

海洋-大気-波-堆積物結合モデル COAWST を用いた播磨灘の気象流動場の推定と再現性評価

Assessment of Reproducibility of Estimation of Meteorological Flow Field in Harimanada Using COAWST: Coupled-Ocean-Atmosphere-Wave-Sediment Transport Modeling System

○安賀 優人(大阪大学) PINTOS Andreoli Valentina(大阪大学) 嶋寺 光(大阪大学)
 古賀 佑太郎(兵庫県環境研究センター) 松尾 智仁(大阪大学) 近藤 明(大阪大学)
 Hiroto YASUGA*¹ PINTOS Andreoli Valentina*¹ Hikari SHIMADERA*¹
 Yutaro KOGA*² Tomohito MATSUO*¹ Akira KONDO*¹
 *¹ Osaka University *² Hyogo Prefectural Institute of Environmental Sciences

Harimanada is in the eastern of the Seto Inland Sea, and it has been suggested that the reduction of nutrients in water negatively influences fishery. This study used the Coupled-Ocean-Atmosphere-Wave-Sediment Transport Modeling System (COAWST) to simulate meteorological fields over Harimanada and evaluated the validity of simulated meteorological variables to be exchanged to the ocean and wave models. The model system successfully simulated the meteorological fields, such as temperature, humidity, wind speed, and rainfall, indicating that they can be used to predict and assess oceanographic fields in the study region.

はじめに

瀬戸内海は紀伊水道、豊後水道および関門海峡で外海とつながる我が国最大の閉鎖性水域である。当海域では1960年代の高度経済成長期には陸域からの栄養塩類(窒素・リン)負荷の増大により水質が悪化し赤潮が頻発した。そこで環境省が1978年に瀬戸内海環境保全特別措置法で排水規制を行った結果、1980年代に溶存無機態窒素(DIN)濃度は大きく減少した。一方、1990年代から瀬戸内海東部の播磨灘においてイカナゴ類やイワシ類に代表される漁獲量の減少も確認されている。DINをはじめとする栄養塩は、海洋生物の餌である植物プランクトンの成長に必須である。そのため、栄養塩濃度の低下が、漁獲量の減少につながっているとの指摘もある¹⁾。そこで、播磨灘東部海域に面する兵庫県では「豊かで美しい瀬戸内海の再生」をかかげ、栄養塩類管理計画を策定している²⁾。しかし、海域中の栄養塩類は、植物プランクトン等の生態系に形態を変化させながら取り込まれるなど、複雑に循環しているため、その動態については不明な部分が多い。そのため、適切に栄養塩類を管理するための栄養塩類量の動態解析が必要である。このような環境動態を予測するためには数値モデルの利用が有効である。播磨灘のような浅海域の海水流動は摩擦速度、潜熱、及び顕熱フラックスなどが影響するなど³⁾大気環境と密接に相互作用している。そのため、正確な海洋のシミュレーションのためには、正確な気象場の再現が不可欠である。

そこで本研究では高解像度のシミュレーションが可能である海洋-大気-波-堆積物結合モデル COAWST

(Coupled-Ocean-Atmosphere-Wave-Sediment Transport Modeling System) を用いて播磨灘における栄養塩類の動態解析を最終的な目標として、まずは気象の予測精度を検証するため、COAWST内の気象モデル WRF の再現性の評価を行った。

1. モデル概要

COAWSTの概要を Fig.1 に示す⁴⁾。気象場の計算には気象モデル WRF (Weather Research and Forecasting model)、海洋場の計算には ROMS (Regional Ocean Modeling System)、波浪場の計算には SWAN (Simulating Waves Nearshore) が用いられている。また、堆積物輸送モデルは ROMS に統合されている。そしてこれらのモデルがモデル結合ツールキットによって結合され、様々な変数が送受信され計算が行われる。各モデル間で送受信される変数を Table 1 に示す⁴⁾。

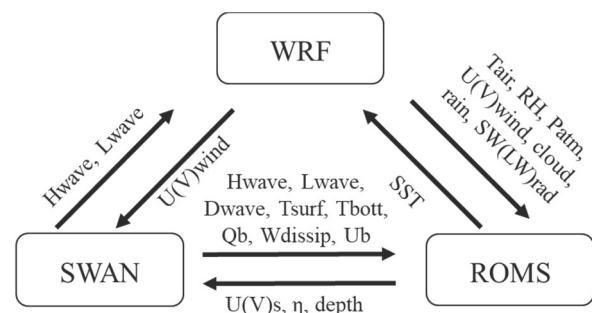


Fig.1 Overview of COAWST and variables⁴⁾

Table 1 Variable description in Fig.1⁴⁾

	Symbol	Explanation
WRF→ROMS	Tair	temperature
	RH	relative humidity
	Patm	atmospheric pressure
	U(V)wind	East-West(North-South) wind speed
	cloud	cloud ratio
	rain	Precipitation
WRF→SWAN	SW(LW)rad	short wave(long wave) net heat fluxes
	SW(LW)rad	short wave(long wave) net heat fluxes
ROMS→WRF	SST	sea surface temperature
ROMS→SWAN	U(V)s	East-West(North-South) surface currents
	η	free surface elevation
	depth	bathymetry
SWAN→WRF	Hwave	wave height
	Lwave	wave length
SWAN→ROMS	Hwave	wave height
	Lwave	wave length
	Dwave	wave direction
	Tsurf	surface periods
	Tbott	bottom periods
	Qb	percent wave breaking
	Wdissip	wave energy dissipation
	Ub	bottom orbital velocity

2. 計算条件

2.1 大気モデル

本研究では COAWST のバージョン 3.7 および WRF のバージョン 4.2.2 を使用した。

計算条件を Table 2 に示す。

Table 2 Calculation condition

Item	Detail	
Horizontal grid (resolution)	219×179 (3 km)	
Vertical grid	50	
Timestep	20 s	
Initial and boundary condition	NCEP_CFSR (6h, 0.3°)	
Physics option		
1	Microphysics option	Morrison 2-moment scheme
2	Cumulus option	no cumulus
3	PBL option	YSU scheme
4	Land-surface option	Noah LSM
5	Radiation option	rrtmg scheme

2.2 計算領域・計算期間

計算領域および観測地点（気象官署）の位置を Fig.2 に示す。解析対象期間は 2010 年 10 月 1 日から 2010 年 10 月 30 日までとした。

2.3 計算項目

COAWST 内の気象モデル WRF によって計算された気温 (Tair), 比湿 (SH), 東西風速 (Uwind), 南北風速 (Vwind), 大気圧 (Patm), 降水量 (rain), 日射量 (SWrad) を気象観測月報⁶⁾より入手した観測値と時系列変化を比較し, 統計指標および空間分布についても検討を行うことによってモデルの再現性評価を行い, 播磨灘周辺における気象場の推定を行った。

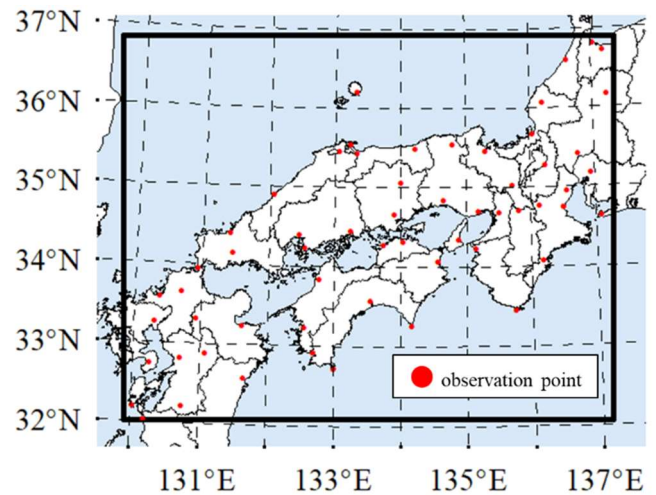


Fig.2 Calculation domain and observation point

3. 結果および考察

Tair, SH, Uwind, Vwind, Patm, rain, SWrad の全観測地点の平均値と計算値の計算領域全体の平均値の時系列変化を Fig. 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 に示す。全期間の全観測地点におけるそれらの観測値と計算値の平均値および統計指標を Table 3 に, また Emery らによる統計指標のベンチマークを Table 4 に示す⁵⁾。Fig.3 より気温が下がる夜間と, 前線の影響で実際の気温が下がった降水があった期間 (10/3, 10/8-10/9, 10/24-10/25) の日中はやや過大評価が見られ, Table 4 の MBE のベンチマークを満たさない結果となった。しかし, モデル計算値は観測値の時間変動を捉え他のベンチマークを満たし R が 0.9 と強い相関を示しているため, 気温の推移をよく再現できているといえる。Fig. 4 より, 比湿のモデル計算値は 10/11-10/20 に過小評価が見られたがおおむね観測値の時間変動を捉えている。また Table 3 および Table 4 より, すべてのベンチマークを満たしているため計算領域の湿度を良好に再現している。Fig.5 および Fig.6 より東西風速および南北風速のモデル計算値は観測値の時間変動を捉えている。また Table 3 および Table 4 より, 風速はすべてのベンチマークを満たしているため計算領域の風速を良好に再現している。Fig.7 より, 大気圧の計算値は観測値の時間変動を捉えている。Fig.8 より, 計算値は降水イベントをよく再現しているが大きな降水イベント中 (10/3, 10/8-10/9) の降水量についてはやや過小評価がみられた。Fig.9 より, 日射量については 10/3 や 10/9 などの雨天時も含めて正確に再現できていることがわかる。このことから雲の割合の再現性についても良好であることがわかる。

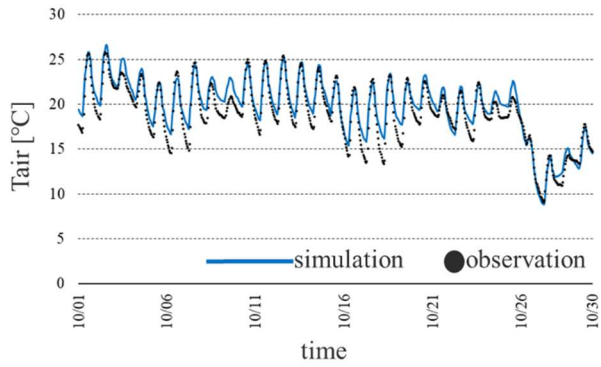


Fig.3 Hourly time series of spatially averaged Tair

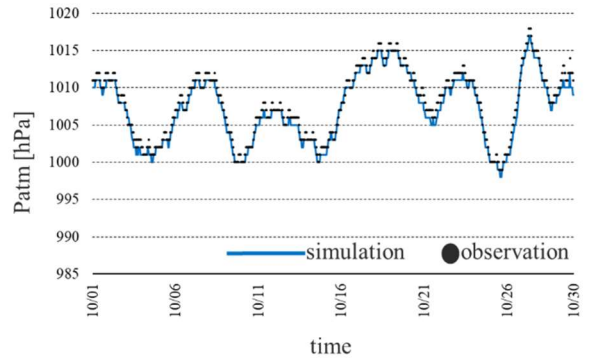


Fig.7 Hourly time series of spatially averaged Patm

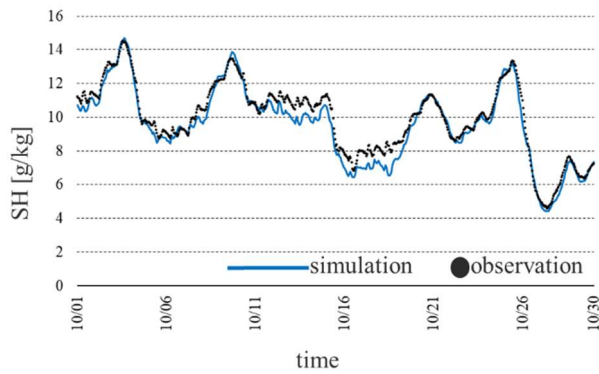


Fig.4 Hourly time series of spatially averaged SH

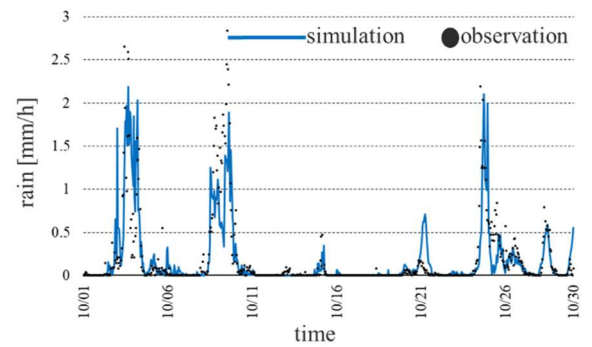


Fig.8 Hourly time series of spatially averaged rain

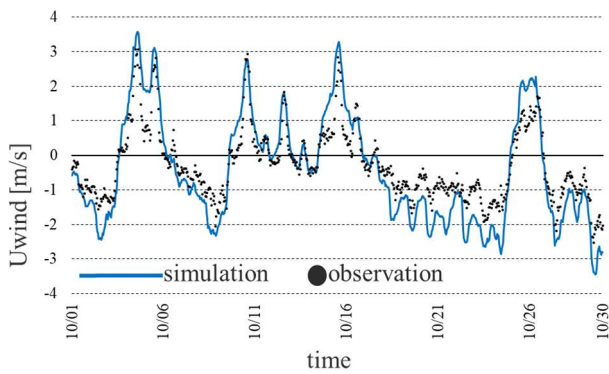


Fig.5 Hourly time series of spatially averaged Uwind

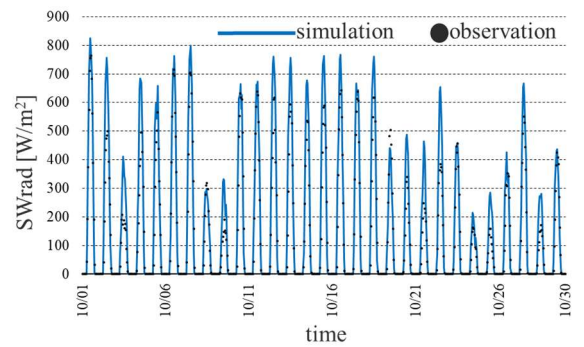


Fig.9 Hourly time series of spatially averaged SWrad

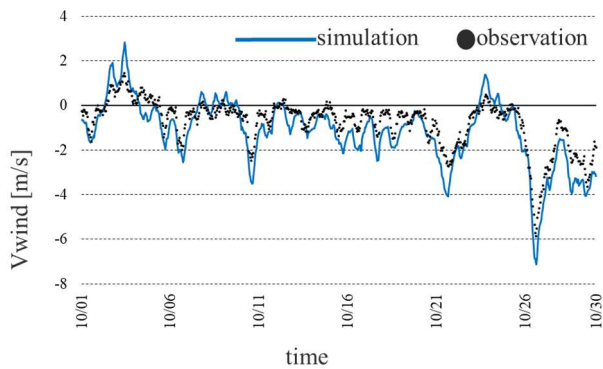


Fig.6 Hourly time series of spatially averaged Vwind

全期間の気温および風速の空間分布を Fig.10 および Fig.11 に示す。Fig.10 より、陸域では標高に応じて気温が低下しているが、瀬戸内海や太平洋では気温がほぼ一定であるなど、海上の気温分布の傾向をよく表現できている。また、Fig.11 より、陸域に比べて地表粗度の小さい海上では風速が大きくなっているなど、海上の風速の特徴をよく表現できている。また周囲を中国山地と四国山地に囲まれている瀬戸内海は太平洋や日本海と比べ、風速が小さくなっていることもわかる。

以上の結果より、COAWST 内の気象モデル WRF は気象場をよく再現しており、海洋場を計算するために使用される WRF の結果が信頼できるものであることが示された。

Table 3 Statistical indicators of variables

	number of data	Observation mean	Calculated mean	R	MBE	MAE	RMSE	IA
T _{air} [°C]	35486	19.0	19.8	0.90	0.78	1.51	1.93	0.94
SH [g/kg]	35435	9.93	9.57	0.90	-0.36	0.89	1.17	0.94
WS [m/s]	35483	2.52	2.87	0.63	0.34	1.19	1.61	0.78
P _{atm} [hPa]	35492	1007.93	1007.31	0.97	-0.62	3.39	4.92	0.98
rain [mm/h]	35408	0.19	0.18	0.27	-0.01	0.25	1.49	0.44
SWrad [W/m ²]	11134	129.40	160.30	0.89	30.90	57.69	117.61	0.93

Table 4 Benchmark of meteorological element⁵⁾

Meteorological element	Benchmark
Temperature	MBE < 0.5 °C MAE < 2 °C IA > 0.8
SH	MBE < 1 g/kg MAE < 2 g/kg IA > 0.6
Wind speed	MBE < 0.5 m/s RMSE < 2 m/s IA > 0.6

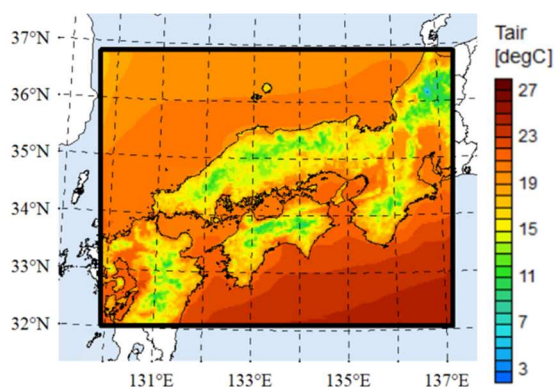


Fig.10 Spatial distribution of the estimated temperature in the domain

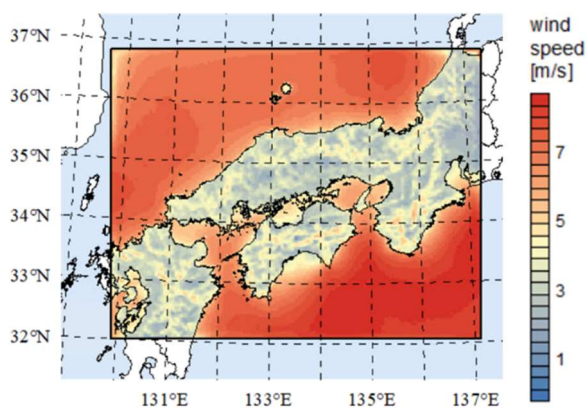


Fig.11 Spatial distribution of the estimated wind speed in the domain

4. 結論

本研究では、COAWST を用いた播磨灘周辺域における気象場の推定および再現性評価を行った。その結果、以下のような結論を得た。

- 1) COAWST 内の気象モデル WRF から海洋モデル ROMS および波浪モデル SWAN に送信される気温、湿度、風速、大気圧、降水量、日射量の時間変動および気温と風速の空間変動について精度よく計算でき、海洋場の計算に使用できる可能性が示された。
- 2) COAWST 内の気象モデル WRF は瀬戸内海周辺の気象場を良好に再現した。

参考文献

- 1) 山本民次, 瀬戸内海の貧栄養化について (再考), 日本マリネエンジニアリング学会誌, 第 49 巻, 第 4 号, 2014.
- 2) 兵庫県栄養塩類管理計画～豊かで美しい里海を目指して～-兵庫県環境部
https://www.kankyo.pref.hyogo.lg.jp/mizu_dojoleg_249/22996
(accessed 11 February 2023) .
- 3) 村上智一, 川崎浩司, 山口将人, 水谷法美, 気象場に支配される伊勢湾を対象とした大気-海洋-波浪結合モデルの精度検証, 海洋開発論文集, 第 22 巻, 2006.
- 4) John C. Warner, Brandy Armstrong, Ruoying He, Joseph B. Zambon, Development of a Coupled Ocean–Atmosphere–Wave–Sediment Transport (COAWST) Modeling System, Ocean Modelling 35, pp. 230–244, 2010.
- 5) Emery C., Tai E, Yarwood G. Enhanced Meteorological Modeling and Performance Evaluation for Two Texas Ozone Episodes, Prepared for The Texas Natural Resource Conservation Commission 12118 Park 35 Circle Austin, Texas 78753. 2001.
- 6) 一般財団法人 気象業務支援センター. 気象観測月報,
<http://www.jmbc.or.jp/jp/offline/cd0061.html> (accessed 13 February 2023)