

2019 年度（第 55 回）  
水工学に関する夏期研修会講義集

B コース

Lecture Notes of the  
55th Summer Seminar on Hydraulic Engineering, 2019  
Course B

土木学会  
水工学委員会・海岸工学委員会

Committee on Hydrosience and Hydraulic Engineering,  
Coastal Engineering Committee,  
JSCE

2019 年 9 月  
September 2019

2019 年度（第 55 回）  
水工学に関する夏期研修会講義集

B コース（海岸・港湾コース）

総合テーマ：伊勢湾台風 60 年：高潮・高波・沿岸防災の  
過去・現在そして将来

- B-1 力学的ダウンスケーリングによる台風ハザードの気候変動影響評価  
京都大学 准教授 竹見哲也  
Tetsuya TAKEMI
- B-2 スーパー伊勢湾台風来襲に備えた危機管理行動計画策定に向けた取り組み  
国土交通省中部地方整備局河川部 河川情報管理官 松尾 修  
Osamu MATSUO
- B-3 愛知県における高潮防災の取り組み  
愛知県建設局河川課 課長補佐 益田 俊  
Takashi MASUDA
- B-4 高波及びうねりによる越波災害と技術的対応  
港湾空港技術研究所 波浪研究グループ長 平山克也  
Katsuya HIRAYAMA
- B-5 水災害に備える市街地のあり方  
東京大学生産技術研究所 教授 加藤孝明  
Takaaki KATO
- B-6 災害ごみの最新の知見とその対策  
名古屋大学減災連携研究センター 准教授 平山修久  
Nagahisa HIRAYAMA
- B-7 高潮数値モデルの開発と気候変動影響評価への適用  
関西大学 准教授 安田誠宏  
Tomohiro YASUDA
- B-8 伊勢湾台風とその後の防災  
名古屋工業大学 名誉教授 喜岡 渉  
Wataru KIOKA

2019 年度（第 55 回）水工学に関する夏期研修会講義集

水工学シリーズ 19-B-1

# 力学的ダウンスケーリングによる 台風ハザードの気候変動影響評価

京都大学 准教授

竹見哲也

土木学会

水工学委員会・海岸工学委員会

2019 年 9 月

# 力学的ダウンスケーリングによる台風ハザードの気候変動影響評価

## Assessment of the Impacts of Climate Change on Typhoon Hazards by Dynamical Downscaling

竹見 哲也

Tetsuya TAKEMI

### 1. はじめに

2018年は、冬季の豪雪、7月に発生した「西日本豪雨」、その後の猛暑、9～10月の台風21号・24号など強大な台風といったように、様々な極端な気象現象が発生し、全国各地で風水害が頻発した。「西日本豪雨」は、台風7号の通過ののち、梅雨前線の活発な活動により、西日本を中心にして中部地方や北海道地方を含めて全国各地で大雨による災害が発生した。また、台風21号は、最大発達時に中心気圧が915 hPaまで下がり、四国地方および近畿地方に上陸し、近畿地方を中心にして広域で暴風雨による災害が発生した。このような災害をいかにして防止・軽減するかは、短期的な視点と中長期的な視点とで整理して対策を考える必要がある。中長期的な視点で考える場合には、極端な気象現象が生起する気候場が変化すること、すなわち気候変動の影響を考慮し、気象ハザードが気候変動によりどのように変化するかを考えなければならない。ここでは、特に台風を例にとり、台風による気象ハザードに及ぼす気候変動の影響をどのように評価するかについて解説する。

2019年は、1959年9月に発生した伊勢湾台風から60年という節目の年にあたる。伊勢湾台風は、室戸台風(1934年)・枕崎台風(1945年)とともに「昭和の三大台風」として数えられる顕著な台風であった。過去においては、昭和の三大台風、さらには1947年カスリーン台風、1954年洞爺丸台風という1500名を超える犠牲者が生じた事象があった。中でも伊勢湾台風では、5000名を超える犠牲者があり、過去100年の間で風水害の中で最も多くの人的被害が生じた。その後、気象防災への取組みが進み、伊勢湾台風以前のように多くの犠牲者を生じさせるような台風災害というものは発生していない。しかし1993年以降では、風水害と雪害をあわせた気象災害による死者・行方不明者の数は減少しているとは言えず、毎年数10名から200名以上の方が気象災害により命を落としている(内閣府, 2018)。近年でも、2011年9月の台風12号による紀伊半島での豪雨災害、2014年8月に広島で発生した土砂災害、2016年8月の台風9・10・11号による北海道・東北地方での豪雨災害など、数10名の方が亡くなるという事象が発生している。そして2018年には、200名を超える犠牲者を発生させた西日本豪雨が発生し、風水害による犠牲者数という点で言えば、平成30年は平成最悪の風水害被害の年となった。

2018年の西日本豪雨や台風21号による被害は、あらためて気象防災のあり方を考えさせることとなった。台風21号にあつては、大阪湾沿岸で高潮・高波が発生し、また近畿地方の広域で強風が吹き、建築構造物の被害、樹木の被害、電力網への被害、飛散物による被害、さらには関西空港の浸水といった様々な被害が生じた。そのため、日本損害保険協会の2019年5月20日付公表(日本損害保険協会, 2019)によれば、この台風21号により生じた被害に対する各種損害保険の支払い総額は1兆678億円に達した。この額は、風水害による保険金支払額のこれまでの歴代第1位であった1991年台風19号の際の5680億円をはるかに超えるものとなった。伊勢湾台風から60年経ったいま、今後60年先を見据え、気候変動の影響を的確に把握し、今後起こり得る次の「伊勢湾台風」のハザードを理解し、想定される被害を的確に把握することが大切である。

ここでは、最初に、地球温暖化が台風に及ぼす影響を概観する。次に、力学的ダウンスケーリングおよび擬似温暖化実験の手法を用いた台風ハザードの気候変動影響評価の方法について述べる。伊勢湾台風をはじめ、いくつかの台風を対象として解析した結果をまとめる。最後に、今後の力学的ダウンスケーリング手法の展開について述べる。

## 2. 地球温暖化が台風に及ぼす影響

台風の発生に適した条件は、大気と海洋のそれぞれの条件によって決まる。地球温暖化が台風に及ぼす影響を理解するためには、これら大気と海洋の条件がどう変化するかを把握する必要がある。

まず大気の状態から考えてみる。地球温暖化とは第一義的には地上気温の上昇のことを指すのが一般的である。ところが高度方向で見ると、気温上昇の幅は、対流圏内では地上よりも上空ほど大きくなることがよく知られている。夏の高気圧に覆われた関東地方での局地的な降水の発生条件の地球温暖化による変化を調べた研究によれば、日本においても同様に気温上昇幅は地上よりも上空のほうが大きいことが分かった (Takemi et al. 2012)。このことから、地球温暖化が進むと、対流圏の気温減率は小さくなり、大気は安定になると予測される。すなわち、台風の発生を抑制する方向に進むのである。一方、Takemi et al. (2012) による同じ研究によれば、大気の相対湿度は温暖化によって有意な変化はないことが示された。このことから、相対湿度の条件の変化が台風の発生に及ぼす影響は顕著ではないものと考えられる。

一方、海洋の状態を考えると、海面水温は温暖化とともに上昇する。上昇の傾向は地上気温と同様であり、低緯度よりも中高緯度ほど上昇幅は大きい傾向にある。海面水温が高くなると、海面から大気に熱や水蒸気の供給が活発となり、台風は発達しやすくなる。よって、海面水温の条件で言えば、温暖化すると台風は発達しやすくなる。

さらに考慮すべきこととして、水蒸気量の変化が挙げられる。一般に、気温が高くなるほど飽和水蒸気量は多くなる。したがって、相対湿度が変わらないと仮定すれば、気温が上がるとともに大気中の水蒸気量は多くなるのである。将来の地球温暖化した気候では、対流圏全層にわたって気温が上昇すると予測されており、また相対湿度には有意な変化がないことを考えると、温暖化とともに大気中の水蒸気量は増加することになる。一般に、水蒸気量が増加すると、積乱雲の発達強化されるため、台風が積乱雲の集団であることを考えると、台風も水蒸気量が多いほど発達しやすくなる。温暖化による水蒸気量の増加は、気温減率の低下という安定化の効果とは相反する効果である。このように、大気の状態でも促進効果と抑制効果の双方がある。

以上のとおり、温暖化の進行によって想定される大気と海洋の状態の変化に伴い、台風を発生・発達させる条件への温暖化の影響には、促進する方向と抑制する方向との双方の効果がありうるのである。大気状態に見られる大気の安定化という抑制効果と水蒸気量の増加という促進効果は、簡単に言えばそれぞれ次のようにまとめられる。大気の安定化により、積乱雲の発達は抑制され、積乱雲から台風への集団化も抑制され、したがって台風の発生頻度は全般的には抑えられる傾向になる。一方、水蒸気量の増加により、積乱雲や台風は一度発生すれば豊富な水蒸気量の供給を受けてより強く発達するのである。水蒸気量が増加すると、降水量が多くなる傾向にある。温暖化気候で台風が強まるかどうかは、大気安定化と水蒸気量増加の相反する効果に加え、海面水温や大規模な大気循環の変化の影響も受ける。これらの因子の微妙な関係のもとに、温暖化気候と台風の発生数や強さとの関係が決まるのである。

以下に、気候変動に関する政府間パネル (IPCC) による第5次報告書 (AR5) などに基づき、現時点での知見を紹介する。IPCCによるAR5では、第1作業部会 (WG1) による報告書 (IPCC 2013) において、温暖化による気象の変化の物理的な側面についてまとめられている。WG1の報告書において観測された気候変動についてまとめた記述によれば、地球温暖化は確実に進行しているとされているものの、熱帯低気圧の活動度が前世紀から長期的に強化傾向にあるかどうかという点では未だ確信度は低いと評価されている。それでも確実性が高いと評価された海域は一部あり、北大西洋地区に限っては1970年代以降で見ると最強部類の熱帯低気圧の頻度と強度が増大していることはほぼ確実であると評価されている。しかし、北西太平洋地区を含む他の海域での熱帯低気圧の変化傾向は、長期的な観測値の不足や北大西洋とは異なる大気循環の様相から未だよく理解できていないのが現状である。

一方、第2作業部会 (WG2) による報告書 (IPCC 2014a, 2014b) では、将来の温暖化気候における影響評価や適応策についてまとめられている。この影響評価の前提となるのは、WG1の報告書でまとめられているような、気候を予測する数値モデル (気候モデル) による高い精度の将来気候の予測情報であるのは言うまでもない。この点

2019年度（第55回）水工学に関する夏期研修会講義集

水工学シリーズ 19-B-2

スーパー伊勢湾台風来襲に備えた  
危機管理行動計画策定に向けた取り組み

国土交通省 中部地方整備局  
河川部 河川情報管理官

松尾 修

土木学会  
水工学委員会・海岸工学委員会

2019年9月

# スーパー伊勢湾台風来襲に備えた危機管理行動計画策定に向けた取り組み

## Action for Development of the Crisis Management Action Plan for Super Ise

### Bay Typhoon Attack

松尾 修, 水谷 好伸

Osamu MATSUO, Yoshinobu MIZUTANI

#### 1. はじめに

濃尾平野は我が国最大のゼロメートル地帯（海拔ゼロメートル以下の低平地）が広がっている（図 1）。1959 年（昭和 34 年）の伊勢湾台風では、東海地方の低平地を中心に死者・行方不明者 5,000 人を超える甚大な被害を受けた。本年は伊勢湾台風の来襲から 60 年の節目を迎えるが、幸いにして東海地方において伊勢湾台風を超える規模の災害は発生していない。しかし、近年の異常気象の頻発化や将来の気候変動を勘案すると、伊勢湾台風を超える規模のスーパー伊勢湾台風がこの地方を襲った場合は極めて甚大な災害の発生が危惧されているため、東海地方のゼロメートル地帯における関係機関の参画によりスーパー伊勢湾台風の来襲を想定した危機管理行動計画についての検討を行ってきている。

本稿では、濃尾平野が抱えるリスクに触れたのち、「東海ネーデルランド高潮・洪水地域協議会」の設立経緯や沿革等について紹介し、現行の危機管理行動計画の概要及び現在の取り組みについて紹介する。

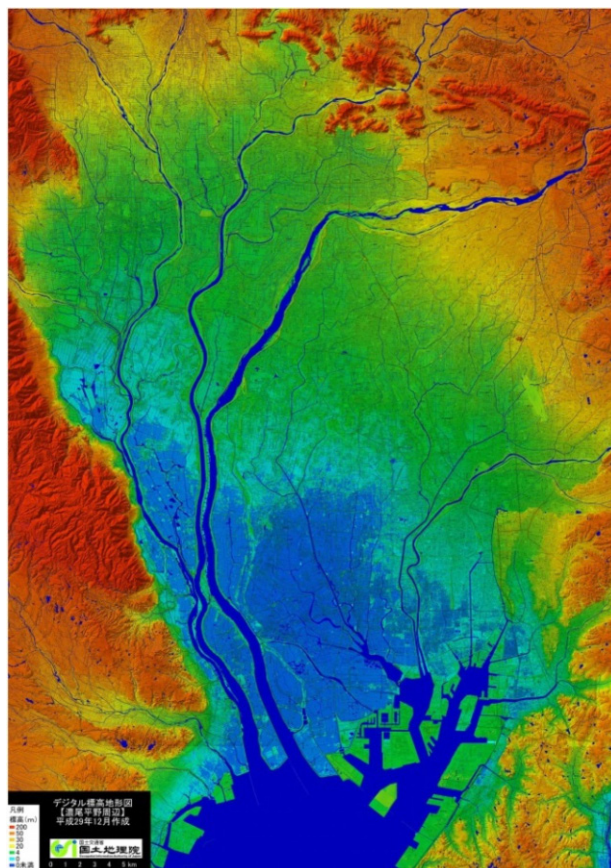


図 1 濃尾平野デジタル標高地形図（出典：国土地理院ウェブサイト 技術資料 D1-No. 878<sup>i</sup>）



## 2. 濃尾平野が抱えるリスク

### (1) 濃尾平野の地域特性

伊勢湾に面した濃尾平野は、我が国有数の大河川である木曾三川（木曾川、長良川、揖斐川）や庄内川の河口部となっており、愛知県、岐阜県、三重県の三県にまたがっている。濃尾平野におけるゼロメートル地帯は336km<sup>2</sup>にも及び、浸水に対して非常に脆弱な地域である。ゼロメートル地帯の人口は約90万人にのぼり<sup>ii</sup>、資産も集積している。

### (2) 伊勢湾台風の概要<sup>iii</sup>

1959年（昭和34年）9月26日夕刻に紀伊半島先端に上陸した伊勢湾台風（台風15号）では、台風災害としては明治以降最多の死者・行方不明者数5,098名に及ぶ被害が生じた。この台風による犠牲者は全国32道府県に及んだが、その83%は高潮の発生によって愛知・三重の2県に集中した（図2）。伊勢湾奥部（名古屋港）では、既往最高潮位を1m近く上回る観測史上最大の3.55mの高潮が発生し、それが不十分な防災対策のまま市街化してきたゼロメートル地帯の市街地部に来襲した。加えて、名古屋港内の貯木場に集積していた大量の木材が流出し、家屋や施設を破壊して多くの人命を奪った。伊勢湾台風による高潮災害の脅威は、その後の高潮対策を大きく進展させ、「災害対策基本法」制定の契機となるなど今日の我が国の防災対策の原点となっている。

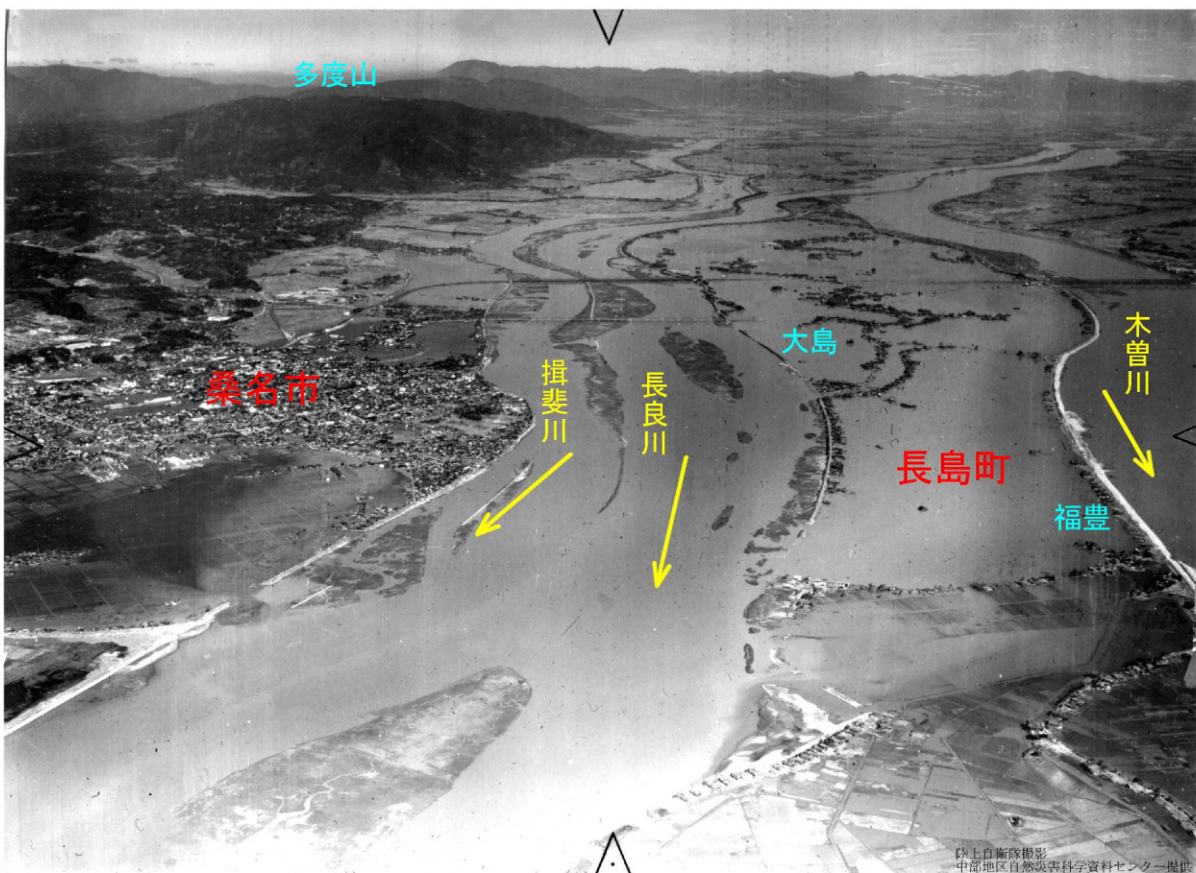


図2 伊勢湾台風時の木曾三川下流域の浸水状況  
(撮影：陸上自衛隊、提供：中部地区自然災害科学資料センター<sup>iv</sup>)



2019 年度（第 55 回）水工学に関する夏期研修会講義集

水工学シリーズ 19-B-3

# 愛知県における高潮防災の取組み

愛知県建設局河川課 課長補佐

益田 俊

土木学会

水工学委員会・海岸工学委員会

2019 年 9 月

# 愛知県における高潮防災の取組み

## Action on Storm Surge Disaster Mitigation in Aichi Prefecture

益田 俊  
Takashi MASUDA

### 1. はじめに

我が国の海岸制度は、1956年（昭和31年）海岸法の制定により、海岸管理が開始された。

1999年（平成11年）に改正された海岸法では、環境意識や心の豊かさへの要求の高まりを受け、これまでの“海岸の防護”に加えて“海岸環境の整備と保全”および“公衆の海岸の適正な利用の確保”が目的に追加され、「防護」「環境」「利用」の3つが調和するよう、総合的に海岸の保全を推進するとともに、広大な砂浜の保全など地域の特性を活かした海岸づくりを目指すこととなった。

また、この改正により、国が定めた「海岸保全基本方針」に基づき、学識経験者、関係市町村長、海岸管理者の意見を聴くとともに、地域の意見を反映した、都道府県知事による「海岸保全基本計画」の策定が定められた。

愛知県では地形上の特性などを考慮して、太平洋に面する「遠州灘沿岸」を2003年（平成15年）7月に静岡県と共同で、内湾部の「三河湾・伊勢湾沿岸」は2003年（平成15年）3月に三重県と共同で海岸保全基本計画<sup>1)2)</sup>を策定し、現在は、2014年（平成26年）6月の海岸法改正を踏まえ、主に防護面に関しての新たな知見や総合的な防災の考え方について2015年（平成27年）12月に変更したうえで各海岸の特性に応じた積極的な計画の遂行と適切な管理や利用を図っている（図1）。

2011年（平成23年）3月に発生した東日本大震災は、避難行動の遅れによる多くの犠牲者の発生など多くの教訓を残した。この教訓を踏まえ、比較的発生頻度の高い津波（レベル1）に対しては、施設の整備による対応を基本として人命、財産等を守ることを目指すことに加え、発生頻度は極めて低いものの、発生すれば甚大な被害をもたらす最大クラスの津波（レベル2）に対しては、なんとしても人命を守るという考え方に基づき、まちづくりや警戒避難体制の確立などを組み合わせた多重防御の考え方が導入され、2011年（平成23年）12月には、「津波防災地域づくりに関する法律」が施行された。

愛知県では、「津波防災地域づくりに関する法律」に基づいた、津波防災地域づくりの基礎資料となる「津波浸水



図1 愛知県の海岸保全基本計画

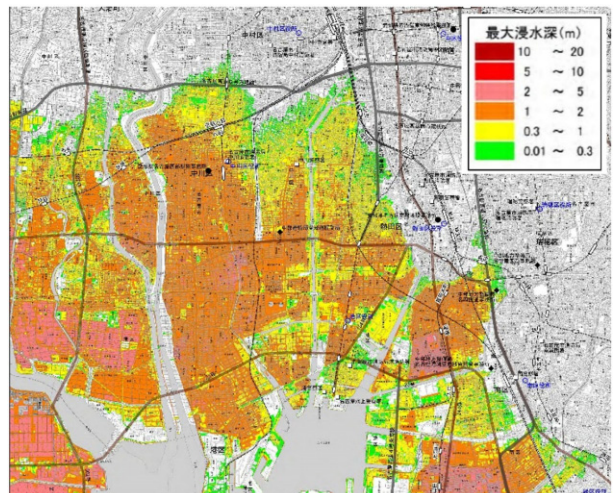


図2 愛知県津波浸水想定（図画3）H26.11公表

想定」を2014年（平成26年）11月に設定・公表し（図2）、更に2019年（令和元年）7月には、最大クラスの津波が発生した場合に住民等の生命又は身体に危害が生ずる恐れがある区域を「津波災害警戒区域」として指定しており、今後は市町村や防災関係機関等と相互に連携し警戒避難体制の整備の支援に取り組んでいくこととしている。

また、2009年（平成21年）10月に来襲した台風18号により三河港神野地区で高潮による浸水が発生し、ふ頭上に押し流された多数のコンテナが散乱するなど、愛知県沿岸部に高潮被害が生じたことを踏まえ、「愛知県沿岸部における津波・高潮対策検討会」（2011年度（平成23年度）～2012年度（平成24年度））を実施し、愛知県独自の高潮浸水予測や海岸の防護水準や防災の考え方などに関する検討を行っており、前述の「津波浸水想定」の公表と同時に「高潮浸水想定」の公表と（図3）、計画高潮高の変更を行った。

その後、2015年（平成27年）5月の水防法改正では、高潮においても設計外力を超え、最大規模までの高潮の発生という最悪の事態を視野に入れ、想定し得る最大規模の高潮に対する危機管理・避難警戒体制の充実を図るため、高潮により相当の損害が生ずるおそれがある海岸について、水位周知海岸として指定するとともに、高潮特別警戒水位の設定や、高潮による浸水想定区域を指定するものとされ、2015年（平成27年）7月には高潮浸水想定区域などの検討を行うための技術的な支援として、「高潮浸水想定区域図作成の手引き」<sup>3)</sup>が示された。

愛知県においても、水防法に基づき「水位周知海岸の指定」、「高潮特別警戒水位の設定」、「高潮浸水想定区域の指定」を行い、住民の避難体制の充実・強化を図るため、「高潮浸水想定区域図作成の手引き」に従った高潮浸水の検討を、2016年度（平成28年度）から「愛知県高潮対策検討委員会」を設立し、学識者及び関係者から意見を聴きながら進めているところである。

このため、今回は、これまでの愛知県における高潮対策について振り返りながら、愛知県の高潮災害とその対策について述べることにしたい。

## 2. 愛知県沿岸域の特徴

愛知県の沿岸域は、主に河川から供給された土砂が堆積してできた三角州によって形成された低平な地域であり、全国的に見てもゼロメートル地帯（地盤の高さが朔望平均満潮位以下の地帯）が非常に多い地域である（表1）。ゼロメートル地帯は、三河湾・伊勢湾の湾奥部および三重県の伊勢湾沿岸全域に渡って広く分布しており（図4）、さらに地盤沈下地帯と重なっていることから、常に高潮や洪水・内水氾濫などの恐れがある。

地震・津波の概況であるが、南海トラフでは、100～150年程度の周期でマグニチュードが8クラスの巨大地震が発生しており、そのたびごとに沿岸部では甚大な被害を受けており、南海トラフにおいて、今後マグニチュード8～9クラスの地震が発生する確率は、30年以内に70～80%<sup>4)</sup>とされている。

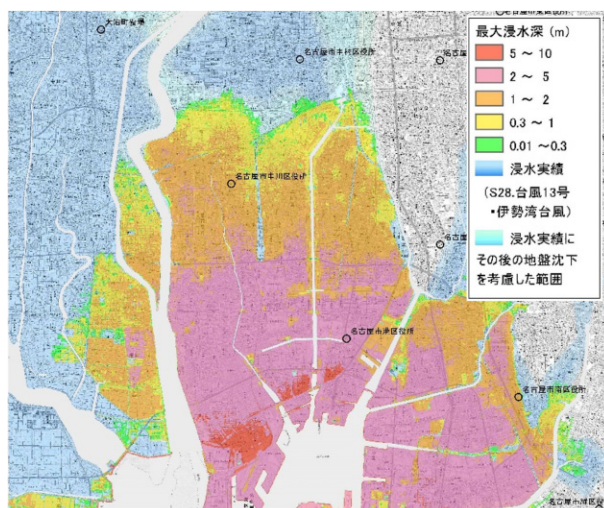


図3 愛知県高潮浸水想定（図画3）H26.11公表

表1 全国のゼロメートル地帯(資料:全国の地盤沈下地域の概況(H26.12 環境省))

都道府県名	ゼロメートル地帯面積(km <sup>2</sup> )
宮城	1
千葉	17
東京	124
神奈川	1.4
岐阜	61
愛知	363
三重	55
大阪	78.3
兵庫	16
広島	9
高知	10
長崎	6

2019年度（第55回）水工学に関する夏期研修会講義集

水工学シリーズ 19-B-4

高波及びうねりによる  
越波災害と技術的対応

港湾空港技術研究所 波浪研究グループ長

平山克也

土木学会

水工学委員会・海岸工学委員会

2019年9月

# 高波及びうねりによる越波災害と技術的対応

## Coastal Disasters Due to Wave Overtopping and Technical Policies

平山 克也  
Katsuya HIRAYAMA

### 1. はじめに

2018年9月4日に近畿・四国地方を襲った台風1821号は、1961年の第二室戸台風とほぼ同様のコースを通過し、大阪湾沿岸部において既往最大の潮位、風速、波高を記録した。この結果、神戸港から和歌山下津港にかけての港湾や海岸及び海上空港では、高潮・高波により堤外地を中心に浸水し各施設が損傷したほか、暴風により落下した空コンテナの海上流出、作業船・台船の漂流、等の被害が発生した<sup>1)</sup>。ただし、関西空港<sup>2)</sup>を含めたこれらの調査結果によると、一部地域を除き潮位は岸壁や護岸の天端高を超えず、浸水は高波による越波で発生したことが指摘されている。また、10個もの台風が日本列島に上陸した2004年には、台風0418号による高潮災害が瀬戸内海などで発生したほか<sup>3)</sup>、日本海を通過後に再発達した同台風に伴う高波により、函館港沖の島防波堤（延長約400m）のうちほとんどが転倒した<sup>4)</sup>。さらに、台風0423号に伴う高波により高知県菜生海岸の堤防パラペットが崩壊し背後の住民が被災したほか<sup>5)</sup>、日本海に抜けてからも富山湾奥に位置する伏木富山港伏木地区に周期9s程度の高波をもたらし、訓練船が防波堤に衝突・座礁するとともに背後の緑地護岸で越波被害が発生した<sup>6)</sup>。

一方、近年ではうねりの来襲による越波災害の発生も目立っている<sup>7)</sup>。例えば、2006年9月には、太平洋東部で発生したハリケーンが太平洋を横断して台風0612号となり、関東北部の太平洋岸から北海道南岸にかけてうねり性の高波が来襲した結果、岩手県久慈港では護岸パラペットが倒壊し、背後の造船工場が浸水した。また、翌年の2007年9月には台風0709号が神奈川県小田原市に上陸し、東側の海岸に沿う西湘バイパスの擁壁がうねりを伴う高波により倒壊・流出した。さらに、2008年2月には現地で寄り回り波と呼ばれる周期14s程度のうねりが富山湾に来襲し、湾口に近い下新川海岸では背後の住宅地が比較的広範に浸水したほか、伏木富山港伏木地区の防波堤（延長約1500m）ではSE側半分以上（855m）でケーソンが滑動するなどの被害が生じた。

このように、外洋に面した港湾や海岸はもちろん、海上空港を含めた内湾のこれら施設においても、高波により被災したり背後域で越波被害が生じるリスクは必ずしも小さくない。そこで本稿では、近年発生した越波浸水を伴う高波災害を中心にその特徴と発生メカニズムを2章で概説するとともに、波浪変形に対する周期の影響に着目した被災原因の究明や施設設計における技術的対応について、2018年5月に改訂された港湾の施設の技術上の基準・同解説（以下、H30港湾基準と記述）の内容も交え3章で紹介する。また、護岸背後での平面越波浸水過程を踏まえた対策や今後の研究が待たれる港湾域での高波災害対応へのアプローチとして、ブシネスクモデルによる計算事例や岸壁での越波現象に関する簡単な検討事例<sup>8)9)</sup>を4章で示す。最後に、5章においてまとめを行う。

### 2. 高波及びうねりによる越波災害の発生メカニズム

海岸護岸に打ち寄せる波は、沿岸域の地形・海底特性に応じて変形・集中し、同じ沖波条件に対してもその空間分布は必ずしも一様ではない。このために生じる護岸越波量の空間分布を把握することは、海岸護岸の適切かつ効果的な設計や背後地の面的防護策の立案等において非常に重要である。そこで本章では、高波及びうねりによる越波災害が生じた富山県下新川海岸及び高知県室津港海岸を取り上げ、それぞれ模型実験及び数値計算で明らかと



なった越波発生メカニズムについて紹介する。

なお、周期による波の分類について、本稿では、まず周期 30s をしきい値として、周期 30s 未満の波を「波浪」または「短周期波」、周期 30s 以上 300s 未満の波を「長周期波」と呼ぶ。また、波浪について、周期 8s~14s 程度未満の波を「風波」、周期 8s~14s 以上 30s 未満で波形勾配の小さい波を「うねり」または「うねり性波浪」と呼ぶ。なお、うねりは風波が風域を出て進行する波であるが、最も長い周期は通常 20s 程度である。

## 2. 1 富山県下新川海岸における越波災害（2008 年 2 月の寄り回り波）

富山湾に面し、海底谷（あいがめ）が入り組んだ複雑な海底地形を有する富山県下新川海岸では、2008 年 2 月に来襲した周期 14s を超えるうねり（寄り回り波）により、局所的な越波災害が生じた。この被害状況や原因究明に関する報告は数多くみられるが<sup>10)11)</sup>、平山・加島<sup>12)</sup>は、大型の平面水槽を用いて被災時の波・流れ場と越波状況をできるだけ忠実に再現し、越波の発生機構を明らかにした。そこで本節ではこの概要について紹介する。

### (1) 平面模型実験の概要

実験は、多方向不規則波造波装置を備えた長さ 42m、幅 18m、水深 1m の平面水槽内に、現地の海底地形及び海岸構造物を縮尺 1/100 で可能な限り詳細に再現したモルタル模型を設置して実施した（図-2.1）。沖の造波水深は被災時の潮位（伏木富山港での観測潮位：D.L.+2.1m）を考慮して 90.2cm（現地 90.2m）とした。また、汀線付近の潜堤・離岸堤群は砂利をモルタルミルクで固めた透過構造とし、緩傾斜護岸及び護岸パラペットはモルタルで成形した。さらに、この背後には越波集水ますを設置し、数区間に分けて越波量を計測した。一方、沖の海底岬（海脚）地形上で沿岸方向に設けた測線上には容量式波高計を、汀線付近の潜堤・離岸堤群の沖側と岸側に設けた測線上にはさらに水平 2 成分電磁流速計を合わせて設置した（図-2.2）。なお、当時の被災波に対する造波諸元は、下新川海岸の田中観測所で観測された波浪諸元をもとに造波位置で推定した、有義波高  $H_{1/3}=5.97\text{m}$ 、 $T_{1/3}=13.9\text{s}$ 、波向  $N18.5E^\circ$  の一方向不規則波（方向集中度  $S_{max}=999$ ）とし、周波数スペクトルは  $\gamma=4.0$  の JONSWAP 型とした。

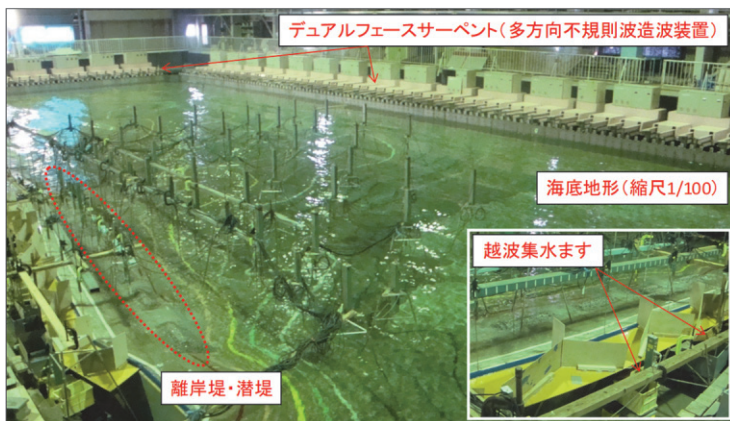


図-2.1 大型平面水槽と海底地形模型

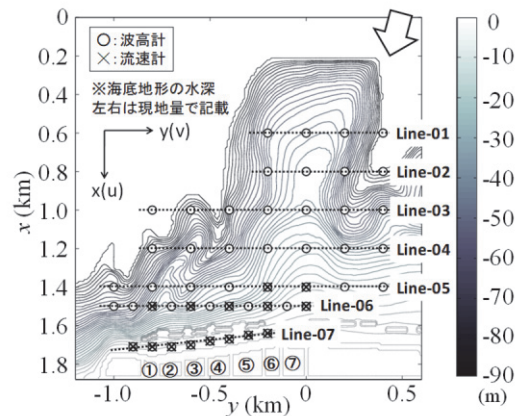


図-2.2 波高計、流速計及び越波ますの配置

### (2) 越波状況の再現と考察

#### a) 実験結果

実験結果のうち、被災当時の海岸地形で得られた各測線上の短周期波高 (30s 未満) :  $H_S$ 、長周期波高 (30s 以上) :  $H_L$ 、平均水位上昇量 :  $\eta_{bar}$ 、及び海岸護岸上の単位幅越波流量 :  $q$  について、上から順に図-2.3 に示す。なお、 $y=-0.7\text{km}$  付近の防潮扉（延長 15m、高さ 1.1m）は寄り回り波の来襲初期に被災したと仮定し、開放された状態を想定した。図より、潜堤・離岸堤群の沖側手前の Line-06 までは、海脚地形による屈折・浅水・砕波変形のために緩勾配部 ( $y=-0.2\sim 0\text{km}$ ) で短・長周期波高及び平均水位が増加している。また、潜堤・離岸堤群背後の Line-07 では、加えて急勾配部 ( $y=-0.7\sim -0.4\text{m}$ ) でも長周期波高及び平均水位が上昇している。急勾配部で大きい護岸越波流量は、まさにこれらの分布傾向によく一致している。

2019 年度（第 55 回）水工学に関する夏期研修会講義集

水工学シリーズ 19-B-5

# 水災害に備える市街地のあり方

東京大学生産技術研究 教授

加藤孝明

土木学会

水工学委員会・海岸工学委員会

2019 年 9 月



2019 年度（第 55 回）水工学に関する夏期研修会講義集

水工学シリーズ 19-B-6

# 災害ごみの最新の知見とその対策

名古屋大学減災連携研究センター 准教授

平山修久

土木学会

水工学委員会・海岸工学委員会

2019 年 9 月

# 災害ごみの最新の知見とその対策

## Cutting-edge Findings Related to Disaster Debris and Its Action

平山修久  
Nagahisa HIRAYAMA

### 1. はじめに

2018年には、2018年1月から2月にかけての豪雪、2018年6月18日大阪府北部の地震、2018年7月西日本豪雨災害、2018年台風21号災害、2018年9月6日北海道胆振東部地震の自然災害が発生し、その後の災害廃棄物対応においてもさまざまな課題が生じている。また、2019年は、災害対策基本法制定の契機となるなど今日の我が国における防災対策の原点となった1959年伊勢湾台風から60年の節目の年となる。本稿では、災害廃棄物発生量推定方法の現状と展望<sup>1)</sup>や南海トラフ巨大地震の災害対応リソース<sup>2)</sup>に関する研究成果を準用しながら、災害廃棄物に関する最新の知見、2011年東日本大震災以降の対策、ならびに今後の巨大災害に向けた課題について論述する。

### 2. 水害廃棄物、津波廃棄物の量の推定技術

#### 2.1 既存の量的推計方法

災害廃棄物に係る量的推計手法については、以下の3つの要素に整理できる。過去の災害における処理実績値を基に原単位を推定する調査研究である。これらの研究は、結果として市町村の廃棄物部局の要処理量の原単位に関する研究である。ここでは、被害を代表する指標を乗じてマクロ的に算出するものである。次に、災害廃棄物の元となる物的資本のストックに着目し、その資材投入量、製品重量、廃棄時の重量から原単位を導出する研究がある。これは、市町村の廃棄物部局が処理する量ではなく、災害廃棄物として発生した時点における量の原単位に関する検討であり、物的資本の種類ごとに作成された原単位を用いて積算する。最後に、物的資本のストック量と災害情報から被害量を推計する方法に関する研究であり、建物等の財ごとにストック量の情報を面的に整理したうえで、各物的資本のストックが曝される災害強度を明らかにし、災害強度に応じてどの程度の被害が生じるかを表した被害率を乗じることで推計する。

#### 2.2 水害の要処理量原単位

水害に係る要処理量の原単位は、平山、河田<sup>3)</sup>が示している。2004年に水害が発生した市町村の実処理量をもとに、災害廃棄物要処理量を被説明変数、全壊、大規模半壊、半壊、一部損壊、床上浸水、床下浸水の世帯数を説明変数とする重回帰モデル(N=48)により推計式を得ている。モデルの説明力は十分であるが、全壊の非標準化係数のみが5%水準で有意と認められなかった点が課題と指摘している。また、推計式を用いて得た予測値と実処理量の比較から、水害廃棄物量が1,000tを超える場合は高い精度で推計可能としている。

築谷<sup>4)</sup>は、本方法を用いて2004年台風23号により発生した兵庫県における水害廃棄物量を推計し、実処理量と比較したところ、被害が大きい市町で(水害廃棄物量が3,000t以上)では推計値/実処理量の値が0.78~1.14に収まっており、有効な方法であると報告している。田中ら<sup>5)</sup>も同様に平成26年福井豪雨災害で検証した結果、実処理量の0.91~1.68倍の推計値が得られたことから、災害廃棄物の全量を推計するための有効な手段であると評価している。一方で、鶴巻ら<sup>6)</sup>は紀伊半島大水害において実処理量と本原単位による予測値を比較したところ、予測値が実処理量の半分程度になると指摘している。また、平山<sup>7)</sup>は2005年8月のハリケーン・カトリーナ災害の事例で同推計方法を検証したところ、大きく過小評価となったことから、超大

規模、あるいは、長期浸水を伴う水害については原単位が異なる可能性を指摘している。

また、水害廃棄物対策指針<sup>9)</sup>では、平成13年度に水害経験自治体を対象に行ったアンケート調査の結果から、全99事例の80%で被災建物1棟あたりの災害廃棄物量が2t以下であったため、単位被害家屋あたり2t程度で算出すれば大きく外さない推計値が得られる可能性が高いとしている。また、比較的被災の程度が軽いケース（全被害家屋に占める床上浸水家屋の割合が50%未満）のみ集計すると、90%以上が2t/棟以下、100%が3t/棟以下の発生量であったと報告されている。

### 2.3 津波の要処理量原単位

津波災害の要処理量原単位については、東日本大震災の実績を基にした研究が進められている。2011年東日本大震災での津波被害とその廃棄物については、我が国が近代文明国家として発展して以来経験したことがないものであった。したがって、2011年3月11日の発災時点では、津波廃棄物の要処理量や津波堆積物量を推定する手法は明らかになっていない。平山ら<sup>9)</sup>は、2011年東日本大震災後に、津波による浸水域や浸水深の災害情報に基づき、住家被害を考慮した災害廃棄物発生量原単位を用いて、災害初動時に津波廃棄物の要処理量の推定を行っている。そこでは、2011年4月時点で、被災6県で約2,700万tと推定している。平山、大迫<sup>10)</sup>は、東日本大震災の災害廃棄物処理が完了した後、東日本大震災における宮城県、岩手県の被災市町村における実処理量を被説明変数、全壊棟数とその他半壊棟数（大規模半壊から床下浸水までの合計値）を説明変数とし、その他半壊の非標準化係数は全壊の20%という制約を設けた重回帰モデル（N=20）により推計式を導出している。この処理実績値には、住家から発生したもの以外にも、公共施設や非住家、通常の災害時には市町村で処理しない大企業由来の災害廃棄物等が含まれている一方で、海洋流出分やかき出し土砂（津波堆積物）、火災による消失物は含まれていない。本原単位は、災害廃棄物対策指針<sup>11)</sup>に採用されている。

山中ら<sup>12,13)</sup>は、平山、大迫<sup>10)</sup>と同様の考え方により、東日本大震災における宮城県、岩手県、福島県の被災市町村の災害廃棄物実処理量を基にした重回帰分析（N=35）により原単位を導出している。ここでは、全壊棟数、半壊棟数、一部損壊棟数を説明変数の候補とした複数のモデルで分析し、推定値の標準誤差等より比較検討したところ、全壊棟数と半壊棟数を説明変数とするモデルが適していると判断している。

鶴房ら<sup>14)</sup>は東日本大震災における岩手県、宮城県、福島県の被災市町村の実処理量データを用い、浸水面積を説明変数とする単回帰分析（N=32）により、単位浸水面積当たりの要処理量を示す原単位を得ている。また、地形により廃棄物発生量の傾向が異なり、原単位も大きく変わることを示している。

津波に係る上記の3つの要処理量原単位は、いずれも回帰分析から導出されており、モデルの説明力を示す決定係数と非標準化係数の統計的有意性からその妥当性を示している。

### 2.4 片づけごみの原単位

片づけごみの原単位については、災害時に各世帯から排出される量ではなく、平時において保有されている量の原単位が検討されている。田畑ら<sup>15)</sup>が18品目の主要耐久消費財に焦点をあて、普及率と1台当たりの重量（平均値、中央値、四分位数）から、財の種類ごとに質量原単位（1台当たりの平均的な重量）と、世帯当たりの保有量（kg/世帯）を求めている（例えば、冷蔵庫は61.00kg/台、71.68kg/世帯、いずれも中央値）。このうち、特定家電の質量原単位については、新潟県中越地震の実処理量（処理台数と処理重量の値）を用いて、実処理量と近い推計値を得られることが確認されている。

### 2.5 解体廃棄物の原単位

木造建築物の原単位については、高月ら<sup>16)</sup>は、阪神・淡路大震災後の被災建物解体現場で調査し（N=4）、家具等は殆ど持ち出した状態の木造家屋の解体廃棄物発生原単位を求めている。結果、最小値が0.62t/m<sup>2</sup>、最大値が0.71t/m<sup>2</sup>という値を得られている。なお、本解体工事は庭の立ち木やブロック塀の一部も含まれていた点に留意する必要がある。橋本、寺島<sup>17)</sup>は、建築物解体廃棄物に係る既存の原単位が大きくばらついていることをふまえ、独自調査と既存調査の結果46件について原単位の内容を精査した。そのうえで、信頼性に

2019 年度（第 55 回）水工学に関する夏期研修会講義集

水工学シリーズ 19-B-7

# 高潮数値モデルの開発と 気候変動影響評価への適用

関西大学 准教授

安田誠宏

土木学会

水工学委員会・海岸工学委員会

2019 年 9 月

# 高潮数値モデルの開発と気候変動影響評価への適用

## Development of Storm Surge Model and Application to Impact Assessment of Climate Change

安 田 誠 宏  
Tomohiro YASUDA

### 1. はじめに

戦後最悪の台風災害となった伊勢湾台風の来襲から 60 年が経とうとしている。伊勢湾台風を契機に災害対策基本法が制定されるとともに、海岸保全施設の整備が進められてきた。来襲する台風数が減少したことも手伝い、その後しばらくの間、高潮による被害は激減した。しかしながら、1999 年の台風 18 号により熊本県八代海や山口県周防灘で高潮被害が発生し、高潮対策の必要性が再認識された。さらに、2004 年には台風 16 号および 18 号により瀬戸内海で高潮被害が発生し、上陸台風数が過去最多の 10 個であったことから、地球温暖化による影響が議論され始めた。その後、世界でも 2005 年ハリケーン・Katrina, 2007 年サイクロン・Sidr, 2008 年サイクロン・Nargis, 2012 年ハリケーン・Sandy, 2013 年台風 30 号 Haiyan, 2017 年ハリケーン・Irma および Maria など、熱帯低気圧の来襲による高潮被害が相次いで起こった。昨年、2018 年 9 月に大阪湾に来襲した台風 21 号 Jebi によって高潮が発生し、第 2 室戸台風 Nancy による既往最大観測記録を更新し、関西国際空港の滑走路が冠水したのを始め、防潮ラインの内方で浸水被害が発生したことは記憶に新しい。

高潮は、台風や発達した低気圧の接近に伴って発生する。気圧低下による海面の吸い上げの効果と風による吹き寄せの効果を重ねて、海面が上昇する。吹き寄せ効果は、風によって海面にせん断力が作用し、風の吹く方向に海水が輸送され、海面に勾配ができる現象である。この吹き寄せによる高潮は、水深が浅いほど大きくなり、また風の作用距離が長いほど大きくなるため、東京湾、伊勢湾、大阪湾などの細長い湾奥で大きくなりやすい。また、強い風によって波も大きくなるため、大きな高潮が発生する時には大きな波浪も伴っていることが多い。波は浅い沿岸部に到達すると砕波し、波の進行方向に向かって上昇する海面勾配が生じる。この現象を波浪によるセットアップと呼び、場所によっては無視できない海面上昇となる。さらに、天文潮と重なることで潮位はいつも高くなるため、潮汐の影響も考慮する必要がある。高潮の大きさを決める主な因子は、台風の強さである。台風の強さだけでなく、コースや移動速度など、台風特性の影響を強く受ける。

近年、気候変動に伴う台風特性の変化について多くの研究がなされており、気候変動に関する政府間パネル (IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change) の第 5 次報告書 (AR5)<sup>1)</sup> においては、気候システムの温暖化は疑う余地がなく、全世界での熱帯低気圧の沿岸接近数は減少傾向にあるが、熱帯低気圧の強度は増大し、最大風速や降水強度も増大する可能性が高いと報告されている。台風強度の増大に伴い、台風が接近、上陸した場合の沿岸災害リスクは高まり、高潮による浸水被害の拡大が懸念される。地球温暖化シナリオ下における高潮偏差の変化を定量化し、将来予測を行うことは、沿岸部の減災において重要な課題である。

本稿では、これまで開発してきた高潮数値モデルについて紹介するとともに、高潮に及ぼす潮汐およびセットアップの影響について議論する。また、高潮計算の駆動外力として、台風モデルだけでなく気象予測値を用いられるようにモデルを改良し、高潮災害をもたらした実績台風による高潮

の再現計算を実施する．さらに，気候変動予測実験結果を用いて，今世紀末の将来気候下における高潮予測を行う．その際，気候モデル台風のバイアス補正方法についても検討する．

## 2. 潮汐・高潮・波浪結合モデル

### 2.1 モデルの概要

潮汐・高潮・波浪モデル SuWAT (Surge-Wave-Tide Coupled Model)<sup>2)</sup> について述べる．

高潮モデルの基礎式には，静水圧近似を基にした非線形長波近似式が使用される．非線形長波近似式は，高潮や津波など流速分布が一様で，鉛直方向加速度が無視できる場合，実用上十分な精度で計算できる．連続式と運動方程式は，以下のように表される．

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{M^2}{d} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{MN}{d} \right) + gd \frac{\partial \eta}{\partial x} = fN - \frac{1}{\rho_w} d \frac{\partial P}{\partial x} + \frac{1}{\rho_w} (\tau_s^x - \tau_b^x + F_x) + A_h \left( \frac{\partial^2 M}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 M}{\partial y^2} \right) \quad (2)$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{MN}{d} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{N^2}{d} \right) + gd \frac{\partial \eta}{\partial y} = -fM - \frac{1}{\rho_w} d \frac{\partial P}{\partial y} + \frac{1}{\rho_w} (\tau_s^y - \tau_b^y + F_y) + A_h \left( \frac{\partial^2 N}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 N}{\partial y^2} \right) \quad (3)$$

ここで， $\eta$  は静水面からの水位， $M, N$  は  $x, y$  方向の流量フラックス， $d$  は全水深， $g$  は重力加速度， $f$  はコリオリパラメータ， $\rho_w$  は海水密度， $P$  は大気圧， $\tau_s$  は海面摩擦力， $\tau_b$  は底面摩擦力， $F_x, F_y$  はラディエーション応力， $A_h$  は水平渦粘性係数である．海面摩擦力と底面摩擦力は，以下のように表される．

$$\tau_{sx} = \rho_a C_D W_x \sqrt{W_x^2 + W_y^2}, \quad \tau_{sy} = \rho_a C_D W_y \sqrt{W_x^2 + W_y^2} \quad (4)$$

$$\tau_{bx} = \frac{\rho_w g n^2}{d^{7/3}} M \sqrt{M^2 + N^2}, \quad \tau_{by} = \frac{\rho_w g n^2}{d^{7/3}} N \sqrt{M^2 + N^2} \quad (5)$$

ここで， $n$  はマンニングの粗度係数， $W_x, W_y$  は  $x, y$  方向の風速， $C_D$  は海面抵抗係数である．

大潮汐変動を伴う海域で高潮による海面上昇を適切に予測するには，波と潮汐，高潮の相互干渉を考慮する必要がある．潮汐の計算には風速を 0 とし，高潮推算モデルの開境界に潮位変動を与えて領域内の潮位変動を計算する．開境界条件は次式のようなものである．

$$\eta_n = \eta_{\text{tide}} + \eta_{\text{storm\_surge}} = \eta_{\text{tide}} + (p_\infty - p_a) / g \rho_w \quad (6)$$

ここで， $p_\infty$  は大気圧であり 1013hPa， $p_a$  は開境界での気圧， $\eta_{\text{tide}}$  は潮汐変動であり，日本周辺海洋潮汐モデル NAO99 を用いた．あらかじめ開境界における潮汐変動を与え，計算領域の潮位変動を初期条件の影響がなくなるまで計算する．その後，台風による気圧低下と風速を海面に作用させて，高潮の計算を行う．高潮計算中も潮位は変動している．また，高潮計算においては，移動境界として wet-dry 境界条件を導入し，全水深  $d$  について， $d = h + \eta \leq 0.0005$  ならば  $d = 0$  と置き換える．

波浪モデルとしては，浅海域にも適用できる第三代波浪モデルである SWAN (Simulating WAVes Nearshore; Booij et al.<sup>3)</sup>) を採用した．SWAN は，風による波の発生，波の反射と屈折および回折，浅水変形および砕波，海底摩擦，白波砕波，3 波共鳴波浪相互作用，4 波共鳴波浪相互作用の式から成る．基礎式は，波作用平衡方程式であり，以下のように表される．

$$\frac{\partial}{\partial t} N + \frac{\partial}{\partial x} c_x N + \frac{\partial}{\partial y} c_y N + \frac{\partial}{\partial \sigma} c_\sigma N + \frac{\partial}{\partial \theta} c_\theta N = \frac{S}{\sigma} \quad (7)$$

$$S = S_m + S_{nl} + S_{ds} \quad (8)$$

ここで， $N$  は波作用密度スペクトル， $c_x, c_y$  は  $x, y$  方向の伝播速度， $\sigma$  は流れを考慮した角振動数， $\theta$

2019年度（第55回）水工学に関する夏期研修会講義集

水工学シリーズ 19-B-8

# 伊勢湾台風とその後の防災

名古屋工業大学 名誉教授

喜岡 渉

土木学会

水工学委員会・海岸工学委員会

2019年9月



# 伊勢湾台風とその後の防災

## Typhoon Vera and Disaster Prevention Afterward

喜岡 渉  
Wataru KIOKA

### 1. 伊勢湾台風

1959年9月20日、マーシャル諸島近海で熱帯低気圧性の循環の発生が確認され、この渦は21日朝からは北向きに進んで次第に発達し、21日21時にはグアム島の東海上に達して中心気圧が1002hPaの台風15号となった。この台風は、22日21時には中心気圧が960hPaと1日で40hPaを超える急発達をして、マリアナ諸島北部を北西に進んだ。台風はその後にも急発達を続け、23日9時には、中心気圧が905hPaと半日で55hPaも下がり超大型の台風へと成長した。米空軍の台風偵察機がこの台風の中心に入ってドロップゾンデによる観測を行っており、23日の15時にはマリアナ諸島の北西海上でこの台風の最低気圧となる849hPaが記録されている(図-1参照)。なお、北西太平洋における米軍飛行機による台風観測は1988年以降、行われなくなった。

北に向きを変えた台風5915号は26日9時には北緯30度に達し、このときの中心気圧は925hPa、最大風速60m/s、風速25m/s以上の暴風域は中心の東側400km、西側300kmの広さを持ち、超大型で猛烈な勢力を保ったまま北上を続け、26日18時過ぎ和歌山県潮岬の西に上陸、潮岬測候所では18時13分に最低気圧929.5hPaを観測した。上陸時には東海、近畿、四国東部では風速25m/sを越える暴風となった。台風15号は、最盛期に達してから上陸までの日数が3日と短かったことと、台風が北上して来た紀伊半島の南海の水温は周囲に比べて高温であったことから、最盛期に近い勢力を維持したまま上陸した。

台風上陸後は、毎時70km近い速度で紀伊半島、東海地方西部を通過して27日0時に富山市の東を通過して日本海に進んだ。中心が通過した紀伊半島から東海地方西部では猛烈な雨が降った。九州から北海道までの広い範囲で最大風速20m/s以上を観測し、四国東部から関東南部にかけての沿岸地方では30m/s以上の暴風となった。伊勢湾に面した東海地方や紀伊水道に面した地方では、風速20m/s以上の暴風が5時間から10時間にわたって続いた。特に台風の東側に入った伊勢湾沿岸では激しい暴風が吹き荒れ、伊良湖岬での最大風速45.4m/s、最大瞬間風速55.3m/s、名古屋での最大風速37.0m/s、最大瞬間風速45.7m/sを記録している(表-1)。

台風中心が琵琶湖付近に達した21:35には名古屋の

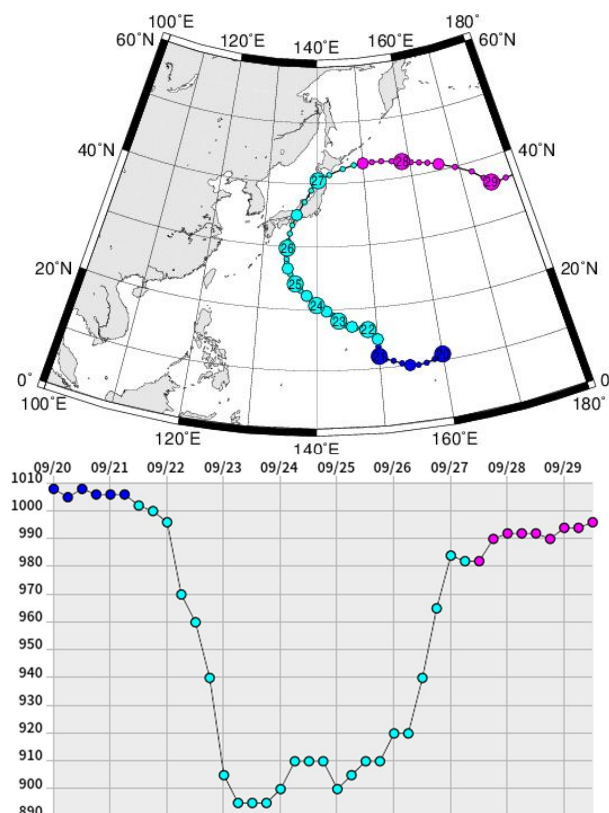


図-1 伊勢湾台風の経路と中心気圧<sup>1)</sup>  
(時間はUTC:日本標準時間は+06)

表-1 最低海面気圧，最大風速，最大瞬間風速の観測値<sup>2)</sup>

地点名	最低海面気圧		最大風速			最大瞬間風速		
	hPa	月日時分	m/s	風向	月日	m/s	風向	月日
御前崎	986.0	09/26 20:53	35.6	SSW	09/26	44.4	S	09/26
名古屋	958.2	09/26 21:27	37.0	SSE	09/26 (22:00)	45.7	SSE	09/26 (21:25):
伊良湖	964.6	09/26 20:20	45.4	S	09/26 (20:45)	55.3	S	09/26 (21:21)
岐阜	956.0	09/26 21:56	32.5	SSE	09/26	44.2	ESE	09/26
津	944.4	09/26 20:37	36.8	ESE	09/26	51.3	ESE	09/26
舞鶴	968.7	09/26 21:05	36.5	NNE	09/26	51.1	N	09/26
洲本	959.1	09/26 18:57	42.3	NNW	09/26	49.2	NNW	09/26
潮岬	929.2	09/26 18:13	33.4	ESE	09/26	48.5	SSE	09/26
津山	979.0	09/26 19:17	30.6	NNW	09/26	41.5	NNW	09/26

潮位記録は最高潮位の 3.89m を示している。管区气象台で最低気圧と最大瞬間風速を観測した時刻より 10 分程度遅れてこの既往最高潮位に達している。各地点で観測された最大潮位偏差を表-2 に示す。最高気象潮位の発生時刻を見ると、風向の変化にはほぼ対応しており、最初に南東の風により 20:00~20:30 頃には三重県中部海岸で潮位偏差 2m 弱を観測、次に南南東の風を受けた伊勢湾奥では 21:35 に既往最大潮位偏差 3.45m を記録、三河湾奥では最も遅く風が南南西に変わった 22:30 頃に潮位偏差 2.76m を観測している<sup>2)</sup>。このときの名古屋港の波浪観測記録はピーク波高を記録する前に波高計が壊れ欠測となっている。坂本ら<sup>3)</sup>、および井島ら<sup>4)</sup>は浅海の波浪推算法を用い、唯一欠測とならなかった福江港の波高計記録により推算値を検証して、名古屋港の有義波高のピーク値

表-2 最大潮位偏差<sup>2)</sup>

地点名	最大潮位偏差	
	偏差	月日
名古屋 (愛知県)	3.5	9/26
尾鷲 (三重県)	2.0	9/26
浦神 (和歌山県)	1.8	9/26
舞阪 (静岡県)	1.3	9/26
鳥羽 (三重県)	1.2	9/26
東京 (東京都)	1.0	9/26

を 2.1m~2.7m と推定している。湾西側にあたる四日市および津では 3.0m~4.2m とピーク波高はより大きくなっている。名古屋を中心として伊勢湾の西側では高潮偏差よりも波浪が大きく、東側では逆の傾向になることは、間瀬ら<sup>5)</sup>が高潮・波浪結合モデル(波浪については SWAN)による再現計算によって確かめている。

当時の海岸堤防は計画天端高 T.P.+3.38m で設計されており、名古屋港の最高潮位 T.P.+3.89 はこれを大きく上回るものであり、ほぼ 1 時間にわたって計画天端高を超えた高潮が背後の低平地へ流入し続けた。また、当時の設計波高 2m を超える高波が高潮に伴い来襲したため、伊勢湾東側の鍋田干拓地、四日市、津などで海岸堤防が破壊され、被害を激甚化させた。加えて、当時の名古屋港では海岸に水面貯木場を設けており、その総面積の約 122 万 m<sup>3</sup> の約 7 割の貯木場が高潮・高波によって被災し、周辺の堤防の崩壊とともに約 50 万トンの木材が埋立地背後の低平地の市街地へ流出した。大量の流木が高潮とともに流れ込んだ名古屋市南部の南区、港区では一般建築物の全壊・半壊の被害率が非常に高くなっている。

住宅被害や、低平地にある工業地帯が浸水したことによる商工関係の被害などの物的被害も膨大なものになったが、人的被害は災害史上まれにみる甚大なものになった。消防白書によると、死者 4,697 人、行方不明者 401 人、負傷者 38,921 人、住家全壊 40,838 戸、半壊 113,052 戸、床上浸水 157,858 戸、床下浸水 205,753 戸となっており、その内、愛知県は死者 3,168 人、行方不明 92 人、また住家全壊は 23,334 戸、半壊 97,049 戸、流失 3,194 戸と被害の大半を占める。人的被害は名古屋市南部の南区、港区に集中しており、1,792 人と愛知県の死者の 6 割近くを占める。

高潮による湛水被害は、堤防の仮締切り工事が完了するまで低平地で長期に及んだ。名古屋南部の南陽町では 60 日間、港区・南区では 20~30 日間にわたって湛水した地域が大部分であった。これらの地区では、