

視線方向流速を活用した 4次元変分法による沿岸近傍の流動場推定

Estimate of Coastal Current Field using 4DVAR
with Radial Velocity Measured by an Ocean Radar

○岡田輝久・坂井伸一・坪野考樹

一財) 電力中央研究所 環境科学研究所

海洋レーダ研究集会 @ 九州大学応用力学研究所

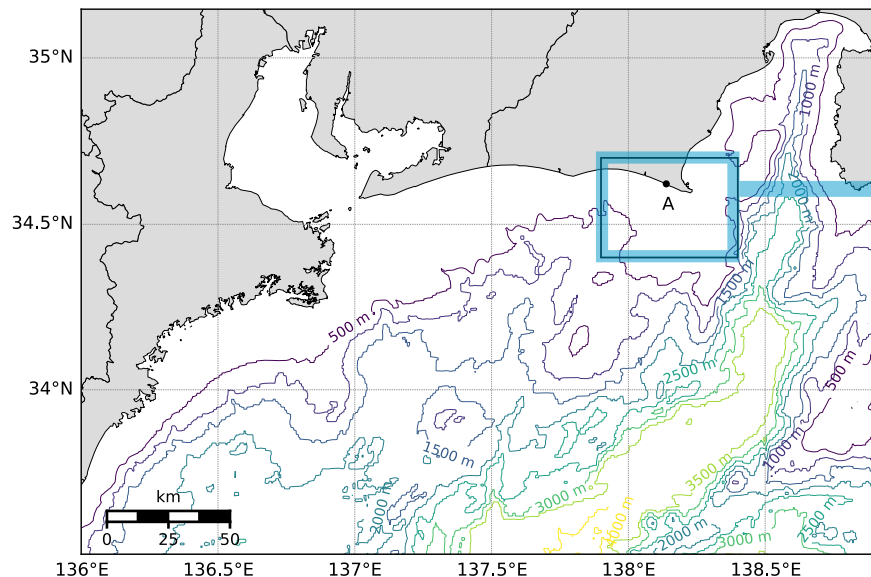
2018-12-12

はじめに

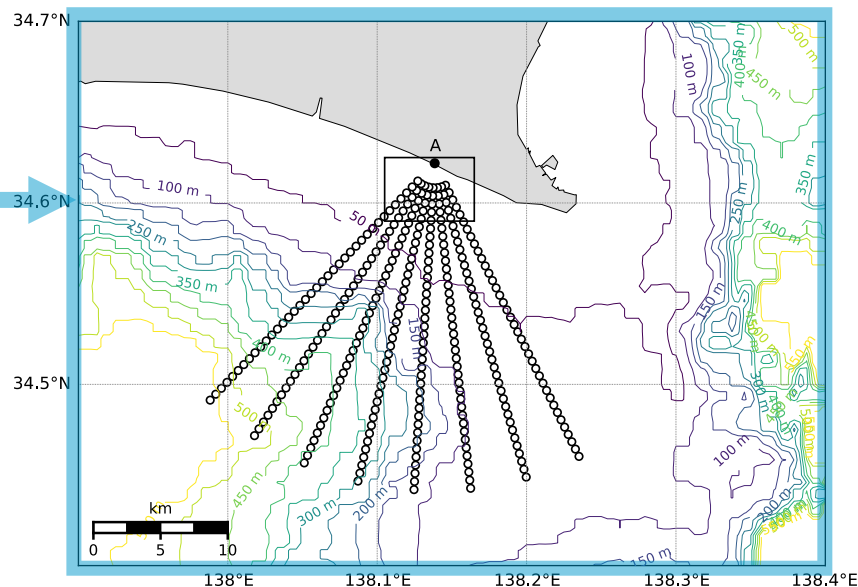
- 海洋レーダの活用：温排水拡散域の予測・評価
 - 発電所の新規建設・リプレイス（更新）前の環境アセスメントや運開後のモニタリングにおける流動観測
 - 連続観測が可能、傭船が不要 → 効率化・低コスト化
- 課題
 - 発電所近傍域（～2km）が観測できない（視線流速でも近傍1.5kmまで）
 - 2局以上のレーダ設置が必要（設置用地の確保）
 - ベクトル合成による誤差の扱い
- 目的
 - 海洋レーダでは観測できない領域（発電所近傍域など）の流動場を推定する手法を開発する
 - 1局の視線流速データを領域海洋モデルに同化し、流動場を推定する手法について検討する

Study area and Observations

E1(助走計算用)



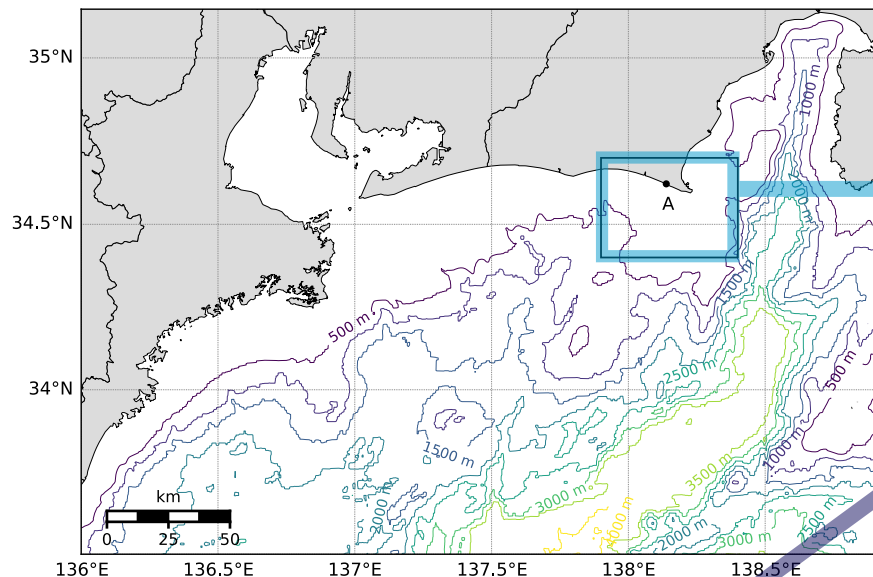
E2(同化計算用)



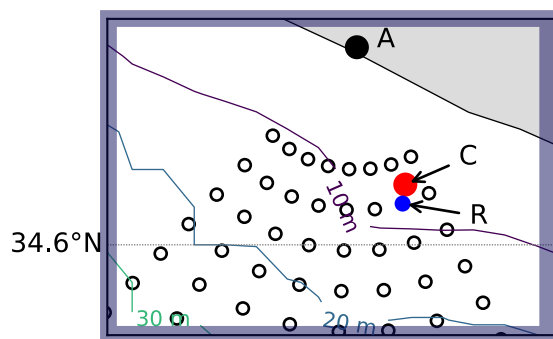
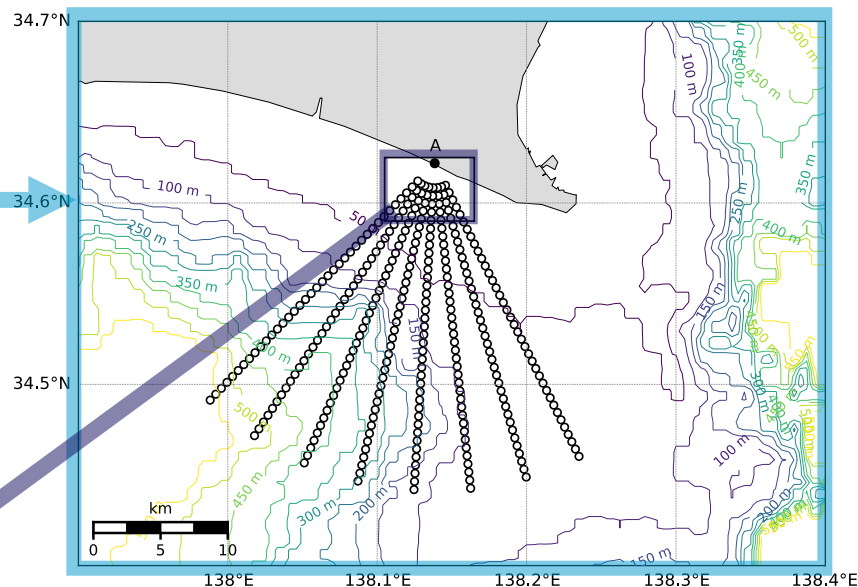
○: 海洋レーダによる視線流速の測点
(同化用, 水深0.3m, 10分毎)

Study area and Observations

E1(助走計算用)



E2(同化計算用)



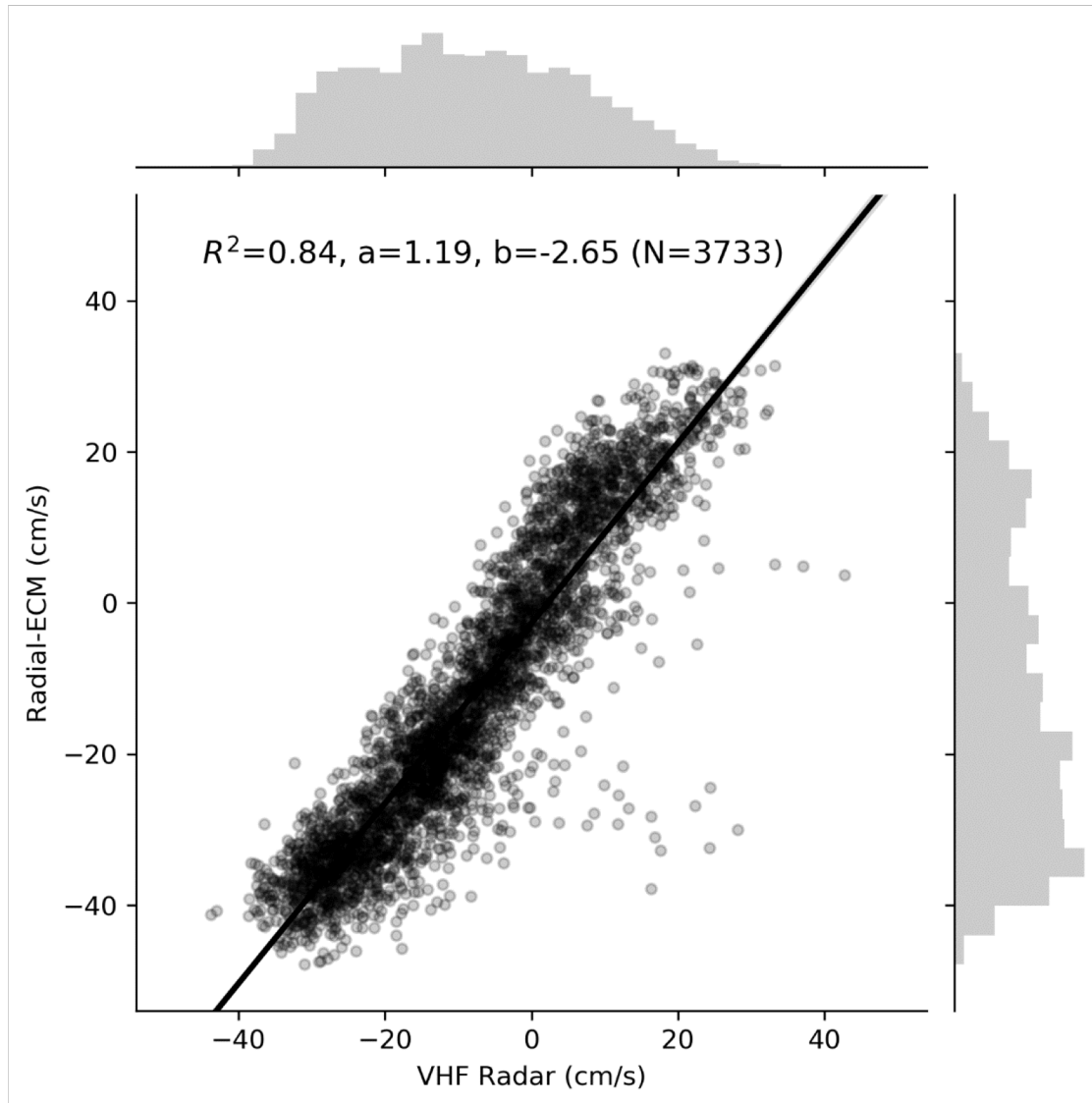
レーダ局(点A)周辺の拡大図

○: 海洋レーダによる視線流速の測点
(同化用, 水深0.3m, 10分毎)

●: 電磁流速計(EM)の係留地点(C)
(検証用, 水深2m)

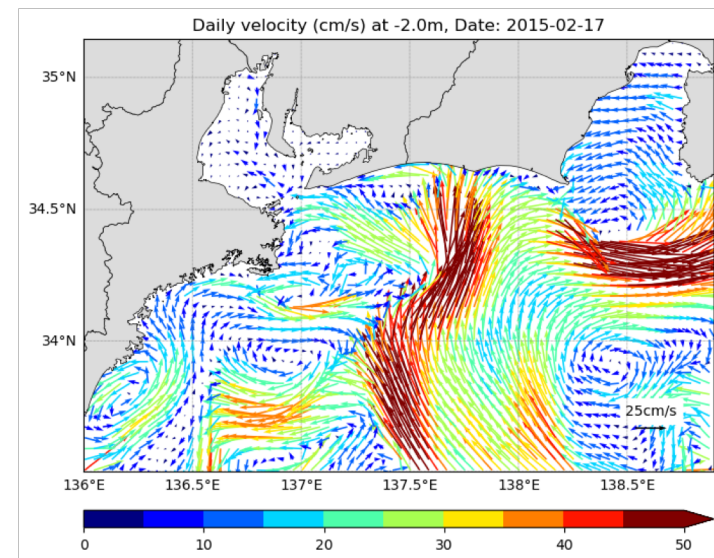
●: 電磁流速計に最も近い海洋レーダの測点(R)

Radar vs. EM (radial-space)

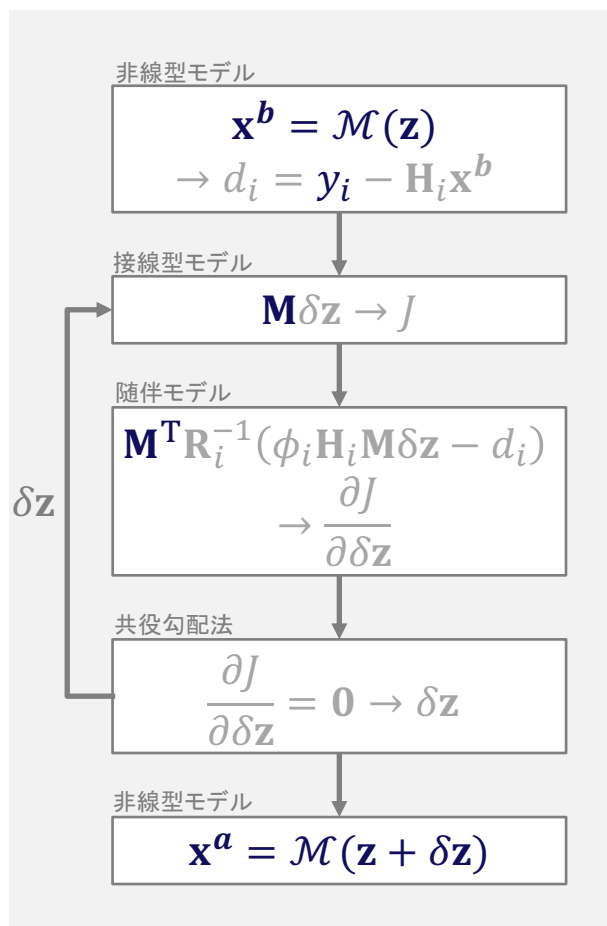


Calculation conditions

- Numerical model: **ROMS** (Shchepetkin et al., 2005)
 - 静水圧・Businessq近似・地形追従型の準3次元流動モデル
 - 乱流モデル: Mellor and Yamada Level 2.5 Closure
 - 水平解像度: $1/240^\circ$ (約450m), 鉛直S-座標: 20層
 - 1way nesting: E1→E2
- Lateral boundary: **JCOPE2** ($1/12^\circ = 10 \times 10$ km) (Miyazawa et al., 2009)
- Surface forcing: **NuWFAS** (5×5 km) (橋本ら, 2010)
- Calculation period
 - 助走計算: 2015年2月1日～11日
 - 同化計算: 2015年2月11日～18日
- Assimilation window: 24-hour (x 7days)
- Control variables:
 - Initial, Boundary, and Forcing for E2



Data Assimilation: 4D-Var (adjoint method)



4次元変分法の計算フロー

- 時空間分布(4次元)観測データに整合するように計算条件($\mathbf{z}$)を適切に修正する手法
 - 評価関数 J を最小化するため
 - 接線型モデル $\mathbf{M}$ (微小変動(修正量)の後方積分)
 - アジョイントモデル $\mathbf{M}^T$ (ミスフィットの前方積分)
- を用いた反復計算を行う

$$J(\delta \mathbf{z}) = \frac{1}{2} \delta \mathbf{z}^T \mathbf{B}^{-1} \delta \mathbf{z} + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{N_{obs}} (\phi_i \mathbf{H}_i \mathbf{M} \delta \mathbf{z} - d_i)^T \mathbf{R}_i^{-1} (\phi_i \mathbf{H}_i \mathbf{M} \delta \mathbf{z} - d_i)$$

修正の大きさ 観測データとの近さ

2成分流速→視線流速への変換 (Sun and Crook, 1997)

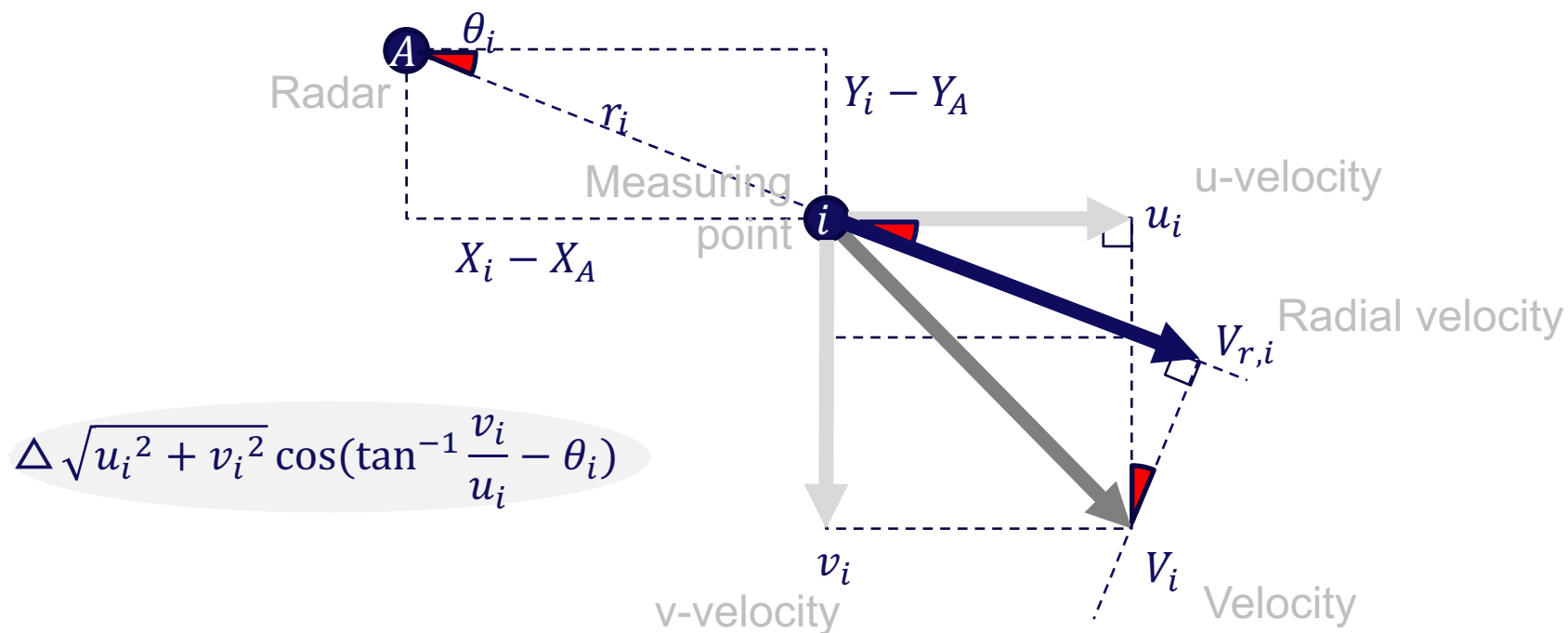
$$V_{r,i} = \phi_i(u_i, v_i) = u_i \frac{X_i - X_A}{r_i} + v_i \frac{Y_i - Y_A}{r_i}$$

Converting function from u, v to radial velocity

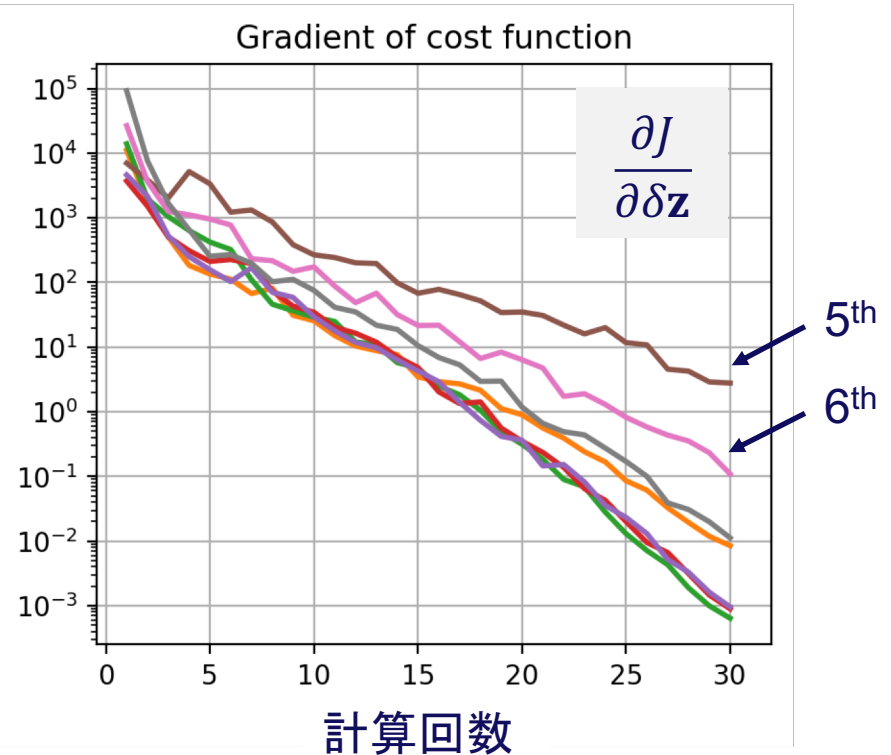
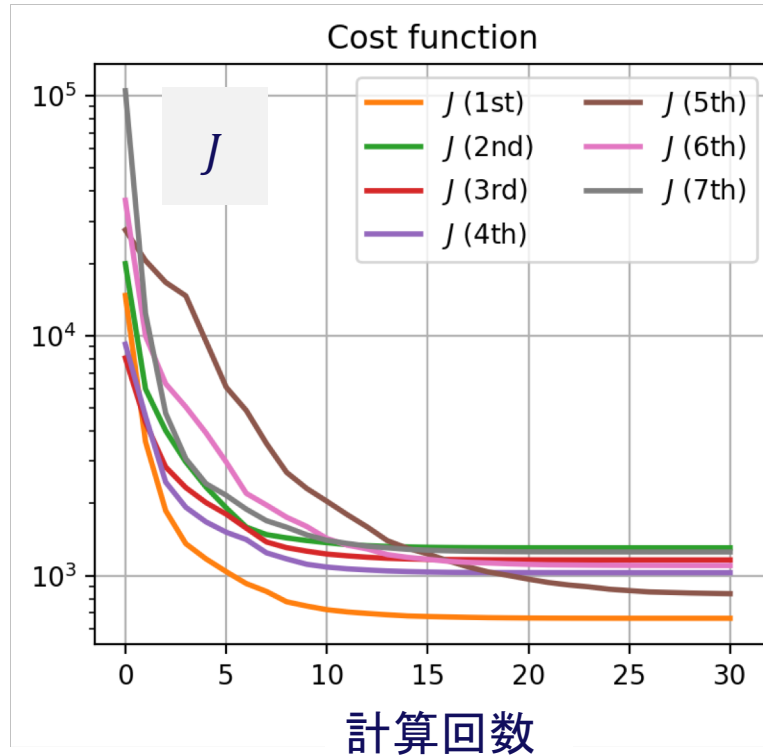
2成分流速→視線流速への変換 (Sun and Crook, 1997)

$$\odot V_{r,i} = \phi_i(u_i, v_i) = u_i \frac{X_i - X_A}{r_i} + v_i \frac{Y_i - Y_A}{r_i}$$

Point 三角関数を使わない & 線形変換のため逆解析しやすい



Cost functions

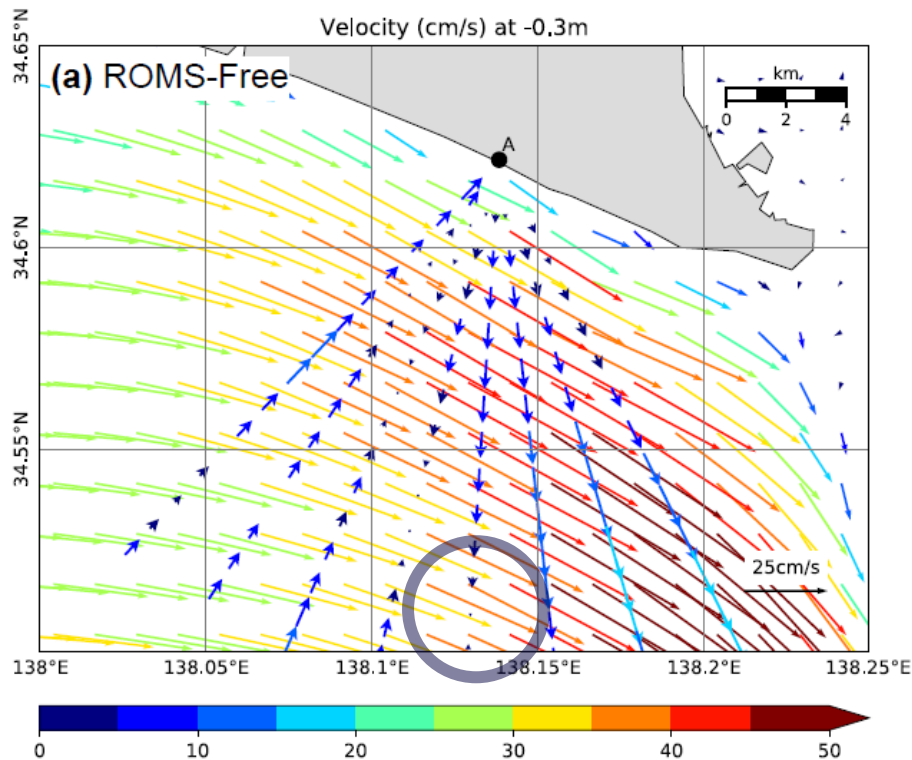


✓ 30回の反復計算で評価関数はほぼ収束

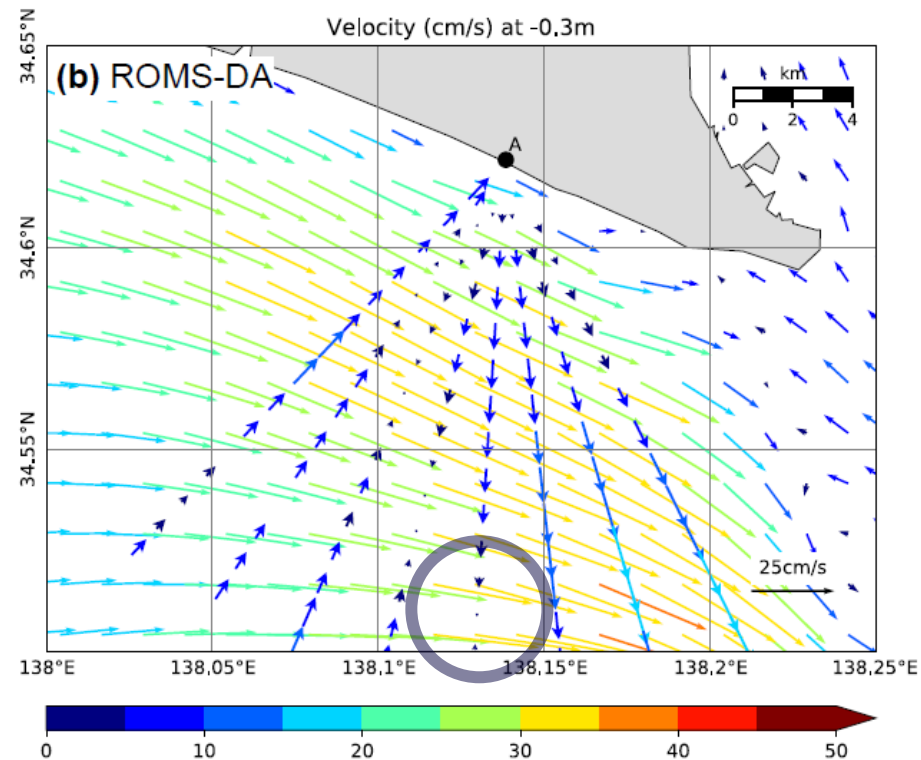
△ 5、6回目は比較的収束が遅い

Surface current (5th window)

Free run

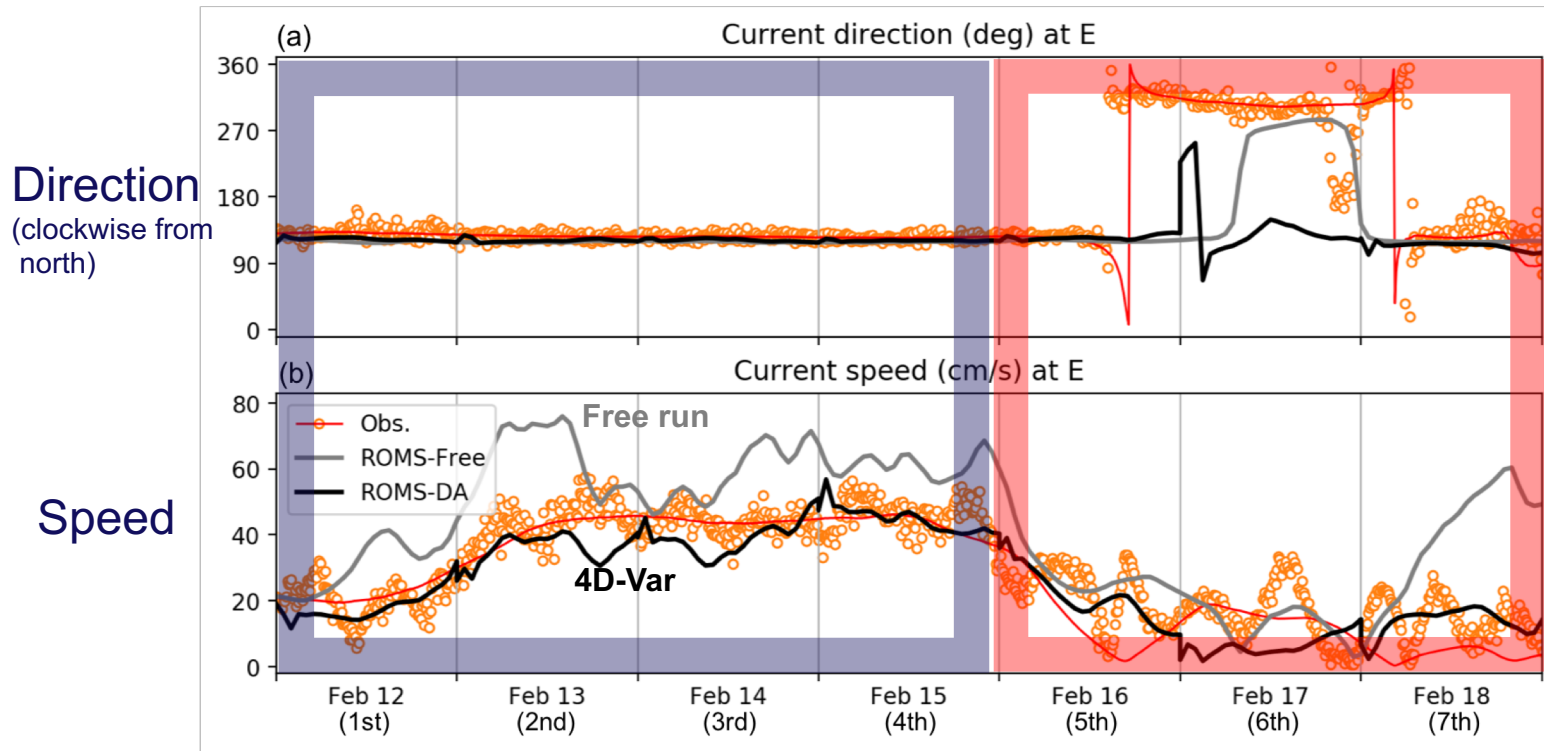


4D-Var



✓ 視線流速の同化により南東向きの流れが弱まり、
流向の変化も見られる

Time series of current (Model vs. EM)

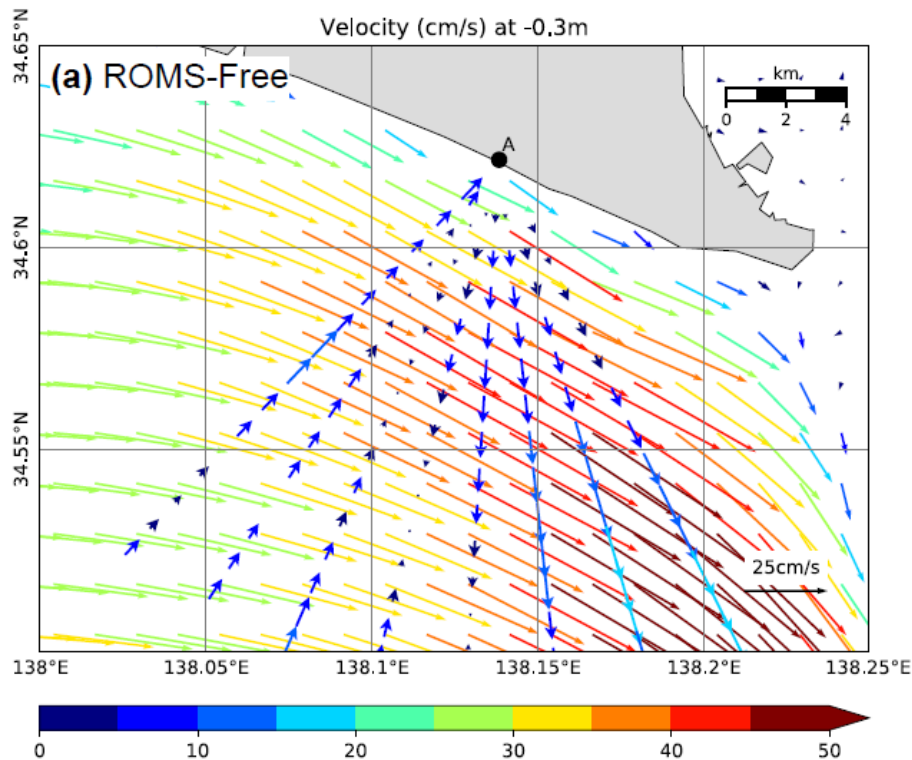


- ✓ 推定値が検証用データを追随
＝流動場の再現性向上
- ✓ 流速のRMSE 13.5 → 5.7 cm/s
(58%減)

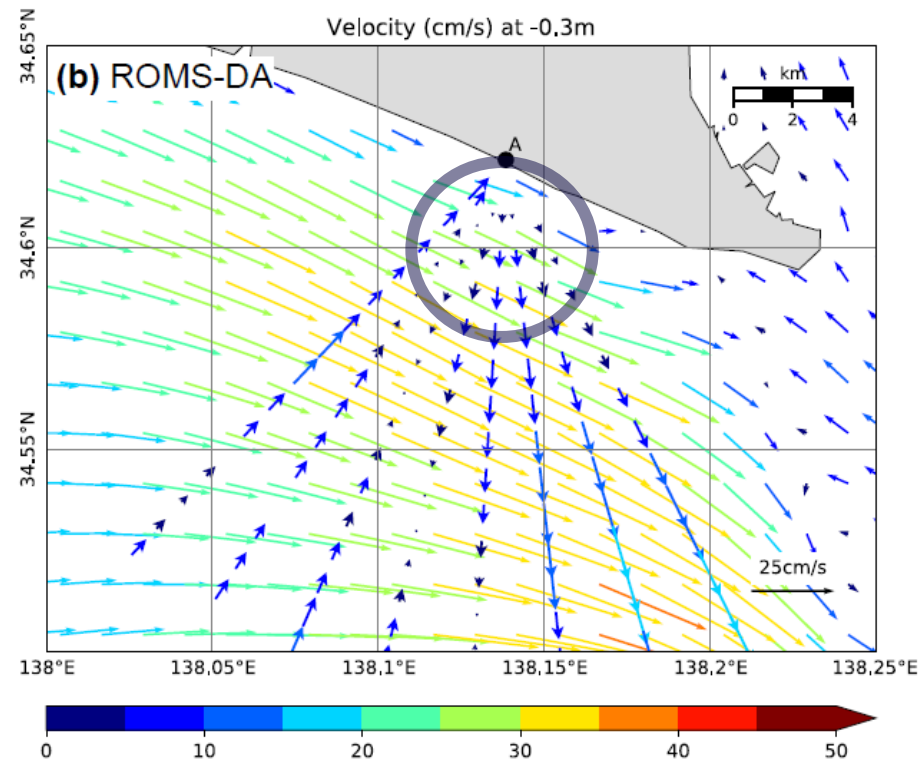
- △流速が小さい後半は効果が薄い
- △転流のタイミングを再現できていない

Surface current (5th window)

Free run



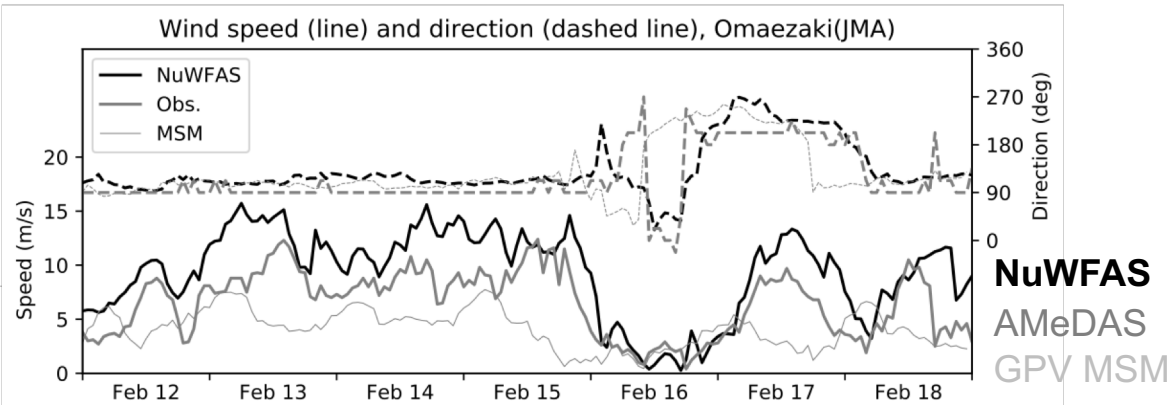
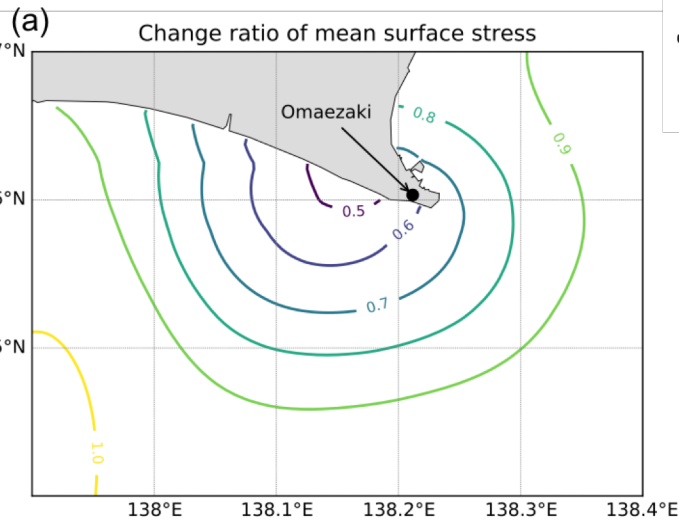
4D-Var



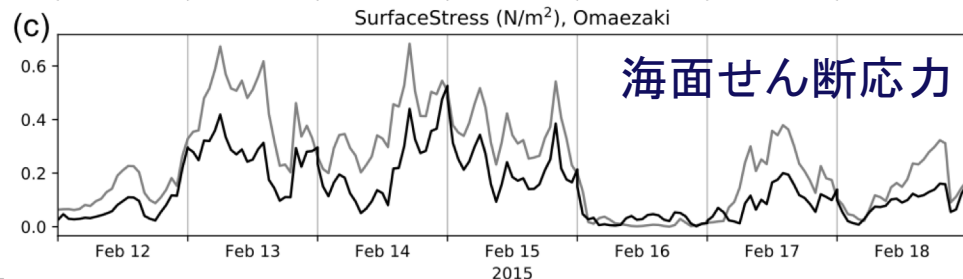
視線流速に転流の傾向が明らかでない
→電磁流速計の転流を再現できなかった

Correcting surface stress

同化後せん断応力
同化前せん断応力



御前崎における風向・風速の経時変化



✓ 視線流速の同化によって海面せん断応力が弱まる

＝外力条件(NuWFAS)が他のデータに比べ風速を過大評価していることと整合
(改善策の提案:海上風のバイアス補正が必要?)

Summary

海洋レーダでは観測できない流れを推定する手法の開発に向け、
領域海洋モデルROMSを用いて、遠州灘東岸域で観測した1局の海洋レーダの視線流速データを4次元変分法によって同化した。

- 視線流速データと2次元流速を対応させる観測演算子，評価関数を実装
- ROMSによる計算結果と流速計観測値とのRMSEは58%減少（流速の絶対値）。視線流速の同化が沿岸の流況を推定する上で有効であることを示した
- 共役勾配法による評価関数の収束計算は30回程度収束
- 流速が弱く転流のあるような場合には、転流のない一様な流れの場合と比較して、収束性が良くない
- 風による海面せん断応力を修正することで、観測データと整合性のある推定値を得られた