

リアルタイム気象・水象予測の Web配信システムの開発

DEVELOPMENT OF WEB SYSTEM FOR REAL-TIME WEATHER AND WAVE PREDICTIONS

辰己賢一¹・安田誠宏²・森 信人³・間瀬 肇⁴
Kenichi TATSUMI, Tomohiro YASUDA, Nobuhito MORI and Hajime MASE

¹修(工) 京都大学技術員 防災研究所 (〒611-0011 宇治市五ヶ庄)

²正会員 博(工) 京都大学助教 防災研究所 (〒611-0011 宇治市五ヶ庄)

³正会員 博(工) 京都大学准教授 防災研究所 (〒611-0011 宇治市五ヶ庄)

⁴正会員 工博 京都大学教授 防災研究所 (〒611-0011 宇治市五ヶ庄)

This study examined the capability of the HAGPV-SWAN system and GFS-WRF-SWAN system in comparison between the predictions and observations by NOWPHAS and AMEDAS during two weeks of March, 2009. In addition, the present study developed a web system for real-time weather and wave predictions by utilizing Google Map API. It was found that both HAGPV-SWAN and GFS-WRF-SWAN systems give highly accurate forecasts on simulating the wave heights and other meteorological quantities. By using this web system, weather and wave predictions at present and short-term future can be searched easily by users.

Key Words : Real-time prediction, Web system, HAGPV, GFS, WRF, SWAN, Google Map API

1. はじめに

近年, 気象の極端化(短時間集中豪雨, 強風, 高波)による局所的な気象・水象の不確定さが増している。そのため, 局所的な量的気象・水象予測の必要性は一段と高まっている一方, 情報の利用方法はユーザの目的によって異なる。例えば, 波浪予測は, 利用目的によって予測のリードタイム, 予測期間, 予測値が決まる。すなわち, 大型船の運航やケーソン据付等の港湾・海洋工事, 海水浴, サーフィン, ヨット等の海浜・海域利用等, 目的に応じて 2~7 日先の海象・気象の状況予測が必要となる。他の重要な波浪予測には, 災害発生時あるいは災害が予想される時点において, 暴浪がどのような状況になっており, これからどの程度継続するのか, どのように変化するのかなど, 数時間先の状況を把握するためのリアルタイム予測がある。また, 沿岸域における複合災害を防ぐためには, 局所的なリアルタイム降雨・強風予測も必要である。予測精度もさることながら, 最終的に, これらの複雑な予測結果を利用者の利用形態に応じて配信する仕組みが重要となる。

本研究は, 気象予測データ, 様々な研究用アプリケーションとして利用されているメソ気象モデル WRF (Weather Research and Forecasting model)¹⁾, お

よび第 3 世代波浪推算モデル SWAN (Simulating Waves Nearshore)²⁾ を結合したリアルタイム気象・水象(波浪, 降雨, 強風)予測システムの開発と情報配信方法の開発を行う研究の一環を担うものである。具体的には, 市町村毎の詳細な気象・水象複合災害予測情報配信と, ピンポイントデータをオンデマンドで配信可能な仮想観測機器(インタラクティブな GPV データ)によって予測値を表示する技術の開発を目指すものである。本研究における情報伝達のフローを図-1 に示す。

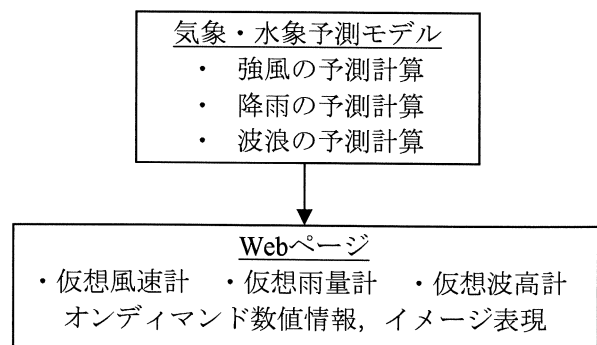


図-1 情報伝達のフロー

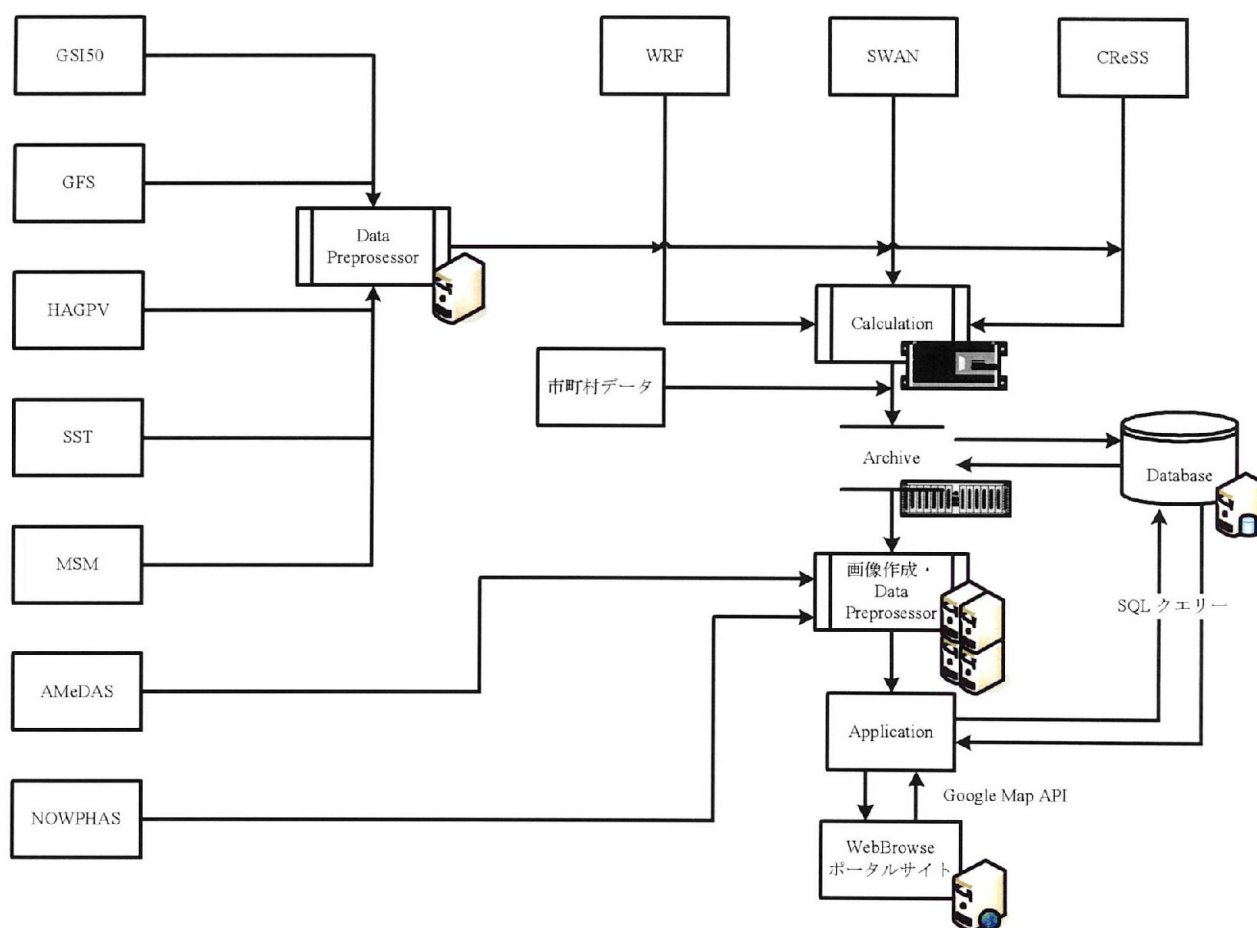


図-2 WEB配信システムのフローチャート

2. Web 配信システムの開発

図-2 に Web 配信システムのフローチャートを示す。本システムでは入力データとして、GSI50 (国土地理院数値地図 50m メッシュ標高地図データ)、GFS (Global Forecast System)、HAGPV (毎時大気解析 GPV データ)、SST (Sea Surface Temperature)、MSM (メソ数値予報モデル GPV データ)、AMeDAS (Automated Meteorological Data Acquisition System)、NOWPHAS (Nationwide Ocean Wave information network for Ports and HARbourS) を利用する。これらのモデル予測計算およびデータの検証に必要なデータを FTP および SCP で自動的に受信し、ファイルサーバーにアーカイブする。なお、気象・水象データはデータサイズが大きいため、ファイルサーバーの資源を圧迫しないよう、残容量に応じて古いものからファイルを削除していく処理を行う。

これらのデータを WRF および SWAN モデルの初期値・境界値として利用できるようにするため、データの前処理を行う。データ前処理プログラムでは、入力データのファイル名やヘッダ情報などからファイルに関するメタ情報を判別し、プログラム上に与えられた各種変数にメタ情報を動的に埋め込むことにより、データ前処理を自動的に行う。次に、前処理済みデータをクラスターコンピュータに流し

込み、モデル並列計算を行う。得られた結果は NetCDF (Network Common Data Form) 形式に変換し、ファイルサーバーにアーカイブしていく。また、アーカイブしていくと同時にこれらデータから Web 上で表示させるために必要な数値情報を抜き出すデータ処理を行い、Web での動的表示やユーザの検索要請に対応する。具体的な操作として、PostgreSQL データベースに日時、緯度・経度、地上気温、地上気圧、降水量、風速、風向、波高、波向、周期など気象・水象の数値情報を保存する。これら関連するそれぞれの情報をリレーショナルデータベースで扱うことにより、ユーザがある事項に関連した情報を簡単に抽出することが可能となる。

市町村データはその境界が緯度・経度で表現されたポリゴンデータとして扱われ、市町村コードがキーとなり、市町村ごとの建物総数、木造比、防火木造比、鉄筋コンクリート比、鉄骨造比などの属性情報がデータベース化されている。ユーザが Web 上の任意の地点の地図をクリックした際、クリックした地点における緯度・経度情報をデータベースに照会し、緯度・経度が属している市町村コードを内部で素早く検索する。その結果をアプリケーション側に送信し、その地点における風速予測値から建物被害率を推定し、属性情報とともに市町村における建物被害予測などの情報がポップアップ画面で表示



図-3 市町村ポリゴン図

できるものとなっている。図-3 にポリゴン数値情報を元に描画した市町村マップの一部を示す。

画像生成サーバーでは、モデル計算から得られた予測結果ファイルを入力データとして用い、可視化ソフトの 1 つである NCL (NCAR Command Language) を使い、Web 上で表示させるために必要な画像（気温、気圧、降水量、波高、波向、周期など）を自動的に生成させる。自動処理に使用するスクリプト内では、アーカイブされているデータの日付やヘッダ情報を自動的に読み取り、スクリプト内の変数に組み込むことにより、動的な対応を可能とした。これらの可視化画像は、Web アプリケーションを介して、動的に Web ページに組み込まれ、ユーザに必要な情報をわかりやすく表示させるシステムとなっている。

本システムによる気象・水象予測システムのポータルサイト画面を図-4 に示す。ユーザがポータルサイト上で指定した条件や検索内容・処理内容は Web サーバーを経由し、アプリケーションにその内容が送られる。その条件に応じてアプリケーション側で SQL クエリーを発行し、データベースに要求を出す。その要求に対してデータベース側で処理された結果がアプリケーション側に送られ、その結果を Web サーバーを介してブラウザに表示させることにより、ユーザのリクエストを満たし、専門的解析を支援するシステムとなっている。これにより、ユーザはポータルサイトより風・雨・気温・波・建物被害などの数時間～数日先の予測結果を簡単にわかりやすく調べることが可能となる。

さらに Google Map API を利用した波浪情報提供画面を図-5 に示す。Google Map API とは Google 社が原則無償で提供する地図情報サービスで、JavaScript の関数群として提供されている。図-5 は Google Map に画像生成サーバーで処理された波浪予測計算結果を動的に重ね合わせた画面である。本処理では、アーカイブされている NetCDF 形式の計

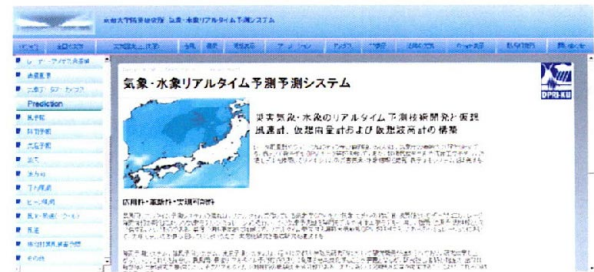


図-4 気象・水象予測システムポータルサイト

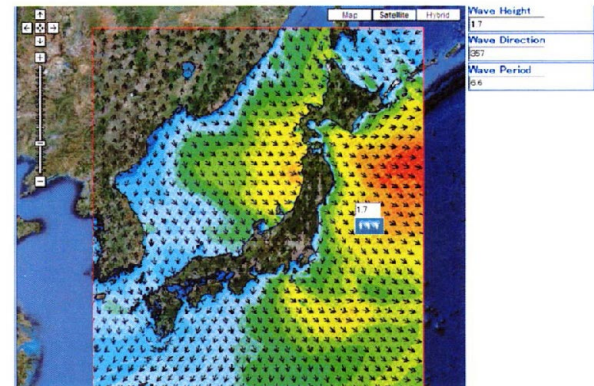


図-5 Google Map APIによる波浪予測システム表示例

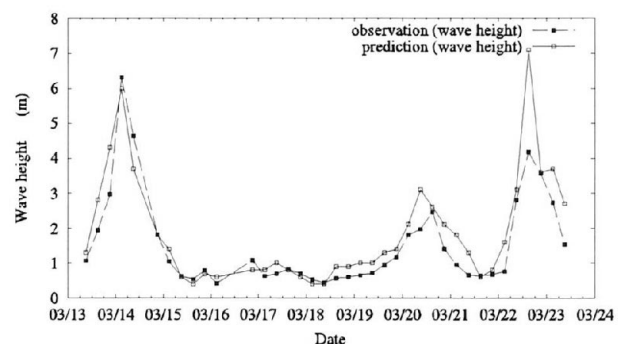


図-6 波高変化の表示例

算結果から必要な情報の読み込みを行い、プログラム上で展開している。最大の特徴は、ユーザが地図上で行うマウス操作により、見たい地点の予測情報が自動的に表示されることである。またユーザが関心を持つ任意の地点をクリックすることで、気象・水象・に関する予測値と観測値をグラフで見ることができる(図-6 参照)。

3. 気象・水象予測システムの概要

(1) HAGPV-SWAN リアルタイム波浪予測システム

HAGPV データは、メソ気象数値モデルで得られた予報値を品質管理の行われたウィンドプロファイルの観測値データを使って修正した GPV データである。データ形式は GRIB2 (GRIdded Binary) で毎正時ごとに気温と風が解析される。格子系は等緯度

等経度 (0.05 度 x 0.06225 度) であり、鉛直層数は地上を含めて 17 層 (地上~100hPa) である。なお、本データは(財)気象業務支援センターより、毎正時から 30 分以内に配信される。

本研究では、外部ドメインを北緯 5~55 度、東経 120 度~175 度とし、GFS の 0.5 度格子で提供される風データを SWAN モデルに入力し、内部領域 (0.05 度格子) に対する境界条件を作成した。内部領域は北緯 24 度~47 度、東経 126 度~149 度とし、HAGPV を SWAN モデルに入力し、波浪予測計算を行った。なお外部ドメインの海底地形データには NAVOCEANO による DBDBV 10min データを、内部ドメインには、NGDC/NOAA による ETOPO2 v2 2min データをそれぞれ用いた。

本研究では、毎正時から 30 分以内に配信される HAGPV 風データとその前 1 時間の HAGPV 風データを内挿し、毎正時に至る波浪追算を行う。この計算結果を内部領域の計算を行うための初期条件とし、HAGPV 風データが 1 時間後まで一定であるものと仮定し、毎正時より 1 時間先の波浪予測計算を行う。

(2) GFS-WRF-SWAN 波浪予測システム

図-7 に GFS-WRF-SWAN 波浪予測システム^{3), 4)}のフローダイアグラムを示す。1 日 4 回 (00, 06, 12, 18 UTC) 384 時間先までアップロードされる 0.5 度格子の GFS 気象データを WRF モデルの初期値・境界値として用い、得られた風に関する計算結果を SWAN モデルに取り込み、波浪予測計算を行う。

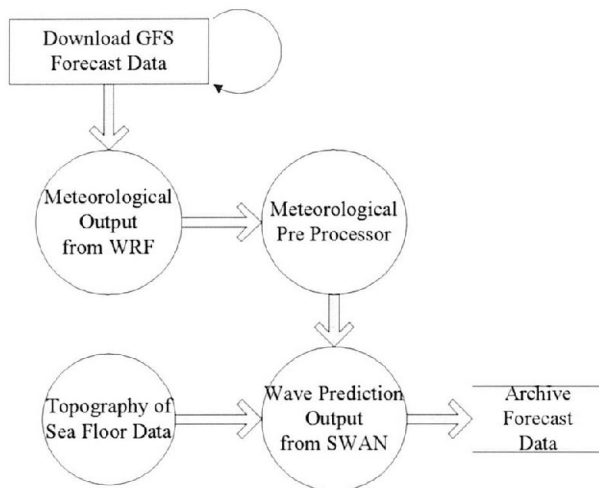


図-7 GFS-WRF-SWANシステムの処理フロー

(3) 予測 Web 配信システムの計算コスト

本システムは、10 ノード (各ノードに CPU Xeon X5470 を 2 基搭載) のクラスター計算機で運用されている。両システムともに、1 時間先の予報を 15 分以内に配信させることを目標としているが、現状では 25 分程度かかっている。今後は解析精度を高めながら適切なジョブ管理を行い、効率的なデータ処理・Web 配信を行っていきたいと考えている。

4. 予測値と観測値の比較・検討

(1) 検証に用いた観測データ

本研究では 2009 年 3 月 12 日から 24 日までの期間を対象とし、予測結果の検証を行った。気象要素 (風速、気温、降水量) の比較にはアメダス 5 地点における観測値 (大津: 143.646 E, 42.685 N, 小田野沢: 141.396 E, 41.234 N, 輪島: 136.895 E, 37.391 N, 尾鷲: 136.193 E, 34.07 N, 潮岬: 135.76 E, 33.45 N) を用いた。また、海象要素 (波高および周期) の比較には NOWPHAS で提供され、外洋に開いたとみなされる観測点 (十勝港: 143.685 E, 42.651 N, 輪島港: 136.902 E, 37.430 N, 三重尾鷲沖: 136.544 E, 33.925 E, 潮岬: 135.747 E, 33.433 N) での値を用いた。図-8 に、HAGPV-SWAN システムにより得られた有義波高と波向の予測計算結果の一例を示す。なお周期の検証では、計算結果は Tm_{01} 、観測値は時間波形から求めた有義波周期を用いた。

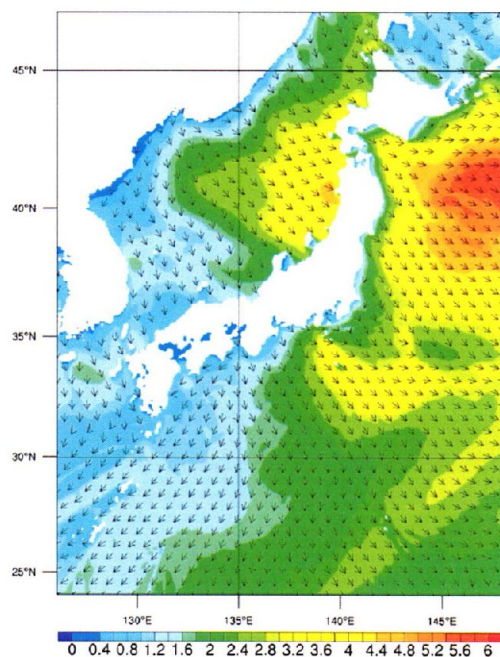
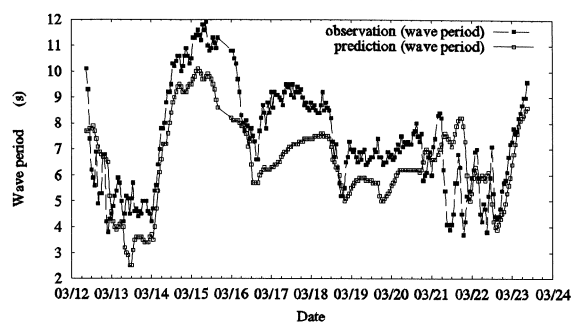
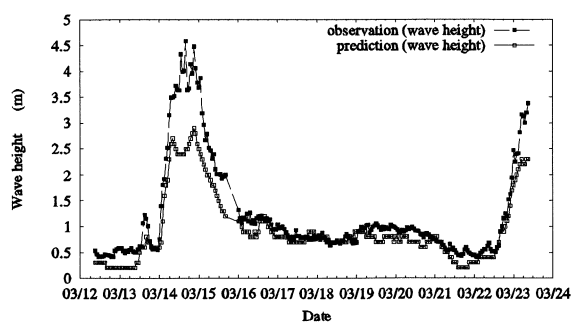


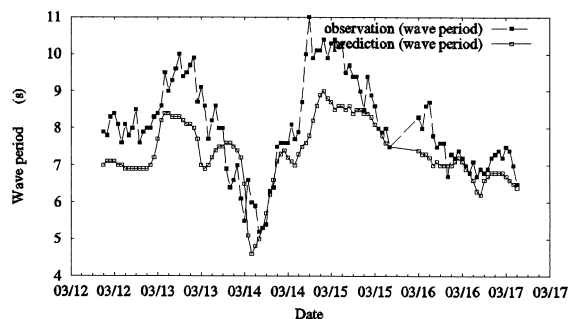
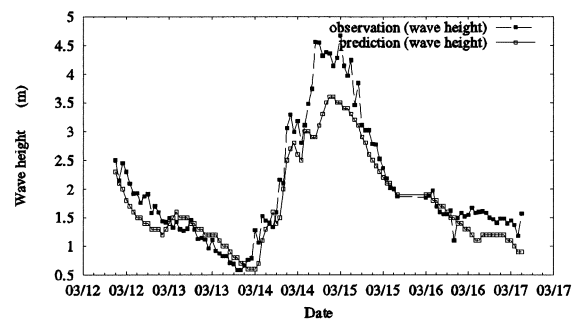
図-8 波浪予測の計算例

(2) 予測値と観測値の比較・検討

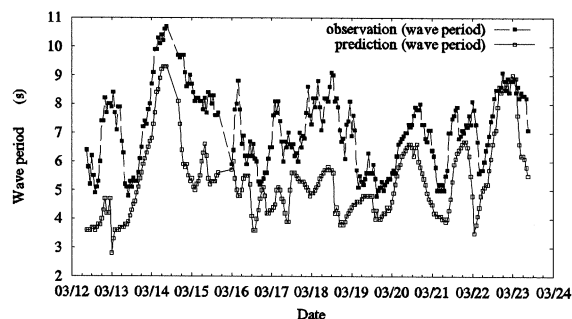
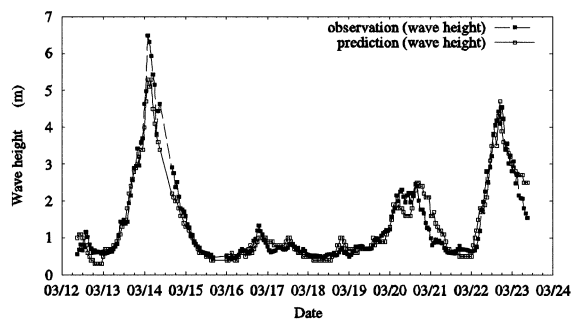
図-9 に HAGPV-SWAN における有義波高 (左図)、周期 (右図) の予測値と観測値の時系列を示す。表-1 に HAGPV-SWAN によって得られた有義波高および周期の観測値と予測値の相関係数を示す。これらより、十勝港と輪島港の有義波高の予測値のピークは、観測値と比較して2割程度小さく、輪島港では4割程度小さくなっている。これは HAGPV の風データの精度が悪かったためと思われる。三重尾鷲沖における予測値は観測値とほぼ一致していることがわかる。また、全観測点において相関係数は 0.95 以上と高く、時系列トレンドは概ね良好な結果が得られている。



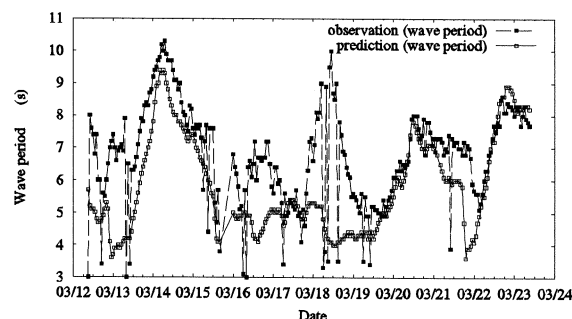
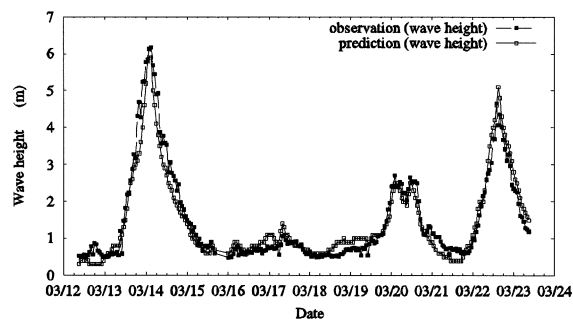
(a) 十勝港



(b) 輪島港



(c) 三重尾鷲沖



(d) 潮岬

図-9 波高と周期の予測値と観測値の比較

表-1 観測点における相関係数 (HAGPV-SWAN)

	有義波高	周期
十勝港	0.968	0.763
輪島港	0.957	0.763
三重尾鷲沖	0.960	0.758
潮岬	0.965	0.636

表-2 観測点における相関係数 (GFS-WRF-SWAN)

	有義波高	周期
十勝港	0.888	0.780
輪島港	0.963	0.938
三重尾鷲沖	0.917	0.105
潮岬	0.943	0.517

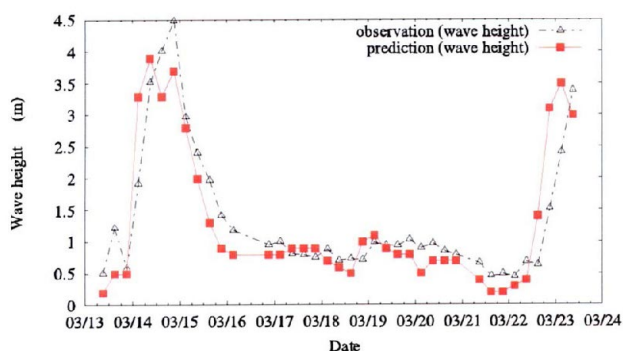


図-10 波高予測値と観測値の比較（十勝港）

周期については、Tracey ら⁵⁾と同じく、計算結果は全地点において、1 次のスペクトルモーメントを用いた平均周期の予測値であるため、時間波形から求めた有義波周期である観測値より小さくなっているが、時間的なトレンド対応は概ね良好な結果が得られている。

図-10 に十勝港における GFS-WRF-SWAN による波高の予測値と観測値の時系列を示す。なお、比較に用いた予測値は 6 時間おきに取得された GFS データを用いて WRF および SWAN によって計算を行った 24 時間後の値である。

表-2 に、表-1 と同様に、観測値と予測値の相関係数を示す。これより、24 時間予報においても、相関係数は安定して高く、予測値の値は観測値に近い結果が得られていることがわかる。

最後に、降雨の予測値と観測値の比較を行う。

図-11 に尾鷲における WRF による気象（気温、降水量）の予測値と観測値の時系列を示す。ここでは紙面の制限のため載せないが、全ての観測点において、気温における時系列トレンドの変化は概ね良好な結果が得られている。図-11 より、降雨の時間的な発現予測は概ね期待できるものの、量的な予測精度は十分と呼べるものではない結果となった。これはモデルで使用した地形データの解像度と観測器が設置されている場所、モデル計算の分解能、土地利用データ、物理過程オプションの設定、時間ステップの設定、初期値・境界値のデータ精度など種々の要因が考えられる。なお、現在、100m スケールの降雨と強風のシミュレーションを目指しており、WRF モデルを用いた 2008 年に神戸の都賀川で生じた集中豪雨の再現が概ねできている⁶⁾。

5. まとめ

本研究では、種々の気象観測・客観解析データをアーカイブし、それらを動的に処理することにより、最新の気象・水象モデルを有機的に稼働させるシステムの開発を行った。また予測計算結果をファイルサーバーにアーカイブすると同時に、数値情報をデータベース化し、Web 上からユーザが簡単に必要な情報を素早く取り出すためのシステムの開発を

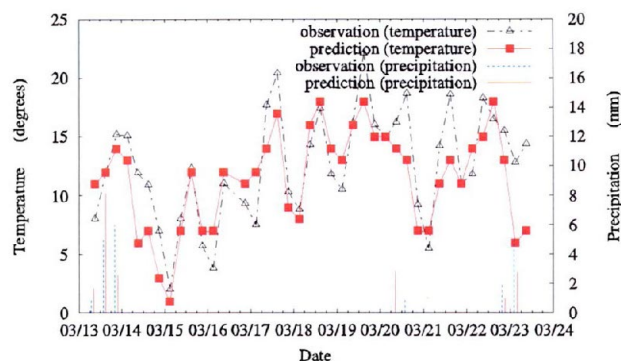


図-11 気温と降水量の予測値と観測値の比較（尾鷲）

行い、予測情報の Web ページへの表示を行った。また、Google Map API を用いて観測機器が設置されていない場所の気象・水象情報についてマウスを画面上にさせるだけで表示させる技術開発を行った。

予測精度の確認として、現在開発している HAGPV-SWAN および GFS-WRF-SWAN により気象・水象の予測結果を出力し、これらの予測結果を NOWPHAS および AMcDAS から得られる観測値と比較して、モデルの予測精度の検証を行った。その結果、HAGPV-SWAN システムによる 1 時間リアルタイム予測では、波の予測精度が極めて良好であることがわかった。また、GFS-WRF-SWAN システムの 24 時間後の予測値においては、気温・降雨の時間的な発現・波浪予測結果は良好であったものの、降雨の量的予測精度については改善の余地があることがわかった。

今後は予測モデルの高精度化と本研究をさらに発展させたユーザフレンドリーな表示システムを構築していく予定である。

本研究は、国土交通省建設技術研究開発助成制度による成果の一部であることを付記し、ここに感謝いたします。

参考文献

- 1) Skamarock, W. C., Klemp, J. B., Dudhia, J., Gill, D. O., Barker, D. M., Duda, M. G., Huang, X.-Y., Wang, W., & Powers, J. G.: A description of the Advanced Research WRF Version 3, NCAR/TN-475+STR, 113p, 2008.
- 2) Booij, N., L.H. Holthuijsen and R.C. Ris, The "SWAN" wave model for shallow water, Proc. 25th Int. Conf. Coastal Eng., Orlando, USA, 668-676, 1996.
- 3) 間瀬 肇, 木村雄一郎, Tracey H. Tom, 小川和幸: 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, 2005.
- 4) 間瀬 肇, 勝井伸悟, 安田誠宏, Tracey H. Tom, 小川和幸: GFS-WRF-SWAN システムによる 3 シーズンの波浪予測とシステムの検証, 海洋開発論文集, Vol. 22, pp.109-104, 2006.
- 5) Tracey H. Tom, 間瀬 肇, 安田誠宏: 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検証, 海岸工学論文集, 第 55 巻, pp.186-190, 2008.
- 6) 竹見哲也: 2008 年 7 月 28 日に近畿・北陸地方で発生した局所的豪雨の高解像度気象シミュレーション, 京都大学防災研究所年報, No.52, 2009 (印刷中)。