

リアルタイム波浪予測と仮想波高計による配信システムの開発

Development of a Virtual Buoy System using Real-time Wave Prediction

Tracey H. Tom¹・間瀬 肇²・安田誠宏³・森 信人⁴

Tracey H. TOM, Hajime MASE, Tomohiro YASUDA and Nobuhito MORI

This study developed a real-time virtual buoy system using wave predictions produced by SWAN with input data of hourly analysis GPV. Although real-time ocean information is provided by NOWPHAS, the location of wave observations is limited. The present virtual buoy system fulfills a function of wave instrument by providing current and near future ocean conditions at any location where wave observations are unavailable. Archives of hourly wave analysis can be extracted at any location within the computational domain, allowing immediate evaluation of hindcasts. No additional simulations are needed to analyze incident events such as coastal disasters and accidents caused by high winds and waves.

1. はじめに

高波は時として人命や財産を奪う自然災害である。このような高波災害の防止・軽減に関する技術開発の1つとして、リアルタイムで精度の高い観測・予測システムを構築し、それを元に早期警戒を行い、的確な避難対策を決定し、住民に迅速な指示を出すことが重要である。また、現況がリアルタイムで把握できるようになっていると、高波による沿岸災害や海難事故の現状把握が可能であり、被害の原因究明に繋がる。

衛星リモートセンシングや船舶観測などによって、様々な形で海洋観測データが得られ、利用することが可能になってきた。現在、最もよくアクセス・利用されているのは、全国港湾海洋波浪情報網NOWPHAS (Nationwide Ocean Wave information network for Ports and Harbours) の波浪観測データであろう。NOWPHASは全国に61地点 (2007年現在) の観測点がある波浪観測ネットワークで、20分毎にリアルタイムで7日前までの観測情報を提供している。このようなリアルタイム観測データを取得すれば、緊急時の速やかな状況把握のデータとして活用することができるが、観測点以外の場所については現況がわからないため、風・波浪解析モデルによって推算されたデータで補間しなければならない。

本研究は、リアルタイム波浪予測システムを確立し、任意地点の波浪状況を高精度かつユーザサイドに立った予測情報を呈示する仮想波高計 (バーチャルブイ) システムを開発するものである。バーチャルブイシステムとしては、Rossouwら (2005) のものがある。これは、南ア

フリカ南西部のテーブル湾にあるケープタウン港の管理のために、湾内6箇所の波情報を得るためのシステムである。このシステムは、港湾管理局に送られてくる湾外の波情報を定常と仮定し、SWANの入力条件として用いて、湾内6箇所の波を推算し、それをPC端末上に表示するものである。すなわち、6箇所に仮想的に観測ブイがあるとするため、バーチャル波浪ブイと名付けられている。本研究では、特定の地点の波浪情報を利用するのではなく、日本沿岸域すべての地点で利用できる。

2. リアルタイム波浪予測システム

(1) 解析領域設定

リアルタイム波浪予測システム (Tomら, 2008) では、外部領域 (北緯5度~55度, 東経120度~175度, 計算格子間隔0.25°) に対して、NCEP (National Centers for Environmental Prediction) のGFS (Global Forecast System) データを用いて、第3世代波浪モデルSWAN (Booijら, 1996) により波浪計算を行い、内部領域に対する境界条件を作成する。内部領域は北緯24度~47度および東経126度~149度の領域 (計算格子間隔0.02°) であり、気象庁による毎時大気解析GPVの10m風データを用いて、SWANにより波浪計算を行う。外部領域の水深データには、アメリカ国防総省の海軍海洋学局によるDBDBV 10minデータを、内部領域には、米国地球物理学データセンターNGDCによるETOPO2v2 2minデータを、それぞれ用いている。

(2) 毎時大気解析GPV

毎時大気解析GPV (HAGPV: Hourly Analysis GPV) は、1時間ごとに更新される風と気温の解析データである。カバーされる領域は北西端 (47.6N, 120E) および南東端 (22.4N, 150E) であり、格子間隔は0.05度×0.0625度 (格子数505×481) である。データは、(財) 気象業

1 (株) サーフレジェンド
2 正会員 工博 京都大学教授 防災研究所
3 正会員 博(工) 京都大学助教 防災研究所
4 正会員 博(工) 京都大学准教授 防災研究所

Wind Speed & Direction

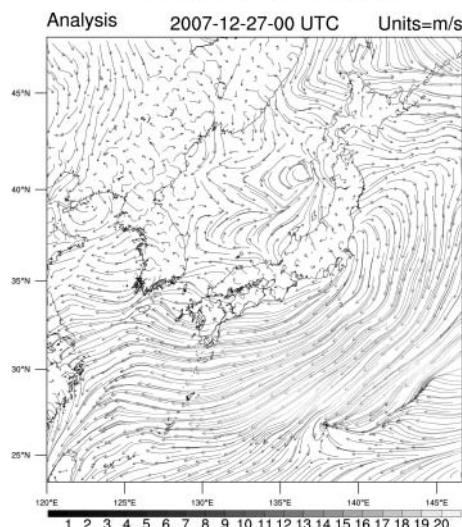


図-1 HAGPV による風速と風向 (2007/12/27 00UTC)

Wave Height & Direction

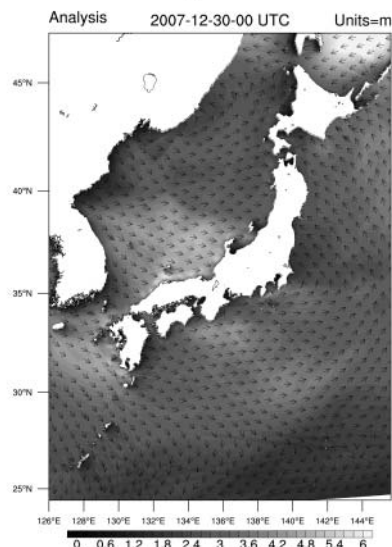


図-2 波高と波向の推算結果 (2007/12/27 00UTC)

務支援センターより毎正時から30分以内に提供される。

HAGPVの作成には最適内挿法が用いられ、メソ数値予報値を第一推定値とし、ウインドプロファイラ等の観測値で修整される。地上風は、アメダス観測値で修整される。観測点から離れた領域（例えば、海上）では、観測値と第一推定値との差から定められる修整量は小さく、解析値はメソ数値予報値と同じになる。

ウインドプロファイラは、地上から上空に向けて電波を発射し、空気屈折率のゆらぎによって生じる電波の散乱を受信・処理して、上空の風向風速を高度300m毎に、10分間隔で測定する。ウインドプロファイラは、2001年4月から運用が開始され、全国の31ヶ所に設置されている。各ウインドプロファイラで得られた観測データは、気象庁本庁にある中央監視局に集められ、数値予報に利用されている。この観測・処理システムは、「局地的気象監視システム」(WINDAS: WInd profiler Network and Data Acquisition System)と呼ばれる。内部領域におけるHAGPVによる風速と風向のデータを図-1に示す。

(3) リアルタイム波浪予測

HAGPV風データを用いて、SWANによりリアルタイム波浪推算を行う。風データを得たある時間を基準時刻とすると、その時間と1時間前のデータを時間的に内挿して用い、その時間に至るまでの波浪追算(hindcast)をする。この波浪追算結果を初期条件として、基準時刻から2時間後までは風速・風向が一定として、波浪の2時間先までの予測計算(forecast)を行う。リアルタイム波浪推算結果の一例を図-2に示す。

(4) リアルタイム波浪予測システムの精度

リアルタイム波浪予測を1ヶ月間行い、ナウファス観測結果と1時間先予測値を比較した一例を図-3および図-4に示す。これ以外の地点を含めた精度の検証は、Tomら(2008)ですで行っているため、本稿では省略する。このような1時間先の波高や周期の予測結果と観測結果との比較結果から、両者の一致の程度が良いことがわかった。

3. 仮想波高計(バーチャルブイ)システム

(1) システムの概要

仮想波高計(バーチャルブイ)システムは、波浪予測の1時間毎の計算と情報配信を可能にするためのシステムで、最近の技術を利用している。すなわち、1) 1時間毎に提供されるHAGPV、2) 波浪モデル、3) ペオウルフ高性能クラスタコンピューティングシステム、4) インターネット接続、および5) ウェブ・モバイルからのアクセシビリティを利用する。

HAGPVを用いた波浪予測システムについては2.で述べた。ペオウルフクラスタコンピューティングシステムは、商用オフザシェルフ(Commercial Off-The-Shelf, COTS)といわれる、一般向けにライセンス提供されるオープンソースのソフトウェアを用いており、並列計算処理が可能である。インターネットへの接続は、世界中にあるデータを、即座に、自由に交換することを可能にし、NOAAや気象庁によって提供されている全球大気予報データ、気象官署での観測データ等の入手を容易にした。自動実行プロセスを用いることで、定期的かつ自動

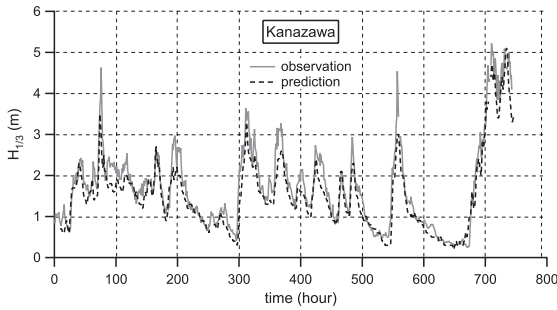


図-3 有義波高の観測値と予測値の時系列比較

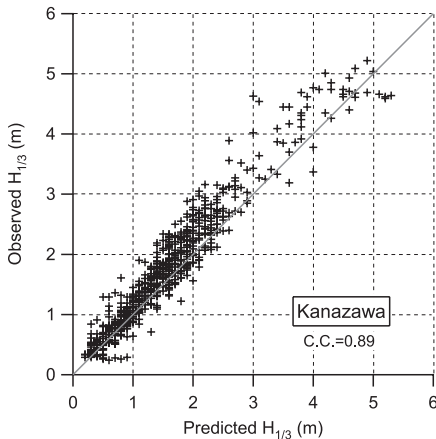


図-4 有義波高の観測値と予測値の比較

的にデータをダウンロードし、自動的にシミュレーションを実行することができる。また、ウェブ・モバイルからの接続性を整備することで、エンドユーザがデータを入手するのを容易にし、画像による視覚的な情報入手を可能にした。

本研究で開発した追加ツールが、バーチャルブイマッシュアップである。マッシュアップとは、複数の異なる提供元の技術やコンテンツを複合させて新しいサービスを形作ることであり、複数のAPIを組み合わせてあたかもひとつのWebサービスを形成することを指す。バーチャルブイマッシュアップは、計算領域内のすべての任意地点における波浪予測の時系列データへのアクセスを可能にし、海面の状況、時系列変化をとらえるのに有用なイメージ画像を提供する。ユーザは、観測機器の有無に左右されることなく、海の現況を知ることが可能になる。

(2) システムのデータフロー

リアルタイムバーチャルブイシステムの1サイクルは、図-5に示されているように、4つのステップから成る。第1ステップは、NCEPサーバから、0.5°間隔のGFSデータをダウンロードすることである。このダウンロードは、0000, 0600, 1200および1800UTCの1日あたり4回実行

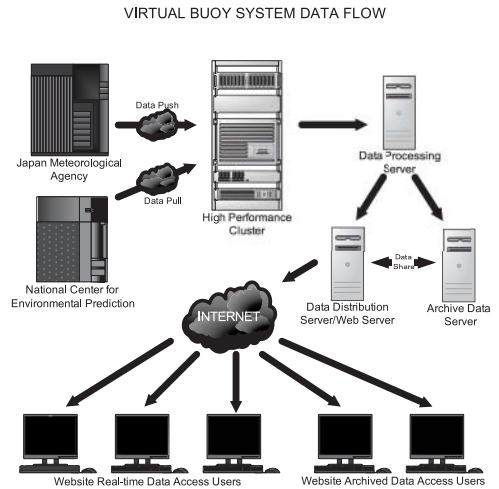


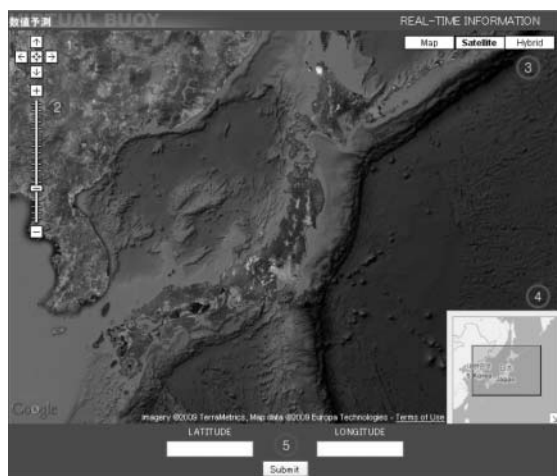
図-5 バーチャルブイシステムのデータフロー

される。一方、HAGPVデータが、毎正時の30分後までに送られてくると、自動スクリプトにより、SWANの入力フォーマットに変換される。第2ステップは、本システムの根幹であり、波浪予測と追算の実行である (Tomら, 2008)。第3ステップが、解析結果データをGrADS (Grid Analysis and Display System; Dotyら, 1992) および NetCDF (Network Common Data Form) バイナリデータにフォーマット変換し、図-1および図-2のような、内部領域の解析結果のグラフィック図を作成することである。最終ステップは、データ配信ウェブサーバとアーカイブサーバに波浪予測データを送ることである。それぞれのサイクルは、1時間毎にHAGPVデータが到着次第、実行される。

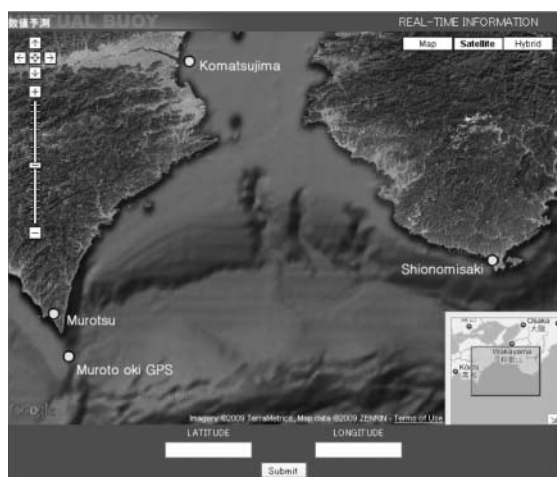
(3) リアルタイムバーチャルブイマッシュアップ

仮想波高計 (バーチャルブイ) は、任意の地点に波高計が設置されているとした仮想のブイであり、その地点での解析結果を仮想波高計データとして、webブラウザを介して表示させるものである。マッシュアップとして Google Map APIとJavaを利用し、計算後にアーカイブされた気象・波浪情報をビジュアル表示する。図-6がバーチャルブイのweb表示画面であり、(a)図は日本全図を表示した状態の初期画面である。ユーザは、Google Map コントローラバーを用いて所定の場所を選択する (①~④) か、あるいは、緯度・経度を直接入力して対象地点を選択する (⑤)。結果を得たい地点を画面上で選ぶことで、風や波浪状況が表示される。

図-6 (b)は、Google Mapで紀伊水道海域を拡大表示したものである。ナウファスの4地点が白色の点で示されている。他の海域においても、ナウファス観測点が存在していれば、同様に示される。地図上の任意の地点をクリ



(a) 日本全図



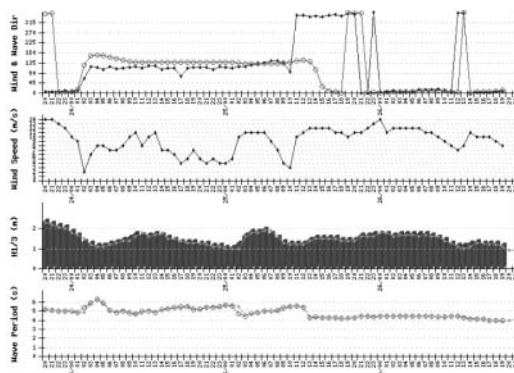
(b) 詳細エリア拡大図 (紀伊水道)

図-6 Google MAP APIによるバーチャルブイシステム画面

ックすると、図-7のように、風と波の時系列グラフとテキストデータが表示される。グラフは上から順に、風向・波向 (○が波、●が風)、風速、有義波高および周期 (棒グラフか○が追算値、●が予測値) である。対象地点をクリックした時点で、最も新しく保存されたデータが表示される。例えば、2009年2月26日の19:55にクリックした時、図-7のように表示されるデータの期間は2月24日20:00から2月26日21:00である。その時点で最新の追算値は2月26日の19:00、予測値は20:00と21:00のものである。

4. 海難事故発生時のリアルタイム気象・海象状況把握

高波による沿岸災害や海難事故発生時の現況把握に、



日時	時刻 (H:M)	経度	緯度	波向	波高	波向	波高	波速 (m/s)
02月23日(月)	20	2.3	北 (355)	5.2	北 (5)	14		
	21	2.2	北 (358)	5.1	北 (5)	14		
	22	2.1	北 (3)	5.0	北 (11)	13		
	23	2.0	北 (5)	5.0	北 (10)	12		
02月24日(火)	00	1.8	北 (8)	5.0	北 (8)	10		
	01	1.6	北北東(15)	4.9	北 (10)	9		
	02	1.3	東南東(123)	5.4	東北東(67)	2		
	03	1.2	東南東(168)	5.9	東南東(118)	6		
	04	1.1	南 (171)	6.3	東南東(112)	8		
	05	1.1	南南東(168)	5.9	東南東(106)	8		
	06	1.2	南南東(160)	5.1	東南東(117)	7		
	07	1.3	南南東(154)	4.9	東南東(107)	7		
	08	1.4	南南東(147)	5.0	東南東(112)	8		
	09	1.5	南東 (141)	4.8	東南東(115)	10		
	10	1.7	南東 (137)	4.7	東南東(119)	11		
	11	1.6	南東 (138)	5.0	東南東(110)	8		
	12	1.6	南東 (137)	5.0	東南東(121)	10		
	13	1.7	南東 (136)	4.9	東南東(120)	11		
	14	1.6	南東 (136)	5.2	東南東(100)	7		

図-7 任意地点をクリックした場合の風と波のグラフおよびテキストデータの表示画面

本バーチャルブイシステムを用いることが考えられる。図-8および図-9は、それぞれ2008年6月23日の第58寿和丸転覆事故発生時および2009年4月14日の第11大栄丸沈没事故発生時の、現場海域における気象・海象状況のリアルタイム解析結果を示したものである。

2008年6月23日午後1:30前後に転覆事故が発生したが、事故発生直後、現場海域の波浪状況がわからないなかで、推測を元に、事故原因は三角波によるものとの報道がなされた。図-8に示した本システムでのリアルタイム波浪推算結果によると、1) 事故発生の6~7時間前に波高が約2mから4mに増大したが、直近の4時間はほぼ同じ状況であった、2) 波向きと風向きは一致しており、またスペクトルからも三角波の発生条件にはなっていないと判断された、3) 風速が15m/s→6m/sへ急激に減少したことがわかった。風速が急激に弱まったという以外は、一般的な時化の状況であり、三角波が発生するような特殊な状況ではなかった。目撃者の1, 2波で船が沈んだという証言からすると、突発的な巨大波の発生が原因ではないかと考えられるが、妥当性と詳細については今後の解析が必要である。

2009年4月14日午前8:00前後に沈没事故が発生したが、事故現場の気象・海象条件について、本システムで得られた結果をまとめると以下のように推定される。事故時

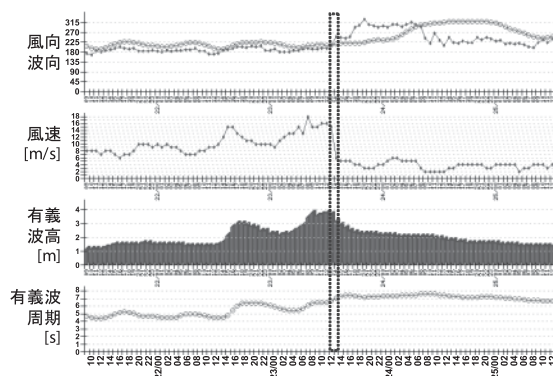


図-8 2008年6月23日第58寿和丸転覆事故発生時の気象・海象状況のリアルタイム解析結果 (35°25'N, 144°37'E)

の風については、北北東の風、風速13～15m/s、当日の朝5:00から風速は約5m/s→15m/s(10:00)へ増加した。波浪については、波向は北北東で、有義波高は1.6～2m、有義波周期4.7～5.0s(波長34～39m)であった。当日の朝5:00から有義波高は約0.7m→2.2m(10:00)へ増加した。事故の3時間ほど前の比較的穏やかな状況から、事故発生時刻までに風速・波高が急激に増加したことがわかった。波高はそれほど大きくないが、周期が約5秒と短く、波形勾配が大きい状況であった。

このように、バーチャルブイシステムを用いると、観測機器のない洋上における気象・海象現況を示すことができ、海難事故発生時の状況を把握することが可能である。

5. まとめ

本研究では、リアルタイム波浪予測システムの確立と、任意地点の波浪状況を高精度かつユーザフレンドリーに呈示する仮想波高計(バーチャルブイ)システムを開発した。得られた主要な結果は、以下のようである。

- 1) GFS-HAGPV-SWANからなるリアルタイム波浪予測結果は、観測値と精度良く一致する。
- 2) Google Map APIとJavaを利用したwebブラウザ表示マッシュアップを完成した。任意の対象地点をクリックすることにより、追算値およびリアルタイム波浪予測値を、ユーザフレンドリーに呈示することができるようになった。
- 3) 本仮想波高計による配信システムを利用することで、海難事故発生時の現場海域におけるリアルタイム気象・海象状況を把握できることを示した。
- 4) 本仮想波高計システムは、GFS-HAGPV-SWAN リア

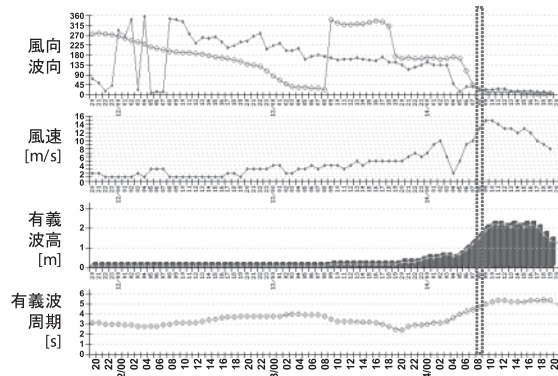


図-9 2009年4月14日第11大栄丸沈没事故発生時の気象・海象状況のリアルタイム解析結果 (33°17'N, 129°17'E)

リアルタイム波浪予測結果表示のほかに、GFS-WRF-SWAN援用波浪推算システム(間瀬ら, 2005)による3日先までの波浪予報値の表示にも適用可能であり、高波による被害を小さくすることに役立つ。

謝辞: 本研究は、第2著者の国土交通省建設技術研究開発助成制度および(財)鹿島学術振興財団研究助成、第3著者の科学研究費若手(B)(20710143)による研究の一部であることをここに付記し、感謝いたします。

参考文献

- 間瀬 肇・木村雄一郎・Tracey H. Tom・小川和幸(2005): GFS-WRF-SWAN援用波浪推算システムの構築と検証, 海岸工学論文集, 第52巻, pp.181-185.
- Tracey H. Tom・間瀬 肇・安田誠宏(2008): 毎時大気解析GPVを用いたリアルタイム波浪予測システムの開発とその検証, 海岸工学論文集, 第55巻, pp.186-190.
- Booij, N., L.H. Holthuijsen and R. C. Ris (1996): The "SWAN" Wave Model for Shallow Water, Proc. 25th Int. Conf. Coastal Eng., Orlando, USA, 668-676.
- DBDB-V (2004): Digital Bathymetric Data Base Variable Resolution from the U.S. Naval Oceanographic Office, http://gcmd.nasa.gov/records/GCMD_DBDBV.html.
- Doty, B. and J.L. Kinter III (1992): The Grid Analysis and Display System (GrADS): A Practical Tool for Earth Science Visualization, Eighth Int. Conf. on Interactive Information and Procession Systems, Atlanta, Georgia, pp.5-10.
- ETOPO2v2 (2006): 2-Minute Gridded Global Relief Data, National Geophysical Data Center, NOAA, <http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/fliers/01mgg04.html>.
- Rossouw, M., S. Luger, J. Kuipers and S. Patel (2005): Development of a Virtual Wave Buoy System for the Port of Cape Town, South Africa, Fifth International Symposium WAVES 2005, paper number 164, pp.1-10 (CD-ROM).