

ライフセーバの監視活動を支援する 海況把握システムの試作

AN EXPERIMENTAL FORE- AND NOWCAST SYSTEM
OF RIP CURRENTS FOR LIFE SAVER'S PATROL ACTIVITY

町田龍亮¹・武若聡²

Ryusuke MACHIDA and Satoshi TAKEWAKA

¹正会員 修(工) 北陸電力株式会社

²正会員 工学博士 筑波大学准教授 大学院システム情報工学研究科 (〒305-8573 つくば市天王台1-1-1)

An attempt has been made to test a system which assists life saver's patrol activities. The system consists from two sub-systems; rip forecast system and rip nowcast system. Rip forecast system predicts the number of rip currents at a beach using wave forecast data. Patrol log recorded at Ohtake beach has been analyzed and correlation between number of observed rip currents and incident wave height and direction has been established. Rip forecast utilizes this relationship and tells the expected number of rip currents by providing wave forecast data. Rip nowcast, or on-site observing system consists from a note PC and a network camera. The live images are time averaged to visualize characteristic pattern for rip current. Test of the imaging has been done with dye and tracer visualization of the nearshore current system and basic performance of the system has been confirmed.

Key Words: Rip current, rip fore cast, rip now cast, lifesaving, patrol log

1. はじめに

海水浴場では多数の水難事故があり, 多くの命が失われている。海水浴場の事故原因で多いのは, 離岸流(リップカレント)により流され, 体力を消耗して溺れるというケースである。このような離岸流を含めた事故を未然に防ぐためにライフセーバが監視活動を行っている。しかし, 日本におけるライフセーバの数は不足しているとされ, また, トレーニングを受けた者が監視を行わない危険な海水浴場も多い。また, 熟練したライフセーバでも目視による離岸流の発見は難しく, 離岸流の容易な観測方法の実現は海でのレジャーの安全性を高める上で重要である。

本研究は海浜の安全利用を促進するために, ライフセーバの使用を想定した海況情報取得システムの開発を試みた。システムは「海況予報」と「海況リアルタイム観測」の二つから成る。「海況予報」は事前に翌日の波浪推算結果を入手し, その情報をもとに離岸流, 沿岸流の発生を予測するものである。「海況リアルタイム観測」はライフセーバ等の監視者が海面を撮影した画像から離岸流の発生箇所を読み取ろうとするものである。

翌日の離岸流発生状況を予測できれば危険度に応じたシフトの調整, 的確な人員配置などが可能となる。また, ライフセービング経験の少ない者でも離岸流の発生位置を容易に特定することができれば,

ライフセーバの負担の軽減を図ることができる。さらには, ライフセーバの配置されない海岸の監視に適用できれば, 海の安全利用の促進に貢献できると考えられる。ここでは, 予算の制限が厳しいライフセービング活動の現状を踏まえ, 安価で運営労力を必要としないシステムの開発を目指す。

2. 海況予報システム

(1) システムの構想

このシステムは, ライフセーバが波浪推算結果(波高, 波向, 周期)を入手し, 海水浴場が開場する間に発生する離岸流の数を予想するものである。具体的には図-1に示すように, 先ず, 該当海岸で発生する離岸流の数を, ライフセービング監視活動を記録したパトロールログから読み取り, 海況(入射波高, 波向, 周期)と関連付ける。そして, この関係と波浪推算結果から, 離岸流の発生数を予測する。

波浪推算結果の入手先を検討したところ(2009年1月時点), 必要な分解能(日本沿岸の任意地点, 1日数回の予報値提供)で最も安価に波浪推算結果を得ることが可能だったのは(株)サーフジェンドのインターネットサービス Wave Hunter (<http://www.wavehunter.jp/wh/wavehunter/>)であった。この情報提供サービスでは波浪推算に SWAN¹⁾を用い, 日本沿岸の波向, 波高, 周期の推算値を72時間先まで提供している。

表-1 解析に使用したパトロールログ，波浪データ（鹿島港，NOWPHAS），波浪推算値の年別の有無

年	パトロール ログ	鹿島港 波浪データ	波浪 推算値
1997	○	○	—
1998	○	○	—
1999	○	○	—
2000	○	○	—
2001	○	○	—
2002	○	○	—
2003	—	○	—
2004	—	○	○
2005	○	○	○
2006	○	○	○
2007	—	○	○
2008	—	—	○

○：データ有，—：データ無し



図-1 海況予報システムの構成

具体的なシステムの試作は、パトロールログ、波浪観測結果が豊富にある茨城県鹿島灘の大竹海水浴場を対象に行った（図-2）。表-1に解析に使用したパトロールログ、波浪観測データ（鹿島港，NOWPHAS）が取得された時期を示す。いずれも、夏季の約35日間の海水浴場開場期間のデータである。解析に使用したパトロールログの総数は286日分、この内、遊泳禁止日数は16日であった。

海外ではライフセーバが記録した救助ログから離岸流発生危険度を評価した試み²⁾があるが、離岸流が存在したが救助に至らなかった場合を拾い上げていない可能性がある。ここでは、パトロールログから読み取った離岸流の発生数を対象に解析を進める。

(2) 離岸流発生状況の分析

まず、どのような海象条件において離岸流が発生するのかを調べた。具体的には、大竹サーフライフセービングクラブ（大竹SLSC, <http://park17.wakwak.com/~otake/>）の大竹海水浴場開場期間中の監視活動記録（パトロールログ）を読み取り、離岸流の発生数と鹿島港で観測された波高、波向、周期の記録（NOWPHAS, <http://www.mlit.go.jp/kowan/nowphas/>）と関連付けを行った³⁾。



図-2 大竹海水浴場，波浪観測地点（NOWPHAS, 鹿島港），波浪推算計算点

ビーチ見取り図 本部、タワー等施設的位置、潮流（流向、流速、リップカレント）について図示する。

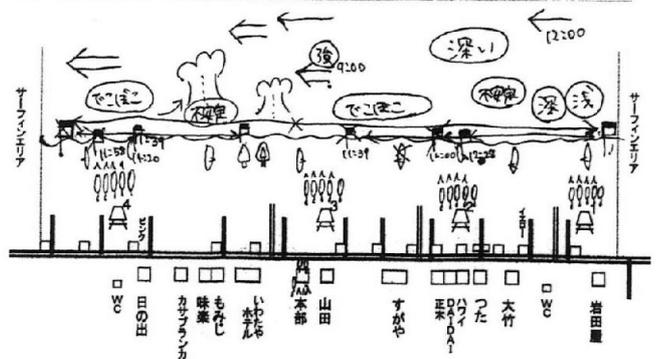


図-3 ビーチ見取り図の一例（2006年7月29日，日平均波向77°，日平均波高0.68m）。「でこぼこ」、「深い」はその付近の海底の様子を、横向きの矢印は潮の流れを、図中の縦向きの記録は離岸流を表す。番号1～4の台形はライフセーバが監視を行う拠点。離岸流発生数：2。

a) パトロールログと波浪観測データ

パトロールログは延長約1キロの大竹海水浴場の監視状況と経過を記録したもので、入場者数や天候、気温、風向き、潮位、水温に加え海況が図として毎日記録されている。図-3はパトロールログに含まれるビーチ見取り図の例である。ライフセーバが主に監視活動前に浮き輪の役目を果たすレスキューチューブを垂らしながら波打ち際を歩く、泳ぐ、入水するなどにより海水浴場の状況を確認、リップカレント（離岸流）、サイドカレント（沿岸流）などの流れの状況を記入する。また、監視活動中も砂浜で監視しているライフセーバが浮き輪を使っている人の流れ方等から流れを発見し、ビーチ見取り図に随時記入されてゆく。

中央に横方向に引かれている波線が波打ち際を表し、沿岸方向の矢印が沿岸流の方向とその流れの強さを、丸で囲った印が離岸流を、「でこぼこ」、「深い」といった言葉が海底地形の状況を表す。

ここでは、ビーチ見取り図にある離岸流の発生を表す印を数え、離岸流発生数とした。これは1日に観られた離岸流の総数であり、残念ながら時間毎の離岸流発生数、離岸流の強度などは読み取れない。

鹿島港（NOWPHAS）で観測された6時から18時の有義値（波高、波向、周期）を平均し、日平均として

表-2 日平均波高 H[m] — 日平均波向 θ [°] の結合状況

	$70 \leq \theta < 75$	$75 \leq \theta < 80$	$80 \leq \theta < 85$	$85 \leq \theta < 90$	$90 \leq \theta < 95$	$95 \leq \theta < 100$	$100 \leq \theta < 105$	$105 \leq \theta < 110$	$110 \leq \theta < 115$	$115 \leq \theta < 120$
$0.4 \leq H < 0.7$	1	1	13	6	15	19	14	7	6	1
$0.7 \leq H < 1.0$	0	2	4	12	15	18	15	7	0	0
$1.0 \leq H < 1.3$	0	6	0	3	13	4	7	7	0	0
$1.3 \leq H < 1.6$	1	4	0	3	5	3	6	1	0	0
$1.6 \leq H < 1.9$	1	4	2	2	0	2	7	1	0	0
$1.9 \leq H < 2.2$	0	0	3	0	4	1	1	3	0	0
$2.2 \leq H < 2.5$	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0
$2.5 \leq H < 2.8$	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
$2.8 \leq H < 3.1$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

表内の数字は日数

表-3 日平均波高 H[m], 波向 θ [°] 毎の離岸流発生数

	$70 \leq \theta < 75$	$75 \leq \theta < 80$	$80 \leq \theta < 85$	$85 \leq \theta < 90$	$90 \leq \theta < 95$	$95 \leq \theta < 100$	$100 \leq \theta < 105$	$105 \leq \theta < 110$	$110 \leq \theta < 115$	$115 \leq \theta < 120$
$0.4 \leq H < 0.7$	2	4	13	10	51	30	22	11	5	2
$0.7 \leq H < 1.0$	—	3	9	37	39	36	26	5	—	—
$1.0 \leq H < 1.3$	—	13	—	9	24	13	13	5	—	—
$1.3 \leq H < 1.6$	1	11	—	7	13	9	11	0	—	—
$1.6 \leq H < 1.9$	1	2	7	2	—	2	9	0	—	—
$1.9 \leq H < 2.2$	—	—	2	—	4	0	1	2	—	—
$2.2 \leq H < 2.5$	—	—	—	1	2	0	—	—	—	—
$2.5 \leq H < 2.8$	—	2	—	—	—	—	—	—	—	—
$2.8 \leq H < 3.1$	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

表内の数字は離岸流発生数

表-4 日平均離岸流発生数

	$70 \leq \theta < 75$	$75 \leq \theta < 80$	$80 \leq \theta < 85$	$85 \leq \theta < 90$	$90 \leq \theta < 95$	$95 \leq \theta < 100$	$100 \leq \theta < 105$	$105 \leq \theta < 110$	$110 \leq \theta < 115$	$115 \leq \theta < 120$
$0.4 \leq H < 0.7$	2.0	4.0	1.0	1.7	3.4	1.6	1.6	1.6	0.8	2.0
$0.7 \leq H < 1.0$	—	1.5	2.3	3.1	2.6	2.0	1.7	0.7	—	—
$1.0 \leq H < 1.3$	—	2.2	—	3.0	1.8	3.3	1.9	0.7	—	—
$1.3 \leq H < 1.6$	1.0	2.8	—	2.3	2.6	3.0	1.8	0.0	—	—
$1.6 \leq H < 1.9$	1.0	0.5	3.5	1.0	—	1.0	1.3	0.0	—	—
$1.9 \leq H < 2.2$	—	—	0.7	—	1.0	0.0	1.0	0.7	—	—
$2.2 \leq H < 2.5$	—	—	—	1.0	2.0	0.0	—	—	—	—
$2.5 \leq H < 2.8$	—	2.0	—	—	—	—	—	—	—	—
$2.8 \leq H < 3.1$	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

表内の数字は離岸流発生数

解析に用いる。

波向は大竹海岸に直角入射する時を 90° とした。ここでは大竹海岸に入射する波浪に換算するため、観測値に屈折効果を考慮した補正を施した。以降では、この補正を施した日平均値を単に波高、波向、周期と呼ぶ。

次節に説明する解析は、パトロールログと鹿島港の両データが入手できた8年間について解析を行った(表-1)。

b) 平均離岸流発生数の算出

離岸流の発生数を波向、波高別に調べた。まず、波向 θ と波高Hの結合状況を調べた(表-2)。例えば、波向 $90^\circ \leq \theta < 95^\circ$ 、波高 $0.4 \text{ m} \leq H < 0.7 \text{ m}$ に該当する日は夏季8年間(遊泳可能日数:270日)のうち15日間あった。

次にその15日間に発生した離岸流の数を積算した(表-3)。波向 $90^\circ \leq \theta < 95^\circ$ 、波高 $0.4 \text{ m} \leq H < 0.7 \text{ m}$ に該当する15日で合計51個の離岸流が観測されている。次に平均離岸流発生数を求めた。例えば、 $90^\circ \leq \theta < 95^\circ$ 、波高 $0.4 \text{ m} \leq H < 0.7 \text{ m}$ の条件時には、離岸流総数51個、該当日数15日であったので $51/15 \div 3.4$ を平均離岸流発生数とした(表-4)。なお、表の「—」は該当する海象条件が存在しなかった日である。

波が海岸に直角入射に近く、波高が1.6m以下という条件時に離岸流発生数が多かった。ここには示していないが、発生数の多少と入射波周期には関係

が見られなかった。波高が大きい時にも離岸流はあったと考えられるが、セルが大きくなり、延長約1kmの海水浴場監視領域内に存在する数としては小さくなったと推測している。

(3) 波浪推算精度の確認

波浪推算値の精度を確認した。2004, 2005, 2006, 2007年の波浪推算値を入手し、鹿島港の観測値(NOWPHAS)と比較した。ここでも波浪推算値、波浪観測値のそれぞれが大竹海岸に到達した場合を比較するため、屈折による波高、波向の補正を行い、また、先と同じ手順で日平均した。

図-4に波高と波向の波浪推算値と鹿島港観測値の変化を示す。波高の計算精度は、特に2m以下の時については充分にあると判断した。一方、波向は波高がおおよそ1.5m以上の時にはよく合致するが、これより小さい時には平均20度の差が生じていた。ここでは、波高が1.5m以下の日に、角度に応じた値を推算値から引くという補正を加えた。図-5に推算値を補正した結果を、図-6に波高、波向の散布図を示す。

(4) 離岸流発生数の予測

波浪推算値で得られる波高と波向を用い、離岸流の発生数を表-4から予想した。表中に存在しない条件を予想する場合には、隣接する条件から内挿、外挿により離岸流発生数を求めた。

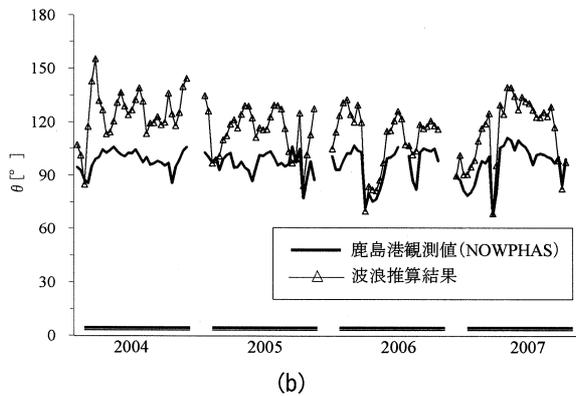
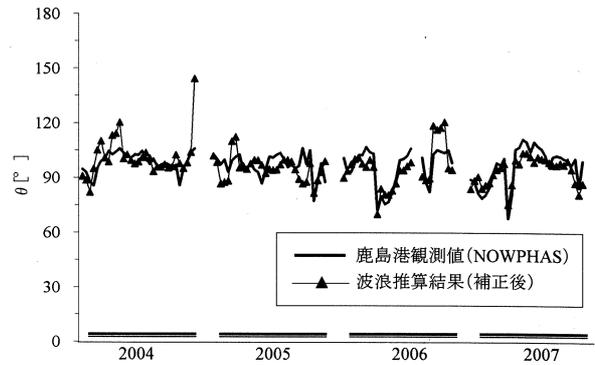
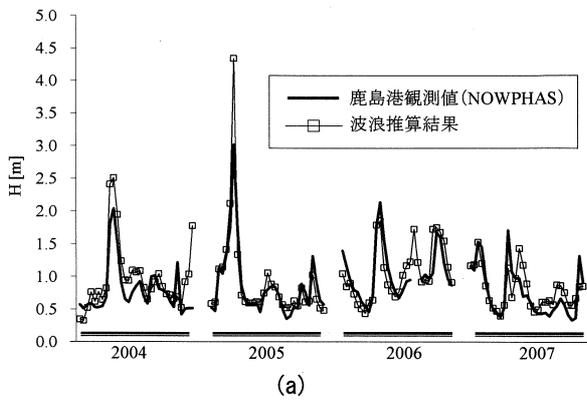


図-5 波向の観測値と補正後の推算値の変化

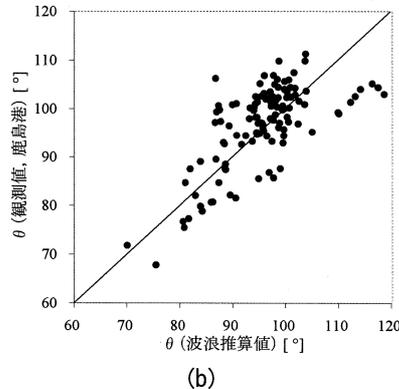
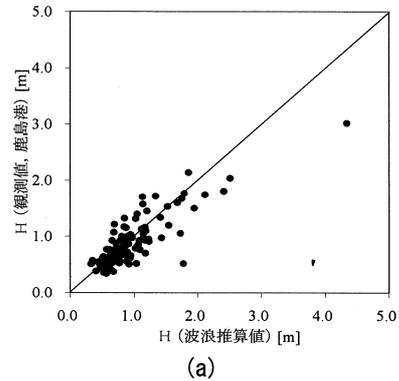


図-4 観測値と推算値の変化. (a) 波高, (b) 波向.

予想される離岸流発生数とパトロールログから読み取った結果を2005年と2006年について比較した(図-7). 観測値は整数で記録されること, 少数を含む予測値はライフセーバへの情報提示として適切か疑問があること, 危険性を大きく評価したことに対応する等を考慮して端数を切り上げた値も表示した.

離岸流発生の予測を行った53日の内, 発生個数の予測値と観測値が一致する日数が9, 予測値と観測数の差が1以内であった日数は17であった. 離岸流発生数の経時的な増減傾向は捉えているものの, 予測数の観点からは的中率は50%以下であり, 十分な予測精度を得るには至らなかった.

図-6 波高, 波向の観測値と推算値の散布図. 波向推算値は補正を加えた値. (a) 波高, (b) 波向.

3. 海況リアルタイム観測システム

(1) システムの概要

海面をカメラで撮影し, 撮影画像をオンサイトで平均化処理を行うことにより, 離岸流の発生状況特定を試みた. カメラの条件として, 直接PCに画像を送りオンサイトで画像処理を進めることが可能であること, 解像度が高いこと, 安価であること等を考え, MOBOTIX社製M22(解像度1280×960 pixel, ネットワークカメラ)を採用した. カメラの電源はLANケーブルを通じてPCから供給される. カメラの制御, 画像の処理等にはAMD Athlon 1.8 GHzをCPUに搭載したノート型PCを用

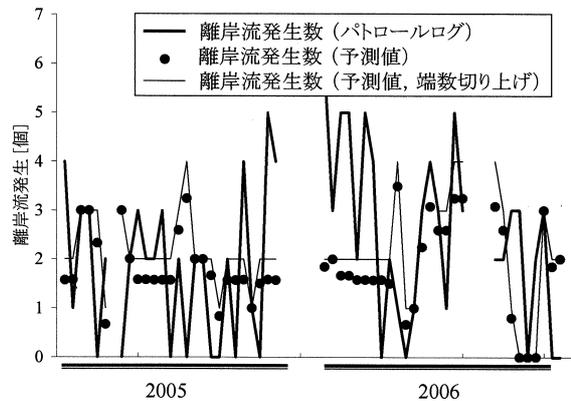


図-7 予測された離岸流発生数



図-8 スチルカメラで撮影した染料の拡散状況

いた。

波浪場を撮影し、画像を平均化することにより離岸流の位置、規模などを特定することについては鈴木ら⁴⁾が報告している。本システムのコンセプトは基本的に同じものであるが、オンサイトで画像処理を進め、現場で流れ場を確認することを新たに検討した。

(2) 撮影観測

撮影観測は茨城県鹿島灘の波崎海岸にある独立行政法人港湾空港技術研究所の観測栈橋 HORS で行った。ネットワークカメラを水際から約 80 m に位置する研究施設の屋上（水面上約 15m）に設置し、ノート PC で画像を収録、平均化しながら撮影を行った。撮影と同時に離岸流の発生場所を特定するために染料とフロートを投入した。目視による碎波波高は 1 m 以下であった。

a) 離岸流の発生状況

離岸流の発生場所を特定するために投入した染料の拡散状況を観察して離岸流セルの規模を確認した。

図-8 は染料を流した際に撮った水際のスチル写真である。写真中の全長 400 m の栈橋右側に沿って染料は拡がり、水際付近から発生する離岸流を確認した。染料は水際からおおよそ 100 m 沖方向まで到達した。

より長時間の流れを追跡するために 180 mm×340 mm×400 mm の寸法のフロート（ポリタンク）を流した。フロートは半分程没水する状態に調整して流れに追随するようにした。フロートは波打ち際で滞留した後、碎波帯を越え離岸流に乗って沖まで流された。その後、沿岸方向に移動し、さらに向岸流に乗り再び岸へと戻ってきた。フロートはこの 1 周の移動に約 15 分を要した。栈橋からフロートの移動距離を目視したところ、岸沖方向に約 150 m、沿岸方向に約 100 m 移動しており、この規模の離岸流、向岸流、沿岸流からなるセルがあった。図-9 にネットワークカメラの画像とフロートの軌跡を示す。

b) 画像の時間平均処理

ネットワークカメラは 1 秒に 1 枚の画像を取得し PC に記録した。ここでは 3 秒毎の画像を 100 枚平均化し、5 分間の平均的な海面の様子として捉えた。平均化処理を施した画像を図-10 に示す。

この画像では通常の碎波の発生している箇所が白い帯状に表れている。一方、離岸流セルの存在が確認された栈橋右側においては碎波が見られず白く映らなかった。またフロートの軌跡から確認できた循環セルとほぼ同じ位置に碎波後の気泡が流れたと推測される白い筋が確認できた。一連の平均画像を動画として再生すると、一層その状況が明確になった。以上より、海面を撮影した画像を時間平均処理することにより離岸流発生箇所とその他の海面における違いを捉えることができ、特にこれらを動画として再生すると離岸流セルの存在を知り得ることを確認した。



図-9 ネットワークカメラの画像とフロート軌跡。画像は広角レンズの使用による歪を補正し、上下をトリミングして表示。栈橋の全長：400 m。軌跡のサイズ：岸沖方向約 150 m、沿岸方向 100 m。



図-10 ネットワークカメラの画像を平均化した平均画像。平均化時間：300 秒

4. 結び

「海況予報」, 「海況リアルタイム観測」からなる海況把握システムの開発を試みた。「海況予報」は波浪推算結果を入力とし該当の海水浴場の離岸流の発生数を予測するものであり, 「海況リアルタイム観測」はビデオ画像をオンラインで平均化し, ライフセーバ等の監視者が離岸流の発生箇所の特定を支援するものである。

海況予報では, 波浪推算モデル SWAN による計算値(波高, 波向)から求めた離岸流発生予測数と離岸流発生状況を比較した。その結果, 離岸流の発生数を, 検討対象 53 日の内 26 日で, 予測値と観測値の差が 1 以内, という精度で予測した。

海況リアルタイム観測ではウェブカメラで撮影した画像を時間平均し, 離岸流発生箇所においては碎波が発生せず, 白く映らないこと, 離岸流セルのおおよその形状を確認することができた。

いずれの開発項目もライフセーバの評価を得るには至らず, 今後の実海岸における検証が必要である。

本研究では離岸流の発生個数の予測を行った。離岸流の大きさ, 強さ等も海水浴場の事故, 溺者の発生に関わるが, パトロールログから離岸流の強さを数値化することは困難であった。海水浴場に強い大きな離岸流が 1 つ発生している場合と小さく弱い離岸流が多数発生している場合の危険性はどちらが大きいのか等, 今後の検討が必要である。

謝辞: 大竹 SLSC の皆様にはパトロールログを提供頂き, ライフセービング活動についてご教示頂いた。(株)サーフレジェンドには波浪推算値の提供について便宜をはかって頂いた。港湾空港技術研究所沿岸土砂管理研究チームの皆様には観測に際し支援と協力を頂いた。以上, ここに記して謝意を申し上げます。

参考文献

- 1) Holthuijsen, L.H., Booij, N. and T.H.C. Herbers: A prediction model for stationary, short-crested waves in shallow water with ambient currents, Coastal Engineering, Vol. 13, pp. 23-54, 1989.
- 2) Jason Engle, James Macmahon, Robert J: Formulation of a Rip Current Predictive Index Using Rescue Data, Proc. National Conf. on Beach Preservation Technology, FSBPA, 2002.
- 3) 町田龍亮, 武若聡, 齊藤愛子: ライフセービング監視パトロールログの分析, 海洋開発論文集, 第 23 巻, pp. 657-660, 2007.
- 4) 鈴木高二郎, 高橋重雄, 近藤充隆, 小林雅彦, 岩上淳一: ビデオ画像処理の離岸流事故防止への適用性に関する予備的検討, 海岸工学論文集, 第 47 巻, pp. 1256-1260, 2000.