

沿岸防災技術研究所の活動について（2024 年度）

山本 浩之*・栗山 善昭**

*（一財）沿岸技術研究センター 波浪情報部 調査役

**（一財）沿岸技術研究センター 特別研究監 沿岸防災技術研究所長

当センターは沿岸防災技術研究所を 2005 年 12 月に設立した。沿岸防災技術研究所では総合的な沿岸防災技術について、調査研究を進めるとともに、沿岸防災に関わる新しい情報の発信に取り組んできている。本稿の前半では、気象海象予測における決定論的予測と確率的予測について、当センターが予測運用している沿岸気象海象情報配信システム（カムインズ）に関連づけながら説明する。また後半では 2024 年度の沿岸防災技術研究所の活動内容について報告する。

キーワード：決定論的予測，確率的予測，アンサンブル気象予測

1. 波浪の決定論的予測と確率的予測

1.1 決定論的予測と確率的予測とは

(1) 決定論的予測から始まった

波浪予測には波浪発達の外力となる海上風予測が必要となる。そのためにこれまで、波浪予測技術は気象予測技術の進化を追いかけるように発展してきた。

気象庁や海外の諸機関において、数値気象モデルを利用した気象予測が 1960 年代から本格的に始まった。これに伴い、気象予測値の一つである海上風を入力値として利用する数値波浪モデルによる波浪予測も少し遅れて始まっている。その後、数値気象モデルも数値波浪モデルも、扱われる物理機構の精緻化による改良、計算機技術の発達に伴う莫大な計算量の実現などにより、現在では全球から数キロメートルの範囲まで 10 日先程度の予測運用が毎日実施されている。

これらの予測技術の向上とともに、社会から求められる予測精度も次第に高いレベルとなってきた。数値予測モデルによる予測誤差の原因は、初期値に含まれる誤差が時間積分とともに拡大してしまうこと、扱われる物理機構が完全ではないなどモデル自身が不完全なこと、この 2 点に大別される。数値予測モデルの技術向上が進んだ昨今でも、観測値の誤差をゼロにすることはできないなどの理由から、完全な予測初期値の作成は困難であり、特に、非線形性の強い気象予測モデルによる予測ではこのことが時間積分を行うことでより顕著になる。これを逆利用するかたちで、基本の初期値に恣意的にわずかな違いを与えた複数の初期値を作成して数値計算を行う確率的な予測手法である、アンサンブル気象予測が考案され、現在では広く世界的に利用されている。

一方、数値波浪モデルは、現象の非線形性が小さいので、予測初期値の不確実性よりも外力である海上風予測の不確実性の影響を強く受ける。そこで、現在、気象庁を含めて各国で運用されているアンサンブル波浪予測は、

予測初期値を一定にしてアンサンブル気象予測から得られる複数の海上風予測を利用した数値波浪モデルの計算により行われている。

このように、現在の各国の波浪予測は、決定論的な波浪予測と確率的な波浪予測（ここではアンサンブル波浪予測を例にして議論する）の併用が多く行われている。情報の利用者は、その目的に合わせて、これらの情報から予想される波浪状況を、不確実性を考慮して多角的に把握することができるようになっている。最後に参考に、数値気象モデルと数値波浪モデル、またそれぞれを利用したアンサンブル予測の大まかな気象庁の年表を図-1 に示す。

年代	1960	1970	1980	1990	2000	2010	2020
数値気象モデル							
アンサンブル気象予測							
数値波浪モデル							
アンサンブル波浪予測							

図-1 気象庁の数値予報の概略年表

1.2 カムインズの波浪予測

(1) 決定論的予測

当センターの波浪情報部は、1997 年からカムインズの構築・運用を行い、波浪予測情報を全国の港湾向けに提供してきた。ここでは、カムインズで運用している決定論的な波浪予測情報について説明する。

1997 年のカムインズ運用開始から 2009 年までは、波浪短期予報（2 日先まで）は、気象庁波浪 GPV（6 時間間隔、緯度経度 6 分間隔の格子点値）をオンライン入手して入力データとし、波浪の伝搬と発達を考慮した内挿計算を行って波浪予測値（1 時間間隔、緯度経度 2 分格子）を作成していた。中期予報（7 日先まで）では、気象庁波浪 GPV に替えて、気象庁の数値気象モデルの海上風予測を利用した独自の数値波浪モデルの予測計算結果を入力して短

期予報と同様の内挿計算を行い、波浪予測値(1時間間隔、緯度経度2分格子)を作成していた。

その後、2010年からは、気象庁波浪GPVを利用せずに、短期予報と中期予報ともに、気象庁の数値気象モデルの海上風予測を利用してECMWFが開発した第三世代波浪モデルWAMを改良した数値波浪モデルによるネスティング計算を行い、波浪予測値(1時間間隔、緯度経度2分格子)を作成していた。

そして、2017年から現在に至るまで、短期予報、中期予報および長期予報(10日先まで)について、それまでのWAMに替えて米国NOAAが開発したWAVEWATCH III(以降ではWW3と記載)を利用した波浪予測を行っている。

波浪予測の運用当初から近年に至る、波浪予測精度の変遷について、波高の1日先予測の相関係数と回帰係数の累年変化を図-2に示す。これをみると、気象庁波浪GPVを内挿して波浪予測を行っていた2009年以前は各地点とも相関係数が0.9を下回っており、回帰係数は0.9~1.1とバラツキが大きいことがわかる。WAMの利用を開始した2010年以降は、現在のWW3を利用した期間も含めて、相関係数は0.9程度と高くなり、地点間のバラツキも小さくなっている。但し、内湾に位置する神戸港は経年での予測精度の変化傾向が異なり、2006年当初、他地点より予測精度が相対的に低い状況から始まり2020年頃まで精度の向上が継続していたことがわかる。

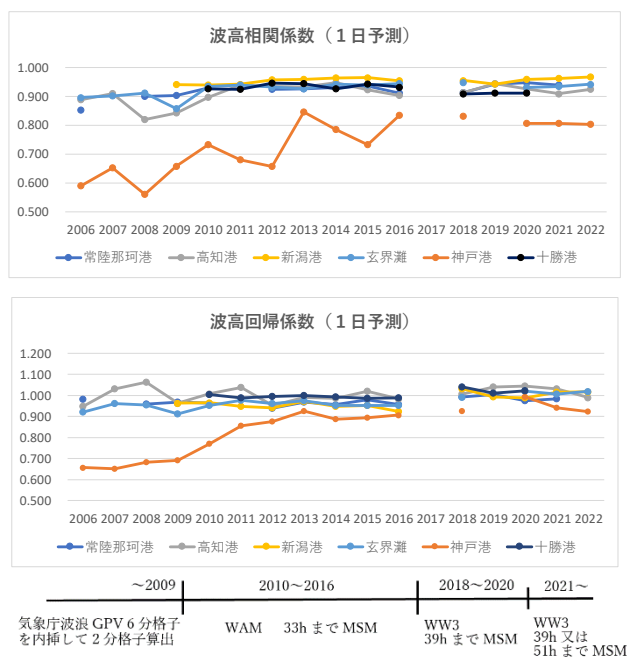


図-2 波高予測精度の経年変化

(2) 確率的予測の導入

それまで毎日運用を行っていた決定論的な波浪予測に加えて、台風時に限定した高波予測について、2004年から台風予報円から求めた5経路の台風、マイヤースモデルにより海上風を算出して有義波法による5パターン

の波浪予測計算を行い、確率的な高波予報の提供を開始した。この手法では、台風の強度や地形による風の変形等を考慮できないこと、うねりの考慮ができないこと、面的な予測ができないことなどの、課題があった。

この課題を解決するため、当センターの参画したSIP第2期の研究開発成果を利用して、令和7年8月から気象庁のアンサンブル気象予測による海上風を入力するWW3による確率的な波浪予測に発展的に切り替えた。これにより、最多で51パターンの波浪予測結果が得られることから確率的な予測としての技術向上がなされ、また、数値気象モデルによる海上風を入力した数値波浪モデルによる波浪予測であることから、現象を物理的に予測する観点からも精緻な手法となっている。51パターンの台風経路の例を図-3に、確率的な波浪予測の例を図-4に示す。

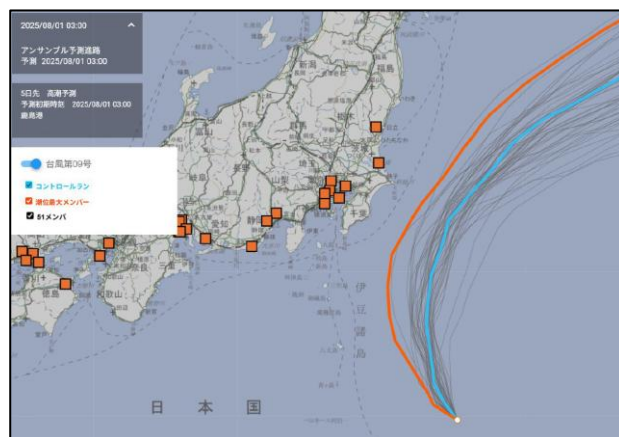


図-3 アンサンブル気象予測から求めた台風51経路の例

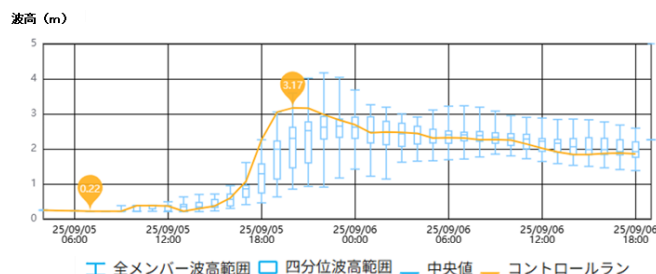


図-4 台風時の確率的な波浪予測の例

1.3 防災利用における情報提供の考え方

ここでは、防災目的での波浪予測利用における、決定論的予測と確率的予測の位置づけについて考える。

最初に決定論的予測と確率的予測について、以下で少し具体的に説明する。

例1:

ある日の12時を対象とした波高の予測

決定論的予測：予測波高5m

確率的予測：波高4.5m~5.5m(出現範囲)

例2:

ある日の12時を対象とした波高の予測

決定論的予測：予測波高5m

確率的予測：波高4.5m~6m(出現範囲)

両例は、決定論的予測は同一になっているが、確率的予測は、例1よりも例2の方が予測値の幅があり、しかも高い方の予測にブレ幅が偏っている。このような場合、例1の波高予測の信頼性は例2よりも相対的に高いと考えられる。また、波高6mを防災体制構築の基準波高に設定しているような場合には、確率的な観点から想定される波浪状況が異なるため、例1と例2では予測情報を受け取った後の対応に違いが出るのが想定される。

近年、防災の現場においてはタイムラインに沿った気象海象予測情報の利用が整理されている。それによると、台風などによる危険が予想される異常気象出現の5日前から防災体制構築の事前の準備段階に入り、そのための判断材料として波浪予測が利用される。この段階では危険の可能性の事前把握が重要であることから、確率的な波浪予測がより有効であると考えられる。予想される異常気象出現の3～2日前になると確率的な予測における誤差幅は次第に小さくなり、防災体制構築のための現実的な準備を行う段階になる。異常気象出現前日から当日では、防災体制構築の判断基準として設定されている波高のしきい値と波浪予測値を比較して防災体制構築に向けての検討判断が行われることが想定され、その際には決定論的な予測が重要になると思われる。(図-5 参照)

	5日前	4日前	3日前	2日前	1日前	当日
	ステージ1				ステージ2	ステージ3
防災部局対応	異常気象の可能性把握			体制構築準備	体制構築検討	防災体制実施
収集する気象・海象情報	確率的予測				決定論的予測	実況監視

図-5 タイムラインと収集する気象海象情報のイメージ

ここまで、波浪予測における、決定論的予測と確率的予測についての説明と当センターが運用提供しているカムインズにおける二つのタイプの予報の位置づけについて説明し、防災目的を例にこれらの予測情報をどのように利用していくかを考察した。今後も、当センター波浪情報部では、二つのタイプの波浪予測方法を併用し、受け取り手の利用目的に寄り添った情報の提供に努めていきたいと考えている。

2. 沿岸防災技術研究所の業務

ここからは、沿岸防災技術研究所の活動内容について、令和6年度を中心に紹介する。

当研究所では、以下の業務に取り組んでいる。

- ①沿岸防災技術に関する情報の収集・整理
- ②沿岸防災技術に関する調査研究の実施
- ③沿岸防災技術に関する政策提言
- ④沿岸防災技術に関する技術の普及
- ⑤大規模災害に関する調査研究

3. シンポジウム等の開催

沿岸防災の重要性についての啓発や防災技術の情報交換のため当センターでは国内外でシンポジウムやワークショップ等を開催しており、ここでは沿岸防災関連のものについて紹介する。

3.1 コースタル・テクノロジー2024における防災関連論文の発表

コースタル・テクノロジー2024は、星陵会館で11月27日に行われた。当センターの職員による9編の論文発表等が行われ、最後に東京大学未来ビジョン研究センター教授の川崎昭如氏に特別講演「治水を通した国際協力～途上国の水害常襲地帯における貧困と格差の解消に向けて～」を行って頂いた。本講演では、防災対策を考える上で科学技術一辺倒では解決せず、社会科学分野との連携の重要性に気づくことができる貴重な機会をご提供頂いた。

なお、論文発表のうち、防災関連については以下の3件の発表があった。内容詳細については、「沿岸技術研究センター論文集No. 24(2024)」を参照して頂きたい。

「宮崎港における防波堤工事の中止要因の推定」

当センター：安部浩史（講演者）、橋本典明

九州地方整備局 下関港湾空港技術調査事務所

設計室 建設管理官 榎岡大祐

前 九州地方整備局 宮崎港湾・空港事務所

前任建設管理官 日恵井京子

本検討は、宮崎港で行われた防波堤港内側での海上工事の中止要因を推定し、工事中止判断基準を検討した。工事記録と波浪推算結果より、対象地点においては工事の可否には波高に加えて波向の影響が大きいことを確認し、この原因として、防波堤による反射波と沿い波の影響が示唆された。

「港湾・海岸におけるフラップゲート式可動防波堤技術マニュアル」

当センター：新井進太郎（講演者）、下迫健一郎

カナデビア(株) 機械・インフラ事業本部

鉄構・防災ビジネスユニット 水門設計部

部長 仲保京一

本稿はフラップゲート式可動防波堤の設計・施工・保守管理について述べた「港湾・海岸におけるフラップゲート式可動防波堤技術マニュアル」について、その概要と要点について示したものである。

「SIP第2期における高潮・高波ハザード予測システム開発成果のCOMEINSバージョンアップへの利活用について」

当センター：鈴木善光（講演者）、内田裕之

山本浩之、三嶋宣之

日本気象協会：

社会・防災事業部 海洋事業課 主任技師 宇都宮好博

社会・防災事業部 松藤絵理子

社会・防災事業部 専任主任技師 内田洋平

九州支社 事業サービス課 技師 米田彩乃

本稿は当センターがSIP第2期の研究課題「国家レジリエンス（防災・減災）の強化」のうち、「IVスーパー台風被害予測システムの開発」に参画して開発した成果を、当センターが運用しているカムインズに活用してバージョンアップを行う内容を紹介した。

3.2 日韓沿岸技術研究ワークショップ

(1) 沿革

日本および韓国の4団体（韓国海洋科学技術院（KIOST）、港湾空港技術研究所（PARI）、一般財団法人みなと総合研究財団（WAVE）および当センター）は、沿岸技術についての研究発表および意見交換を行うため、2013年より「日韓沿岸技術研究ワークショップ」を年1回開催している。第1回はソウルで行われ、その後、両国で開催地を交替しながら2019年まで行ってきたが、2020年と2021年はコロナ禍のため中止となり、2022年にはWeb会議、2023年には韓国・釜山市のKIOST本部で第9回が開催された。

(2) 第10回日韓沿岸技術研究ワークショップ

2024年のワークショップは東京・竹芝のホテルで12月5日（木）午前10時より開始され、冒頭のWAVE津田理事長からの開会挨拶の後、韓国KIOSTの張本部長より来賓挨拶があった。続いて、港空研の河合所長より「港湾空港技術研究所における地震災害の軽減に関する研究」と題した基調講演において、令和6年の能登半島地震に関する研究や地震災害の軽減に関する研究が紹介された。その後、沿岸域管理をテーマとしたセッション1に続き、特別講演として、韓国KIOSTのユン責任研究員から「海砂の塩分除去のための超音波適用技術」の講演があった。午後からは、新技術、沿岸災害と対応、沿岸環境の3つのセッションが行われ、各機関における研究内容についての発表が行われた。日本側からは、各機関より8つの研究発表が行われ、それぞれの発表に対して日韓双方からの活発な質疑応答があった。最後に、CDIT宮崎理事長から、閉会挨拶として今後のワークショップの継続と両国のますますの協力関係の推進が呼びかけられ、ワークショップは終了となった。

3.3 2024年度濱口梧陵国際賞

我が国の津波防災の日、11月5日が2015年12月の国連総会において「世界津波の日」として制定された。この機会をとらえ、江戸時代末期の安政南海地震の時に自らの資産を投げ打ち村人の命を津波から護った濱口梧陵の名を冠した「濱口梧陵国際賞」を港湾空港技術研究所や他の団体と共同で2016年に創設した。本賞は、津波防災を始めとする沿岸防災分野で顕著な功績をあげた国内外の個人または団体を表彰するものである。

2024年度の受賞者は次の2名および1団体であり、10月30日に海運クラブで授賞式が開催された（図-6）。

○高山 知司 博士 京都大学名誉教授：我が国の防波堤等の技術基準に「不規則波」を世界に先駆けて取込むほか、「高山法」と呼ばれる防波堤背後域における波浪の静穏度解析手法を確立し広く普及させるなど、沿岸域開発に大きく貢献してきた。1995年からは京都大学防災研究所の教授として留学生指導にあたるほか、土木学会海洋開発委員会の委員長を務め、海外技術者の育成に尽力した。さらに、インド洋津波（2004年）、ハリケーン・カトリナ（2005年）をはじめとする国内外の津波・高潮の被災地域の実地踏査を指導するとともに、津波防災に関する啓蒙書の出版を通じて防災教育にも貢献した。

○Vallam Sundar 博士 インド工科大学マドラス校 名誉教授（インド）：水理、海洋、沿岸工学の分野で40年以上にわたり教育および研究に従事し、防波堤や護岸の耐波性能や波浪抑止効果の向上に資する、インド国内外で300を超える現地プロジェクトに貢献してきた。国際水環境研究協会（IAHR）のアジア太平洋部門の会長を務めるほか、公共メディアプラットフォームでの沿岸工学に関する講義を行うなど、国際的な研究コミュニティから注目される会議を主導してきた。特に2004年のインド洋津波後に大規模な現地調査を実施する上で重要な役割を果たし、提案した被害軽減策を通じて震災復興に貢献した。

○The MAKEWAVES Tsunami Collaboration：異なる分野を専門とする大学や研究機関の技術者、科学者、実務者により構成される連携組織として、20年以上にわたり学際的かつ多角的なアプローチによる、津波に対する沿岸構造物等の設計と評価のための科学的知見と実用的な対応策の開発に貢献してきた。研究成果は、米国の建築基準への反映や災害保険におけるリスク評価など様々な分野で採用されているほか、2011年の東日本大震災以降は東北大学とも連携するなど、防災専門家の人材育成においても大きな貢献をしてきた。



図-6 授賞式

4. 調査研究の実施

当センターでは、2024年度は国、港湾管理者、民間事業者等から受託した調査研究を合わせて61件実施しており、そのうち四分の一が以下の4件をはじめとした防災・減災関連であった。

- ・気候変動に対応した港湾の協働防護に関する検討業務
- ・港湾域における台風襲来時の浸水リスク予測プログラム検討業務
- ・台風時における施設被害予測手法検討業務
- ・防災情報システム機能改良業務

5. おわりに

沿岸防災技術研究所では、これまでに紹介した取り組みの他、津波防災等の出版物の刊行、沿岸防災に関連する情報提供、港湾・空港の土木施設やその他の土木施設の耐震性能の評価に必要な技術の普及、SIP 事業の支援も実施してきた。

今後も沿岸防災技術研究所では、我が国の沿岸防災技術の発展に貢献していきたいと考えている。引き続き皆様の支援をよろしくお願いしたい。

参考文献

- 1) 森信人, 平口博丸 (2003) : アンサンブル波浪予測を用いた波浪予測特性について, 海岸工学論文集, Vol. 50, 206-210.
- 2) 河野耕平ほか (2019) : メソアンサンブル予報システム, 令和元年度数値予報研修テキスト, 気象庁予報部, 1-15.
- 3) 山本浩之, 栗山 善昭 : 岸防災技術研究所の活動について (令和 4 年度), 沿岸技術研究センター論文集 No. 23 (2023).
- 4) 鈴木善光ほか : SIP 第2期における高波・高潮ハザード予測システム開発成果の COMEINS バージョンアップへの利活用について, 沿岸技術研究センター論文集 No. 24 (2024).

