

## 沿岸防災技術研究所の活動について（令和 4 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 業務課長

\*\* （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

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、今年、沿岸技術研究センター設立 40 年を迎えるにあたり、当センターがこれまで取り組んできたカムインズの波浪予測技術の変遷について、沿岸防災を支える基幹技術の一つとして前半部分で紹介するとともに、後半では 2022 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：カムインズ、第三世代波浪モデル、沖波予測、波浪変形計算、予測精度指標

## 1. カムインズ波浪予測技術の変遷について

## 1.1 はじめに

今年、当センターは設立 40 周年を迎えた。その中で波浪情報部は、1997 年から沿岸気象海象情報配信システム（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、カムインズで波浪予測情報を提供するために独自に行っている波浪予測手法の変遷と予測精度の経年変化を紹介するとともに、現在のカムインズ波浪予測の位置づけと評価について考えてみる。

## 1.2 波浪予測手法の変遷

## (1) 概要

カムインズの波浪予測では、中期予報（7 日先まで）や長期予報（カムインズは 10 日先まで）も行っているが、今回は波浪予測業務の中心となる短期予報（2 日先まで）に焦点をあてて予測手法の変遷について述べる。また、波浪予測手法として、入力データを外部からオンライン入手することから始まり複数の計算処理を行い、ナウファス地点波浪予測を作成するまでを一連の作業とみなして、これについてこれまでの技術的変遷について説明する。

## (2) 気象庁波浪 GPV+内挿計算モデル

1997 年のカムインズ運用開始から 2009 年まで行っていた波浪予測の方法について図-1 に示した。図からわかるように当時は短期予報では、波浪モデルを利用した独自の沖波予測計算は行っていない（独自の波浪モデルによる沖波予測は中期予報向けのみを対象としていた）。短期予報向けには、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沖波予測値（1 時間間隔、緯度経度 2 分格子）を作成

していた。次にナウファス地点の最寄りの沖波予測値に、事前に波浪変形計算（エネルギー平衡方程式法）を行って計算した波浪変形係数を作用させ、その後に当該地点の観測値による実況値補正を行い、波浪予測値を作成していた。

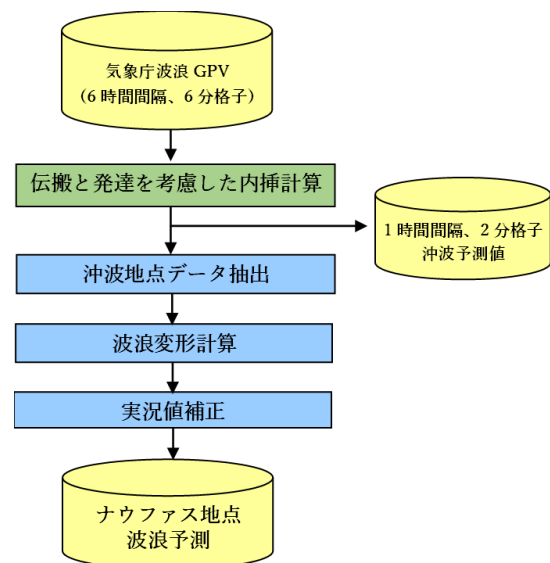


図-1 気象庁波浪 GPV を利用した波浪予測手法  
(1997～2009 年)

## (3) WAM による独自予測

次に 2010 年から開始した第三世代波浪モデル WAM を利用した波浪予測手法を図-2 に示す。WAM モデルは、ヨーロッパ中期予報センターが開発したモデルであり、カムインズでは WAM (Cyc1e4) をベースに改良を加えたモデルを利用していた。図-2 では図-1 から変更のあった部分について赤字で記載している。大きな変更点は、オンライン入手した気象庁 GPV (GSM (全球モデル)、MSM (メソモデル) の海上風予測値を入力して第三世代波浪モデル WAM による波浪予測計算を独自に行って沖波予測値 (1 時間間

隔、緯度経度2分格子)を作成するところである。なお、この波浪予測計算では、遠方から伝搬するうねりを考慮するためにネスティング（全球域から日本沿岸域まで計算領域を細分化しながら高解像度化する計算手法）を利用している。

また、2分格子点の沖波予測値の精度向上を図るために、ナウファス観測地点のうちから空間代表性の高い地点を選んでその実測値を利用した波浪予測値の面的補正を新たに開始した。

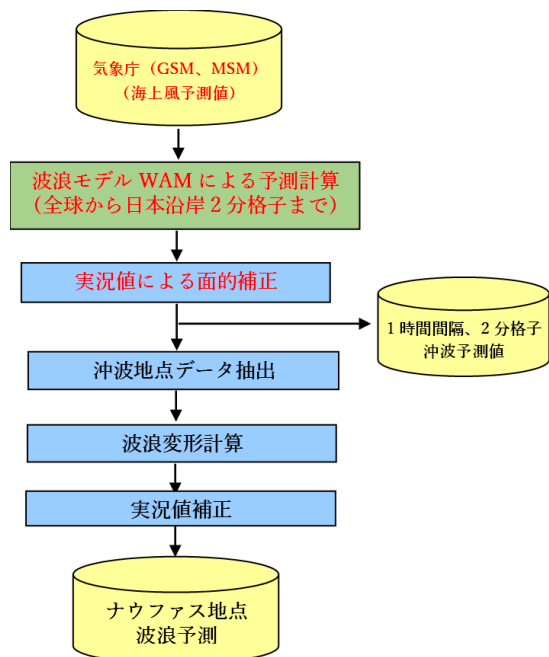


図-2 波浪モデル WAM を利用した波浪予測手法  
(2010～2017 年前半)

### (3) WAVEWATCH III による独自予測

2017 年後半から、それまでの WAM による沖波予測計算に換えて、同じく第三世代波浪推算モデルである米国 NOAA が開発した WAVEWATCH III（以降では WW3 と記載）の利用を開始し、現在に至っている。このタイミングで波浪モデルを換えたのは、長い間、WAM モデルの改良成果が公開されていない状況にあること、また、カムインズの波浪予測精度について、台風や発達した低気圧に伴う「うねり性波浪」の波高を低く予測する傾向があったことなど、が理由である。なお、WW3 の導入に際しては、2015 年に外部の有識者を加えた「WW3 の波浪予測モデル導入検討に関する研究会」を立ち上げて前述の課題を含む WW3 導入に向けた技術的な検討を行い、WW3 の導入が適当との結論が得られている。

図-3 に WW3 を利用した波浪予測手法を示す。ここでは図-2 から変更のあった部分について赤字で記載している。この図でわかるように、第三世代波浪モデルを入れ替えた以外は、基本的にそれ以前の波浪予測手法を踏襲している。なお、WW3 は現在も頻繁にバージョンアップ版が公開されており、カムインズで利用している WW3 もチュー

ニングを行いながら定期的にバージョンアップを行っている。

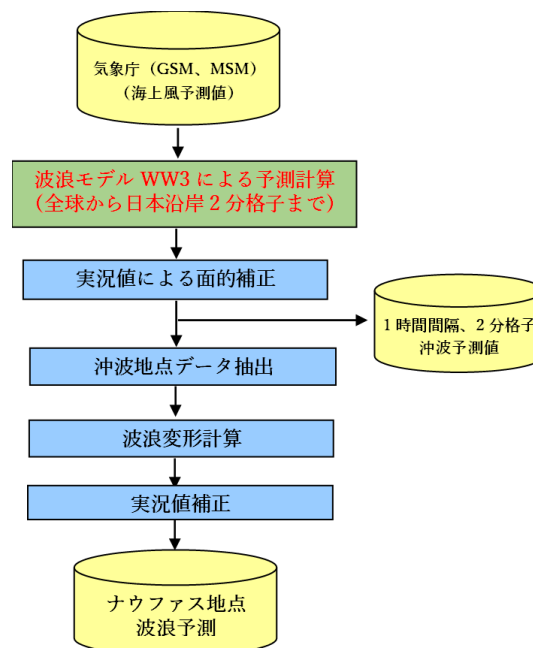


図-3 波浪モデル WW3 を利用した波浪予測手法  
(2017 年後半～現在)

## 1.3 波浪予測精度の推移

### (1) 検証方法

前項では、カムインズの波浪予測手法の変遷を説明してきた。波浪予測手法は、それぞれの時期の中心的な波浪解析技術を取り入れるように対応してきている。この項では、カムインズの波浪予測精度を経年で調査し、その予測精度の変化を波浪予測手法の変遷と並べることで評価することを試みたいと思う。

従来、カムインズ業務は多年にわたり各地方整備局から継続的に受託しており、その業務の中で波浪予測の1年間の検証作業を行っている。業務の性格上、単年での予測精度の検証となっているが、今回、過去のカムインズの報告書を遡り、波浪予測精度の累年変化を調べた。その際、波浪予測精度の指標としては、各地整間の比較が行い易く、長年にわたり算出されているものとして、2006 年以降の波浪予測値と波浪観測値の相関係数と回帰係数に着目した。

### (2) 検証結果

全国沿岸のナウファス地点から 6 地点を選び、波高の1日先予測と観測値の相関係数と回帰係数（横軸を観測値、縦軸を予測値とした時の回帰直線の傾き）の経年変化を作成したものを図-4 に示す。なお、図-4 の下部では波浪予測手法の変遷もわかるようにしている。2017 年については年の途中にカムインズの波浪予測手法を切り替えたことにより、年を通しての相関解析結果が各地整の報告

書に記載されていないため、ここでの作図から除外している。

結果をみると、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 を利用した波浪予測を開始した 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のみ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、近年にいたるまで精度の向上が継続的に行われていることがわかる。この理由は内湾域での波浪予測では、外洋域に比して陸域地形による海上風予測精度の違いの影響を強く受けるため、気象庁の沿岸海上風予測精度の空間分解能を含めた年々の予測精度向上結果が反映されていると思われる。

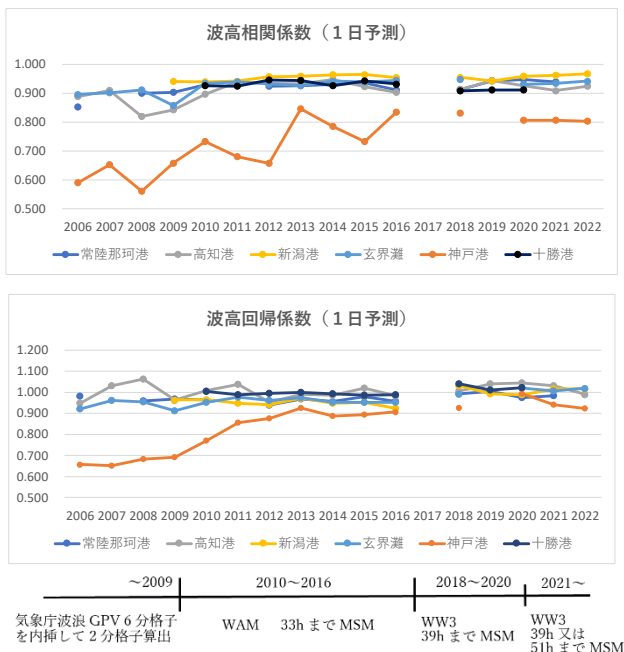


図-4 波高予測精度の経年変化

次に、周期の 1 日先予測と観測値の相関係数と回帰係数の経年変化を作成したものを図-5 に示す。なお、図-5 の下部でも図-4 と同様に波浪予測手法の変遷もわかるように記載した。周期は波高に比べると出現する分布範囲が狭いため、予測値と観測値による相関図を作成すると円に近い楕円形状の分布になり、相関係数を求めると小さくなる傾向にある。(事項の説明を参照) 図-5 でもその傾向が見て取れるが、それ以外は図-4 の波高の場合と同様の経年変化傾向を示している。但し、神戸港では波高の場合と異なり周期の相関係数の経年での増大は目立たない。これは、周期の持つ性質上、内湾域での海上風予測精度が向上しても波高ほどその影響を受けないためと思われる。

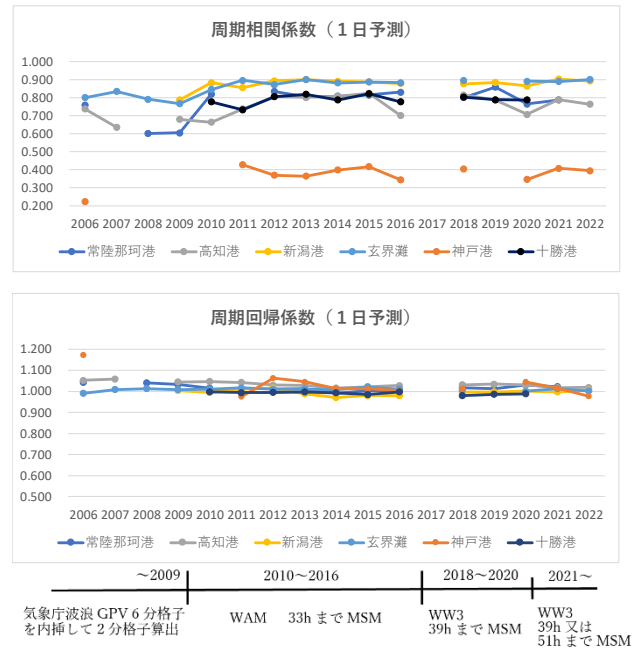


図-5 周期予測精度の経年変化

## 1.4 波浪予測についての考察

### (1) 予測精度について

前節では、経年での波浪予測精度の変化傾向を波浪予測手法の変遷と関連付けて議論した。ここでは、波浪予測の精度の評価方法を考察してみる。

一般的に波浪予測の精度評価は、予測値を観測値と比較することで行われる。予測精度を評価するには客観指標が必要となり、これには前節のような相関解析(相関係数や回帰係数など)や誤差解析(二乗平方根誤差や SI (スキューアーインデックス) など)、あるいは適中率(波高基準値に対して超えるか超えないかを予測して当たった割合を評価)などがあり、波浪予測情報の特性や利用目的に応じて評価手法を選択する必要がある。ここでは、予測情報の特性に応じた評価手法について少し説明する。図-6 に予測値と観測値から作成した相関図の典型例をイメージ化したものを示す。左図は相関係数が 1 に近く相関の高い例、右図は狭い範囲に同心円状に分布して相関係数がゼロに近い例である。この両者について、予測精度はどちらが高いかを考えた場合、左図の相関係数は 0.94、右図の相関係数は 0.12 となるが、単純に左図の方が予測精度は高いとは評価できない。右図の相関係数は小さいが、予測誤差に着目した場合は左図より平均的な誤差幅が小さいようにみえる。そこで、誤差率(100 分率で示し小さいほど予測精度が高い)を評価する指標の 1 つである SI を計算してみると、左図は 15%、右図は 10% となり、右図の方が予測精度は高いことを示す。前節で波高予測と周期予測の観測値との相関解析結果を説明したが、その際に波高予測に比べて周期予測の方が観測値との相関係数が小さくなっていた理由は、周期の相関図がここで示



した右図の形状に近い傾向を持つことから説明することができる。

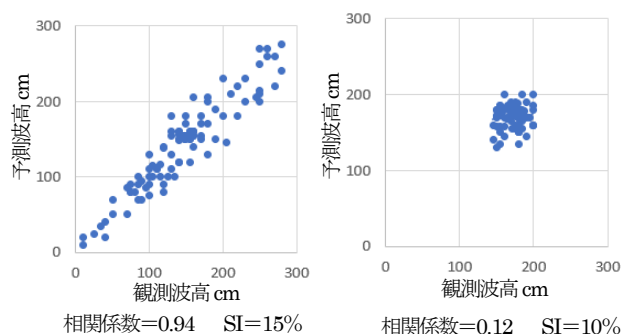


図-6 相関図の典型的なイメージ図

次に波浪予測の精度は技術的に何によって決まるのかという問題がある。波浪予測精度の技術向上を検討する上では、これは非常に重要な視点である。波浪予測精度は、主には海上風の予測精度、および波浪予測モデルの計算精度によって決まるのであるが、この2つの影響を分離して予測の精度を評価することは現実には難しい。一方で、海上風の予測データを気象庁に依存するカムインズの波浪予測では、我々として努力できる範囲で波浪予測の精度向上を検討するために、可能な限り波浪モデルの計算精度の評価を適切に行うことが求められる。

また、図-4や図-5をみると分かるように、波浪予測精度を経年的にみると、単調な傾向ではなく年による変動が含まれている。これは、1年間を通して出現する気象学的条件には年変動があることに起因しており、単純に前年度と比較して波浪予測精度指標の数値が向上したからといって、波浪予測が技術的に向上したとは判断できないことになる。

ここまでは少し抽象的に波浪予測精度についてどう評価するかを述べてきた。この節の最後として、カムインズで行っている波浪予測精度について、わかりやすく評価した結果を紹介する。具体的には、予測精度指標の数値により絶対的な評価を行うのではなく、気象庁の波浪予測（非公開の第三世代波浪モデルを利用）の精度とカムインズの波浪予測の精度を比較することで、相対的にカムインズの予測精度を把握することを試みた。日本沿岸のGPS 波浪計を含むナウファス観測地点とその近傍の沖波の1日先波高予測について、ある年の10月と1月について気象庁とカムインズの予測精度を比較したものを表-1に示す。各地点の予測精度について気象庁とカムインズを比較し、精度が良好な方を着色している。これを見ると、10月予測の相関係数はカムインズが良く、回帰係数は気象庁の方が良い。1月予測は、相関係数も回帰係数も両者の精度に大きな違いはなかった。今回は計2ヶ月間の統計ではあったがこれを見る限り、カムインズと気象庁の沖波の波浪予測精度は同等であるという結果であっ

た。なお、カムインズの波浪予測の有意性を理解して頂く立場として、カムインズではここで比較検証した沖波の予測結果を利用して更に詳細に波浪変形計算を行った上で各港湾向けのポイント予測を提供していることを補足させて頂く。

表-1 気象庁とカムインズの波浪予測精度の比較

	10月予測				1月予測			
	相関係数		回帰係数		相関係数		回帰係数	
	気象庁	カムインズ	気象庁	カムインズ	気象庁	カムインズ	気象庁	カムインズ
十勝	0.90	0.91	0.99	1.05	0.88	0.93	1.00	1.00
岩手北部沖GPS	0.90	0.90	0.88	0.88	0.79	0.83	0.74	0.94
鹿島	0.94	0.95	1.00	1.04	0.92	0.91	0.95	0.94
静岡御前崎沖GPS	0.87	0.89	1.02	1.09	0.87	0.90	0.84	0.95
高知室戸岬沖GPS	0.96	0.98	0.91	1.05	0.89	0.95	0.97	1.14
中城湾	0.85	0.92	0.97	1.23	0.90	0.89	1.07	1.12
留萌	0.94	0.93	0.95	1.12	0.89	0.91	0.92	0.99
新潟沖	0.97	0.97	1.02	1.10	0.96	0.94	0.95	1.01
玄界灘	0.97	0.95	1.07	1.20	0.93	0.92	1.05	1.25
神戸	0.35	0.45	0.87	0.95	0.89	0.82	0.87	1.10

## 1.5 おわりに

以上ここまで、カムインズの波浪予測手法の変遷と波浪予測精度の評価について紹介してきた。一般的に、精度の確保された海上風予測値を利用すれば、現在主流である第三世代波浪モデルで行う波浪予測は10年以上前からかなり高い技術水準に達しており、今後の大きな進歩を期待するのは難しくなっている。一方、このような物理モデルを駆使した従来の予測手法ではなく、物理モデルとAI等を組み合わせるような波浪予測手法が今後増えて行くことが予想される。また、波浪予測の多様な利用者の便宜に配慮し、今回紹介したような決定論的な予測情報提供だけではなく、図-7に示す波高予測値に加えて予測誤差の幅を示すような確率を加味した情報提供も今後は必要になってくると思われる。

情報の提供内容も含めて今後の波浪予測技術の向上が、将来にわたる沿岸防災および関連諸分野に貢献することを期待したい。

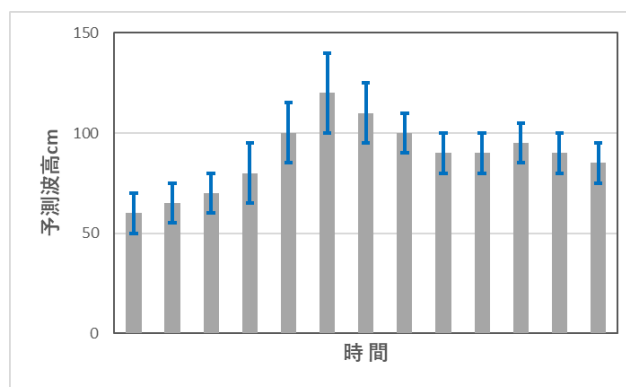


図-7 予測誤差幅を考慮した波高予測の表示例

\* 青棒は予測誤差幅を示す

## 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4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2022における防災関連論文の発表

コースタル・テクノロジー2022は、コロナ禍が落ち着いたことから、3年ぶりに外部施設の星陵会館を利用して11月30日に行われた。当日は、当センターの職員による10編の論文発表が行われた。また、最後に海洋研究開発機構の宮澤泰正氏に特別講演（「海底火山噴火による我が国への影響」）を行って頂いた。本講演は、まさに2022年の港湾の防災にとってタイムリーなテーマであり、興味深く聴かせて頂いた。当日の論文発表や特別講演については、後日、インターネット上でも配信を行っている。

なお、論文発表のうち、防災関連については以下の発表を行っている。内容詳細については、「沿岸技術研究センター論文集No. 22 (2022)」を参照していただきたい。

- ・防災情報プラットフォームシステムの機能高度化  
当センター：脇平興一（講演者）、森晴夫、遠藤敏雄  
中部地方整備局 港湾空港部：  
港湾空港防災・危機管理課長補佐 藤田智志  
前港湾空港防災・危機管理課係長 岩田尚晃

近年、巨大化する台風や地震および津波等の自然災害に対して、防災力（防災・減災・復旧）の強化が急務となっている。本研究は、中部地方整備局の防災情報プラットフォームシステムの機能高度化を行ったものである。具体的には、既存システムを用いた発災時における速やかな情報収集、災害状況の整理、発災事象への対応方針の意思決定、防災担当関係者間の情報伝達訓練を通じ、新たに高度化すべき機能について検討を行ったものである。

## 3.2 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、みなと総合研究財団（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き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、第2回は横浜、第3回は韓国の安山、第4回は東京、第5回は釜山、第6回は福岡、第7回は2019年に釜山での開催であった。その後、残念ながら2020年と2021年はコロナ禍のため中止しとなっていた。

### （2）第8回日韓沿岸技術研究ワークショップ

2022年には3年ぶりに12月21日にオンラインのWebにより第8回日韓沿岸技術研究ワークショップが開催された。当日はPARIの河合弘泰所長、KIOSTの李胤浩副院長からの開会挨拶の後、日韓合わせて7件の研究発表（表-2）が行われ、CDITの宮崎祥一理事長の閉会挨拶で幕を閉じた。100名近く参加した日韓の港湾関係者は、各発表に大変関心を持って聴講していた様子で、予定時間を超過するほどの活発な質疑応答が行われた。

表-2 研究発表プログラム

	テーマ	発表者
①	日韓の統合指標を用いた港湾の環境等級の評価	PARI 海洋汚染防除研究グループ長 井上徹教
②	沿岸域での魚類相調査における環境DNAの適用性について	WAVE 主任研究員 渡辺健太郎
③	デジタル沿岸管理シミュレーションと海洋スマートシティプラットフォームの開発	KIOST 責任研究員 林鶴珠
④	洋上風力発電施設の基礎の洗掘防止工に関する研究	CDIT 研究主幹 福永勇介
⑤	港湾の防災・利用上の検討に活用できるブシネスクモデルの拡張機能の紹介	PARI 波浪研究グループ長 平山克也
⑥	沿岸災害管理のためのデジタルツイン構築の方向	KIOST 先任研究員 金大善
⑦	高潮に関する防災・減災の取り組み	CDIT 主任研究員 原信彦

## 3.3 2022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

