

沿岸防災研究所の活動について（令和元年度）

山本 浩之*・高橋 重雄**

*（一財）沿岸技術研究センター 波浪情報部 業務課長

**（一財）沿岸技術研究センター理事長 沿岸防災技術研究所長

沿岸技術研究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。本稿では特に近年発生リスクが高まっている巨大高潮に対する取り組みを紹介する。

キーワード：台風, 高潮予測, 予測不確実性

1. はじめに

2018年と2019年の2年間に、大阪湾と東京湾で相次いで台風による高潮・高波による災害が発生した。これらの被災事例の以前には、三大湾で高潮・高波の大きな被害は暫く起きていなかったことから、高潮・高波予測の重要性が再認識されている状況である。ここでは、特に台風来襲時の高潮予測について、現状と課題について紹介する。さらに、沿岸防災技術研究所が2019年度において取り組んだ調査等について紹介する。

2. 台風来襲時の高潮予測の現状と課題

2.1 高潮の計算精度

現在の高潮の計算精度は、三大湾のように吸い上げと吹き寄せの効果が主な成因となる高潮については、外力である海上風と気圧の時空間情報を正確に入力できればその計算精度は高い。図-1に大阪港を対象にした経験式と二次元数値モデルによる高潮計算の精度検証の例を示す。いずれの方法でも回帰線の傾きは1、また相関係数は0.9に近くなっている。このことは、台風による被災後に高潮の再現計算を行うような場合には、信頼できる計算結果が得られることを意味している。

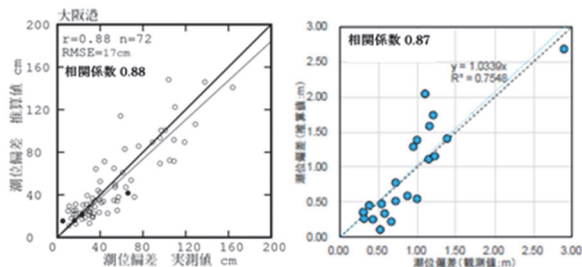


図-1 高潮（大阪港）の計算結果と実測の相関図
（左：経験式 右：二次元数値モデル）

しかし、現実に台風が接近している状況では、台風進路や強度の予測の不確実性のために、高潮予測の精度は

数日前に防災情報として利用するには十分とは言えない状況である。一般的に図-2に示すように、高潮は台風との位置関係によって現象の出現の非対称性が大きい。そのため、予測対象となる港湾の東西どちら側を台風が通過するかが重要となる。現在の気象庁の台風予測は、2日先では予報円の半径が100km以上あり、その時点で台風が高潮予測の対象港湾のどちらを通過するかを判断することは難しい。これが台風接近数日前の高潮予測の精度が十分でない理由である。

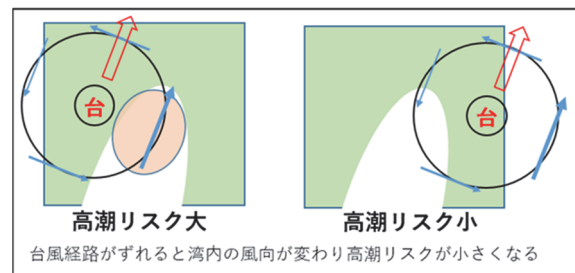


図-2 台風と高潮リスクのイメージ図

2.2 台風予測情報の誤差を考慮した高潮予測の必要性

(1) 高潮防災とタイムライン

国土交通省港湾局のとりまとめている「港湾の堤外地等における高潮リスク提言方策ガイドライン¹⁾」から引用したフェーズ別高潮・暴風対応計画のイメージを図-3に示す。ここでは所謂タイムラインの考え方が取り入れられており、台風接近のフェーズ別に取り組むべき行動、入手すべき情報等が整理されている。この中のフェーズ1（準備・実施段階）の行動開始判断の支援情報として、台風接近数日前の高潮予測は重要な情報と位置づけられる。一方この段階での高潮予測情報は先述したように台風予測情報の誤差による影響を強く受ける。従って、タイムラインに従った高潮防災行動を支援するための高潮予測情報を提供するためには、台風予測誤差を考慮した

高潮予測が必要である。以下で台風予測誤差を考慮した高潮予測の最近の動向について記載する。

防災情報	フェーズ	時間目安	基本的な防災行動	
			情報収集・体制	対策・関係者対応
警報級の現象が予想される台風の発生	フェーズ1 準備・実施段階	台風接近の5～1日前	情報収集 災害時の体制準備	事前対策の準備 注意喚起
強風注意報、高潮注意報 (危険度を色分けした時系列により「注意報級・警報級の時間帯」、「予測潮位」等の確認)	フェーズ2 状況確認段階	台風接近の1日～半日程度前	関係者への情報提供 避難準備、体制確認 夜間に警報級が予想されている場合には防災行動を繰り上げ	状況確認
暴風警報、高潮警報 or 暴風特別警報、高潮特別警報	フェーズ3 行動完了段階	台風接近の半日～6時間程度前	従業者等の避難 暴風が吹き始めると対策や避難が困難となることから、暴風警報が発表されてから暴風が吹き始めるまでの間(概ね3～6時間以内)に防災行動を完了させる	対策完了の確認
警報解除・体制解除	台風接近時(高潮・暴風発生) 台風通過後(高潮・暴風収束)			モニタリング 点検

図-3 フェーズ別高潮・暴風対応計画のイメージ

(2) 気象庁の新しい高潮予測

気象庁では、図-4に示すように2019年12月より、39時間先までの高潮予測プロダクトの提供を開始した²⁾。具体的には、日常は気象予測モデルMSMの予測結果を入力して高潮数値モデルによる予測計算を行い、台風時にはこれに加えて台風予報円内の5通り(中央、最も速い、最も遅い、最も右側、最も左側)の台風コースについて、経験的台風モデルによる気圧分布と風速分布を入力して高潮数値モデルの予測計算を行い、これらの計算結果をプロダクト化して提供している。台風時には、6通りの高潮予測結果を提供することで、台風予測情報の不確実性に対処している。この情報は予測時間が39時間先までと少し短いため、台風接近時において図-3で示しているフェーズ1の後半からフェーズ2での利用が想定される。

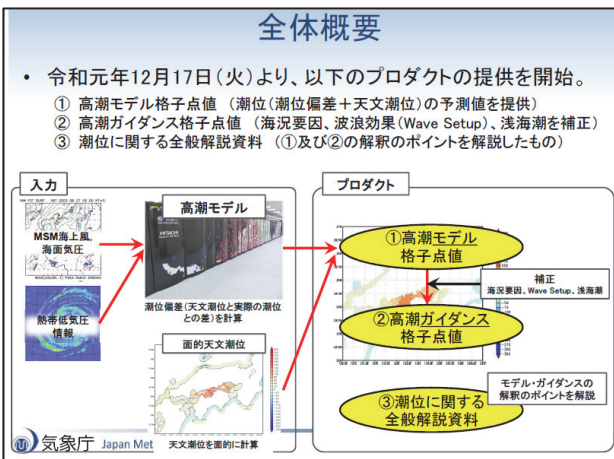


図-4 気象庁の高潮予測プロダクトの概要

(3) SIPによる高度高潮予測プログラム

次に沿岸技術研究センターが参画している、現在検討中のSIP事業(戦略的イノベーション創造プログラム)の高潮予測について紹介する。その特徴は、気象庁の高

潮予測プロダクトよりも早く台風接近の5日前から高潮予測が行えること、台風の予報円ではなく気象庁が提供する台風時のアンサンブル予報(気象モデルによる27メンバーの計算結果)を利用していることで、全メンバーの中から高潮偏差や潮位の最も大きくなるものを求めていることである。アンサンブル予報では予測初期値の僅かな違いにより気象モデルの予測結果がばらつくことを利用して気象現象を確率的に捉えることを可能にしている。2019年台風19号時のアンサンブル予報の全27メンバーの台風進路を重ね書きした例を図-5に示す。予測初期値の僅かな違いが、その後の台風の進路にばらつきを与えていることがわかる。台風時のアンサンブル予報は、個々のメンバーが気象モデルにより計算されているため、経験的台風モデルの計算に比べて気象場の計算精度が高い。このため、メンバー別の高潮予測の計算精度も高くなることが期待される。2019年の台風19号について台風時のアンサンブル予報を利用して台風接近の48時間前における高潮予測計算を行った結果を図-6に示す。ここでは、観測値を赤色、Control Run(基本の台風予測)を青色、全メンバー最大の高潮偏差予測を黒色、メンバー最大の潮位予測を水色で表示している。この例ではControl Runによる高潮計算ではお過小予測となり、台風時のアンサンブル予報を利用することで台風接近時のフェーズ1において安全側の予測になることがわかる。

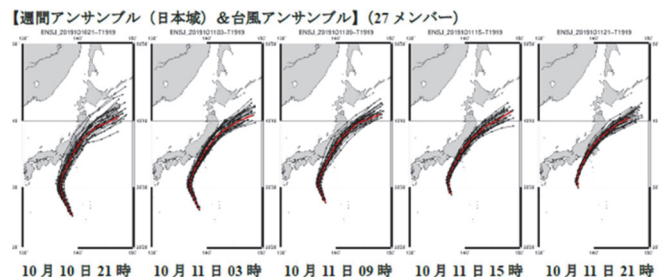


図-5 台風時のアンサンブル予報の例

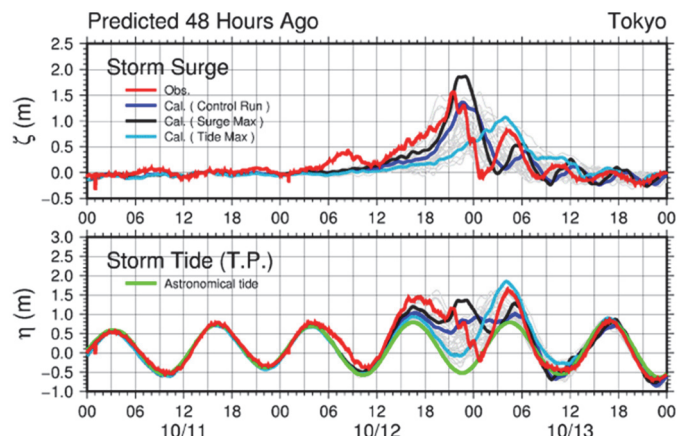


図-6 SIPの高潮予測例
(上段: 高潮偏差, 下段: 潮位)

(4) 高潮早見図

また、沿岸技術研究センターでは、本論文集の調査研究報告の中でも報告したように、近畿地整からの受託業務において図-7に示す高潮早見図の作成・活用についても検討している。これは、予測対象となる港湾海域について、来襲の想定される台風のコースと規模を変えた多くの高潮計算を行って想定される高潮偏差のDBを事前に作成し、実際に接近してくる台風の予測情報に適合するものをDBから抽出してくる方法である。ここでは高潮計算の入力となる台風時の気象場は経験的台風モデルを利用している。DBからの抽出の方法を工夫することで、台風が予報円内を通過した場合の最大の高潮偏差や予測の誤差幅を台風接近数日前（フェーズ1）に提供することができる。また、高潮早見図を日頃から防災関係者間で共有することで当該海域の高潮に対する事前の理解を深めることもできる。

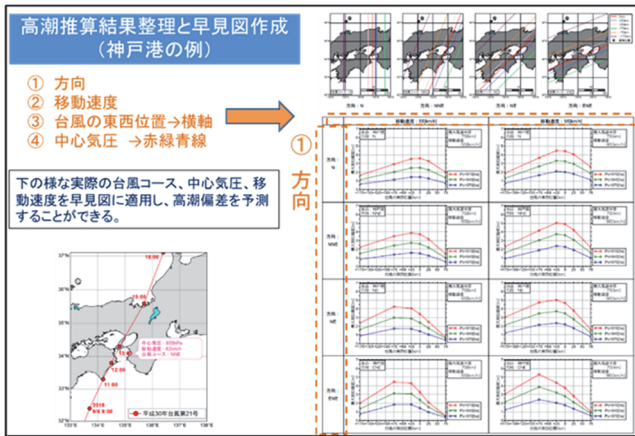


図-7 高潮早見図のイメージ

2.3. 適切な高潮予測の利用

これまで説明したように、高潮は数日前から決定論的に定量予測を行うにはまだまだ課題があるが、予測の不確実性を考慮しながら最悪の事態を想定し、災害を起こすような高潮の発生を数日前から予測することは可能な技術レベルにある。このことは、同じ沿岸の大規模災害を引き起こす津波との大きな違いである。高潮の防災・減災のためには、高潮予測情報が分かりやすく提供され、それを利用者は適切に利用する必要がある。数日前から最悪の状況を想定しながら行動することで、特に人的被害については限りなく小さくすることが可能と思われる。

3. 沿岸防災技術研究所の業務

沿岸防災技術研究所は、以下の業務について取り組んでいる。

- 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

4. 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のみ紹介する。

4.1 コースタル・テクノロジー2019における防災関連論文の発表

2019年11月18日(月)に星陵会館2Fホールにおいて「コースタル・テクノロジー2019」を開催し、13編の論文を発表した。その内、防災関連については以下のような1編の論文発表を行っている。論文の詳細については、「沿岸技術研究センター論文集No. 19(2019)」を参照してほしい。

- 1) 港湾・空港防災情報共有プラットフォームの構築
前 調査部 主任研究員 宮脇周作
前 調査役 若崎正光
調査役 遠藤敏雄
関東地方整備局 横浜港湾空港技術調査事務所調査課長 遠藤正洋
同整備局 同事務所 調査課
調査第一係長 北山亮人

これは、関東地方整備局管内における既存の観測機器等(波浪観測装置、強震計、AIS受信機等)を活用して、災害対策本部における災害発生時の迅速かつ正確な現状把握と早期の意思決定及び早期の復旧を支援するシステムについての検討報告である。

4.2 第7回日韓沿岸技術研究ワークショップ

(1) 沿革

2009年10月7日、沿岸技術研究センター(CDIT)と韓国海洋研究院(KORDI: Korean Ocean Research & Development Institute)との間で研究協力協定書が調印された。本ワークショップは、これを契機として両機関が隔年ごとにそれぞれの国で開催した沿岸防災ワークショップ(計4回開催)に由来する。

2012年6月1日、韓国海洋研究院は韓国海洋科学技術院(KIOST: Korean Institute of Ocean Science and Technology)として名称変更し新たな歴史を開始した。そして同年、みなと総合研究所(WAVE)がKIOSTと「沿岸

技術分野の協力覚書」を締結したことから、従前から KIOST と研究協力を行っている港湾空港技術研究所 (PARI) も含めて、日韓両国における沿岸域の課題に係る最新の研究成果を発表し、相互の理解を深めることを目的とする日韓沿岸技術研究ワークショップが新たに始まった。

第1回は2013年にソウルで、第2回は横浜、第3回目は韓国の安山、第4回は東京、第5回は釜山、第6回は福岡での開催であった。

(2) 第7回日韓沿岸技術研究ワークショップ

2019年の第7回日韓沿岸技術研究ワークショップは12月17日から19日の3日間、KIOST本部のある韓国・釜山で開催された。

まず始めに、KIOSTのLee副院長 (Woong-Seo Kim院長代理) による基調講演「KIOST Vision 2030: Key Policy Objectives & Ongoing Projects」があった。続いて、「海岸災害と対応」と題する技術セッションでは、KIOSTから1名、日本側からはCDITとPARIから1名ずつの研究発表があった。CDITは「FLIP解析を活用した矢板式係船岸の使用可否判定方策の検討」について述べている。

次に、PARIの下迫特別研究主幹による特別講演「Recent disasters caused by storm surges and waves in Japan」が行われた。続いて、「海岸管理」をテーマとする技術セッションでは、KIOSTから1名、日本側からはWAVEとPARIから1名ずつの研究発表があった。次の「海岸環境」をテーマとするセッションも同様に、KIOSTから1名、WAVEとPARIから1名ずつの研究発表があった。

最後の「技術開発」をテーマとする技術セッションではKIOSTから1名、CDITから2名の発表があった。CDITの発表は「ゴム防舷材の設計法と試験法に関するガイドライン」「カルシア改質土を用いた土構造物の変形挙動及び安定性評価に関する遠心模型実験」についてである。各セッションとも活発な討論が行われ、有意義な意見交換の場になった。



図-8 ワークショップにおける主な参加者

ワークショップの期間中、釜山港湾公社の訪問及び釜山北港の視察を行い、釜山新港の開発計画について説明を受けた。

4.3 第4回濱口梧陵国際賞

わが国の津波防災の日、11月5日が国連総会において「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「濱口梧陵賞」を港湾空港技術研究所や他の団体と共同で4年前に創設した。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。

2019年度の受賞者は、次の2名である。

○柴山知也 早稲田大学教授/横浜国立大学名誉教授：40年以上にわたって津波、高潮、高波による沿岸域の被災機構を解明する研究を現地調査、数値予測、水理実験などの手法を用いて実施。2010年チリ津波、2011年東北地方太平洋沖地震津波などで、調査隊長を歴任
○Ahmet Cevdet Yalciner 教授 中東工科大学 (トルコ)：数十に及ぶ国際科学プロジェクトを通じて、津波の数値解析、津波への認識の向上、津波対策などにおいて多大な貢献。2004年以降、ユネスコにおける多くの津波事後調査チームを率いた。



図-9 本賞関係者と受賞者

5. 調査研究の実施

沿岸技術研究センターにおいて受託・共同・自主研究を合わせて、2019年度は80件程度の調査研究を実施しており、そのうち約2割が防災関連である。これらの調査業務を災害の予測、減災対策、新技術に関する研究に分けて、その主なものを示す。

- ① 災害の予測技術に関する研究
 - ・海象観測データの活用
 - ・サンドウェーブやシルテーションによる航路埋没の予測

② 減災対策に関する研究

- ・港内埋没対策
- ・長周期波対策
- ・高潮災害の再現
- ・災害時の効率的点検

③ 新技術に関する研究

- ・波浪・高潮に対する新技術の応用

6. 出版物の刊行

わが国は津波の常襲地域であり、津波に対する知見や経験が豊富である。津波に関するわが国の技術的知見を広く世界に情報発信することは当センターの業務の一つとして考えられることから、津波災害の危険性が高い国内外諸地域における人的被害軽減に貢献することを目的とし、津波に関する被害、現象、予警報及び被害軽減策等の技術的知見を紹介する書籍「TSUNAMI」と絵本「津波は怖い！」を出版してきている。

6.1 書籍「TSUNAMI」

書籍「TSUNAMI」は、津波から生き延びるために必要な知識を伝えることを主たる目的とし、読みやすい平易な本にした。このTSUNAMI本は、日本語版(2008年11月)を最初に出版し、引き続いて、インドネシア語版(2009年6月)、英語版(2009年10月)、韓国語版(2009年12月)を出版している。

2011年3月11日にM=9.0という大地震とそれによる大津波で東日本大震災となった。この災害は、多くの津波に見舞われてきた我が国においても過去に起きたことがないほどの巨大津波災害であった。この災害によって新たな多くの教訓が得られた。これらの教訓も取り入れた日本語改訂版を2016年3月に発刊した。

さらに、世界の人達にわが国で得られた津波の教訓を知ってもらうために2009年に出版した英語版の改訂版としてWorld Scientific社から2018年3月に出版している。津波災害の経験のない国の人であっても、外国旅行中に津波に遭遇するかもわからない。このように考えると、津波経験のある国の人でも経験のない国の人でも是非「TSUNAMI」の英語版を読んでもいただければと思っている。英語版には図-10で示しているようにハードカバーとソフトカバーの2種類がある。ソフトカバーはお買い得値段となっているので、是非、外国の人に勧めて頂きたい。



図-10 「TSUNAMI」改訂版

6.2 絵本「津波は怖い！」

小学生や中学生でも簡単に読め、尚且つ、正確な津波知識が身に付く簡易本として「津波は怖い！」と題する絵本を出版してきた。

「津波は怖い！」と題する絵本は、日本語版を2010年4月、インドネシア語版を2010年10月に出版した。2010年2月27日にM=8.8のチリ沖地震が発生したときに災害調査団員から本簡易本がチリ側に提供され、スペイン語に翻訳された。

2011年の東日本大震災が起こったこともあって、この津波災害から得られた教訓や写真画像を採用して、絵本「津波は怖い！」を大改訂した。



図-11 絵本「津波は怖い！」

7. その他

これまでに紹介した取り組みの他、当センターが実施している「沿岸気象海象情報配信システム(COMEINS)」の運用支援など、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も実施している。

COMEINS は、2017年に波浪予測モデルを従来のWAMから、うねり性波浪の予測精度の向上が期待されるWW3に移行し、その後もWW3のバージョンアップへの対応を行うなど、予測精度の向上および安定運用を図ってきた。

2018年の台風21号、2019年の台風15号と台風19号の高波浪時の予測については顧客の期待に応える予測を提供できたと考えている。特に台風15号は、本論文集の調査研究報告の中でも報告したように、台風周辺の強風によって横浜港沖で特殊な2方向性波浪が出現したことが解析され、台風被災後に当センターHPで解析結果の速報を発表した(図-12に台風15号時のCOMEINSトップ画面、図-13にHPで発表した2方向性波浪を示す)。近年はこのようにCOMEINSの防災情報としての需要は高まっており、事前の予測情報の提供だけでなく、事後の報告資料の作成支援など、広く港湾局の防災業務に貢献できればと考えている。

一方、日本海側北部の高波浪時の予測が過大傾向にあるなど、WW3による波浪予測の運用上の課題も見えてき

ており、これらの課題を解決しながら今後ともCOMEINSの予測精度向上への対応を継続して行きたい。

また、沿岸防災の情報の提供や土木施設の耐震性評価といった技術の改善や普及に対してもCOMEINSの場合と同様に進めて行くつもりであり、今後も皆様の支援を期待するところである。

参考文献

- 1) 国土交通省港湾局：港湾の堤外地等における高潮リスク低減方策ガイドライン(改訂版)，2019.3
- 2) 気象庁地球環境海洋部海洋気象課：気象庁高潮モデルとその利用，気象・地震等を扱う事業者等を対象とした講習会(第9回)，2019.12.9

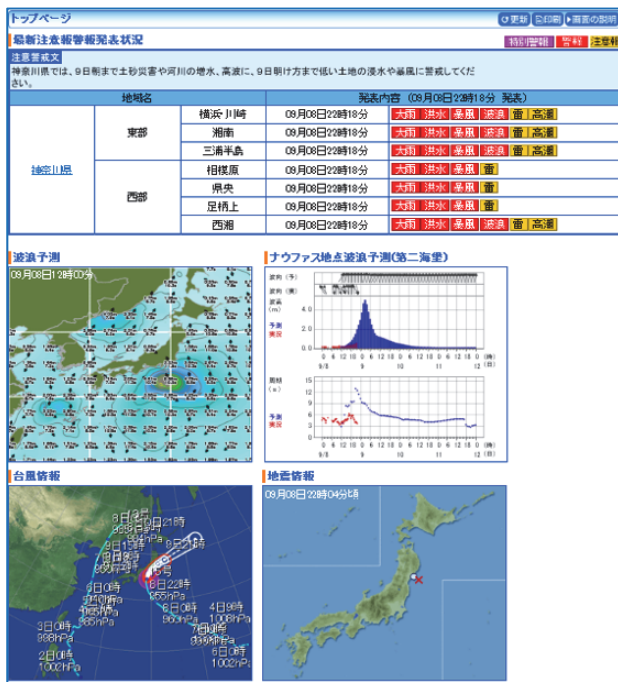


図-12 2019年台風15号時のCOMEINSトップ画面

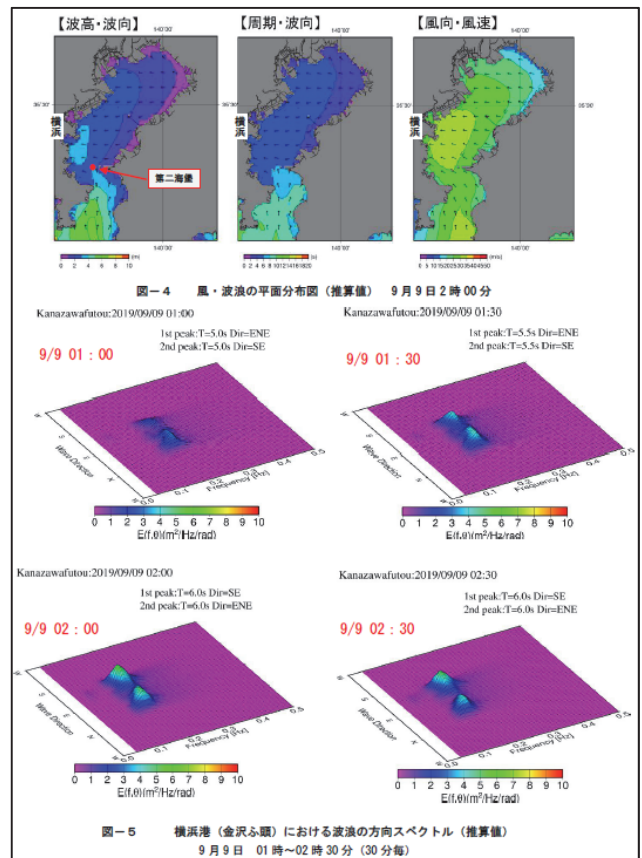


図-13 HPに掲載した台風15号時の2方向性波浪