

# 気象の局地性に着目した沿岸域の流動シミュレーションによる沿岸環境の解析

Analysis of coastal environment by numerical simulation of coastal area focusing on locality of meteorology

国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所港湾空港技術研究所  
主任研究官 松崎義孝

## (研究計画ないし研究手法の概略)

### 【目的】

伊勢湾や東京湾のような内湾の流動・水質の数値シミュレーションを正確に行うには風向風速や気温といった大気の状態(大気境界条件)を正確に設定することが極めて重要となる。大気境界条件は気象庁の計算したシミュレーション結果や空間補間された AMeDAS 観測値を使用して作成することが一般的であるが、内湾のシミュレーションには解像度が粗い可能性がある。本研究では気象モデル WRF(Weather Research and Forecast[1])から得られる高解像度で高精度な気象シミュレーション結果から、従来手法と WRF をそれぞれ大気境界条件に使用した場合に、流動シミュレーション結果がどういった点で異なるかについて着目して解析を行う。

### 【方法】

#### (1) 気象

伊勢湾を対象とし、1年5か月間を対象とした WRF による気象シミュレーションを実施した(表 1、表 2)。シミュレーションモデルは WRF を日本向けに最適化した入力ファイルに変更した WRFsystem[2]を使用した。WRF による気象シミュレーションの評価は伊勢湾と三河湾のモニタリングポストで観測された気温と風速と比較して行った。また、MSMGPV、LFMGPV についても併せて比較し、精度の優劣と傾向を検証した。精度は評価指標[3, 4]によって評価した。評価指標のうち、最も優先(重要視)する指標は[3]に従い平均二乗誤差(MSE)、あるいは MSE の平方根である RMSE とした。

#### (2) 流動

GPVMSM、GPVLFM、AMeDAS の空間補間値、及び WRF の気象シミュレーションを基にした大気境界条件をそれぞれ作成し、伊勢湾を対象とした海水の流動シミュレーションの感度解析を実施した(表 3)。流動シミュレーションモデルは EcoPARI-simulator[5]を使用した。伊勢湾を対象に水平方向に 800 m、鉛直方向に 32 層でシミュレーションの計算領域を設定した。流動シミュレーションの結果は、流速については海洋レーダの観測値と比較した。水温については、流動シミュレーション結果同士及び、モニタリングポストの観測値と比較した。

表 1 WRFsystem による気象シミュレーションの条件

項目	設定値	備考
計算期間 (JST)	2020 年 11 月 1 日～2022 年 3 月 31 日	1 年 5 か月
スピナップ時間	3 時間	WPS は前日の 00:00 (UTC) から
ネスティング方法	3 段階の双方向ネスティング	最小 800m 格子
大気境界条件	MSMGPV	3 時間毎
地表面境界条件	NCEPGFS	6 時間毎
陸地条件	国土地理院の高度、土地利用データ	
海水温	JMA-OCNRjp2km	1 日毎

表 2 本研究に使用した気象と水温のデータセット

データ名称	略称	格子サイズ	解析値 (初期値) の時間解像度
メソ数値予報モデル GPV (MSM)	GPVMSM	5 km	3 時間
局地数値予報モデル GPV (LFM)	GPVLFM	2 km	1 時間
National Centers for Environmental Prediction operational Global Forecast System analysis and forecast grids	NCEPGFS	0.25 degree	6 時間
日本沿岸海況監視予測システム GPV (日本近海域)	JMA-OCNRjp2km	2km	1 日

表 3 EcoPARI-simulator による流動シミュレーションの条件

項目	設定値	備考
計算期間 (JST)	2020 年 11 月 1 日～2022 年 3 月 31 日	1 年 5 か月
スピナップ時間	3 時間	WPS は前日の 00:00 (UTC) から
ネスティング方法	3 段階の双方向ネスティング	最小 800m 格子
大気境界条件	GPVMSM、GPVLFM、AMeDAS の空間補間値、及び WRF の気象シミュレーションをそれぞれ使用	感度解析
地表面境界条件	NCEPGFS	6 時間毎
陸地条件	国土地理院の高度、土地利用データ	
海水温	JMA-OCNRjp2km	1 日毎

### (実験調査によって得られた新しい知見)

#### (1) 気象

まず気象モデルの GPVMSM と WRF について、沿岸域の風況計算結果 (図 1) を概観すると、海上と陸上では風速の大きさが異なり、海岸線付近では風速変化が大きい。次に気象モデル WRF、MSMGPV、LFMGPV の評価指標の 7 地点平均値を比較する (表 4)。気温につい

て、*MSE* は WRF が最も高く、相対的に精度が高いと判断される。バイアス (*MB*) とエネルギーの大きさ (*SDE*) は WRF の精度が高く、パターン (*CC*) は LFM の精度が高い。*MSE* は LFM が最も高く、相対的に精度が高いと判断される。エネルギーの大きさ (*SDE*) は WRF のほうが相対的に有利、バイアス、パターン (*CC*) は LFM のほうが相対的に有利である。WRF と MSM では WRF の精度が高いと判断される。よって、ダウンスケーリングシミュレーションは適切に実施できていると判断される。風速の精度が LFM よりも WRF が低かった理由は以下の通りと考察している。WRF シミュレーションは MSMGPV を大気境界条件と四次元同化(Four Dimensional Data Assimilation、FDDA、内部拘束ともいう)に使用しており、四次元同化を行うことで四次元同化を行う前よりも精度が高まることは確認済みである[2]。ここで、MSMGPV から LFMGPV に切り替えた際に、必ずしも風速の精度が改善するわけではないという先行研究[6]があったことから、WRF シミュレーションの入力に我々が使用実績のあった MSM を選択した。MSM よりも時空間分解能が高く、海上の気温と風速の精度が高い LFM を境界条件と FDDA に使用することで WRF の精度が高まる可能性があり、今後 LFM を使用した WRF シミュレーションを実施し、精度検証を行う必要があると考えられる。

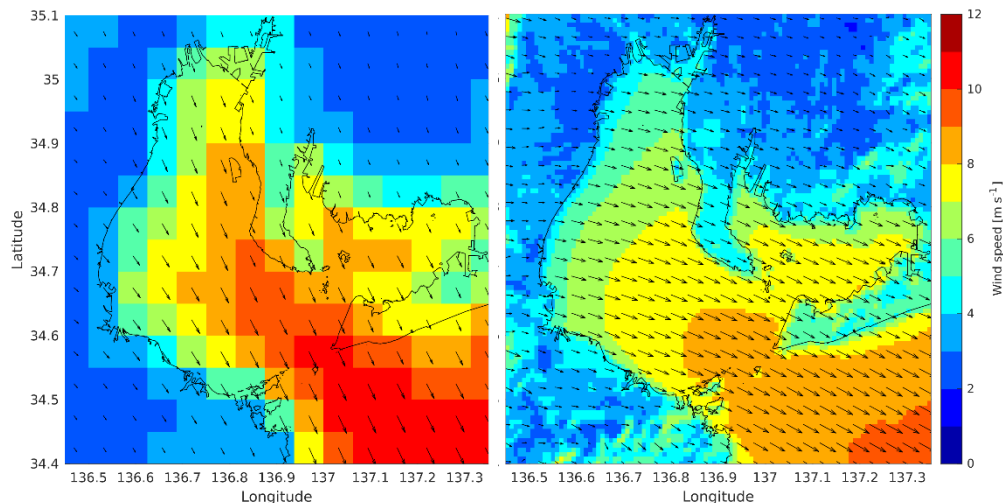


図 1 気象モデルによる伊勢湾の平均風速分布の例。右：GPVMSM、左：WRF。黒線が海岸線、黒矢印の向きと大きさが風向と風速、色が風速を表す。期間は 2016 年 1 月の 1 か月間。海上と陸上では風速の大きさが異なり、海岸線付近では風速変化が大きい。

表 4 モニタリングポスト観測値と各気象モデルの結果の気温と風速の評価指標の平均値。最も評価指標の良い値は太字で記載している。

評価指標	気温			風速		
	WRF	GPVLFM	GPVMSM	WRF	GPVLFM	GPVMSM
<i>MB</i>	<b>0.2</b>	0.6	0.4	1.02	<b>0.29</b>	1.26
<i>CC</i>	0.989	<b>0.993</b>	0.990	0.77	<b>0.81</b>	0.78
<i>SDE</i>	<b>-0.13</b>	-0.26	-0.41	<b>-0.09</b>	-0.16	0.24
<i>MSE</i>	<b>1.26</b>	1.32	1.52	6.49	<b>5.15</b>	7.35

## (2) 流動

海洋レーダ観測値と EcoPARI-simulator による流動シミュレーションを比較したところ、数値モデルを使用した大気境界条件を与えている結果については定性的に同様である。一方で AMeDAS の空間補間値を使用した場合の  $RMSE$  は CaseBase、CaseMSM、CaseWRF と比較して悪く、気象モデルを使用したほうが流速の再現性が高まる。

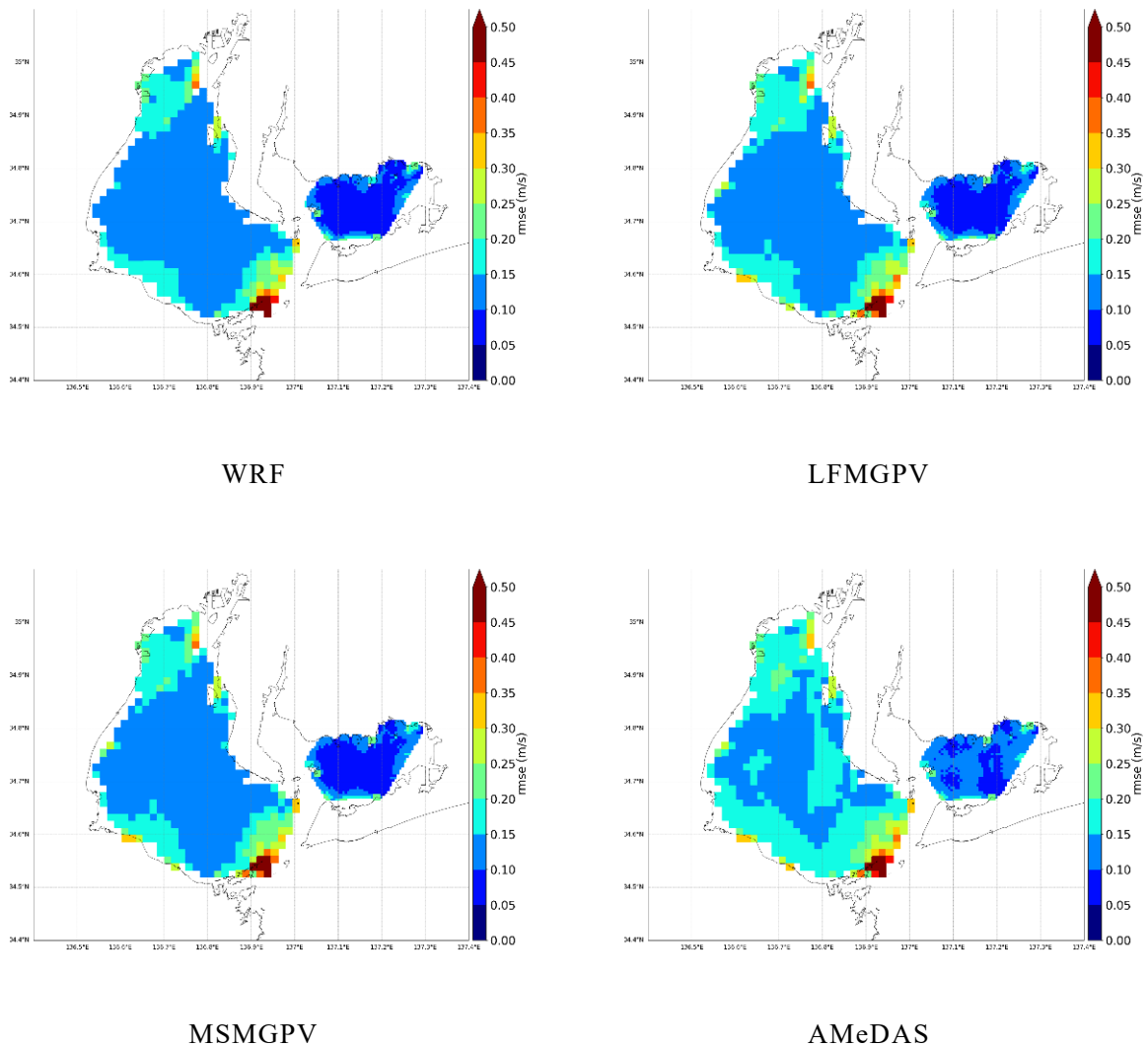


図 2 海洋レーダ観測値と比較したシミュレーション結果の評価指標 ( $RMSE$ )

流動シミュレーションで計算された表層水温を比較したところ、三河湾に設置されている連続観測ブイ（三河湾 1 号ブイ）において LFMGPV を用いた場合は 10 月から 4 月頃にかけて観測値よりも流動シミュレーション結果が高い傾向にあるが、WRF を用いた場合はそのバイアスが修正される（図 3）。湾全体でも冬季において WRF を用いたほうが LFMGPV を用いた場合よりも流動シミュレーションの水温が低く、特に三河湾側で低いことが分かる（図 4）。数値で比較すると、WRF を用いた場合は LFMGPV 及び MSMGPV を用いた場合よりもバイアスが改善することがわかる。WRF を用いた場合に水温の再現性が良くなる原因については現在調査中であり、結果がまとまり次第研究論文として報告する。

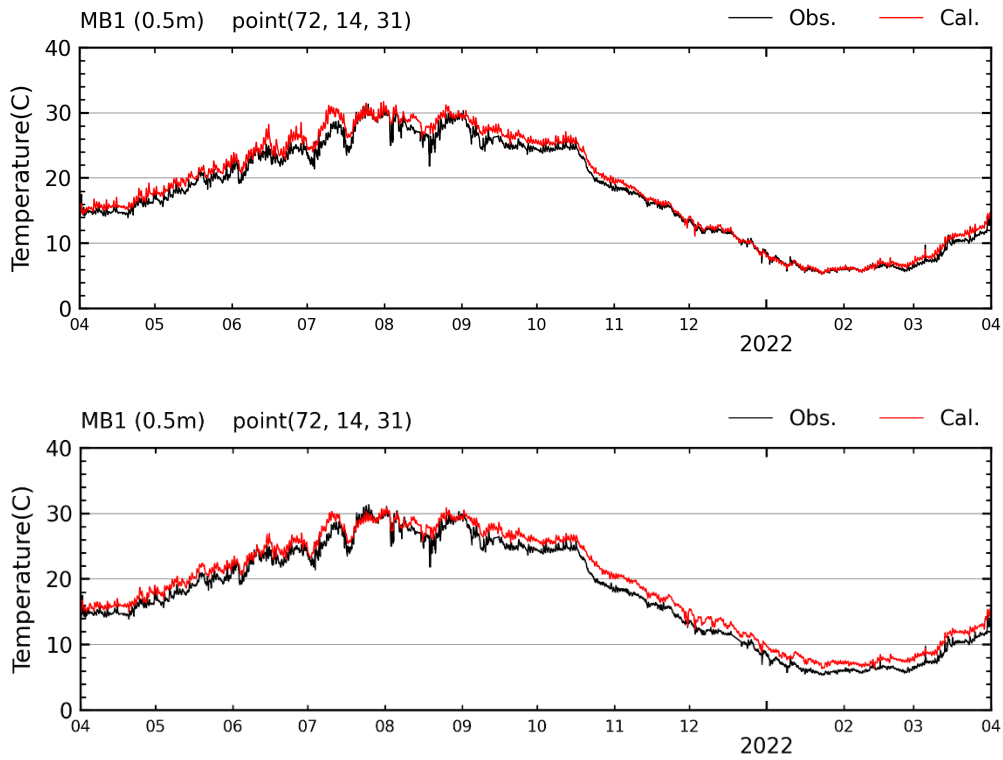


図 3 三河湾 1 号ブイにおける表層水温の時系列図。上：黒線は観測値、赤線は WRF を用いた流動シミュレーション。下：黒線は観測値、赤線は LFMGPV を用いた流動シミュレーション。

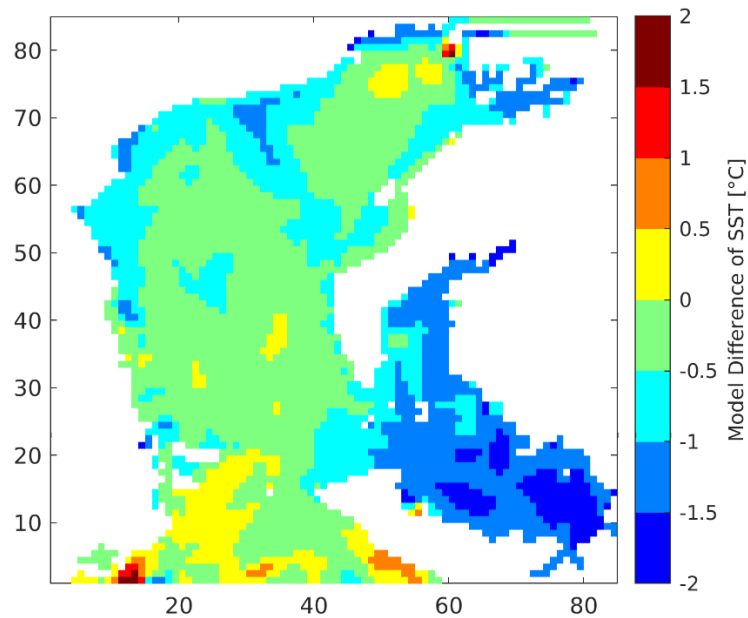


図 4 2022 年 1 月 1 日の WRF を使用した流動シミュレーションと LFMGPV を使用した流動シミュレーションの水温の差。暖色は WRF を使用した場合の水温が高いことを表し、寒色は水温が低いことを表す。

表 5 2022 年 1 月 1 か月間の流動シミュレーション結果と観測値のバイアス

	WRF	LFMGPV	MSMGPV
三河湾 1 号ブイ	0.06	1.44	0.86
三河湾 2 号ブイ	-0.06	1.06	0.48
三河湾 3 号ブイ	0.66	1.68	0.91

( 発 表 論 文 )

無し。ただし、以下の内容で本研究成果の一部を口頭発表する予定である。

松崎義孝、井上徹教、松本大輝、久保田雅也、伊勢湾の海洋レーダ観測値による数値シミュレーションの流向流速の定量的評価、第 70 回海岸工学講演会、土木学会、2023 年 11 月

参考文献

1. Skamarock, W., Klemp, J., Dudhia, J., Gill, D., Barker, D., Wang, W., Huang, X.-Y., Duda, M.: A Description of the Advanced Research WRF Version 3. (2008). <https://doi.org/10.5065/D68S4MVH>.
2. Matsuzaki, Y., Fujiki, T., Kawaguchi, K., Inoue, T., Iwamoto, T.: Application of the WRF model to the coastal area at Ise Bay, Japan: evaluation of model output sensitivity to input data. *Coastal Engineering Journal*. 63, 17–31 (2021). <https://doi.org/10.1080/21664250.2020.1830485>.
3. Oke, P.R., Allen, J.S., Miller, R.N., Egbert, G.D., Austin, J.A., Barth, J.A., Boyd, T.J., Kosro, P.M., Levine, M.D.: A Modeling Study of the Three-Dimensional Continental Shelf Circulation off Oregon. Part I: Model–Data Comparisons. *J. Phys. Oceanogr.* 32, 1360–1382 (2002). [https://doi.org/10.1175/1520-0485\(2002\)032<1360:AMSOTT>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0485(2002)032<1360:AMSOTT>2.0.CO;2).
4. Murphy, A.H.: Climatology, Persistence, and Their Linear Combination as Standards of Reference in Skill Scores. *Wea. Forecasting*. 7, 692–698 (1992). [https://doi.org/10.1175/1520-0434\(1992\)007<0692:CPATLC>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0434(1992)007<0692:CPATLC>2.0.CO;2).
5. 田中陽二、鈴木高二郎: 密度流湧昇流の計算を目的とした三次元沿岸域流動モデルの開発について. *港湾空港技術研究所報告*. 49, 3–25 (2010).
6. Misaki, T., Ohsawa, T., Konagaya, M., Shimada, S., Takeyama, Y., Nakamura, S.: Accuracy Comparison of Coastal Wind Speeds between WRF Simulations Using Different Input Datasets in Japan. *Energies*. 12, 2754 (2019). <https://doi.org/10.3390/en12142754>.