

気象災害リスク評価技術の現状と展望：台風・降雨・水害および高潮・高波

Current Status and Future Perspective on Simulation and Risk Assessment Technologies for Meteorological Hazards: Typhoons, Rainfall, Floods, and Storm Surges/Waves

岩前 伸幸 伊藤 嘉晃 中島 慶悟
Nobuyuki Iwamae, Yoshiaki Itoh and Keigo Nakajima

I. はじめに

我が国は、その地理的・気候的な特性から台風や豪雨などの気象災害が発生しやすい国である。世界有数の多雨地帯であるモンスーンアジアの東端に位置しており、梅雨や秋雨、そして、夏から秋にかけて襲来する台風は、各地に甚大な被害をもたらす要因となっている。また、国土の7割を山地が占めており、河川は急勾配であるため、大雨が降ると洪水や土砂災害が発生しやすい。さらに、近年では気候変動の影響により、気象災害は激甚化・頻発化の傾向にあり、人々の生活や社会インフラに対する脅威は増している。近年の甚大な被害を引き起こした気象災害の事例として、過去20年に気象庁が名称を定めた気象現象の一覧¹⁾をTable1に示す。

気象災害の被害を最小限に抑え、被災からの迅速な復興を可能とするためには、災害の予測技術が不可欠となる。本稿では、気象災害のうち、台風による強風や豪雨、およびそれともなう浸水害と高潮・高波に注目し、それぞれの予測技術について紹介する。あわせて、気候変動がそれらの災害に及ぼす影響について概説する。

Table 1 近年の大規模な気象災害
(Significant Meteorological Disasters in Japan Since 2005)

発生年	名 称
2006	平成 18 年 7 月豪雨
2008	平成 20 年 8 月末豪雨
2009	平成 21 年 7 月中国・九州北部豪雨
2011	平成 23 年 7 月新潟・福島豪雨
2012	平成 24 年 7 月九州北部豪雨
2014	平成 26 年 8 月豪雨
2015	平成 27 年 9 月関東・東北豪雨
2017	平成 29 年 7 月九州北部豪雨
2018	平成 30 年 7 月豪雨
2019	令和元年房総半島台風
2019	令和元年東日本台風
2020	令和 2 年 7 月豪雨

II. 気候変動（台風）

本章では、気象モデル WRF (Weather Research and Forecasting model)²⁾を用いて、地球温暖化が台風による強

風・豪雨に与える影響を評価する技術について述べる。

1. 技術概要

気象モデル WRF では、気圧、風速、気温、湿度などの気象要素を解析することで、台風などの気象現象を再現することができる。さらに、擬似温暖化手法³⁾を用いることで、過去に生じた台風などの気象現象が将来の温暖化によりどのように変化するかを評価することができる。擬似温暖化手法では、現在気候下の気象データに、温暖化による大気、海面水温の将来変化を加えることで、擬似的に将来気候下の気象データを作成する。現在気候下および将来気候下の気象データに基づいて気象モデル WRF による台風の解析を行い、それぞれの解析結果を比較することで、温暖化が台風に与える影響を評価することができる。

2. 解析事例

擬似温暖化手法を用いて、将来の大気、海面水温の温暖化が令和元年東日本台風（2019 年台風 19 号）に与える影響を解析した事例について紹介する。ここでは、RCP8.5 シナリオ[※]の 2090 年代を想定し、温暖化による大気、海面水温の将来変化については、気象研究所の大気海洋結合モデル MRI-CGCM3⁵⁾による将来予測結果に基づいて設定した。

Fig.1 に現在気候下および将来気候下の海面水温の分布を示す。将来気候下では現在気候下と比べて、日本列島付近の海面水温が約 3℃上昇しており、北緯 30°においても海面水温が 30℃を超えている。

Fig.2, Fig.3 に台風が日本列島に上陸した時の風速、降雨量の分布を示す。将来気候下では現在気候下と比べて、上陸時の風速、降雨量ともに増加している。上陸時の風速の最大値については、現在気候下では 36m/s、将来気候下では 44m/s であり、将来気候下では現在気候下の約 1.2 倍に増加した。また、上陸時の降雨量の最大値については、現在気候下では 88mm/h、将来気候下では 131mm/h であり、将来気候下では現在気候下の約 1.5 倍に増加した。これは、将来気候下では、海面水温の上昇により海面からの水蒸気供給量が増加し、台風が強大化したことが主な原因であると考えられる。

このような気候変動による長期的な気象外力の変化は各種基準にも取り入れられ始めている。例えば、「港湾の施設の

※) 気候変動に関する政府間パネル (IPCC) 第 5 次評価 報告書で用いられた 4 つの温室効果ガス排出シナリオのうち、現時点を超える追加的な緩和策が行われないことを想定した最も温室効果ガス排出量が多いシナリオ⁴⁾

技術上の基準・同解説」では令和6年の部分改訂⁶⁾において、気候変動による作用の時間変化への対応が盛り込まれ、平均海面や潮位偏差、波浪などについて将来的な変化を勘案し、設計供用期間中にわたって要求性能を確保することが求め

られている。さらに、具体的な設定方法についての資料^{7),8)}も公開されつつある。また、降雨については、地球温暖化の影響を考慮した治水計画のための降雨量の設定方法⁹⁾についても資料が公開されている。これらの基準を活用しつつ、基準だけでは検討が難しい案件（基準の適用範囲外になるケースなど）については本技術を活用した検討を行っていく。

3. 今後の展望

本章では、RCP8.5 シナリオの2090年代を想定した令和元年東日本台風（2019年台風19号）への温暖化影響評価の事例を示したが、本技術では任意の台風、温暖化シナリオ、年代を想定した解析を行うことができる。今後は、複数の台風、温暖化シナリオ、年代を想定した解析を行い、様々なシナリオにおける温暖化影響評価ができるデータセットを構築していく。

Ⅲ. 降雨・雨水排水

1. 開発の背景

近年、気候変動にともなう豪雨が多発することにより、建築物の雨水排水設計に注目が集まっている。特に、大屋根やテラスなどを持つ大規模建物に対して、建物に付着する降雨の空間分布や、付着した雨水が建物表面を移動して集水する過程を予測したうえで、適切な場所に適切な性能を持つ排水設備を備える必要がある。

本章では、建物まわりの降雨性状や雨水が建物表面を移動する過程を予測するための解析手法の概要と精度検証結果や適用事例を示す。

2. 開発技術

建物まわりの風はビル風でよく知られているように局所的に強い場所や弱い場所があり、強風下の降雨は風に乗って移動することから、建物壁面や屋根面、床面に到達する降雨量は空間的に不均一となる。

現在、設計用の雨水排水量の算出にあたり、(公社) 空気調和・衛生工学会給排水衛生設備規準・同解説では、屋根、庇、ドライエリア等の設計において、壁面積の1/2を壁面の下に接続する屋根や庇の面積に加算し、その合計面積に雨が降ると仮定するが、本手法では、降雨解析で壁面に付着する雨量を計算し、それが屋根や庇に流下した場合の雨量の割増を算出することで合理的な雨水排水設計を可能とするものである。

このように求めた建物壁面や屋根面に到達する雨水量を入力条件として、屋根面やテラス床面上に付着した降雨が排水設備まで到達するまでを雨水流動解析で明らかにする。

降雨から排水設備までの一連の水の移動を数値解析するプロセスをFig.4に示す。

(1) 降雨解析手法

解析にあたっては、計画地周辺の気象データを参考に、降

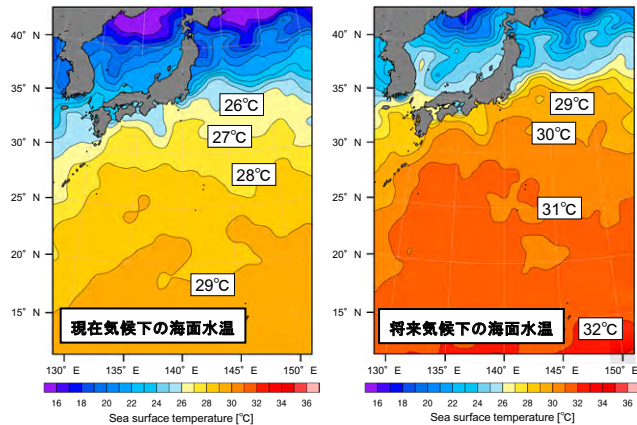


Fig.1 現在気候下および将来気候下の海面水温
(Sea Surface Temperature under Current and Future Climate Condition)

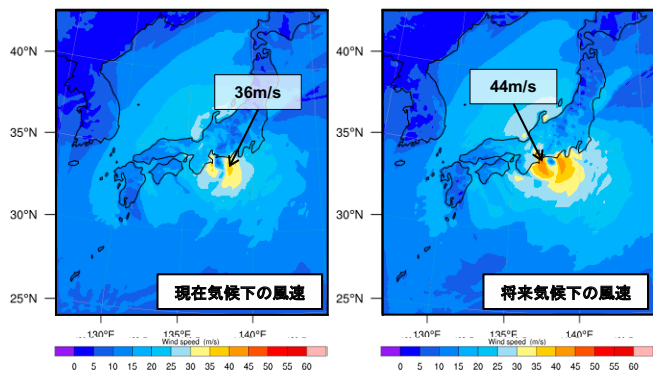


Fig.2 現在気候下および将来気候下の台風上陸時の風速
(Wind Speed During Typhoon Landfall under Current and Future Climate Condition)

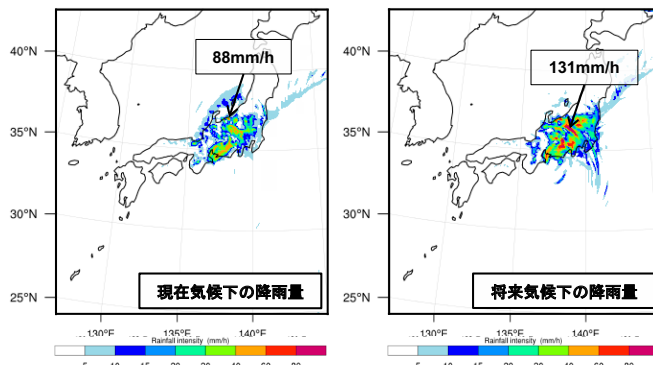


Fig.3 現在気候下および将来気候下の台風上陸時の降雨量
(Rainfall Intensity During Typhoon Landfall under Current and Future Climate Condition)

雨時の風の性状や降雨量を調査した上で、解析条件としての風向・風速・降雨量を決めた後に、計画地周辺の周辺街区や計画建物の3DCADデータを用いて、計画建物まわりの空気の部分を多面体の計算格子で覆い（格子法）、気流解析を行う。気流解析の後、気流解析で用いた計算格子上で降雨解析も行う。

降雨には様々な直径の雨粒が含まれているが、1時間降雨量が多くなるほど、直径が大きい雨滴を多く含むようになる。また、雨滴直径が大きくなるほど、雨滴の落下速度は速くなる。雨滴は、直径や風の影響によって落下中の挙動が変化することから、代表的な雨滴直径ごとに降雨解析を行う。雨滴直径ごとの計画建物の面に付着する雨量を、設計に用いる降雨強度から定める雨滴直径分布に基づき合算した上で、計画建物の面に付着する雨水量を算出する。得られた雨水量は、建物の風の影響を受けない地表面に到達する雨水量に対する比（基準化降雨量）として基準化される。

(2) 雨水流動解析の手法

建物表面を伝う水流を再現するにあたり、複雑な水面形状を再現するために水の運動を粒子群の運動として扱う粒子法（MPS法）を用い、物体表面が水流に与える抵抗力のモデルや水面の表面張力を再現するモデルを導入している。この解析手法により、複雑な形状を持つ建物表面を移動する雨水の流動を予測することができる。

(3) 降雨解析の精度検証^{10), 11)}

実際の低層市街地（Fig.5の左図）を対象に、風速および壁面近傍の降雨量の実測を行い、降雨解析の精度検証を実施した。実測の高さ25mで風速3.1m/s、風向は東北東を与えた。実測時の降雨条件を鑑み、雨滴直径の頻度分布は1時間あたり50mmの分布を用いた。Fig.5に屋上C地点を基準とした基準化降雨量を調査する場所を示す。いずれの地点でも降雨量の解析結果は観測結果を概ね再現している（Fig.5）。

(4) 雨水流動解析の精度検証¹²⁾

雨水流動解析（MPS法）の代表的な精度検証事例として、雨樋の排水性能を取り上げる。既往の実験（Fig.6）¹³⁾を再現する解析を行い、雨樋中の水位の比較検証を行った（Fig.7）。

Case 1では雨樋への流入流量を $2.23 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$ 、Case 2では雨樋への流入流量を $3.29 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$ にそれぞれ設定した。定常状態に達した後の雨樋水位について、Case 1では実験値よりやや小さく、Case 2では実験値よりやや大きいものの、いずれも誤差10%以内の精度で実験結果を再現できている。

3. 適用事例

降雨解析および雨水流動解析を実建物へ適用した事例をFig.8に示す。高層市街地内に建設される高層建物の低層部に設置される大屋根に付着する降雨は、ビル風の影響を大きく受けるために、降雨解析を実施した（Fig.8の左図）。低層部

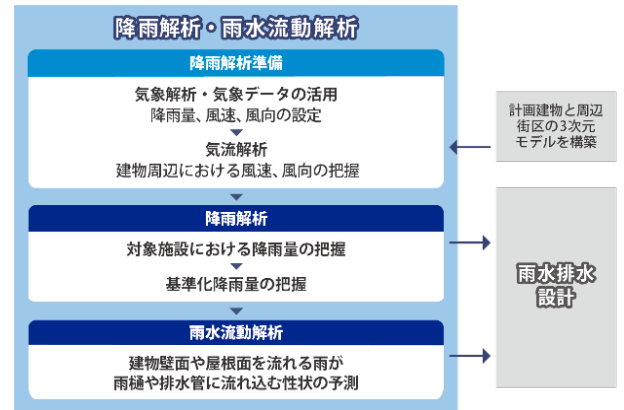


Fig.4 降雨の排水設備までの挙動の予測
(Computational Process of Wind-Driven Rain and Rainwater)

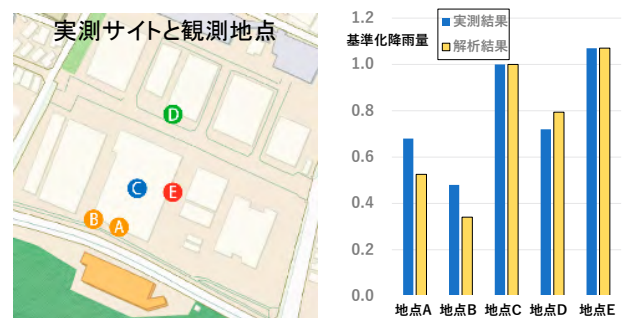


Fig.5 降雨解析と実測の比較
(Comparison of Wind-Driven Rain Analysis and Observations)

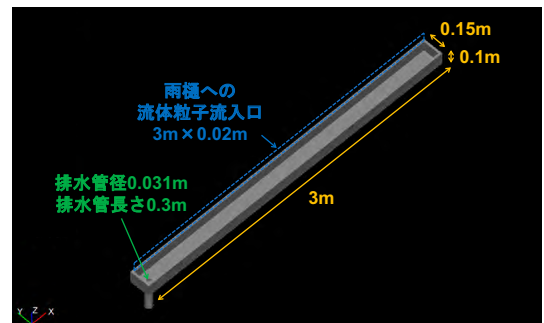


Fig.6 雨樋実験モデル
(Rain Gutter Experiment Model)

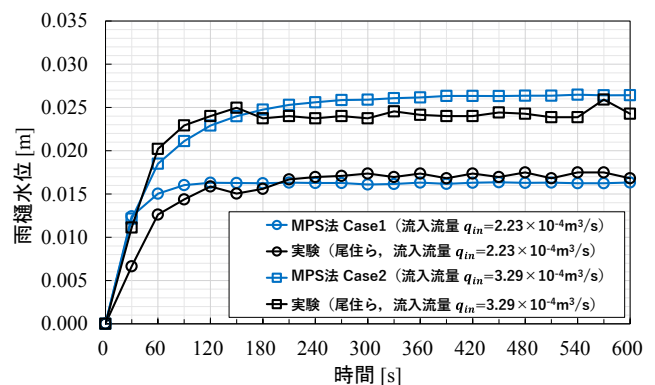


Fig.7 雨樋内の水位の実験¹³⁾と解析の比較
(Comparison of Experiments and Analysis of Water Levels in Gutters)

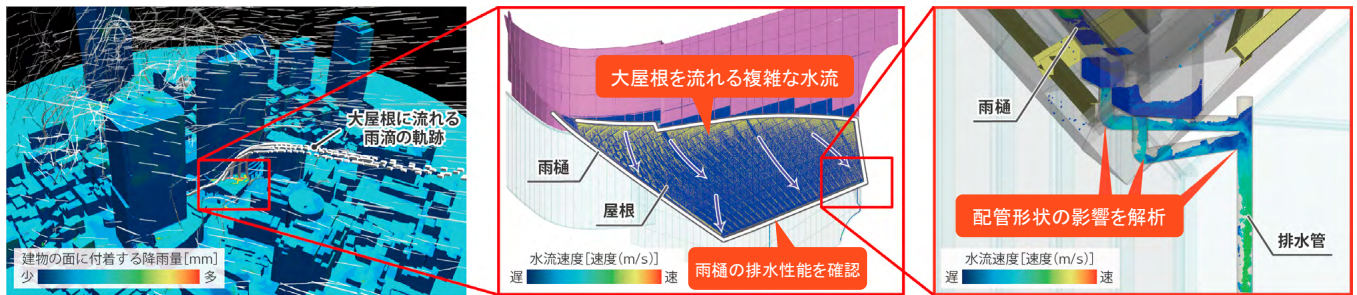


Fig.8 降雨解析で得られた降雨の空間分布に基づく大屋根の雨水流動解析

(Numerical Simulation of Rainwater Flow on the Large Roof Based on Spatial Distribution of Rainfall Obtained from Wind-Driven Rain Analysis)

の大屋根は3次元的に変化する曲面形状であることから、屋根に付着した後の降雨の流下挙動（Fig.8の中央）および、大屋根端部の雨樋で集水できること（Fig.8の右図）を確認するために、雨水流動解析を行った。降雨や雨水流動の可視化により適切な排水が行われていることを確認し、場所に応じた排水設備に対する雨水排水量の設定を行った。

4. 今後の展望

今後、実建物に対する実測データを収集し、降雨解析と雨水流動解析の精度検証および検討業務の短工期化を行う。

IV. 氾濫・浸水害

本章では、気象災害のうち、豪雨による水害について述べる。我が国は、国土の7割を山地が占めており、平野部が狭く河川の勾配が急峻であるという地形的特徴を有する。それと同時に、世界有数の多雨地帯であるモンスーンアジアの東端に位置しており、梅雨前線・台風・線状降水帯といった気象現象が毎年のように豪雨をもたらしている。このような地形的・地理的・気象的特性から古来より様々な水害に直面してきた。さらに、近年では気候変動の影響により豪雨が激甚化・頻発化しており、大規模な水害への懸念がますます高まっている。

以下では、はじめに近年の氾濫・浸水害の事例について整理した後、当社が保有する水害関連のシミュレーション技術について紹介する。

1. 近年の災害状況

Table1に示した近年の甚大な被害を引き起こした気象災害による氾濫・浸水害について簡単に紹介する。

平成26年8月豪雨¹⁴⁾では、台風や前線の影響により全国各地で連日の大雨となり、甚大な浸水害や土砂災害が発生した。特に、広島市における大規模土砂災害は大きく報道され、線状降水帯が広く注目されるきっかけとなった。翌年の平成27年9月関東・東北豪雨では、鬼怒川が決壊¹⁵⁾したほか、多数の河川が氾濫し、3県26市町に災害救助法が適用された¹⁶⁾。平成30年7月豪雨（西日本豪雨）では西日本を中心に広い範囲で記録的な大雨が降った。多くの地域で河川の氾

濫や土砂災害が生じ、死者数は200人を超えた。岡山県倉敷市の真備町では、高梁川の増水にともなう背水（バックウォーター）現象により、高梁川に合流する小田川やその支川で堤防が決壊し、広域の浸水被害が生じた¹⁷⁾。令和元年東日本台風（2019年台風第19号）では、阿武隈川や千曲川の堤防が決壊するなど河川の氾濫が相次ぎ、広域の浸水被害が生じた。令和2年7月豪雨（熊本豪雨）では、球磨川水系で多数の決壊・氾濫が生じた。COVID-19の感染が拡大する中で発生したはじめての大規模災害であり、災害対応における感染症対策が重要な課題として認識されるきっかけとなった¹⁸⁾。

2. 開発技術

(1) 多摩川流域氾濫解析モデル

多摩川流域氾濫解析モデル（バーチャル多摩川）^{19)・20)}は2019年の台風19号において当社技術研究所の西調布実験場の近くを流れる多摩川の水位が計画高水位を超過した事象を受け、西調布実験場のBCP対応の一環として開発したものである。流域内の降雨条件および河川堤防の想定決壊箇所を入力とし、河川への流出量、河川水位の変動、河川からの氾濫をシミュレーションすることで、浸水深を時空間的に評価することができる。

(2) 都市型水害予測解析システム

「都市型水害予測解析システム」^{21)・22)}は、2000年の東海豪雨を契機として、当社と中部大学が共同開発した水害シミュレーションモデルである。河川流・地表面氾濫・下水道網

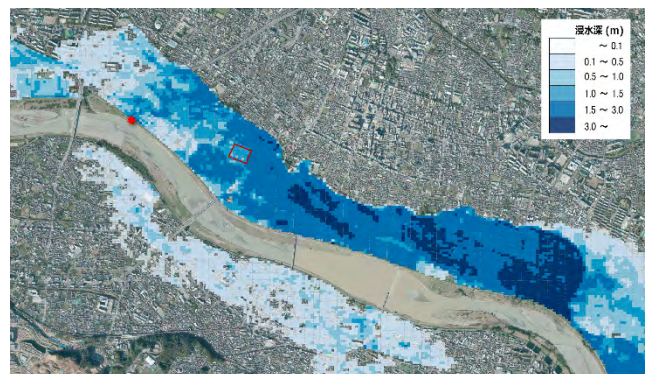


Fig.9 多摩川の氾濫シミュレーション（浸水深）
(Flood Inundation Simulation in Tama River)

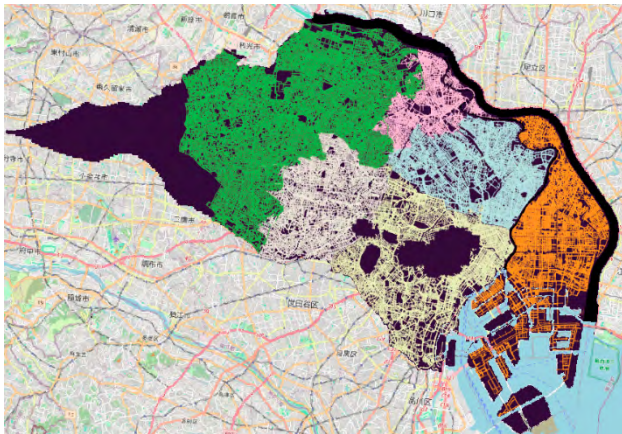


Fig.10 都市型水害予測解析モデル(下水道モデル)
(Sewerage Model for Central and Eastern Tokyo)

流れの各モジュールを連成することにより、雨水の挙動を統合的に解析することが可能となっており、例えば、「河川水位が上昇することにより下水道を通じた排水が困難となり、その結果、地表面に降った雨水が氾濫する」といった複雑な現象を表現することができる。

3. 適用事例

当社技術研究所の西調布実験場に水害トータルエンジニアリングサービスを適用するにあたり、多摩川流域氾濫解析モデルにより、気候変動による将来の降水量の増加も考慮した氾濫解析を実施 (Fig.9) し、浸水対策レベルを設定するための基礎情報としてその結果を活用した²³⁾。

都市型水害予測解析システムについては、東京都の東部低地帯を含む隅田川・新河岸川流域、神田川流域を対象としたモデル (Fig.10) を作成し、津波と洪水の重畳時の浸水の検討を進めている^{24), 25)}。

4. 今後の展望

気候変動による降雨量の増加や都市化・開発の進展、さらには、本年1月に八潮市で発生した下水道に起因する道路陥没事故に象徴されるインフラの老朽化などの複合的な要因により、日本における水害のリスクは今後も高まる一方である。今後は他の災害との重畳も含めたリスク評価が可能な技術の確立に向けて研究開発を進めていき、効果的なインフラ整備に関する提言の発信やリスクエリアに拠点を持つ民間企業のBCP支援などに活用していく。

V. 高潮・高波

1. 近年の災害状況

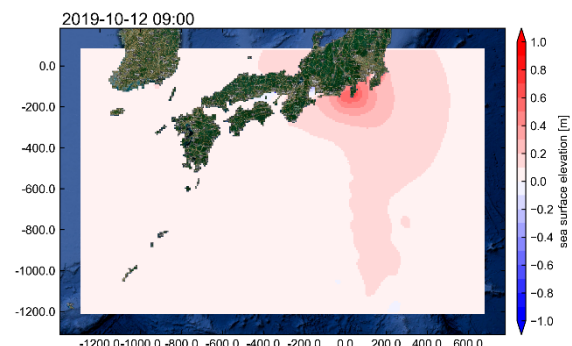
台風にとまなう災害として、豪雨や強風とともに沿岸部で問題となるのは高潮・高波である。1959年の伊勢湾台風(死者・行方不明者 5,098人)以降、1961年に災害対策基本法が制定されるとともに、各所で高潮対策が進められた結果、以降、同程度の規模の高潮災害は発生していない。しかしながら、近年においても陸上への浸水被害をとまなう高潮・高

波災害は発生しており、沿岸部の構造物被害などをもたらしている。以下では、過去約10年に発生した高潮・高波災害について事例を紹介する。

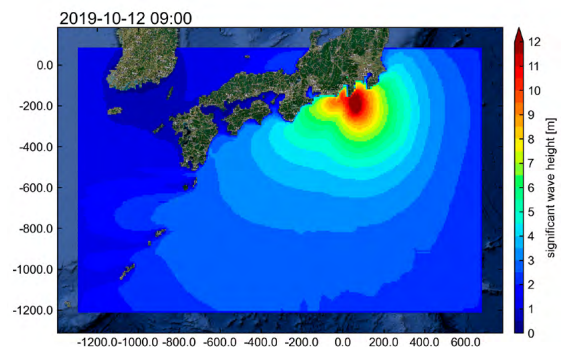
2014年根室高潮は急速に発達した温帯低気圧が根室市の市街地に浸水被害をもたらしたものである。北海道は台風の経路から外れることが多く過去に顕著な高潮による被災がなかったことから、高潮対策が取られていない中で被災であった²⁶⁾。2018年台風12号は伊豆諸島から九州にかけて日本を西進した台風であり、その経路から「逆走台風」とも呼ばれたものである。小田原市や熱海市で高波の越波による道路の冠水や周辺建物への被害が発生した。2018年台風21号は徳島県に上陸後、北東に進み日本海側に抜けた台風であり、大阪府や兵庫県に浸水被害をもたらした。関西国際空港では滑走路やターミナルビルが浸水し、さらには、走錯したタンカーが連絡橋に衝突し、連絡橋が損傷、一時空港が孤立状態となった²⁷⁾。2019年台風15号では、横浜港を中心に高波による護岸の損壊や背後地の浸水が生じた。翌月の台風19号でも広い範囲で高潮や高波が発生した。

2. 開発技術と適用実績

当社では、IV章で触れた高潮と豪雨災害の重畳に対する検討への活用、また、将来的な海岸道路の運営への活用のため、Kimらが開発した潮汐・高潮・波浪結合モデル²⁸⁾を用いた解析的な検討を進めている (Fig.11)。具体的には、熱海市の



(a) 高潮偏差



(b) 有義波高

Fig.11 高潮・波浪シミュレーション(T1919)
(Storm Surge and Wave Simulation for T1919 (Hagibis))

泉門川から東海岸町の海岸沿いを結ぶ観光道路である熱海ビーチラインを対象に、過去の台風時のシミュレーションを実施し、越波の危険が高い台風経路の分析など、活用を進めている。また、陸域における災害を対象としたものではないが、台風にもなる高波浪が沿岸海洋環境に与える影響について、沿岸海洋モデルを用いた検討を試みている²⁹⁾。

3. 今後の展望

冒頭で述べた通り、これまで実施されてきた対策により、高潮や高波単独での被害はかつてと比べ抑えられている。一方、Ⅱ章でも述べたとおり、高潮や高波についても今後は気候変動による作用の増大を考慮した評価が求められている。また、地震や風水害との複合により単独での被害より大きな被害が生じる可能性についても考慮する必要がある。今後は、気象解析（Ⅱ章）や氾濫解析（Ⅳ章）と連成を強化し、さらに、将来的には統合エンジニアリングシステム（本年報の「予測技術（地震災害）」Ⅴ章を参照）に統合していくことにより、より総合的な災害リスク予測を実現できるよう取り組んでいく。

Ⅵ. おわりに

本稿では気象災害の予測・リスク評価技術として、気象モデルによる擬似温暖化実験、降雨および雨水排水シミュレーション、氾濫・浸水解析、高潮・高波の連成解析について紹介した。これらの技術は、気象災害の予測や対策支援に役立てることができるものであるが、気候変動による災害の激甚化・頻発化、地震など他災害との複合、インフラ老朽化など諸要因の影響を考慮した適切なリスク評価を行うには、いまだ多くの課題が残されている。今後、分野間の連携やセンシング・モニタリング技術と予測技術の統合を進めることにより、気象災害の低減につながる技術開発を進めていく。

参考文献

- 1) 気象庁が名称を定めた気象・地震・火山現象一覧
https://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/meishou/meishou_ichiran.html
- 2) Skamarock, W.C. et al. ; A Description of the Advanced Research WRF Version 3, NCAR Technical Note, 2008.
- 3) Kimura, F. and Kitoh, A. ; Downscaling by Pseudo Global Warming Method, The Final Report of ICCAP, 43:46, 2007.
- 4) IPCC ; Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC, 2014.
- 5) Yukimoto, S. et al. ; A New Global Climate Model of the Meteorological Research Institute: MRI-CGCM3 , Journal of the Meteorological Society of Japan, 2012, pp. 23-64.
- 6) 日本港湾協会；『港湾の施設の技術上の基準・同解説』部分改訂及び正誤表について，2024.
<https://www.phaj.or.jp/book/kowan-seigo-r6-0415.html>
- 7) 小林怜夏，竹信正寛，本多和彦，蒔苗嘉人，村田誠；気候変動適応策を踏まえた防波堤の設計手法に関する検討，国土技術政策総合研究所資料，No.1281，2024.
- 8) 国土交通省港湾局；気候変動に対応した港湾の施設の設計事例集，2025.
<https://www.mlit.go.jp/kowan/content/001879327.pdf>
- 9) 国土交通省；気候変動を踏まえた治水計画のあり方，2021.
https://www.mlit.go.jp/river/shinngikai_blog/chisui_kentoukai/pdf/r0304/01_teigen.pdf
- 10) 伊藤嘉晃，高木賢二，近藤宏二，田村哲郎；低層街区を対象としたLESに基づく降雨解析（その1） 降雨の特徴，日本建築学会大会学術講演梗概集，2024.
- 11) 高木賢二，伊藤嘉晃，近藤宏二，田村哲郎；低層街区を対象としたLESに基づく降雨解析（その2） 降雨観測と解析結果との比較，日本建築学会大会学術講演梗概集，2024.
- 12) 中島慶悟，小山毅，越塚誠一；雨樋の排水性能に関するMPS法の解析精度の検討，日本建築学会大会学術講演梗概集，2025.
- 13) 尾住秀樹，坂本圭司，沢崎慎祐；駅舎における集中豪雨対策手法の実証実験，日本建築学会大会学術講演梗概集，2011.
- 14) 気象庁；災害時気象速報 平成26年8月豪雨
https://www.jma.go.jp/jma/kishou/books/saigaiji/saigaiji_201404.pdf
- 15) 国土交通省；『平成27年9月関東・東北豪雨』の鬼怒川における洪水被害等について
https://www.ktr.mlit.go.jp/ktr_content/content/000634942.pdf
- 16) 内閣府；平成27年台風第18号等による大雨に係る災害救助法の適用について【第4報】
https://www.bousai.go.jp/kohou/oshirase/pdf/20150912_01kisya.pdf
- 17) 国土交通省中国地方整備局；平成30年豪雨災害等の概要
https://www.cgr.mlit.go.jp/tottori/river/conference3/images/6kai/6kai_shiryuu-3.pdf
- 18) 内閣府；令和3年版防災白書
<https://www.bousai.go.jp/kaigirep/hakusho/r3.html>
- 19) 新保裕美，野中沙樹，鈴木一輝，田中昌宏，二瓶泰雄；洪水時の小河内ダムからの事前放流が多摩川の水位に及ぼす影響に関する検討，土木学会第76回年次学術講演会，2021.

- 20) Nonaka, S., Suzuki, K., Iwamae, N., Nohara, D., Yamada, Y. ; Investment decision support for business sustainability improvement based on flood inundation simulations with a variety of extreme rainfall scenarios, The 9th International Conference on Flood Management, 2023.
- 21) 武田誠, 松尾直規, 山中威士, 森田豊 ; 総合的な氾濫解析システムの構築に関する研究, 水工学論文集, Vol. 49, 2005, pp. 613-618.
- 22) Takeda, M., Matsuo, N., Hirashima, S., Hirayama, Y., Tanaka, M., Takahashi, T. ; The Inundation Analysis System on Urban Area and Its Application, Proceedings of the 31st IAHR World Congress, 2005, pp. 4956-4964.
- 23) 鹿島建設 ; 「水災害トータルエンジニアリングサービス」により自社施設の水害対策に着手
<https://www.kajima.co.jp/news/press/202307/6a1-j.htm>
- 24) 高橋昌伸, 岩前伸幸 ; 複合水害シミュレーションによる都市域の浸水予測に関する研究, アーバンインフラ・テクノロジー推進会議 第35回技術研究発表会, 2023.
- 25) 高橋昌伸, 岩前伸幸, 田中昌宏, 有川太郎 ; 首都東京を対象とした高潮・洪水氾濫シミュレーションモデルの開発ー水害に強い「水都東京」を実現するためにー, 100年後の安心のための TOKYO 強靱化世界会議, 2024.
- 26) 渡部靖憲, 猿渡亜由美 ; 2014 年根室高潮災害報告, 自然災害研究協議会北海道地区部会センター報告, Vol. 29, 2016, pp. 23-34.
- 27) 森信人, 中條壮大, 安田誠宏, 片岡智哉, 鈴木高二朗, 有川太郎 ; 2018 年台風第 21 号による高潮・高波災害の概要, 日本風工学会誌, Vol. 44, No.3, 2019, pp. 288-293.
- 28) Kim, S., Yasuda, T., Mase, H. ; Numerical analysis of effects of tidal variations on storm surges and waves, Applied Ocean Research, 30, 2008, pp. 311-322.
- 29) 上平雄基, 岩前伸幸, 山本克則, 中村隆志, 内山雄介 ; サンゴ礁生態系モデル開発に向けた台風時海洋環境解析, 土木学会論文集, Vol. 80, No.17, 2024, pp. 1-8.