

《様式B》

研究テーマ

「気候変動による複合災害ポテンシャル台風の把握と浸水リスクの可視化」

研究責任者 所属機関名 国立大学法人豊橋技術科学大学

官職又は役職 准教授

氏 名 豊田 将也 メールアドレス toyoda@ace.tut.ac.jp

共同研究者 所属機関名

官職又は役職

氏 名

**(令和6年度募集) 第37回 助成研究 完了報告書**

上記様式記載後

1. 実施内容および成果ならびに今後予想される効果の概要 (1,000字程度)

※ 産業技術として社会実装の可能性や特許出願 (予定も含む) の有無についてもご記載ください。

**【実施内容および成果】**

昨今の気候変動の進行に伴い、勢力の強い台風襲来時において高潮・洪水の同時生起が懸念されている。高潮・洪水の同時生起は、沿岸域・河口域を中心に甚大な外水氾濫（複合氾濫）を引き起こす可能性が指摘されている。本研究では、上記のような複合氾濫を引き起こし得る台風事例を対象に（複合氾濫ポテンシャル台風）、アンサンブル気候予測データを用いて、気候変動に伴う強度のトレンドや、頻度数等を解析した。また、実際に高河川流量および高潮の同時生起事例を抽出し、高解像な数値モデルにより伊勢湾奥域における浸水域の可視化を実施した。まず、台風事例の傾向に対する解析では、5km 解像で日本全国における気候変動影響を計算したオープンデータであるアンサンブル気候予測データ (d4PDF)を用いた。本データベースでは、現在気候・2度上昇実験・4度上昇実験の3シナリオがそれぞれ720年ずつ（60年×12メンバー）用意されている。これにより、既往事例では極めて稀な現象である複合氾濫ポテンシャルを有した台風事例の解析が可能である。解析では、年最大1時間風速値と年最大24時間積算降水量値が、同一事例によりもたらされている場合を、高ポテンシャル事例としてカウントした。その結果、日本全国において、現在気候よりも2度上昇、2度上昇よりも4度上昇と、高位のシナリオほど複合氾濫ポテンシャル事例に伴う最大風速・最大24時間積算降水量の都道府県平均値が増加する傾向が示された（現在気候、2度、4度の順で最大風速：13.7 m/s, 14.3 m/s, 14.5 m/s, 24時間降水量：188.5 mm, 216.7, 240.7 mm）。したがって気候変動の進行

により、複合氾濫ポテンシャル事例のハザード強度は増大する傾向にあるといえる。

続いて、伊勢湾において、複合氾濫ポテンシャル台風 22 事例（現在：11 事例，4 度上昇：11 事例）を対象に，30m 解像度での浸水有無に関する高潮・洪水計算を実施した。その結果，全 22 事例中，複合氾濫事例は 1 事例確認され（高潮単体・洪水単体の氾濫事例は 10 事例），4 度上昇実験で最大高潮事例となったケースであった。この事例では，名古屋港での高潮偏差は最大 3.60 m，伊勢湾域全体で 811.1ha の浸水となった。

#### 【今後予想される効果の概要】

本研究の成果の一部は愛知県港湾課に共有しており，2026 年より始まった「三河港における協働防護計画」の中でも参考データとして活用される予定である。また研究代表者も本計画の学識委員として参加しており，港湾における最適な防御計画の実現に向けて社会実装に努める予定である。

## 2. 実施内容および成果の説明（A 4 で、5 ページ以内）

### 2.1 はじめに

台風の襲来は大雨や暴風による洪水や高潮といった多様なハザードを引き起こす。これらが同時生起することで、沿岸域では甚大な複合氾濫の発生が懸念されている。また気候変動に伴う強い勢力の台風襲来や海面上昇の影響も考慮した分析も必要とされている。これまでに複合氾濫による浸水リスクについて研究された事例は国内外の既往事例をベースとして実施されている。原ら (2009)は、江戸川河口を対象に、河川分流を考慮した地形で高潮と洪水の同時生起について調査しており、洪水を考慮することで河口の水位が上昇することを報告している。また Ikeuchi et al.(2017)は、ガンジス川、チャオプラヤ川の河口を対象として、サイクロン Sidr (2007)による洪水と高潮を計算している。その結果、高潮考慮の有無により、河口での浸水深が最大 3 m 変化することを明らかにしている。また複合氾濫に対する気候変動影響評価についても事例が積み重ねられつつある。例えば豊田ら (2024)は伊勢湾・三河湾を対象に、2019 年台風 19 号をベース外力として、多数の台風経路による複合氾濫特性の将来変化を評価している。その結果、将来気候 (21 世紀末)において、伊勢湾台風に類似した台風経路で甚大な複合氾濫が発生し、適切な浸水評価には台風通過後の洪水ピークまでを考慮することが重要であると報告している。

先行研究により、高潮・洪水による複合氾濫については、勢力の強い台風襲来時に中小河川の河口域で危険性が高く、また気候変動の影響で甚大化が予測されている。一方で、これら複合氾濫を発生させる気象場に着目した分析は少なく、複合氾濫を発生させ得る気象外力（複合氾濫ポテンシャル事例）の将来変化については、依然として十分に分析されていない。本研究では先行研究と同様、愛知県を対象に複合氾濫ポテンシャル事例の気候変動影響評価を目的として、アンサンブル気候予測データ d4PDF の 5 km ダウンスケーリング実験 (d4PDF-5km)の過去実験 (Present)・2 度上昇実験 (2K-Future)・4 度上昇実験 (4K-Future)の解析を行う。これにより、複合氾濫ポテンシャル事例数および発生可能性の将来変化について明らかにする。

### 2.2 研究手法

#### (1) 使用するデータと解析対象

複合氾濫を引き起こす可能性のある気象場に関する解析は、実事例数の不足や解像度の高い大規模なアンサンブルデータが必要となることが課題となる。このような低頻度な極端災害に対する課題解決のため、DIAS 提供のアンサンブル気候予測データ d4PDF を活用した。d4PDF

には解像度・範囲別にデータが複数存在するが、本研究では詳細な気象場情報のために 5 km にダウンスケーリングされた d4PDF-5km を用いた。この d4PDF-5km の妥当性について、Kawase et al. (2023)によって極端な降水量の将来変化を対象に検証されている。その結果、d4PDF の 60 km, 20 km の結果を用いた Mizuta et al. (2017)の結果よりも高精度な再現が可能であることを明らかにされている。具体的には、年最大風速と年最大降水量の同時生起事例を対象に解析を実施した。

## (2) 数値計算手法

本研究では、複合氾濫ポテンシャル事例のうち、伊勢湾において木曾川において再現期間 10 年以上（将来は 15 年以上）の洪水と高潮が同時生起する事例に着目して、詳細な数値実験を実施した。数値実験には、河道を考慮した波浪・高潮結合モデル SuWAT を用いた。SuWAT は、中央防災会議の地形、堤防データを使用しており、計 6 段階のネスティング構造で構成した（D1 (2790 m)から D6 (30 m)の解像度）。各湾の湾奥を詳細に解析できるよう領域を設定した（図-1）。河道は D6 のみに組み込まれており、上流端境界では河道断面の形状によって RRI からの流量を自動で線流量（水位・流速）として変換するアルゴリズムを構築している。また D6 内において、水門等は全閉の条件で計算しており、ポンプ等による排水は含んでいない。また越水後も堤防は維持されるものとして計算した。本研究では台風経路も d4PDF のものであることから、潮汐については考慮せず、高潮・洪水による水位偏差を用いた。

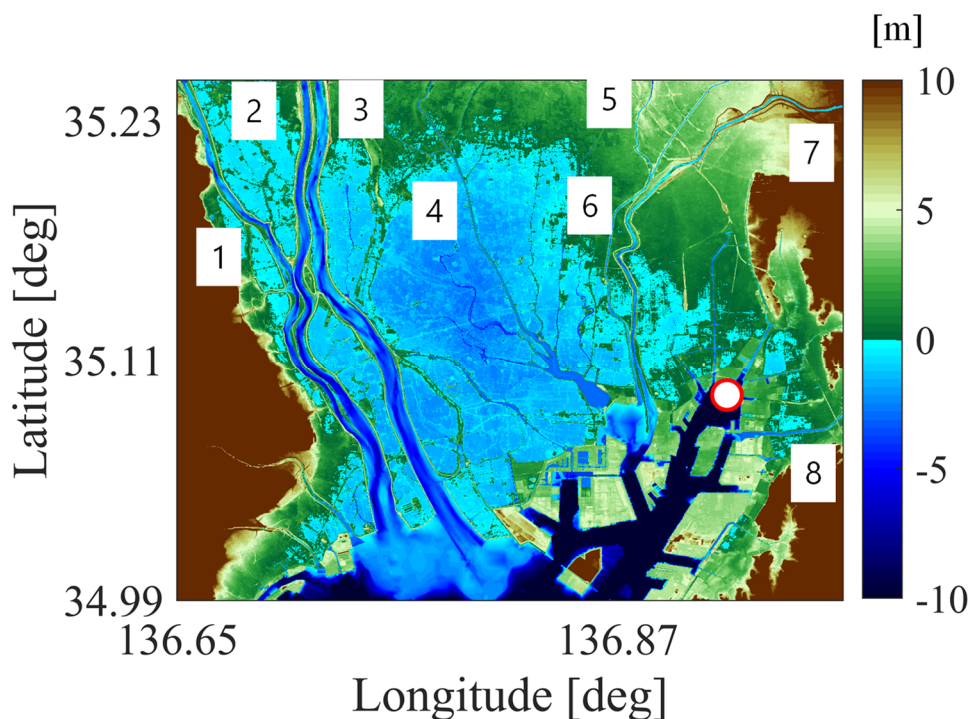


図-1 SuWAT の計算領域（伊勢湾奥，赤丸：名古屋港，1：揖斐川，2：長良川，3：木曾川，4：日光川，5：五条川，6：新川，7：庄内川，8：天白川）

## 2.3 研究結果

まず複合氾濫ポテンシャル事例の将来変化について議論する．d4PDF には，過去実験 (Historical)，2 度上昇実験 (2K)，4 度上昇実験 (4K) の 3 種類の温暖化シナリオが用意されている．本解析では，複合氾濫ポテンシャル事例を都道府県別に解析を行い，温暖化シナリオ間で年最大風速と年最大 24 時間積算降水量がどのように将来変化するかについて確認した (図-2, 3)．全ての都道府県において，Historical よりも 2K，2K よりも 4K と，温暖化シナリオが高位のシナリオになるほど年最大風速および年最大 24 時間積算降水量が増大する傾向が示された．全体的には，風速は 2K-Historical 間で大きく増大し (右方向)，降水量は 4K-2K 間で大きく増大している (上方向)．愛知県については，年最大風速と年最大 24 時間積算降水量の県内平均値は，13.4 m/s, 13.0 m/s, 13.9 m/s (Historical, 2K, 4K の順) および 172.0 mm, 209.7 mm, 227.9 mm (風速と同順) であった．またこれらの同時生起事例の数は 100 年あたりで，3.7 事例, 3.7 事例, 4.3 事例となった．降水量については温暖化が進むほど大きくなる傾向が示され，風速や事例数については，4 度上昇まで到達した場合には明瞭に増大する傾向が示された．

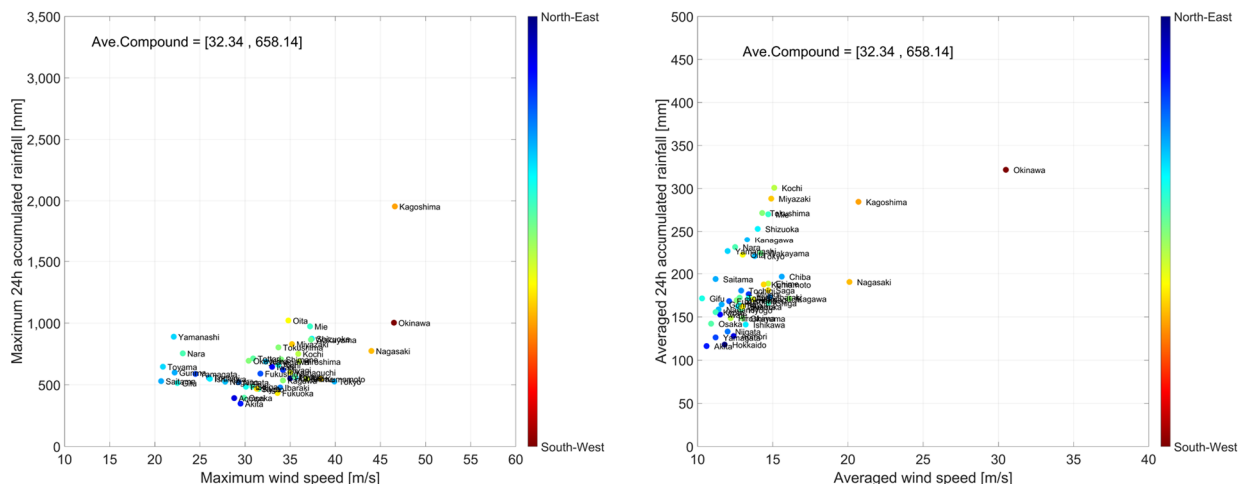


図-2 各都道府県の Historical における風速と降水量の散布図 (左図：最大，右図：平均)

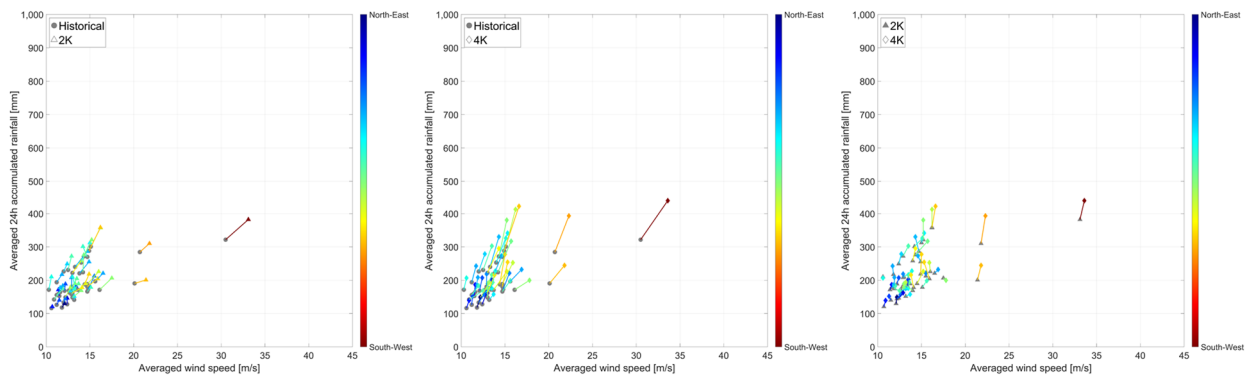


図-3 各都道府県のシナリオ間の差に関するベクトル図 (左：2K-Historical，中：4K-Historical，右：4K-2K)

続いて伊勢湾を対象に、複合氾濫ポテンシャル事例に対して氾濫までを考慮した詳細計算を実施した結果について議論する。この計算では、Historical と 4K において、木曾川の洪水と高潮の同時生起事例を対象に行った（11 事例ずつ）。全ての事例が台風によるものであった。計算の結果、100 ha 以上の大規模な浸水が確認された事例は、全 22 事例中 11 事例（Historical:6 事例、4K:5 事例）であった。そのうち、多くの事例は 3m 以上の高潮偏差に伴う高潮氾濫であり、1 事例が洪水氾濫、1 事例が高潮・洪水による複合氾濫であった（図-4）。高潮氾濫事例は（図-4 左）、名古屋港周辺および三重県四日市市周辺を中心として浸水が発生した（最大事例で 846.7 ha）。一方で複合氾濫では、高潮氾濫のエリアに加えて、揖斐川の中流部付近で支川への逆流に起因する氾濫が確認された（図-4 右）。この事例では、名古屋港における高潮偏差は 3.60 m であり、最終的な浸水面積は 811.1 ha であった。これらの事例では、平均浸水深はいずれも 0.7 m であった。浸水面積としては、高潮単体の最大事例とほとんど変わらないものの、複合氾濫事例では浸水の発生時刻において、沿岸部と河川部で時間差が生じており、より長い期間の警戒が維持されることが懸念される。

### 2.3 まとめ

本研究では、アンサンブル気候予測データ d4PDF を用いて、温暖化シナリオ毎の複合氾濫ポテンシャル台風の変化を解析した。また極端事例については、浸水エリアの可視化を目的に 30m 解像の浸水計算を実施した。研究の結果、降水量は温暖化が進行するにつれて増大する傾向にあり、風速については 4 度上昇後に明瞭な増大が見られた。また浸水計算では、全 22 事例中、11 事例で氾濫が発生し、1 事例で複合氾濫が発生した。複合氾濫事例では、沿岸域と河川域で浸水発生時刻にラグがあり、より長い時間の警戒が必要となることが明らかとなった。

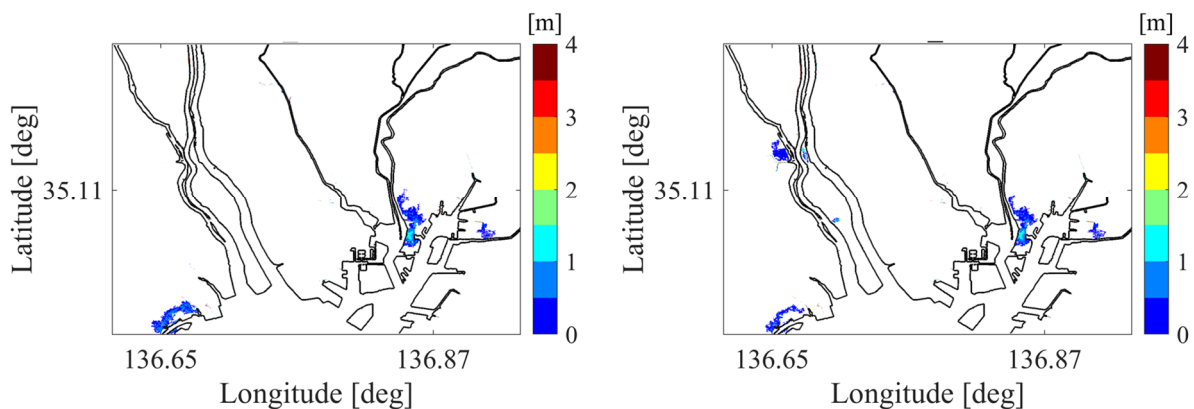


図-4 （左図）高潮氾濫の最大浸水事例と（右図）複合氾濫の最大浸水事例