



CREST



海洋レーダを用いた海況監視システムの開発と応用
Dec. 06, 2017@九州大学 応用力学研究所 W601

東北沿岸・津軽海峡における 高解像度モデリング

○田中 裕介・石川 洋一 (JAMSTEC)

発表の流れ

- 数値モデルの概要
- モデル結果とHFレーダー観測の比較
- HFレーダーデータの同化に向けて
- まとめ・今後の課題

開発の背景と目的

背景: 日本の漁業の課題

- 漁業を取り巻く社会的な課題
漁業者の減少
「勘と経験」の形式知化により新規参入障壁を下げる
燃油代の高騰・魚価の低下
漁場予測の高精度化による漁場探索コストの削減
- 水産資源の管理・“Sustainability”への関心の高まり
海洋環境データ(現在・将来)の高精度化による資源量モニタリング・予測の高精度化

目的: 課題を解決するための高精度な海洋環境情報の作成

実証フィールドを設定

- **三陸沖:** 低次～高次生態系のモデル化による漁獲対象種の資源量変動の解析と予測を通した持続可能な漁業復興 [東北マリンサイエンス拠点形成事業]
- **三陸沿岸:** 漁船観測データを利用した高精度な海況解析・予測手法の開発と機械学習による漁獲予測 [CREST]

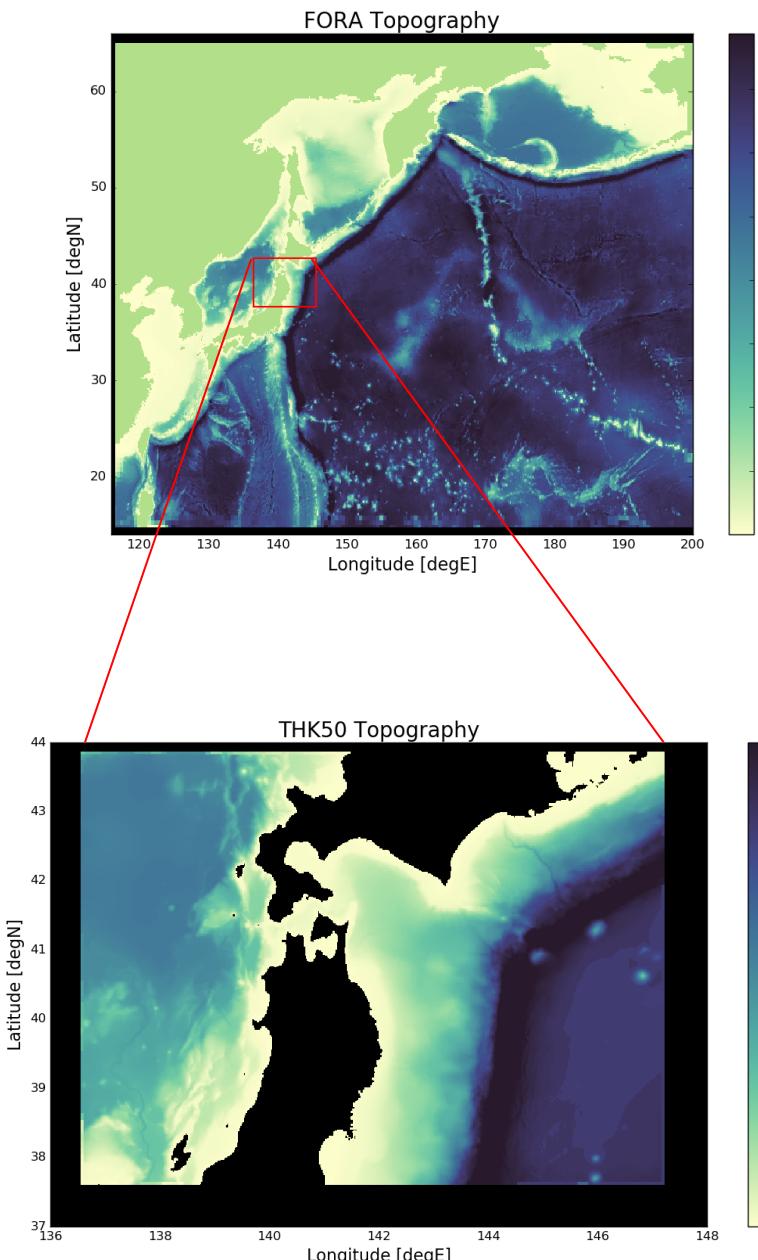
---> 三陸沿岸の海洋環境を再現する数値モデル(+データ同化)の開発

数値モデル

モデル構築にあたっての前提

- ・「社会実装」：プロジェクト終了後に都道府県水産試験場や民間会社に技術移転して運用できるモデルを開発する
- ・三陸沿岸の海洋環境に大きな影響を与える（水試や漁業者が気にする）のは津軽暖流と親潮
- ・操業は深くても1000mまで

(一般的に入手可能な)
中規模渦解像のデータ同化プロダクト
+
オフライン・ネスティング
(or ダウンスケーリング)
regionalモデル



東北沿岸モデル THK50

モデル

MRI.COM Ver. 4.5 (Tsujino *et al.* 2010; 最新開発版)

地形

JTOPO30v2+手動調整

領域南西端

(37.6385N, 136.6E)

解像度

1/50 x 1/50 deg. cos Θ (\sim 1.7km) x 鉛直36層(0m \sim 6300m)

潮汐

主要8分潮の潮汐ポテンシャル (Sakamoto *et al.* 2013)

側面境界条件

Hindcast 物理場: FORA-WNP30 daily (Usui *et al.* 2017)

Forecast 物理場: 北西太平洋解析予報格子点資料

気象庁から毎日配信; MOVE-3DVAR (Usui *et al.* 2006)

潮汐場: NAO.99Jb hourly (Matsumoto *et al.* 2000)

JRA-55 3-hourly (Kobayashi *et al.* 2015; Harada *et al.* 2016)

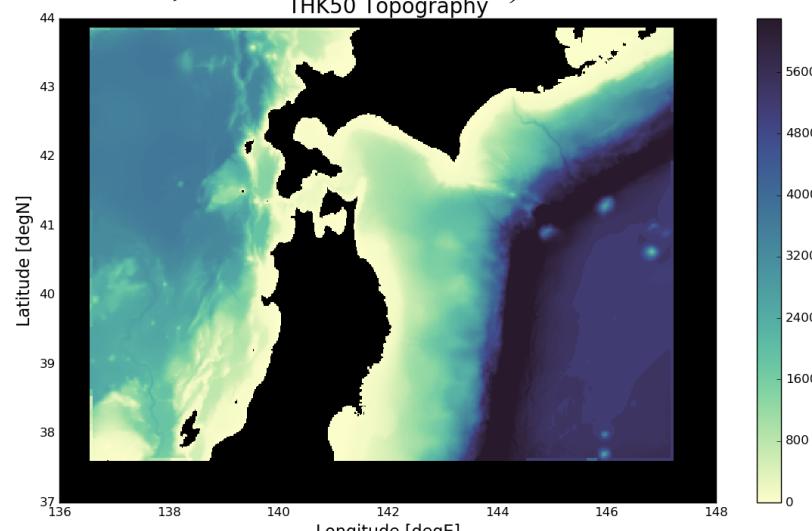
海面境界条件

NPZDモデル結合時の側面境界条件:

O₂, PO₄, NO₃ WOA2013v2 monthly

DIC, Alkalinity GLODAPv2 climatology

PP, ZP, D constant

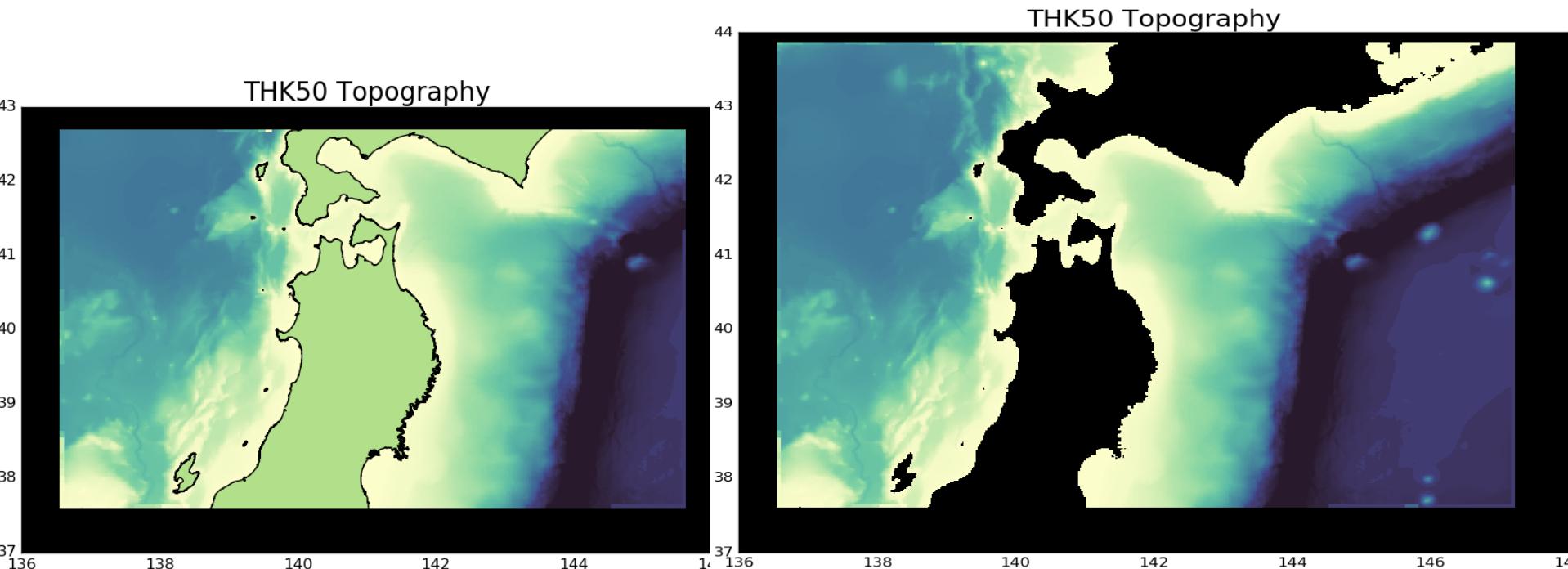


東北沿岸モデル THK50

宗谷暖流研究会 (2017.06.29@北大低温研) からの改良点

モデル領域の拡大

- オホーツク海を含める
 - 海氷は解かない
- リアルタイム運用が可能かつ道東の沿岸流の再現性向上



FORA-WNP30

北西太平洋海洋長期再解析

Four-dimensional Variational Ocean ReAnalysis for the Western North Pacific over 30 years

解像度 $1/10 \times 1/10 \text{ deg} \times 54\text{層} (0 \sim 6300\text{m})$

(160E以東, 50N以北の水平解像度は $1/6 \text{ deg.}$)

潮汐 なし

側面境界条件

3D-Varによる北太平洋 0.5deg 解析値

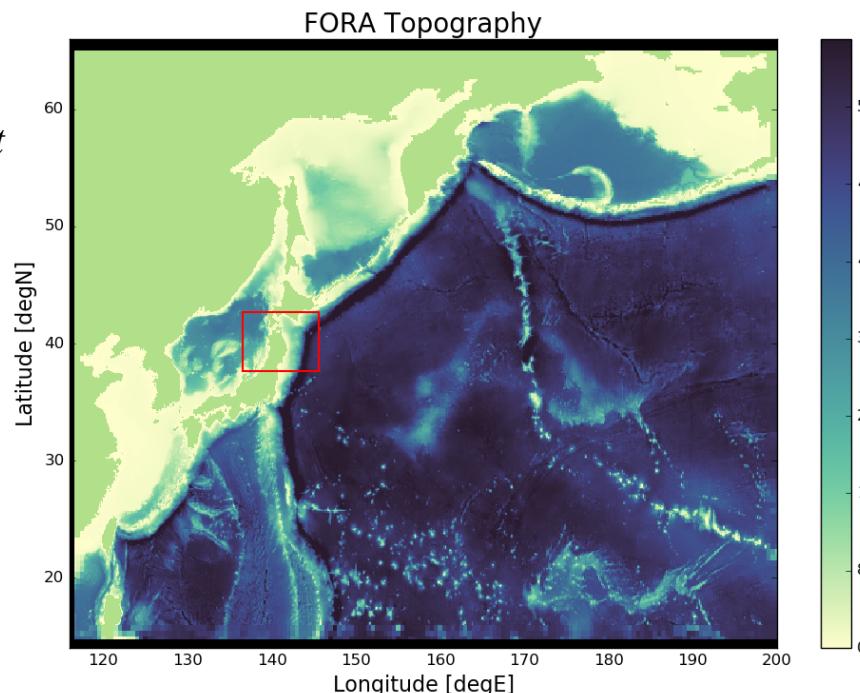
海面境界条件

JRA-55 daily (Kobayashi *et al.* 2015; Harada *et al.* 2016)

同化データ

WOD2013, GTSPP, MGDSST, Along-track SLA, SSM/I

期間: 1982～2015年 (日平均値)

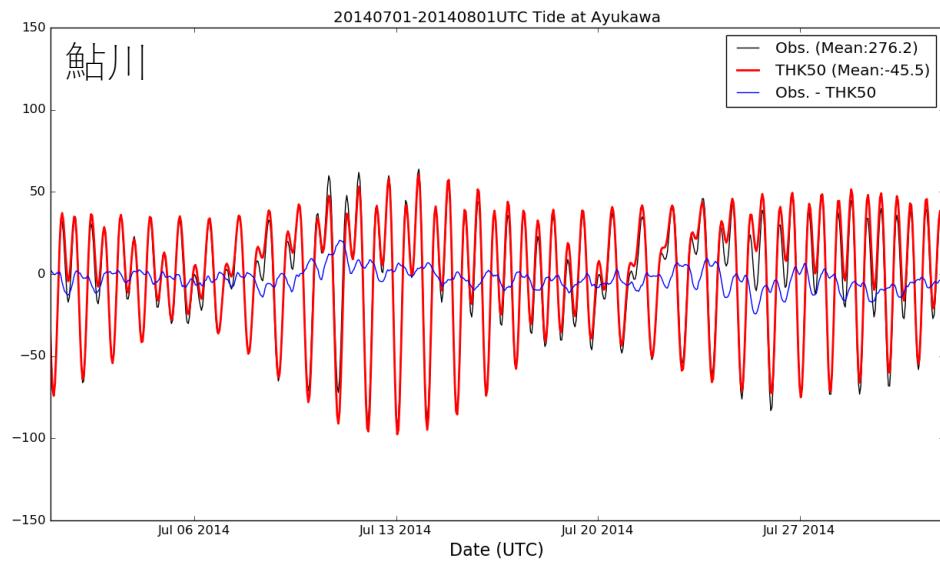
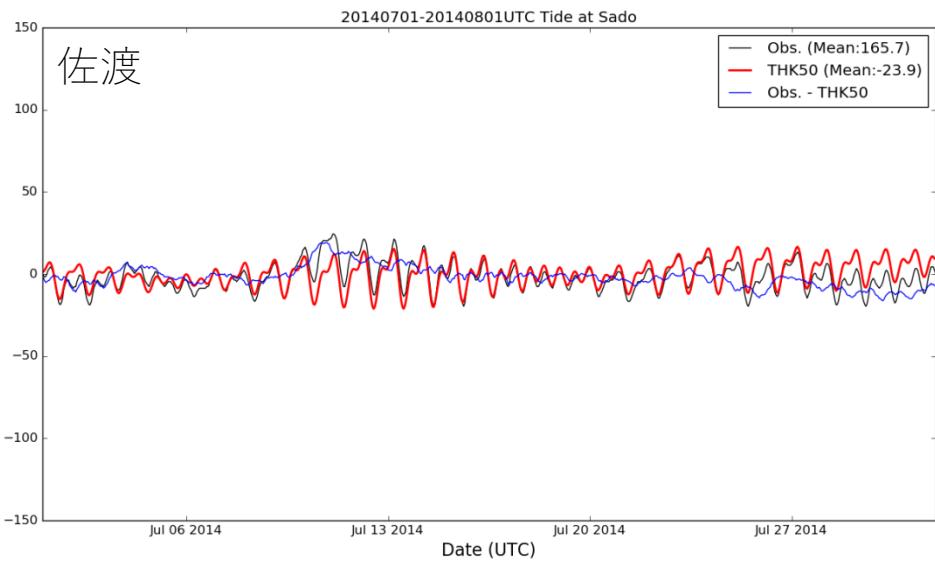
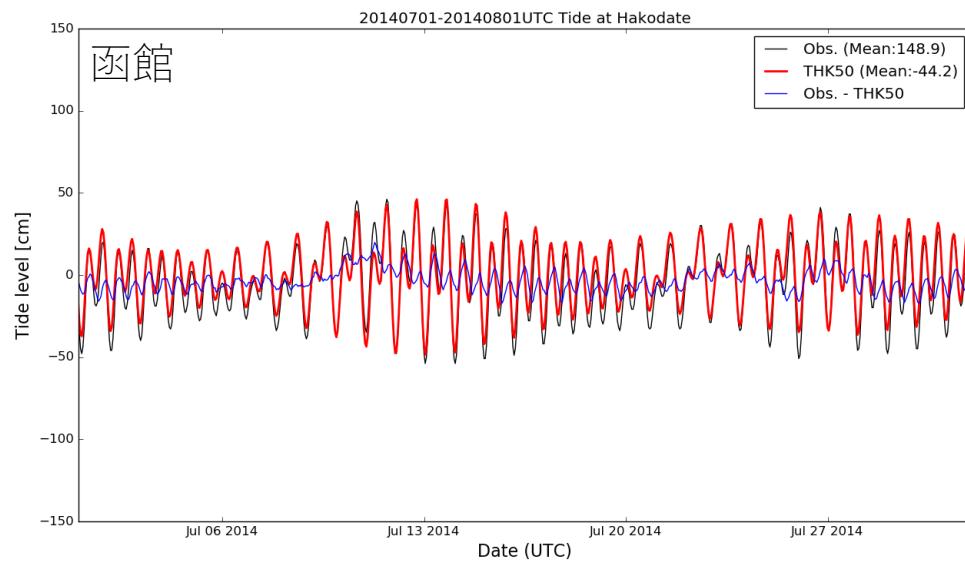


潮位

鮎川(太平洋), 函館(津軽海峡),
佐渡(日本海)の毎時駿潮データ

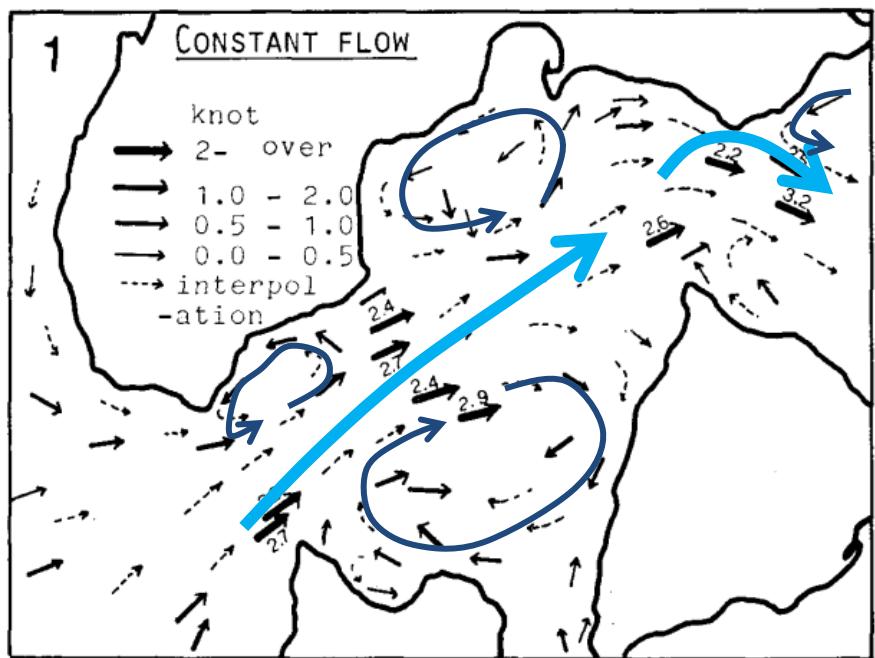
VS.

SSHの毎時瞬間場の比較
(2014年7月)



津軽海峡の海流 [これまでの知見]

流速計観測で得られた夏季の平均流

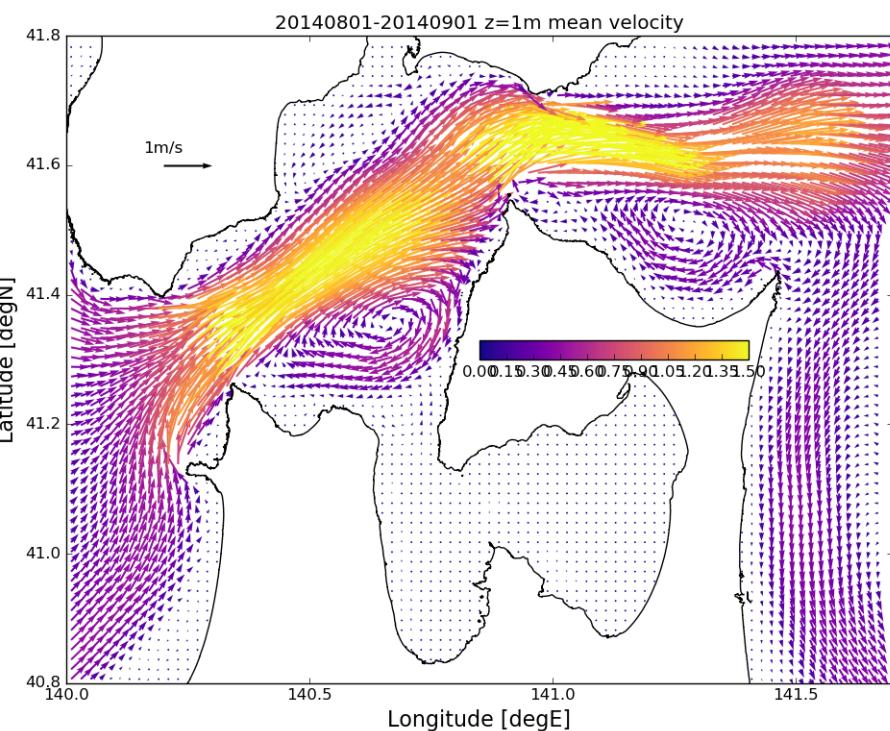


- 海峡西口で流れが収斂
- 強流帯は海峡の中央部を通過 (2.5 ~3 knot)
- 汐首岬で南東に転向して太平洋に抜ける
- 平館海峡沖に直径20NMの大還流
- 白神岬東側, 函館湾南側, 汐首岬東側に5~10NMの還流

(科学技術庁 1979; 小田巻 1984より引用)

津軽海峡の海流 [モデル]

2014年8月の月平均表層流速



強流帯は海峡の中央部を通過 (3 knot以上)

汐首岬で東に転向して太平洋に抜ける

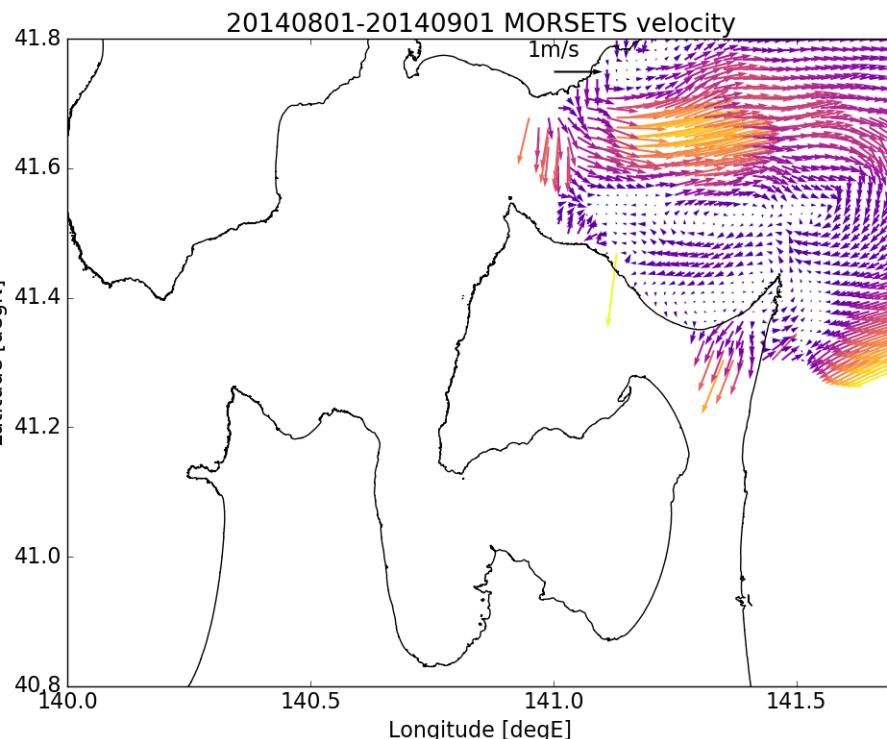
平館海峡沖に大きな渦

白神岬東側 (弱い), 函館湾南側に渦

下北半島北側に大きな渦; 汐首岬東側に還流はない

津軽海峡の海流 [HFレーダー]

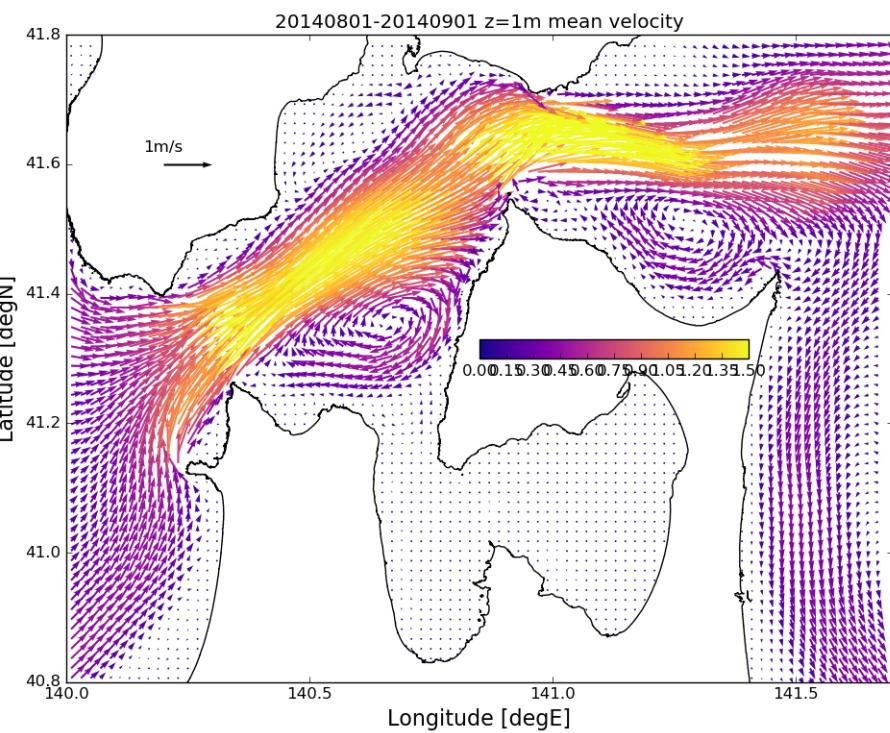
2014年8月の月平均流速



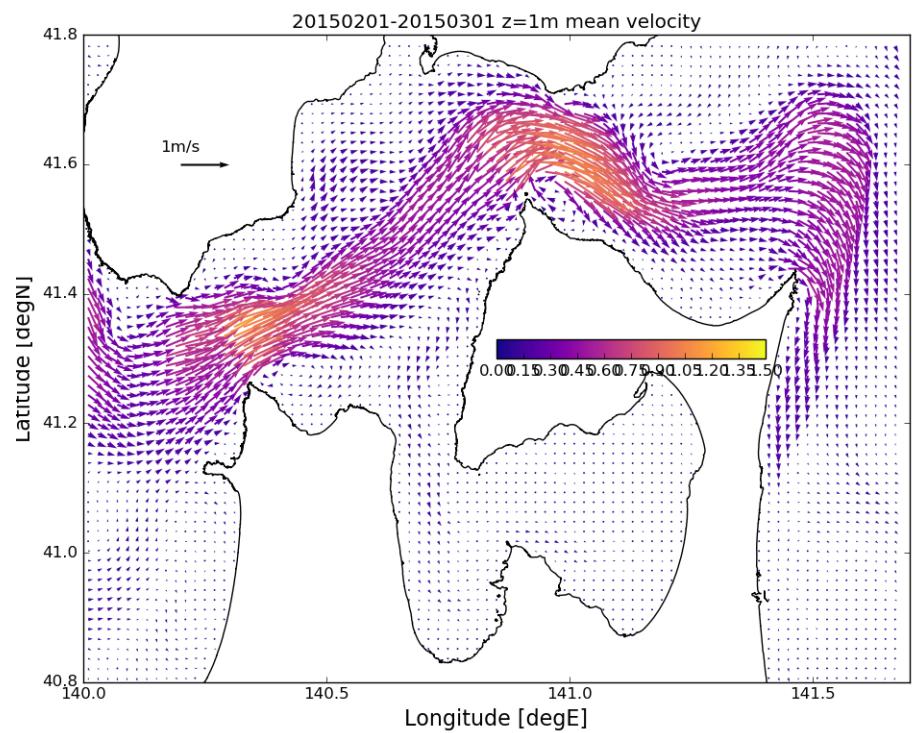
汐首岬を抜けた強流帯は東に向かって太平洋に抜ける
下北半島北側に大きな渦; 汐首岬東側に還流はない

津軽海峡の海流の季節変化 [モデル]

2014年8月の月平均表層流速



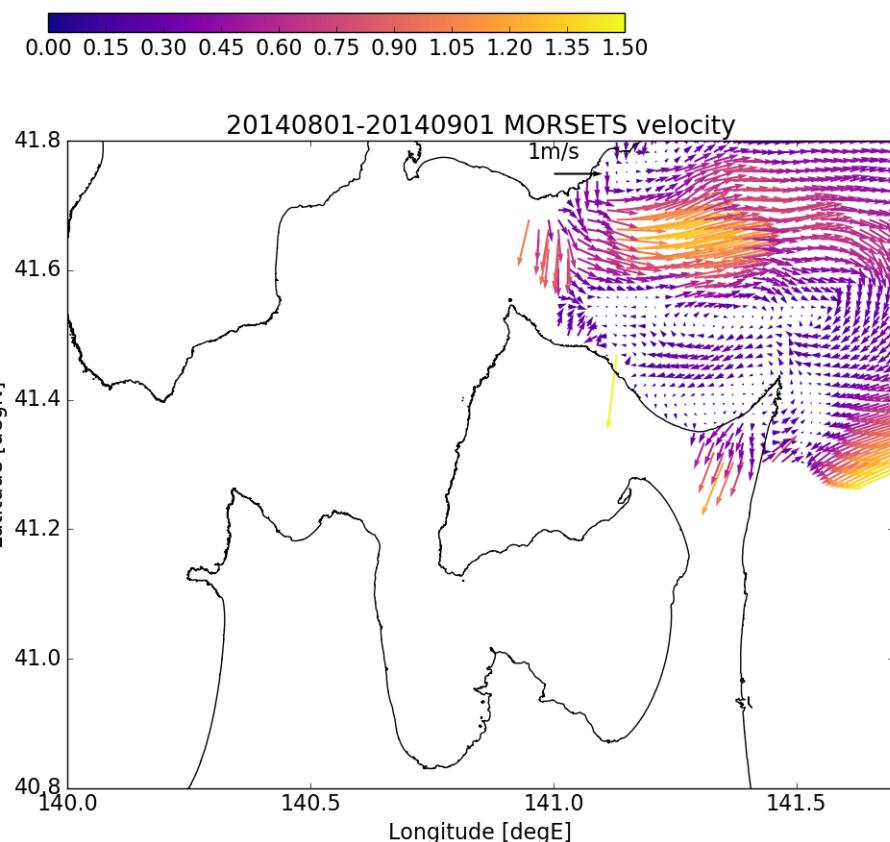
2015年2月の月平均表層流速



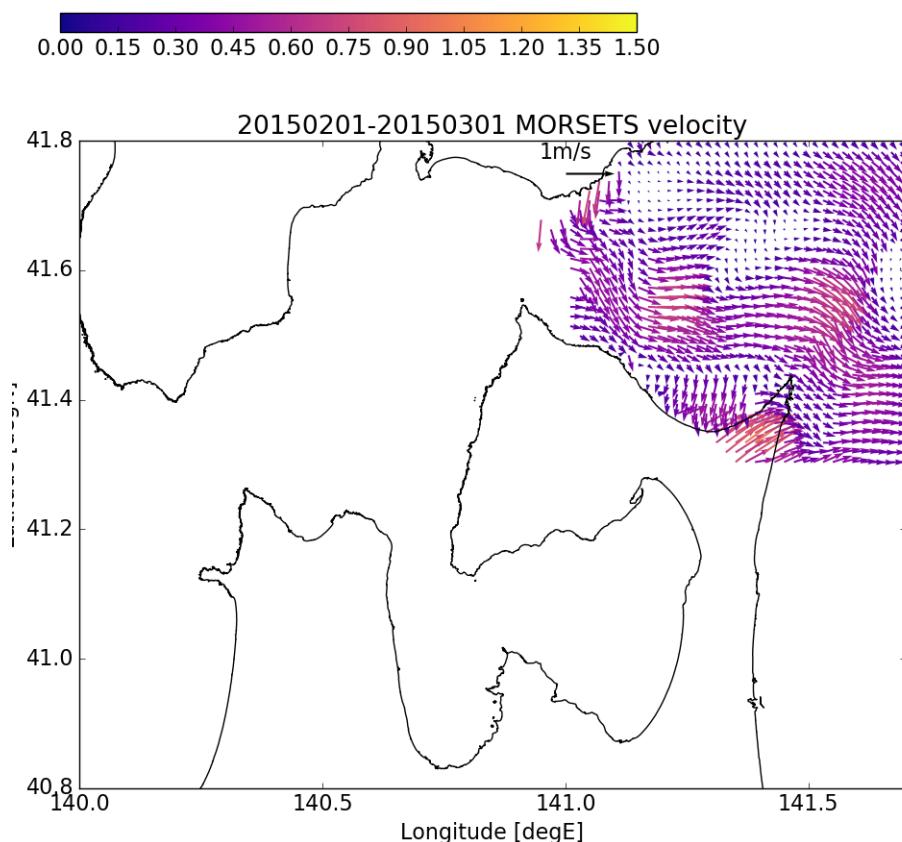
- 夏季よりも流速が小さい (最大2.5knot程度)
- 冬季は汐首岬で南東に転向、尻屋海脚を迂回して太平洋に抜ける
- 平館海峡沖、白神岬東側、函館湾南側に渦がない

津軽海峡の海流の季節変化 [HFレーダー]

2014年8月の月平均流速



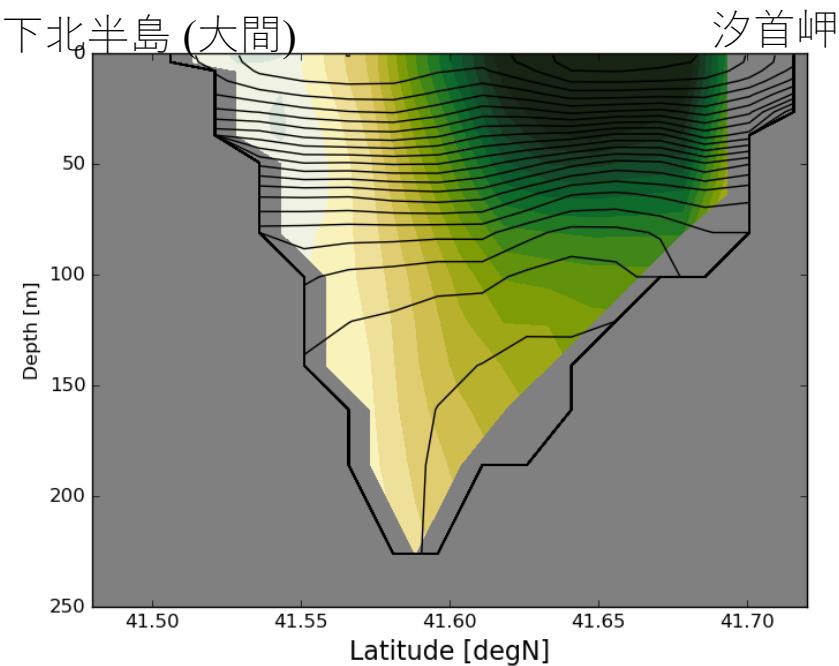
2015年2月の月平均流速



- 夏季よりも流速が小さい
- 汐首岬を抜けた強流帯は南東向き・下北半島に沿って太平洋に抜ける

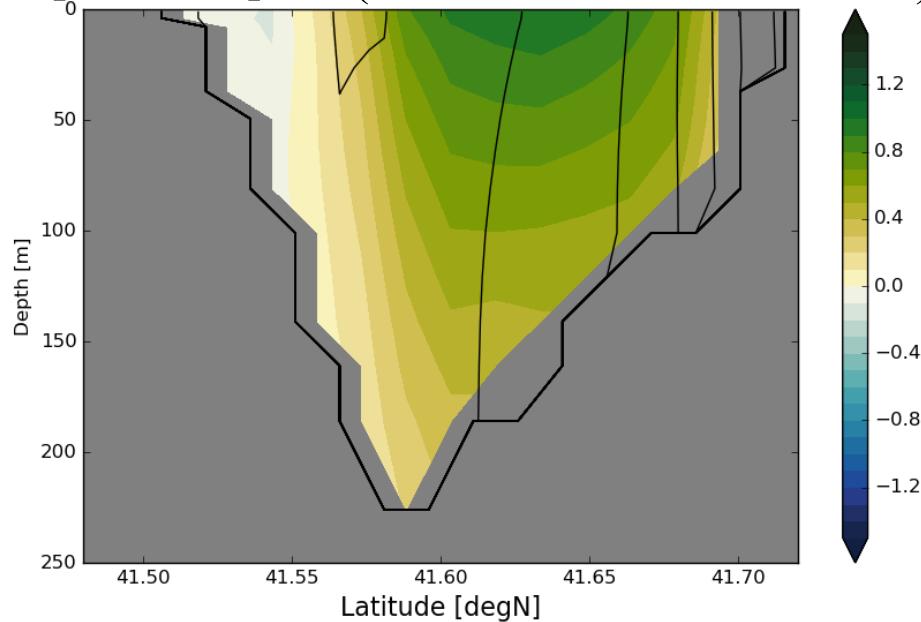
津軽海峡の海流の季節変化 [モデル]

2014年8月の月平均東西流速 [140.97E]



2015年2月の月平均東西流速

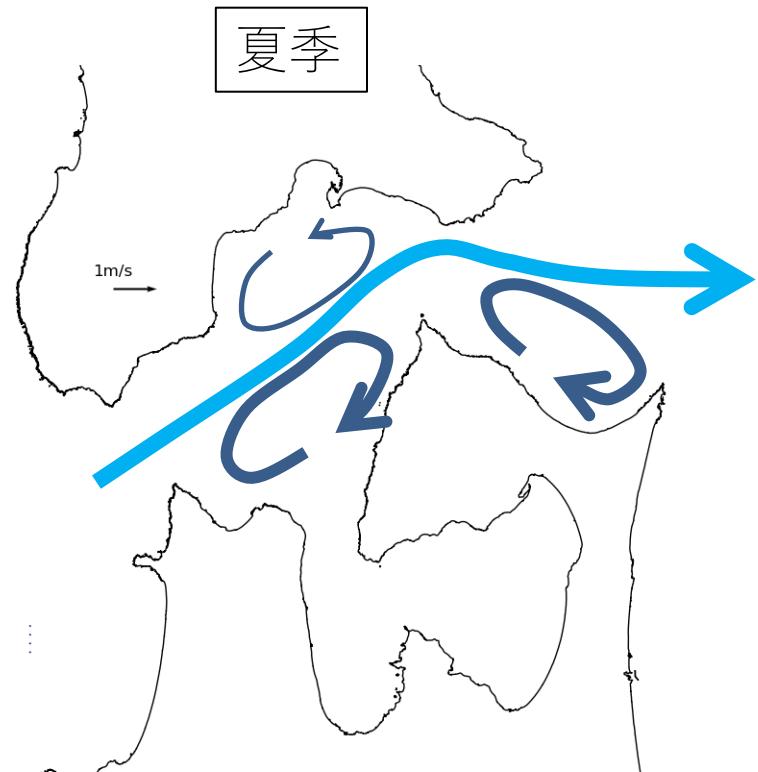
[140.97E] (等値線は0.5°C毎の水温)



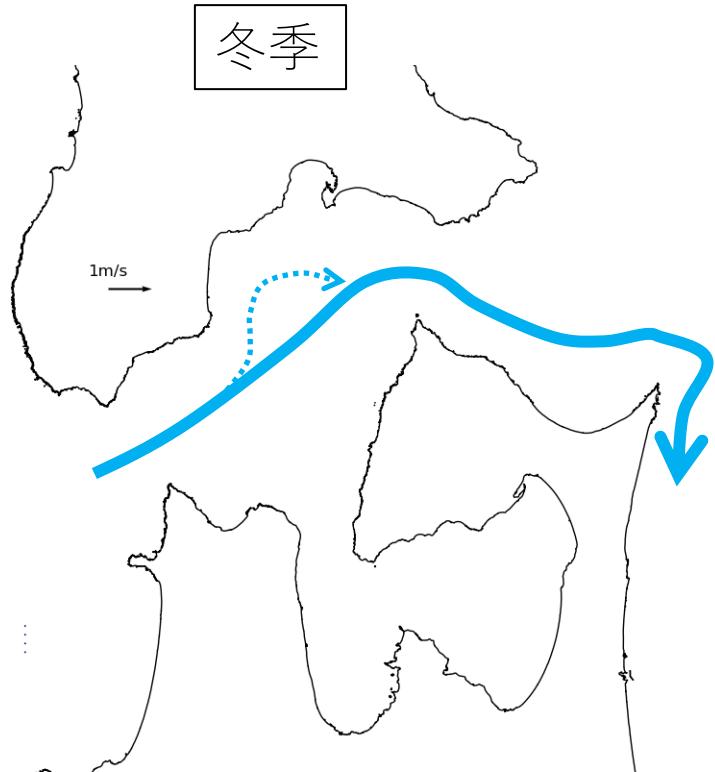
- 夏季は表層で強い東向き流、底層近くで弱い/冬季は流れが上下一様に近い (杉本・川崎, 1984)
- 夏季は強い成層、冬季は鉛直によく混合されている
- 強流帯の北側 (函館湾南方) は夏季に西向き (還流), 冬季に東向き (分流)
- 強流帯の南側 (平館海峡) は夏季に西向き (還流), 冬季は弱い東向き

津軽暖流の季節変動

津軽海峡・三陸沿岸のregionalモデルで計算された津軽海峡の流れ(海流)の季節変動について、過去の知見・観測データの比較を通して検証した



強い成層、傾圧成分大



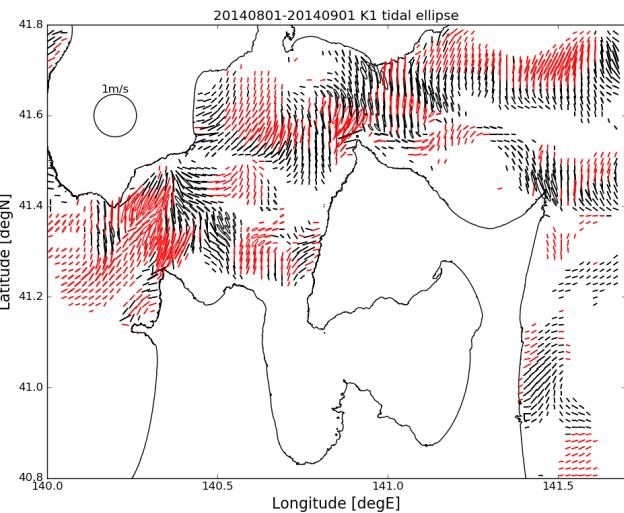
弱い成層、傾圧成分小
(上下層が比較的一様)

津軽海峡の潮流の季節変化 [モデル]

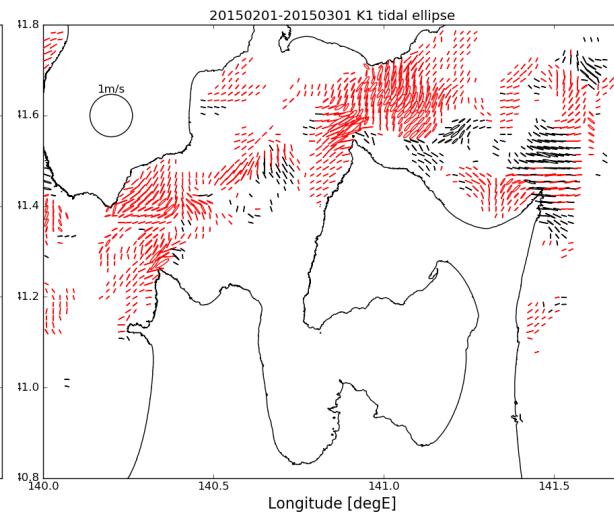
最上層流速を1ヶ月ごとに主要8分潮 (K1, M1, O1, P1, K2, M2, N2, S2) に調和分解

- 夏季よりも冬季に潮流が弱い
- 成層の季節変化に伴って内部潮汐が変動?

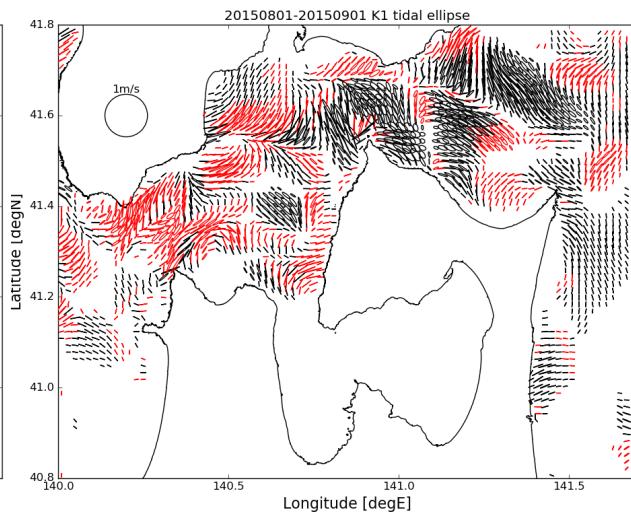
K1 2014年8月



K1 2015年2月



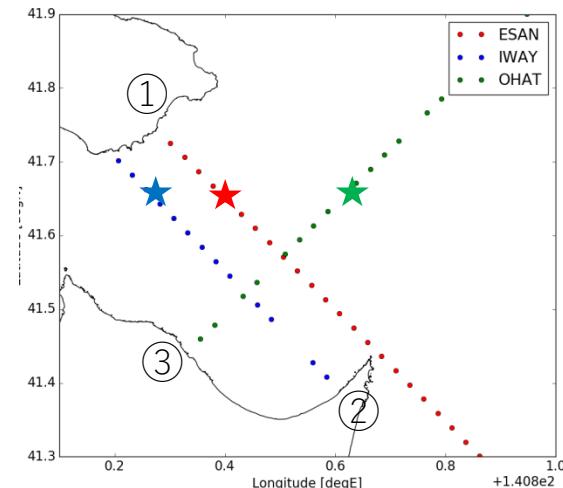
K1 2015年8月



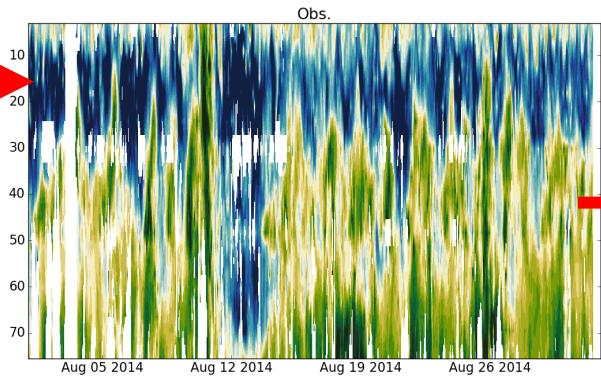
津軽暖流の短周期変動

2014年8月 (1時間毎) 上段: 観測, 下段: モデル

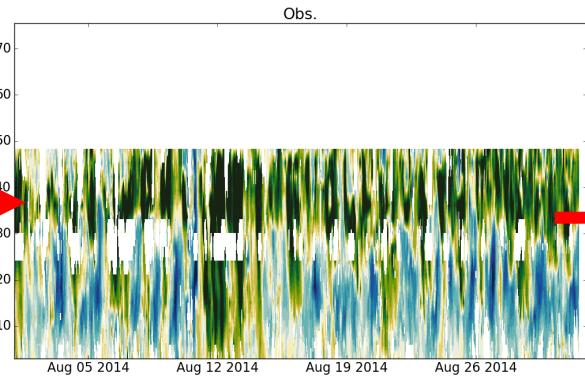
- 夏季は日周潮が卓越
- 強流帶の位置: モデルは観測をよく再現
- 数日スケールのイベントの再現も良い?
(潮汐成分の除いた比較も必要)



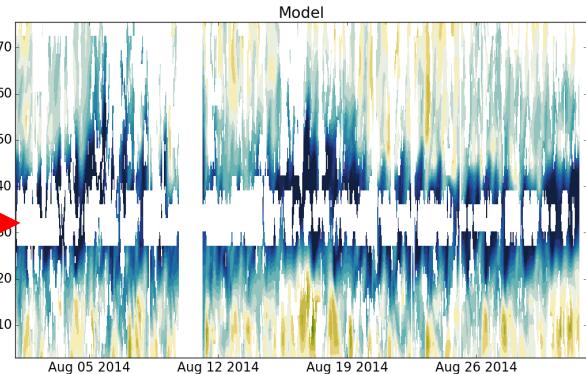
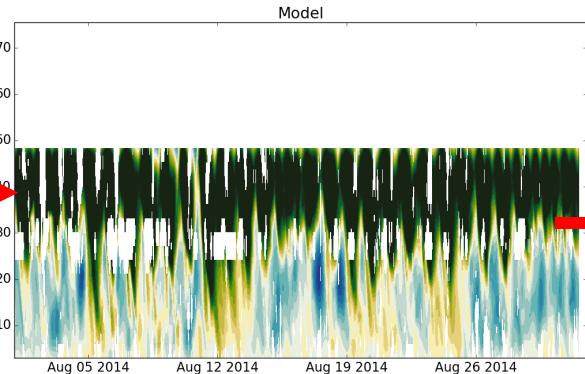
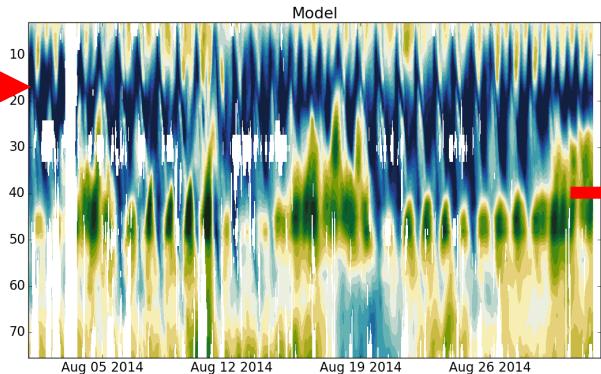
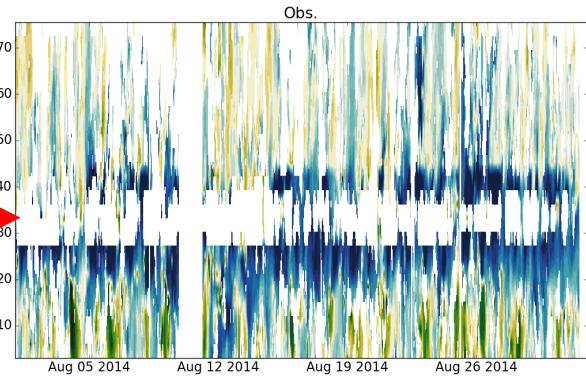
① えさん局



② 岩屋局



③ 大畑局

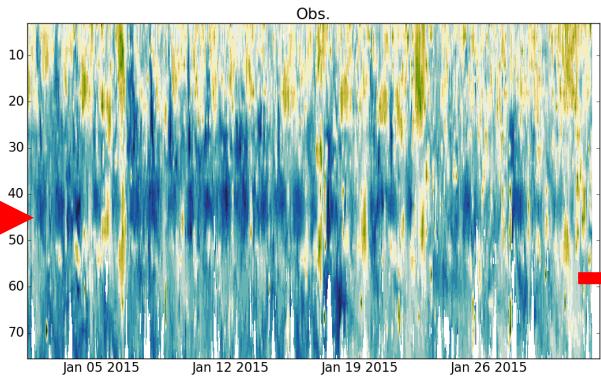


津軽暖流の短周期変動

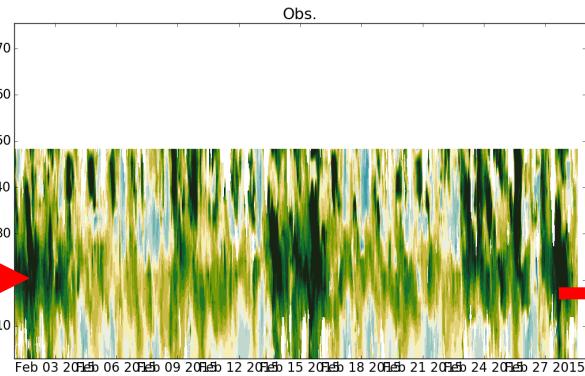
2015年2月 (1時間毎) 上段: 観測, 下段: モデル

- 冬季も日周潮が卓越
- 岩屋・大畠局は下北半島沖の強流帯を捉えた(観測・モデルとも); 夏季より南・弱い
- えさん局は尻屋崎沖の流れを明瞭に捉えた

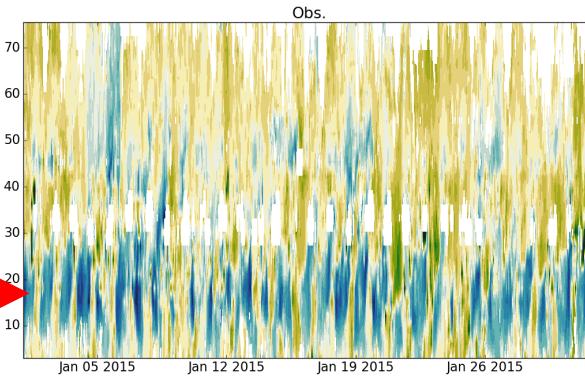
① えさん局



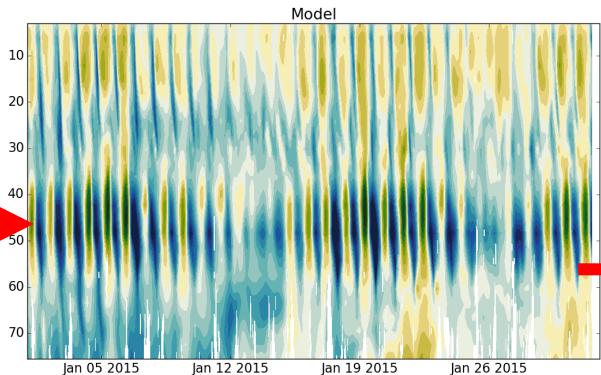
② 岩屋局



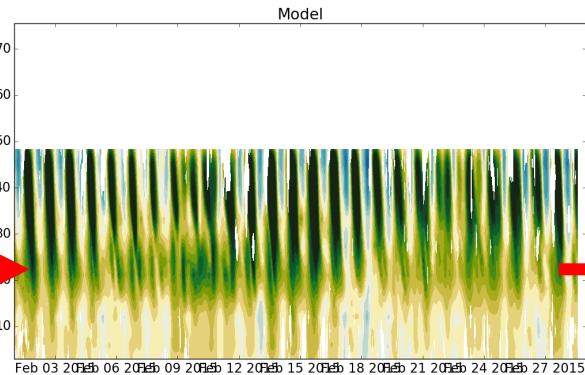
③ 大畠局



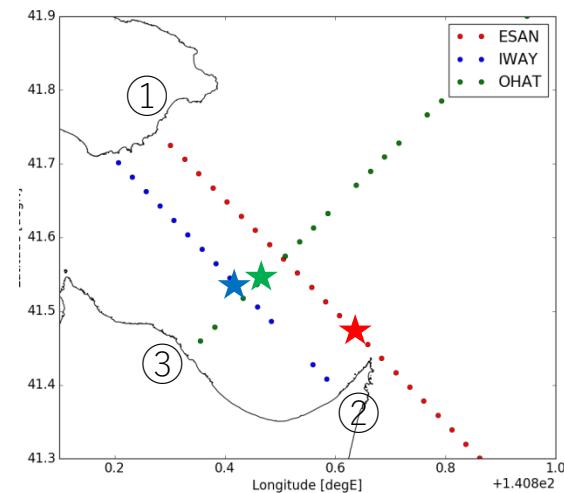
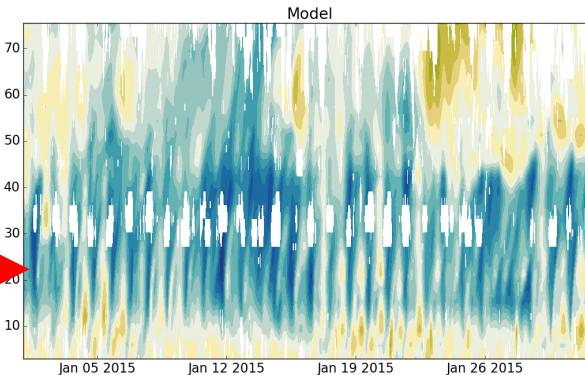
Model



Model



Model



なぜHFレーダーのデータ同化か?

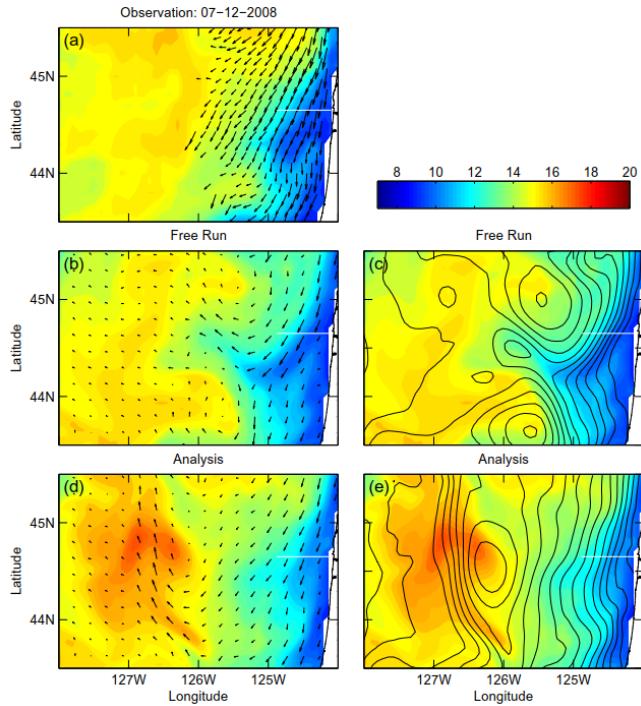
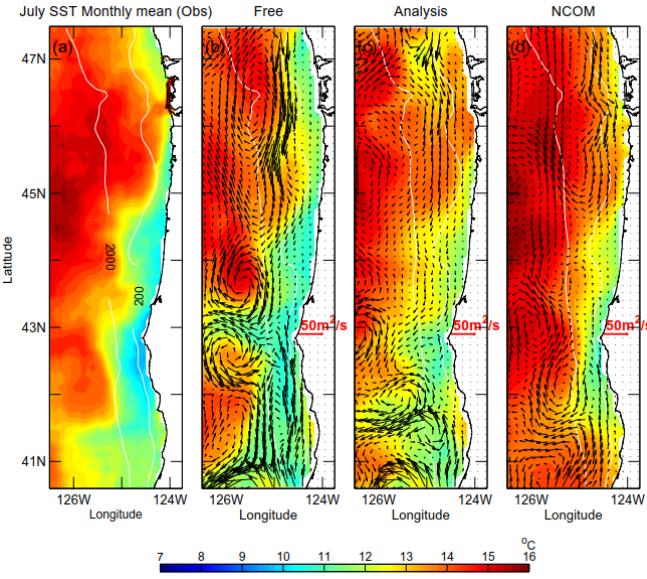
- 沿岸海洋モデリングの進展
 - 科学的知見を取り入れた効率的な漁業
 - 予測情報を利用した極端現象(急潮)による被害の軽減
- HFレーダーサイトの増加
「社会的要請に応えるため」の観測に変遷しつつある
 - 宗谷海峡(北大低温研)・対馬海峡(九大応力研)
 - 東京湾・伊勢湾・大阪湾/紀伊水道(国総研)
 - 相模湾・伊豆諸島(海上保安庁)
 - 津軽海峡東口(JAMSTEC)
 - 日向灘(宮崎県) ...
- HFレーダー観測データの有効活用方法
 - 観測された表層流速マップの公開(MORSETS, 宮崎県)
 - 沿岸モデルの進展と組み合わせたデータ同化による**3次元海況情報**の精度向上・より精度の高い**予測情報**の提供
 - ニーズに対応したプロダクト作成のための情報収集
 - 現状の研究・開発動向の把握

流速データの同化の実例

最近の動向のレビュー (Isern-Fontanet *et al.*, 2017)

- 4D-Var (最も実例が多い?: ROMSの功績)

	海域	同化データ	制御変数	結果
Hoteit <i>et al.</i> (2009)	西海岸 [San Diego]	Vr [detided]	初期値・境界値・ flux	風応力の修正を通して表層流速が改善
Zhang et al. (2010)	東海岸 [New York]	u,v	初期値	表層流速は改善, subsurfaceのTSは精度低下 (高解像度fluxが必要)
Yu et al. (2012)	西海岸 [Oregon coast]	u,v	初期値	表層流速とSSTフロントの 位置が改善
Sperrevik et al. (2015)	Norway	Vr	初期値	
Iermano et al. (2016)	イタリア西海 岸	u,v	初期値・境界値・ flux	



Yu et al. (2012) Fig. 13,16

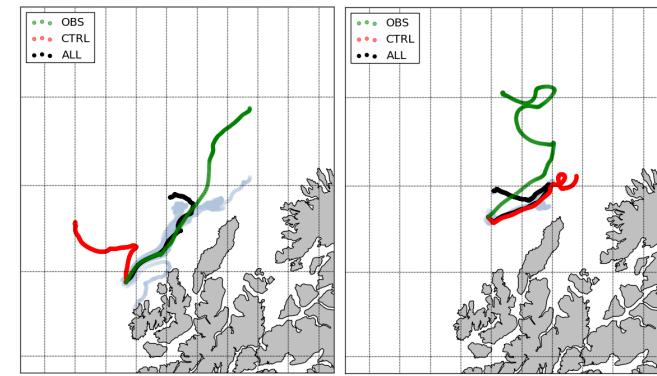
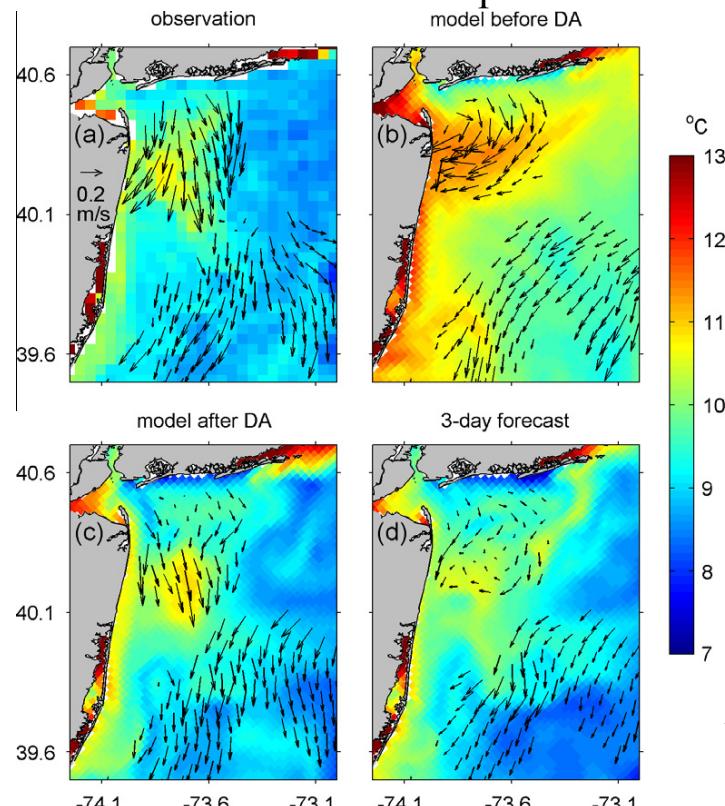


Figure 9. Drifter pathways for two different drifters as observed (green), predicted by CTRL (red) and predicted by ALL (black). The grey tracks shows the pathways of the perturbed initial position floats. The trajectories shown here were released at the start of the analysis.

Sperrevik et al. (2016) Fig. 9



Zhang et al.
(2010) Fig. 6

Fig. 6. Comparison of observed and modeled sea surface temperature and current at 0700 UTC 20 April 2006.

流速データの同化

[観測データの前処理]

HFレーダーから得られる「何」を同化するか

← HFレーダーで得られる流速は何に駆動されているか

HFレーダー流速の分解 (Kim *et al.* 2010)

$$u = u_T + u_F$$

u_T : surface currents driven by pure tide

u_F : detided surface currents

Harmonic Analysis

$$u_F = u_W + u_G$$

u_W : locally wind-driven surface currents

u_G : remaining surface currents

- remote wind forcing via eddies
- coastal trapped waves
- pressure gradient
- meteorological flux of heat and freshwater

Wind impulse
response function

Geostrophic or
ageostrophic ?

流速データの同化における課題

- モデルの精度
 - HFレーダーが観測する流速にはローカルな風が大きく影響する → モデルに高精度の風を与える必要がある (制御変数にsurface fluxを加えると風のインパクトが大きくなる)
 - JRA-55 → MSM → LFM
 - 適切な潮汐の導入 (内部潮汐)
- 同化する観測データ
 - 視線流速 or 合成流速
 - 潮汐を抜く or 抜かない
- 同化手法
 - 「表層」の「流速」は海洋構造の何を表しているのか?
 - Geostrophicな成分は密度構造を反映 (分離できるか?)
 - 西岸境界流・強い潮流が存在する海域での実例が少ない

今後の課題

- 津軽海峡内の流れ
 - HFレーダーによる観測とモデル結果はconsistent
 - 潮流の解析 (cf. 2009年「海洋レーダーによる津軽海峡観測における潮流解析」(大山・藤井))
 - 潮汐 (特に内部潮汐) の季節変動
- モデルの改良
 - 風応力の高解像度化の効果を検証 (特にHFレーダーで観測した流速の再現性の向上に着目)
- データ同化