 流域平均降水量とピーク流量（荒川）

荒川における基準地点※より上流域に降った雨（流域平均降水量）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、2℃上昇シナリオで河川整備計画※参考6を上回る洪水流量、4℃上昇シナリオでは、基本方針※参考6の流量に相当する（ケースによっては上回る）流量と評価されました。また、現在気候でもケースによっては整備計画を上回るものもありました。

※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）。

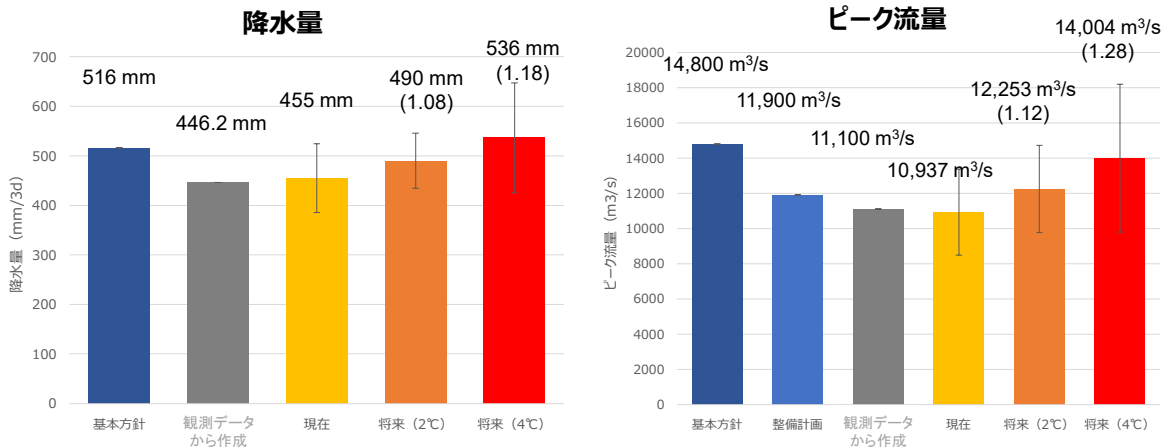


図12 荒川流域における流域平均降水量とピーク流量 (RRIと1K-DHM計10ケースの平均(棒グラフ)・標準偏差(エラーバー)、括弧内の値は現在気候からの倍率を示す)

## 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割った値で、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。

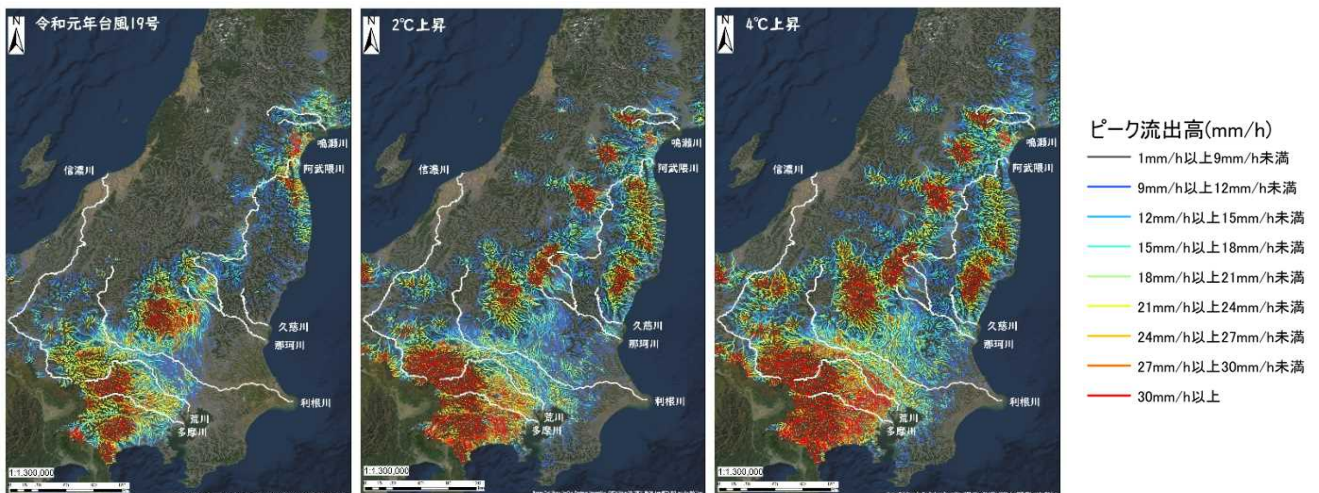


図13 ピーク流出高の変化 (RRI、2℃上昇、4℃上昇シナリオは5ケースの平均を示す)

## 流域平均降水量の変化（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降水量は、2℃上昇シナリオでは、平均して8%（1～12%）、4℃上昇シナリオでは、平均して19%（13～23%）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ばらつきを示す）

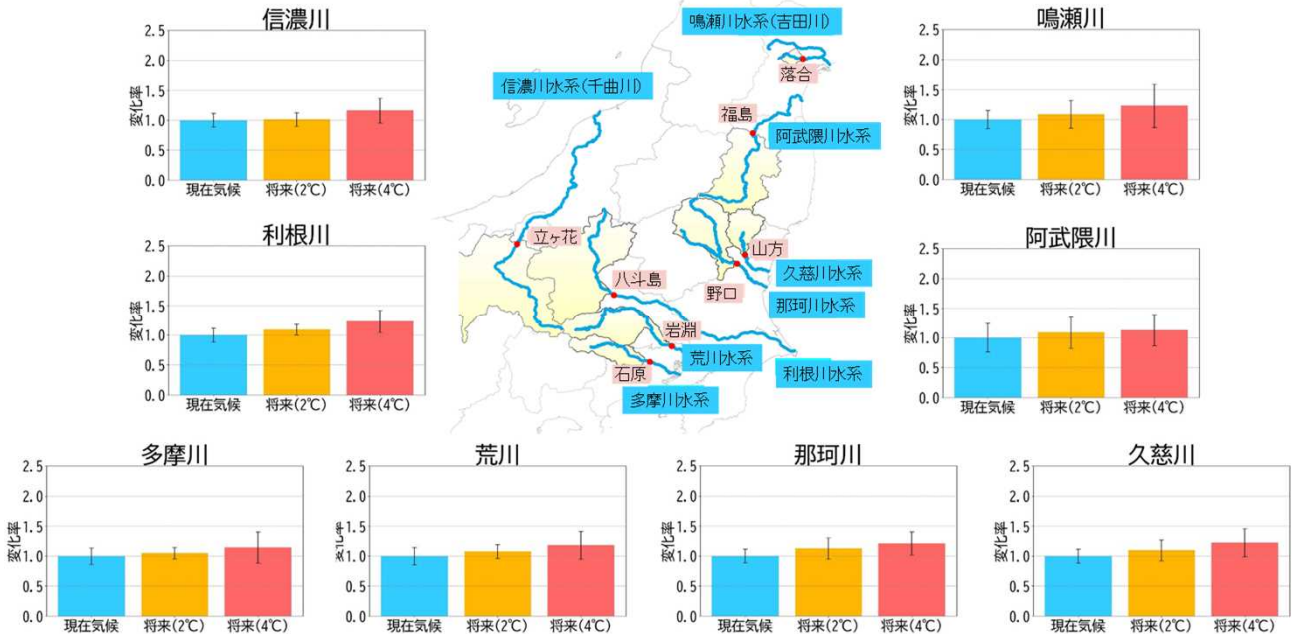


図14 対象河川・基準地点と流域平均降水量の変化

（RRIと1K-DHM計10ケースの平均（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）

## 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、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それと比べると大きくなると言われており、それ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ばらつきを示す）

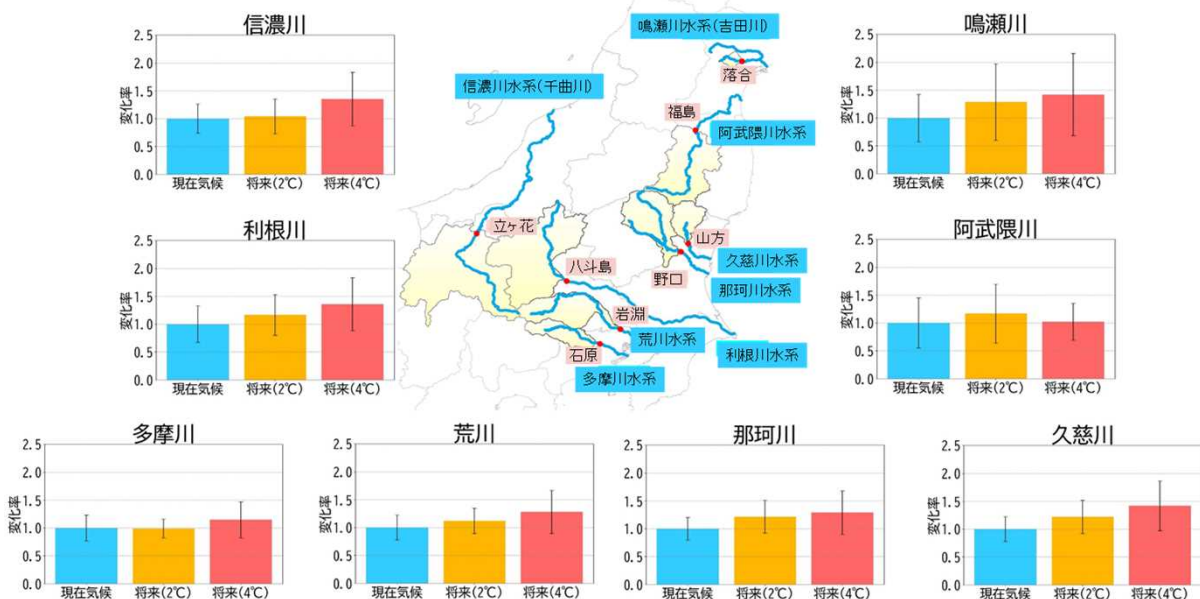


図15 対象河川・基準地点とピーク流量の変化

（RRIと1K-DHM計10ケースの平均（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台風による高潮への影響

東京湾付近での高潮影響（高潮偏差）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。GeoClawおよびSuWATの2種類を用いた計算を実施しました。ここでは、主にNHRCMの結果を入力した計算結果を紹介します。

図16は、気象シミュレーション（現在気候、将来気候5ケースずつ）による東京の気圧の時系列変化を示したものです。気象シミュレーションで紹介したように、東京における気圧は、将来気候のほうが低くなる傾向にあります。あわせて東京における風速も増加する傾向にあります。

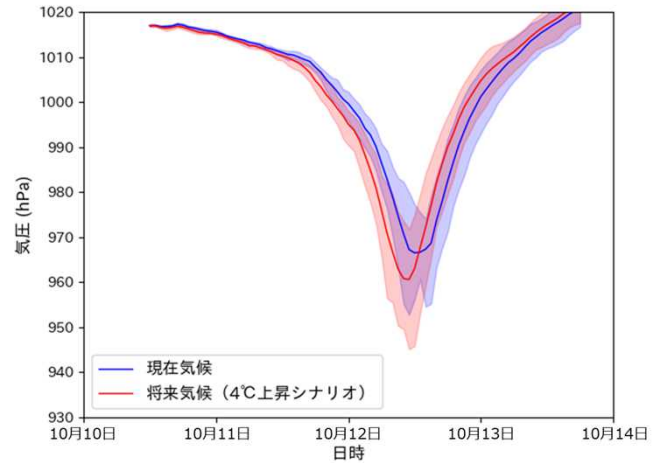


図16 気象シミュレーションによる東京の気圧の時系列変化  
(5ケースの平均値とばらつきによって表現)

## 最大水位の変化

将来気候において潮位偏差は上昇し、東京湾最大潮位偏差の変化（図17）を見ると、4℃上昇シナリオでは、令和元年東日本台風に伴う高潮偏差が平均的に20%程度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<sup>p19参照</sup>が強まり、高潮による潮位が大きくなったものと考えられます。潮位偏差の時系列変化（図18）でもその傾向が表れています。

モデル別に見ると、GeoClawでは、2℃上昇シナリオでは平均して12%（5ケースの最小値及び最大値は-24%、80%）、4℃上昇シナリオでは平均して26%（同じく0%、72%）増加、SuWATではそれぞれ5%（同じく-7%、29%）、13%（同じく-2%、43%）増加する傾向となりました。モデル間で増加幅の違いがみられますが、潮位偏差が増加する傾向は整合しています。

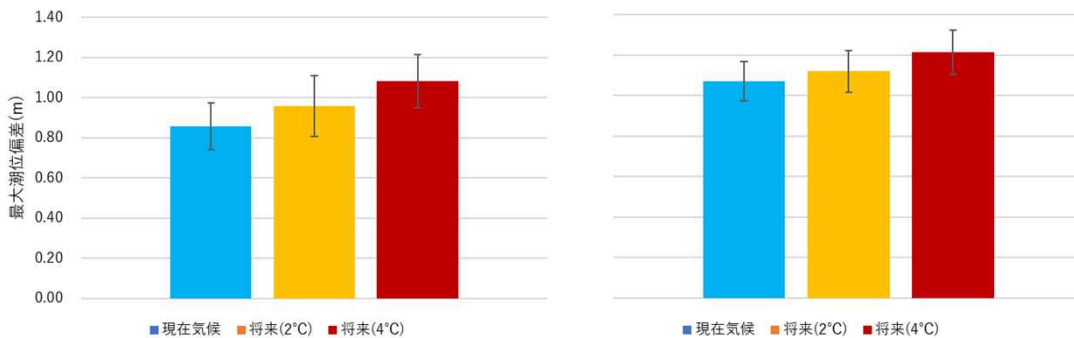


図17 東京湾最大水位偏差の変化（左：GeoClaw、右：SuWAT）  
(それぞれ5ケースの平均(棒グラフ)・標準偏差(エラーバー)を示す)

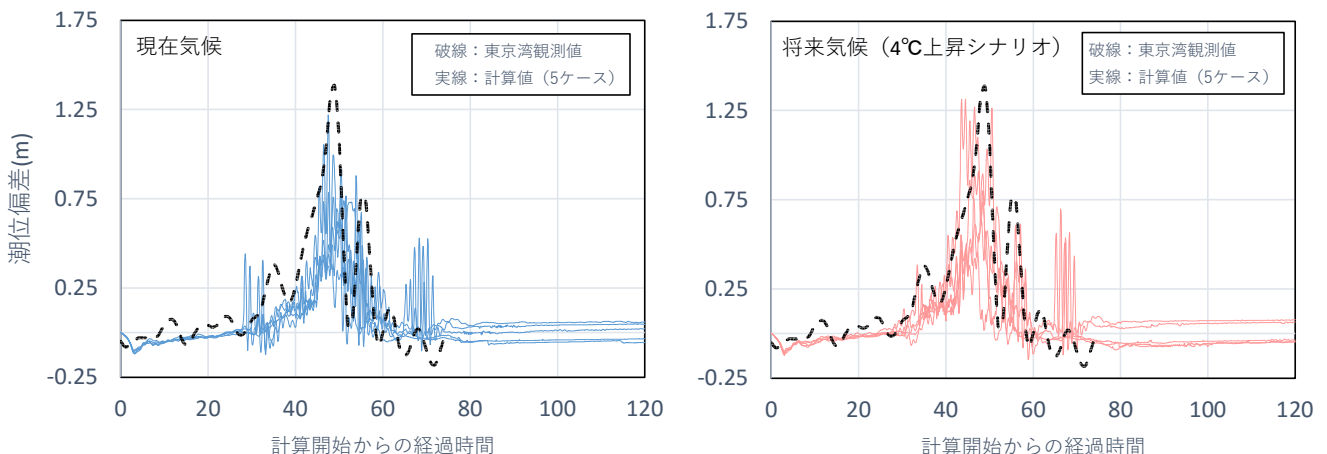


図18 東京における水位偏差の時系列変化（左：現在気候、右：4℃上昇シナリオ、GeoClaw）

## 水位分布の変化

図19は、東京湾周辺における高潮による水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実際の潮位と満潮時の水位差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、満潮時には氾濫の可能性があるかと予測されました。また、将来気候における氾濫のリスクは、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。

満潮時の水位および将来気候条件における海面水位上昇量を考慮すると、東京湾での最大水位は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になりました。

※水位は東京湾平均海面（TP）による表示

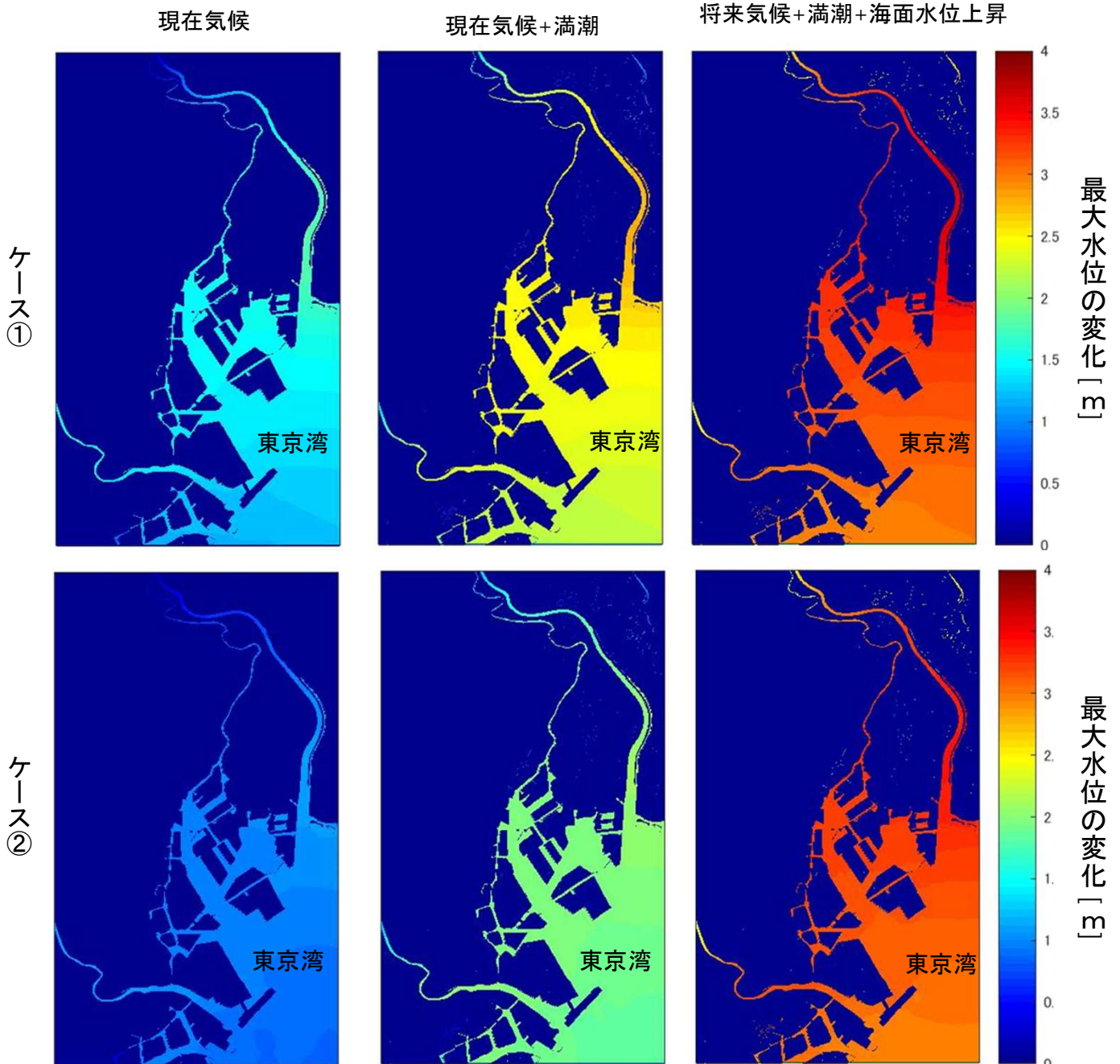


図19 東京湾周辺における最大水位の変化（満潮時+海面水位上昇を考慮、SuWAT）  
（5ケースのうち代表的な2つのケースを示す）

# 地球温暖化が進行した条件下の台風による影響のまとめ

## 将来予測される影響 ～将来の台風はどのような影響をもたらすか～

### 将来気候における令和元年東日本台風

世界平均気温が工業化以前に比べて2°C及び4°C上昇した気候条件において、令和元年東日本台風と同様の台風が発生した場合、どのような影響をもたらすかを、シミュレーションにより評価しました。その結果、将来気候では現在気候に比べ、

- 気象シミュレーションにより、台風がより強く発達し（中心気圧がより低くなり）、台風に伴う降水量や風速も増加する傾向がみられました。
- 河川シミュレーションにより、河川のピーク流量が増加する傾向がみられました。
- 高潮シミュレーションにより、潮位偏差の増加がみられました。

河川氾濫や、高潮による沿岸部の浸水についてについては直接には評価をしていないものの、リスクの増加が示唆されます。

現実において、令和元年東日本台風及びそれに伴う河川氾濫や土砂災害により、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、多くの甚大な被害が発生しましたが、温暖化が更に進行すると、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（図20）。

### 本シミュレーションの留意点と意義

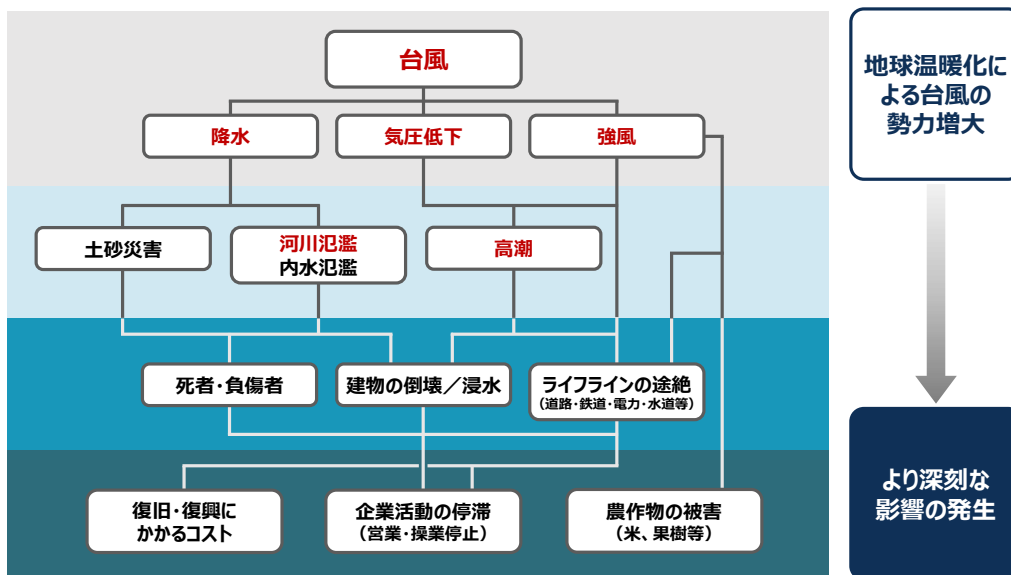
本シミュレーションは、令和元年東日本台風という実際に発生した事象を対象として、その将来変化を予測しています。将来の気候条件において同様の台風が発生することを前提としているため、このような台風の発生確率については評価できません。また、台風が異なる経路をとれば、大雨等の影響を受ける地域も変化するため、ある地域に生じるリスクを総合的に評価したものではないことに留意が必要です。

一方で、実際に発生した台風を対象とすることで、将来発生し得る影響を想定しやすくなります。例えば、国や地方公共団体において、将来想定される災害の「最悪シナリオ」の検討に資する可能性があります。

また、本シミュレーションが対象としている、「2°C上昇シナリオ」及び「4°C上昇シナリオ」は、それぞれ端的に表現すると「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」、「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」と考えることができます。したがって、「2°C上昇シナリオ」と「4°C上昇シナリオ」の結果は、「今後の温暖化対策を積極的に行うことで、将来の台風による影響をどの程度軽減できるか」という視点で比較することも可能です。

### シミュレーションの再現性に関する留意事項

本シミュレーションでは、現在気候の計算結果を、台風の経路、中心気圧、降水量、風速及び高潮については気象庁の観測データに基づく値と比較、河川のピーク流量については国土交通省の観測データに基づく値と比較し、一定程度の再現性を確認していますが、実際の令和元年東日本台風を完全に再現しているわけではありません（例：p8の図7における、黒線と青線の差異）。本パンフレットにおける「現在気候と比べて、2°C上昇シナリオでは」のような記述は、「現在気候のシミュレーション結果と将来気候のシミュレーション結果の比較」であり、「観測値と将来気候のシミュレーション結果の比較」ではない、という点に留意が必要です。



赤字：本シミュレーションでの評価対象

図20 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「適応」といいます。ここでは台風に関連する、「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

### 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<sup>参考7</sup>、地球温暖化の影響は日本でも既に出はじめていることが報告されています。将来の社会のために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、今後更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。

### 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、流域治水対策や、自助共助といった行動で補おうとする姿勢が大切です。

### 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、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。

### 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。

### 災害をいなく流域治水対策を併用する

前掲のように、河川区域においてハード対策をこれまで以上に強化することが大切です。さらに、堤防から溢れてしまった氾濫水を流域に貯留し、流域全体で人命や資産への被害を軽減する流域治水対策の考え方が対策に盛り込まれつつあります。ハード対策の強化だけでは対処できないことを許容し、あらゆる関係者との協働により、ハード対策とソフト対策一体で治水対策に取り組むことが大切です。

### 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。

### 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。

# シミュレーションモデルの説明

本実験にて使用した気象モデル・河川モデル・高潮モデルの特徴や計算諸元について整理しています。

## 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モデル（NHM）を元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<sup>p19参照</sup>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](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候モデルです。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<sup>p19参照</sup>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。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。

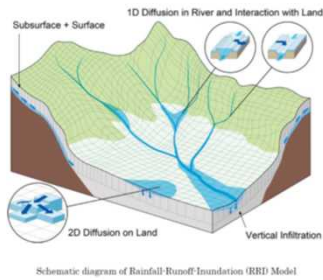
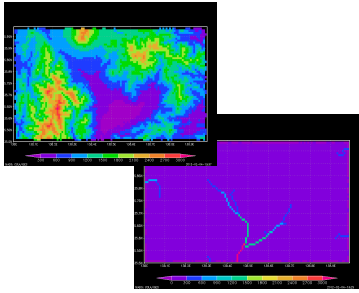
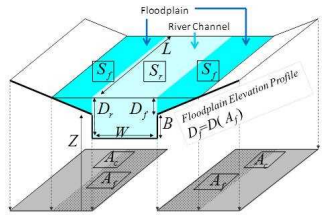
出所) 雲解像モデルCReSSの概要  
[http://rain.hyarc.nagoya-u.ac.jp/~tsuboki/mlit\\_res/src\\_jpn/cress\\_synopsis1.html](http://rain.hyarc.nagoya-u.ac.jp/~tsuboki/mlit_res/src_jpn/cress_synopsis1.html)

表1 計算諸元

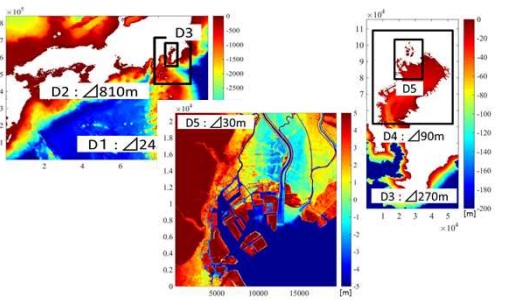
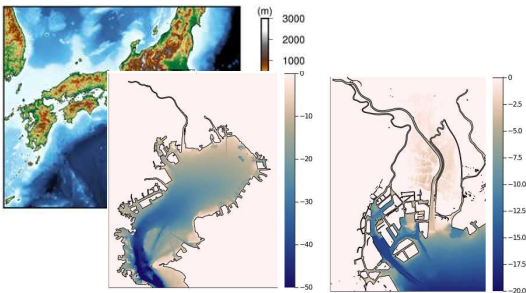
モデル名	NHRCM	WRF	CReSS
計算領域・計算格子	日本周辺 (単方向ネスティング <sup>p19参照</sup> による20km解像度から5km、2kmへの力学的ダウンスケーリング <sup>p19参照</sup> )	日本周辺 (4km)	日本周辺 (4km)
初期値・境界条件	気象庁GSMのアンサンブル予報 <sup>p19参照</sup>	NHRCM(5km)の計算結果	NHRCM(5km)の計算結果
ナッジングの有無 <sup>p19参照</sup>	有	有	無



## 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溢れる現象を流域一体で予測するモデル。	降雨流出モデルであり、流域中のセルを河道セルおよび斜面セルに分けて計算が行われる。表面流およ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、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 ( <a href="https://www.pwri.go.jp/icharm/research/rri/index_j.html">https://www.pwri.go.jp/icharm/research/rri/index_j.html</a> ) 等	1K-FRM/DHMホームページ ( <a href="http://hywr.kuciv.kyoto-u.ac.jp/products/1K-DHM/1K-DHM.html">http://hywr.kuciv.kyoto-u.ac.jp/products/1K-DHM/1K-DHM.html</a> ) 等	CaMa-Floodホームページ ( <a href="http://hydro.iis.u-tokyo.ac.jp/~yamadai/cama-flood/">http://hydro.iis.u-tokyo.ac.jp/~yamadai/cama-flood/</a> ) 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（ $u_{10}$ , $v_{10}$ : 高度10m風速）	気圧（海面更正気圧）、風速（ $u_{10}$ , $v_{10}$ : 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）	<p>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</p> 	<p>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変化）、最小解像度は30m</p> 

出所）京都大学森研究室作成資料を基に作成

# 気候変動適応に向けての関連情報

## 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に、様々な分野・項目ごとに、すで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年度に見直しが見込まれる予定です。

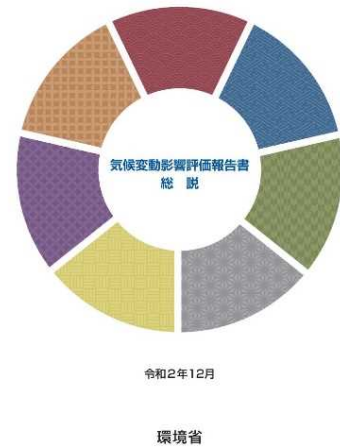


図21 気候変動影響評価報告書参考11

## 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)**」<sup>参考8</sup>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。

- 国およ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当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)  
<https://adaptation-platform.nies.go.jp>

## 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**」<sup>参考9</sup>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。
- 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)**」<sup>参考10</sup>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

**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。

**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。

**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°C上昇実験データ および2°C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。<sup>参考12</sup>

**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。

**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。

**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リ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う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。

**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考慮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。

**ネスティング** : ダウンスケーリ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ィング、両モデル間で情報を交換するものを双方向ネスティングという。

**力学的ダウンスケーリング** : 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リングという。

## 出典・参考

1. 気象研究所プレスリリース「近年の気温上昇が令和元年東日本台風の大雨に与えた影響」、2020年12月24日 ([https://www.mri-jma.go.jp/Topics/R02/021224-1/press\\_021224-1.html](https://www.mri-jma.go.jp/Topics/R02/021224-1/press_021224-1.html))
2. 気象庁 「災害をもたらした気象事例、令和元年10月15日『台風第19号による大雨、暴風等』」 ([https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/bosai/report/2019/20191012/jyun\\_sokuji20191010-1013.pdf](https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/bosai/report/2019/20191012/jyun_sokuji20191010-1013.pdf))
3. 環境省 「災害廃棄物対策フォトチャンネル」 ([http://kouikishori.env.go.jp/photo\\_channel/r01\\_typh19/detail/?id=HA-10-02-002&rtp=search&p=1](http://kouikishori.env.go.jp/photo_channel/r01_typh19/detail/?id=HA-10-02-002&rtp=search&p=1), 2020年12月7日取得)
4. 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](http://www.bousai.go.jp/kaigirep/hakusho/r02/honbun/0b_1s_01_03.html))
5. Kawase, Hiroaki, et al. "Enhancement of extremely heavy precipitation induced by Typhoon Hagibis (2019) due to historical warming." SOLA (2021): 17A-002.
6. 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/shinngikai\\_blog/shaseishin/kasenbunkakai/shouinikai/kikouhendou\\_suigai/2/pdf/00\\_hosokusetsumei.pdf](https://www.mlit.go.jp/river/shinngikai_blog/shaseishin/kasenbunkakai/shouinikai/kikouhendou_suigai/2/pdf/00_hosokusetsumei.pdf))
7. 公益財団法人土木学会水工学委員会 (2020年) 「令和元年台風19号豪雨災害調査団報告書」 (<https://committees.jsce.or.jp/report/system/files/taifu19.pdf>)
8. 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/>)
9. 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>)
10. データ統合・解析システム (DIAS) : データセット一覧 (予測データ) (<https://diasjp.net/dias-datasetlist/#08>)
11. 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>)
12. 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)」 ([http://www.miroc-gcm.jp/~pub/d4PDF/img/d4PDF\\_Chap1\\_20151214.pdf](http://www.miroc-gcm.jp/~pub/d4PDF/img/d4PDF_Chap1_20151214.pdf))

# 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～

[令和元年東日本台風の擬似温暖化実験]



本冊子に掲載のシミュレーション結果は、環境省「令和2年度気候変動による災害激化に関する影響評価業務」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、株式会社パスコ、エム・アール・アイリサーチアソシエーツ株式会社

問合せ先／環境省地球環境局総務課気候変動適応室