

海洋短波レーダー等を用いた日向灘周辺における 2km高解像度現業海況システムの検証

海洋レーダーを用いた海況監視システムの開発と応用

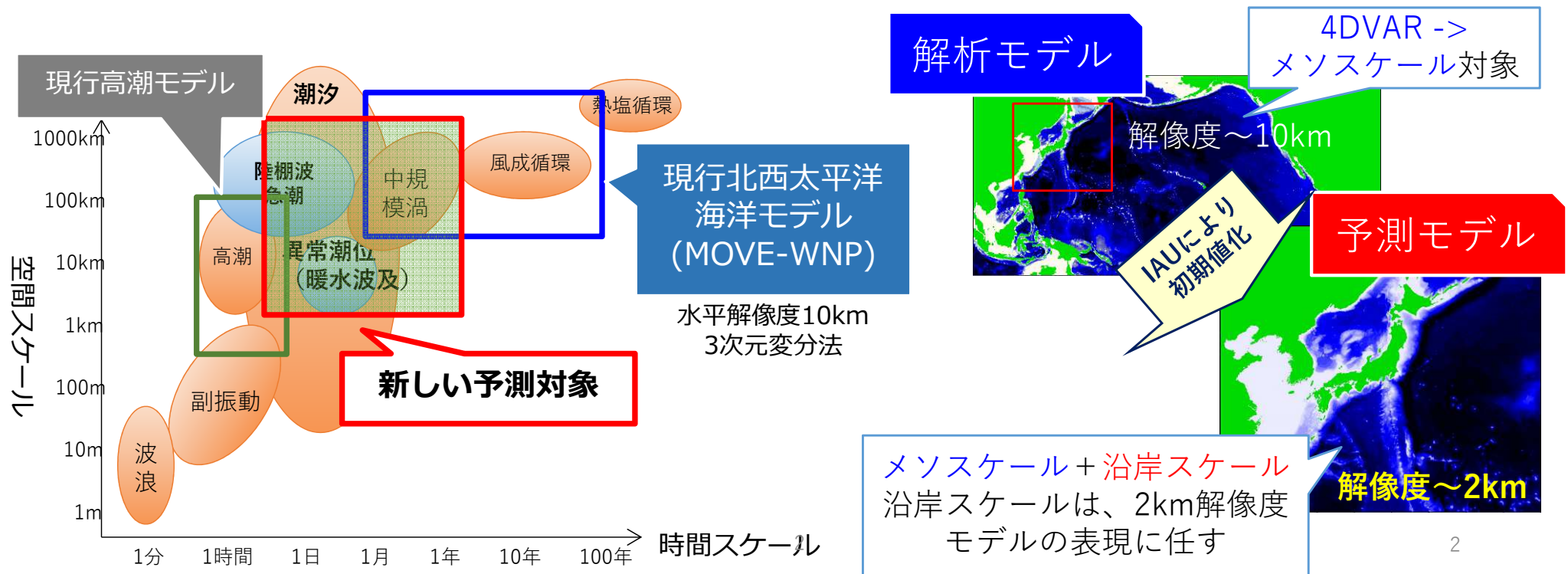
2019年12月02日

気象研究所 全球大気海洋研究部

広瀬成章・碓氷典久・坂本圭・山中吾郎・高野洋雄

日本沿岸海況監視予測システムの開発

- 日本沿岸海況監視予測システム(JPNシステム)
 - 気象庁の**次期海況システム**
 - » **水平解像度2km**で日本全域をカバー
 - 2020年度**に気象庁で運用予定。
 - 外洋に加えて、**沿岸域の海洋現象の監視・予測**を対象とする。
- モデルとシステムのパフォーマンスの検証を実施
 - モデル(Sakamoto et al., 2019), システム(Hirose et al., 2019), Ocean Dynamics
 - » システムの検証期間は2008-2017の10年間



沿岸域に向けた高解像度データ活用

- より社会に密接な沿岸防災・海況の情報のニーズの高まり
 - 海況要因による異常潮位
 - 突発的な急潮・暖水波及現象
- JPNシステムの高解像度データの利活用
 - 気象庁としてプロダクト情報の発信を目指す
 - » GPVデータ配信後の課題

沿岸域に大きな影響

- 幼生プランクトンやイワシ稚魚の輸送
- 湧昇による栄養塩供給
- **強い流れによる漁具の破損**

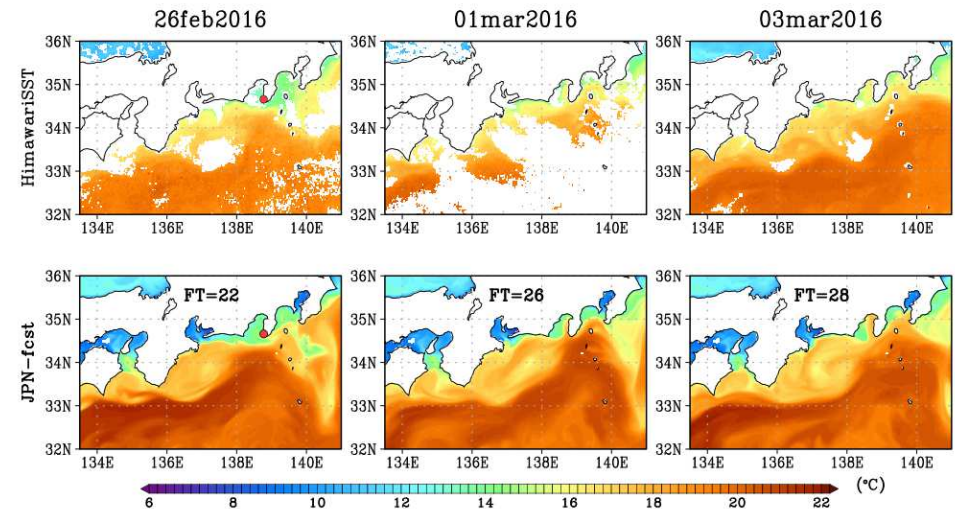


急潮被害を受けた定置網
(被害額は数億円/1件、全国で報告されている)

石戸谷 (2010,水産海洋学会報告), 高知県水試報告 (2017)

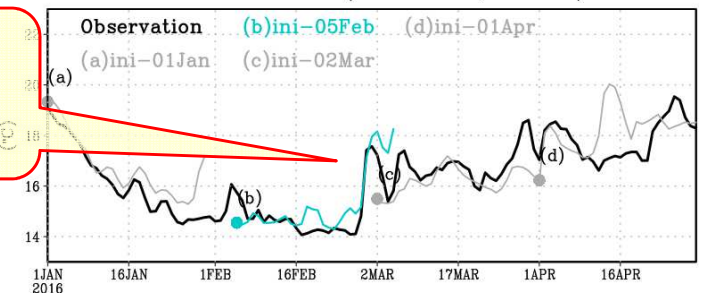
観測
(ひまわりSST)

JPN予測



SST at Mera (138.774E,34.66N)

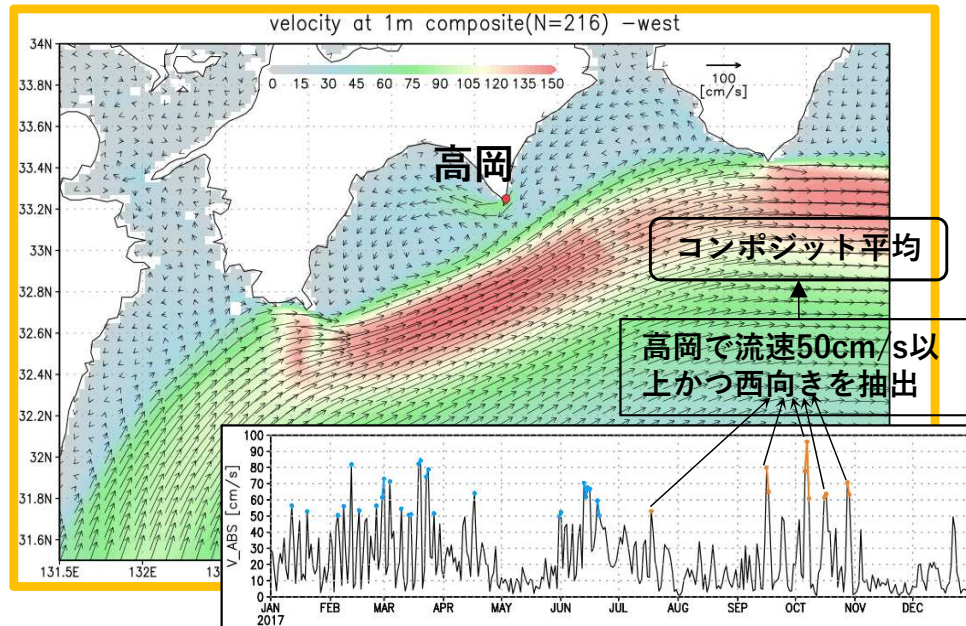
精度良く駿河湾
(妻良)の暖水波及
を予測



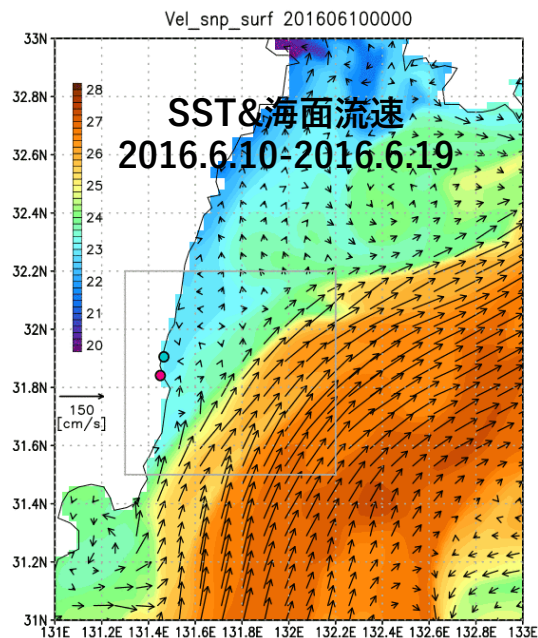
日本南岸の黒潮と前線波動

高岡(●)日平均流速のコンポジット解析

絶対流速>90%分位値 & 東西流速<0



- 日本南岸を流れる黒潮の内側域では、前線波動が頻繁に発生。
 - 沿岸域で発生する急潮や暖水波及の要因
- 紀伊水道の急潮(←注目して解析中)
 - 紀伊半島における振り分け潮由来が多い
 - 黒潮の流路とも大きく関係
 - 上流からの前線波動の伝播の重要性を示唆。
- 急潮予測において、黒潮と前線波動を適切な予測が必要



本発表の目的

日本南岸域のJPNシステムの検証

- 今回、日向灘周辺を対象に実施した。
 - 定点(ブイ観測)の流速観測が充実。
 - 近年、宮崎水試によるHFレーダ観測が開始されて、観測網が拡大している。

JPNシステムの解析データ

- JPNシステム解析値(JPN-IAU, Hirose et al., 2019)

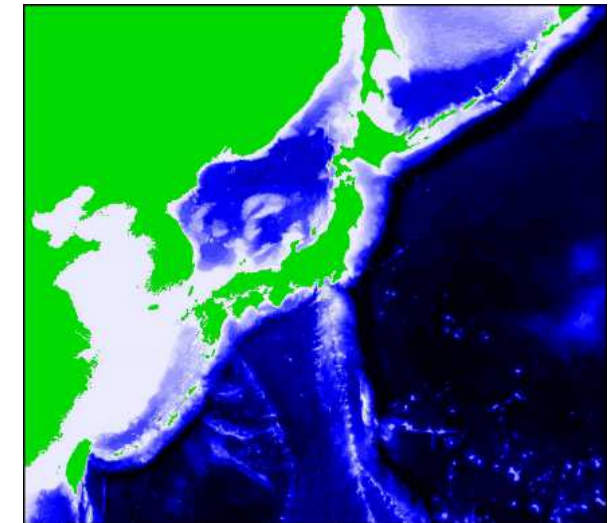
- 海洋モデル：MRI.COM ver4.5 (Tsuji et al., 2017)
- JPNモデル(Sakamoto et al., 2019)：水平解像度(約 2 km)
- 2-way online-nesting (GLB-NP-JPN)

- 外力

- 大気：JRA55-do (Tsuji et al., 2018)(約55km解像度)
 - » 海面気圧による水位の上下動効果も含む
- 河川：JRA55 + CaMaFlood (Suzuki et al., 2017)
- 潮汐：主要8分潮 (Sakamoto et al., 2013)

- 同化手法(間接的)

- Incremental analysis Updates (IAU, Bloom et al., 1996)
- 解析値：**解析モデル**の水温塩分の3次元場
 - » 北太平洋4次元変分法システム：ベースはMOVE-4DAVR(Usui et al., 2015)
- IAU期間：5日



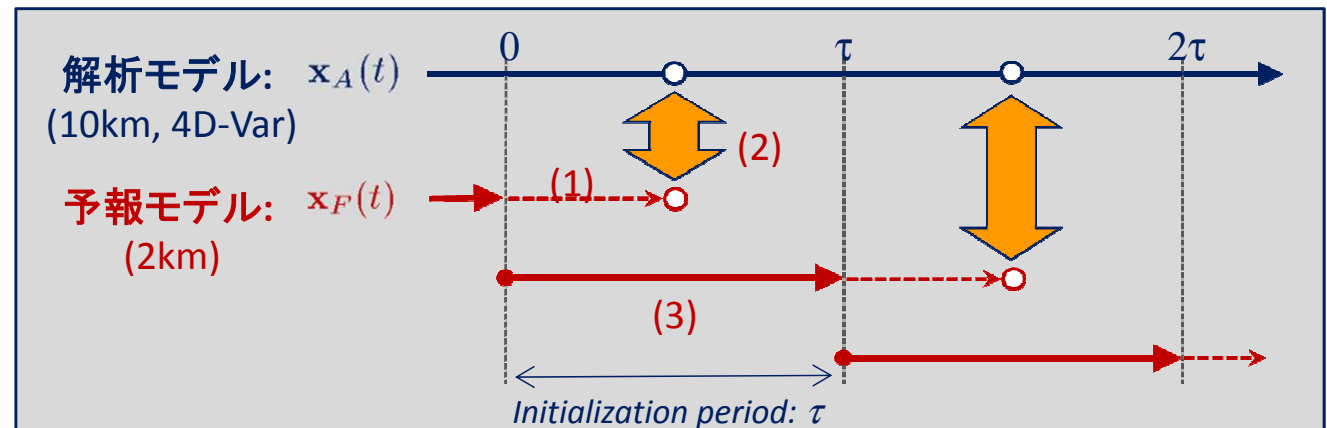
JPNモデル領域
 $1/33^\circ \times 1/50^\circ$

潮流・吹送流を
モデルは含む

データ解析の期間:

2008.1.1-2017.12.31

出力：30分瞬間値（海面のみ）
日平均値

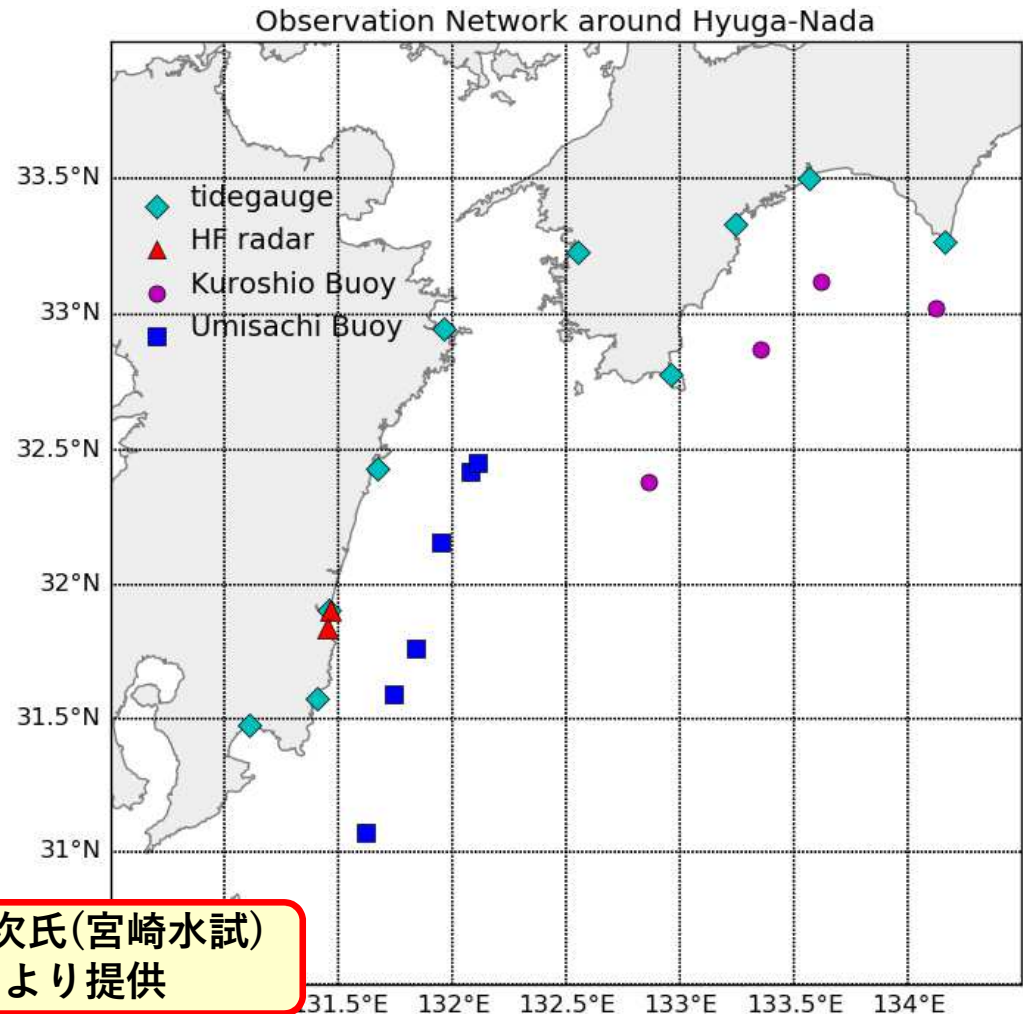


日向灘周辺の観測網

検証に用いた独立データ

- 潮位計(水位)
 - 日本沿岸で、長期間にわたる観測
 - 日平均値(気圧,潮汐の補正あり)で比較
- 黒潮牧場ブイ(流速)
 - 土佐湾や室戸岬沖、足摺岬沖
 - <http://www.suisan.tosa.pref.kochi.lg.jp/>
 - 東西、南北流速の日平均値で比較
- うみさちブイ(流速)
 - 日向灘に南北に展開
 - 2015年までのデータを所持
 - 絶対流速の日平均値の比較(時折、流向が疑わしいため)
- HFレーダー(海面流速)
 - 宮崎港局と清武川局
 - 2015年11月~2017年1月
 - 視線流速に変換して比較

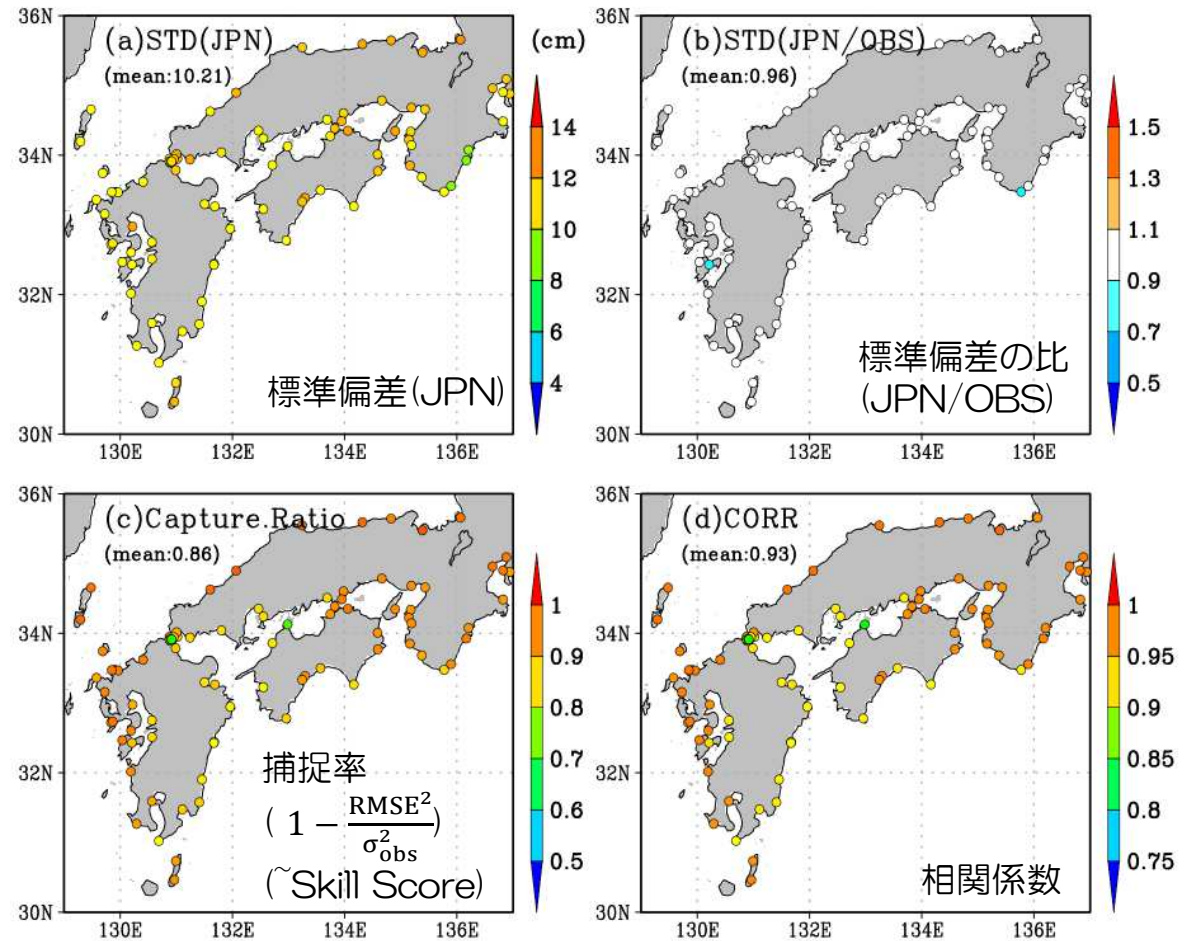
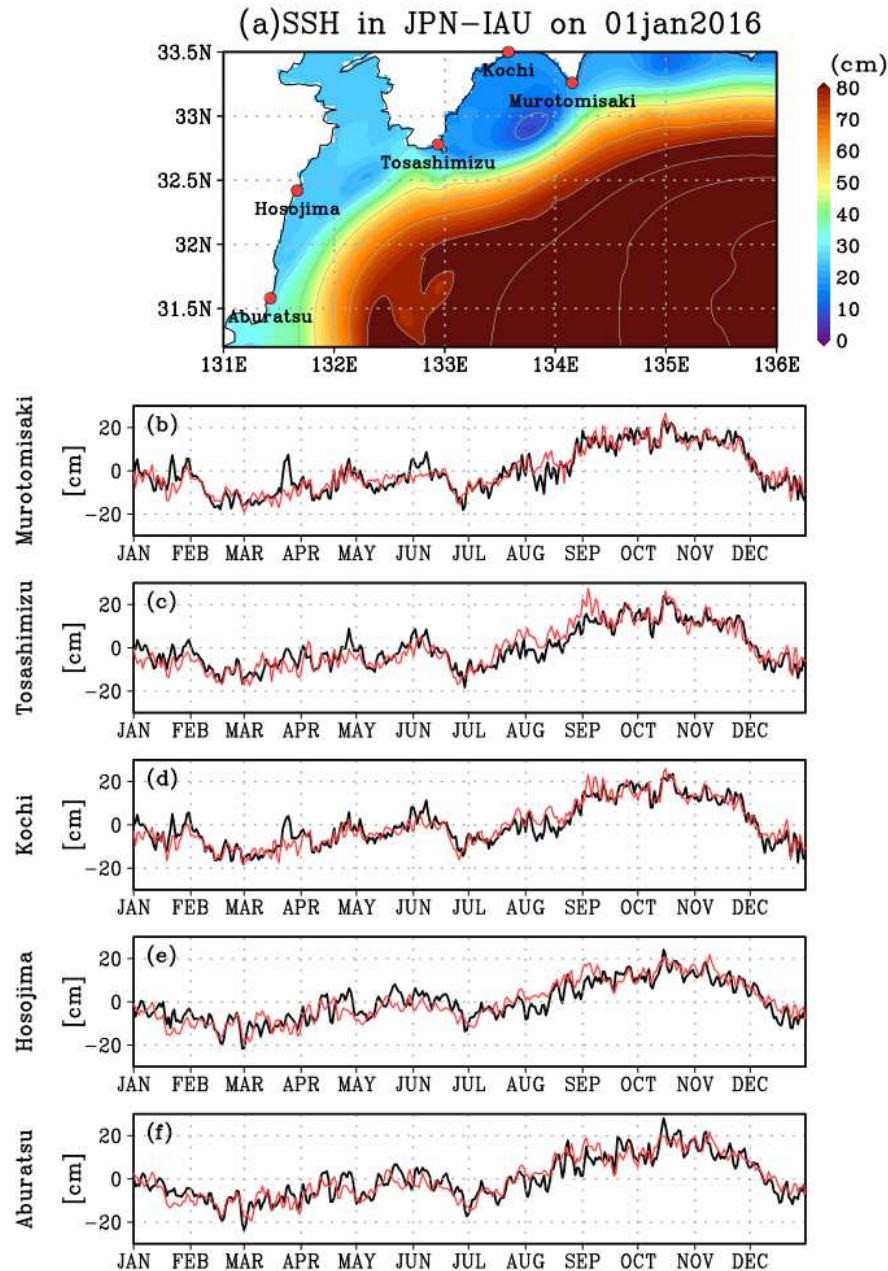
渡慶次氏(宮崎水試)
より提供



日向灘周辺の観測網

水位変動の検証(対潮位計)

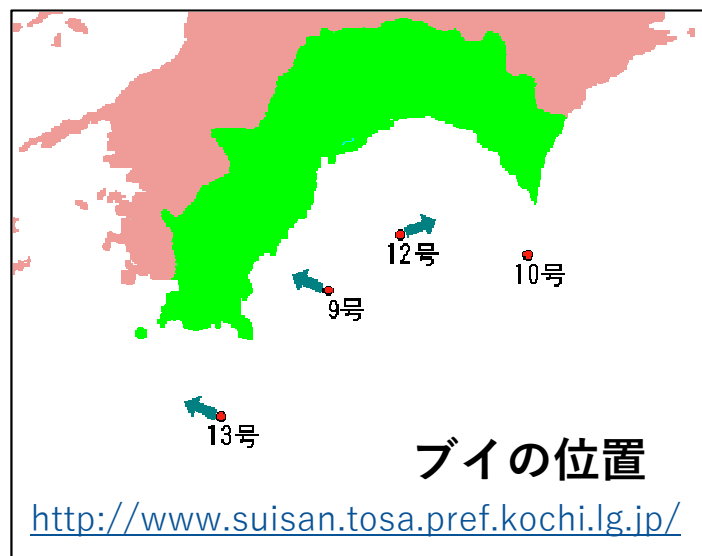
- 観測(潮位計)、モデル(JPN-IAU)の日別値
- 各年で観測とモデルの統計指標を計算
 - 標準偏差、相関など
- 2008-2017の期間で統計指標を平均
 - 標本の最大は10年



黒潮域の流速場の検証

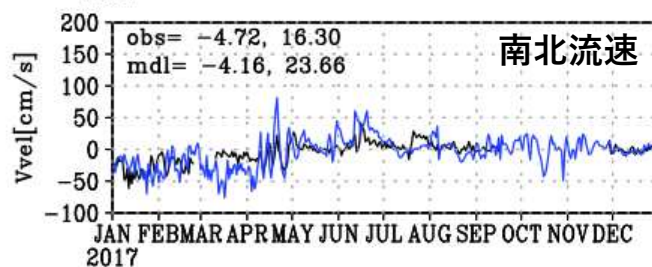
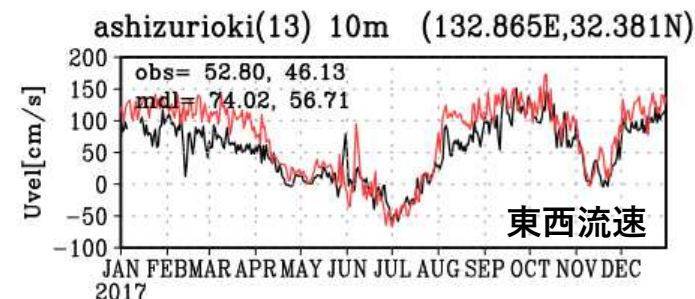
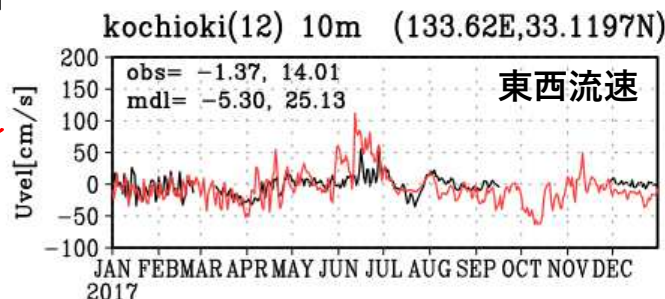
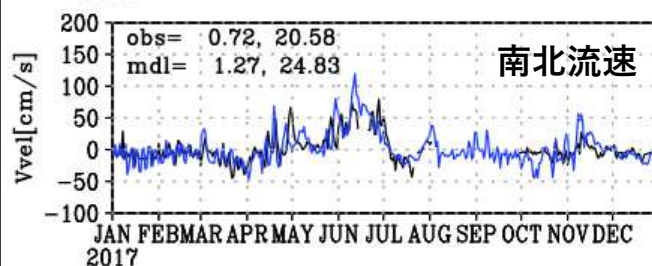
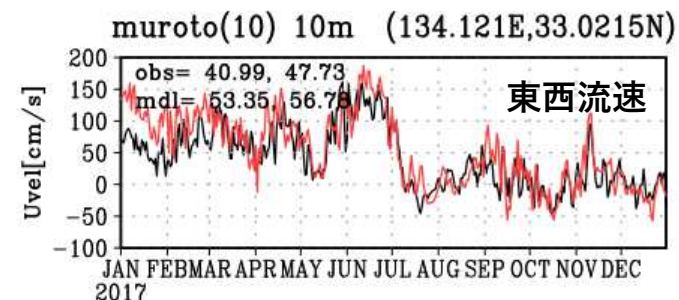
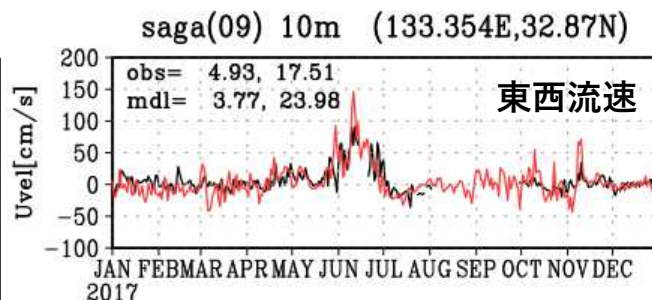
- 黒潮牧場ブイの流速比較(2017年)

- JPN解析値(カラー)
- 観測(黒)



☺JPNは黒潮に伴う
流速変動を良く捉えて
いる。

4DVARを適用することで、流速
の再現性が大きく向上(図なし)



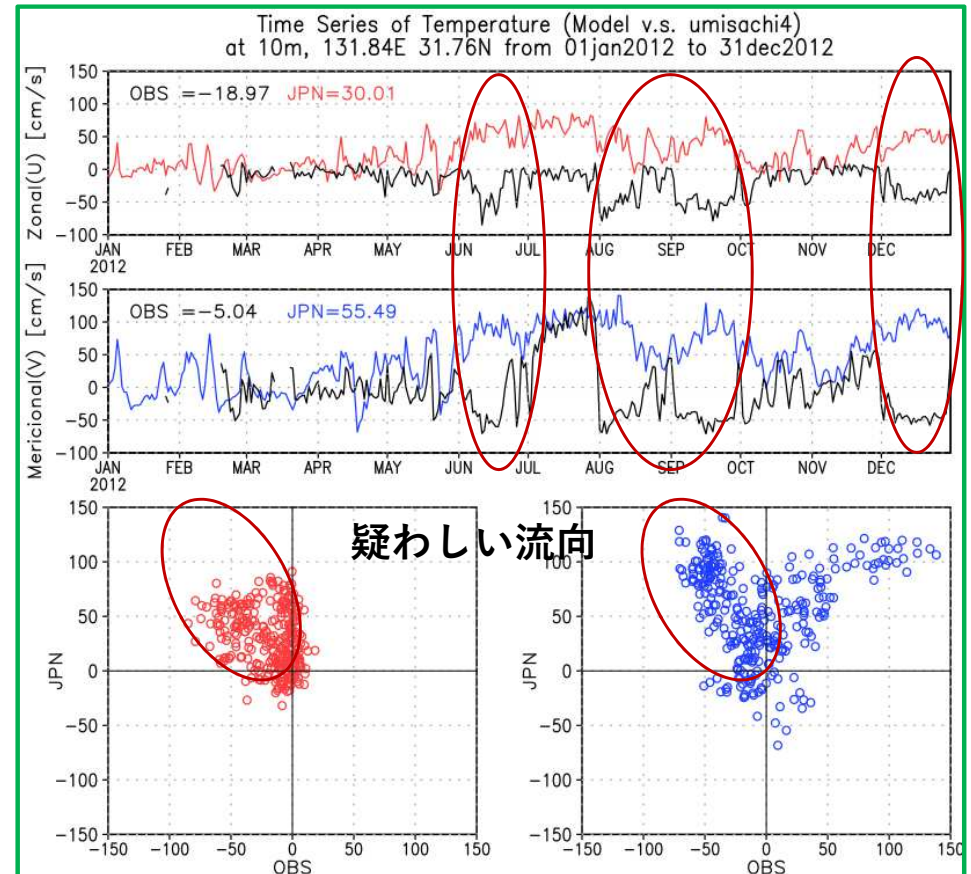
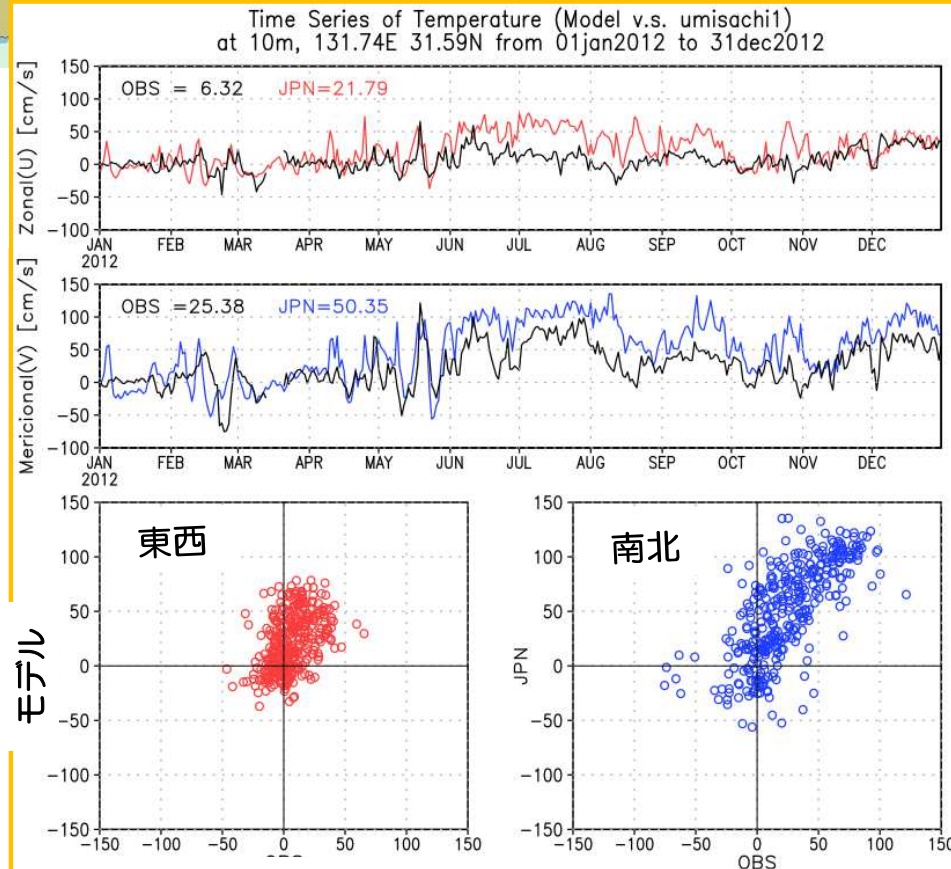
うみさちブイ

- 変動のオーダーは合う。
- 不自然な流向が現れる時がある。
- 渡慶次氏(宮崎水試)から信頼できる流向の期間の情報をいただいている。
→絶対値として評価。



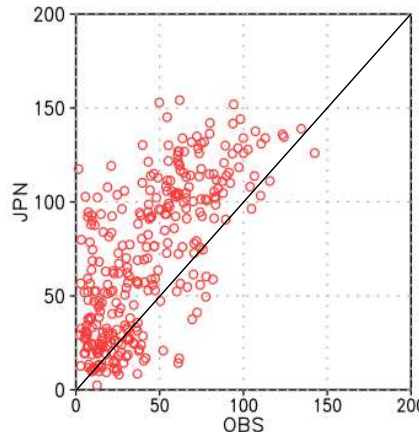
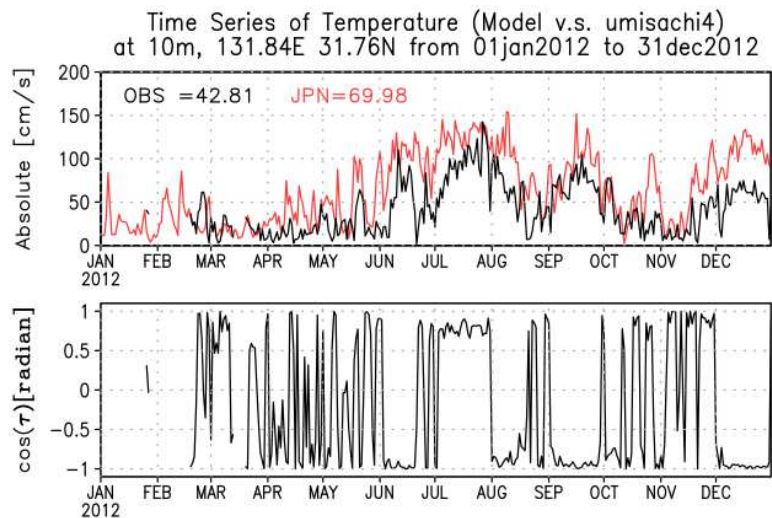
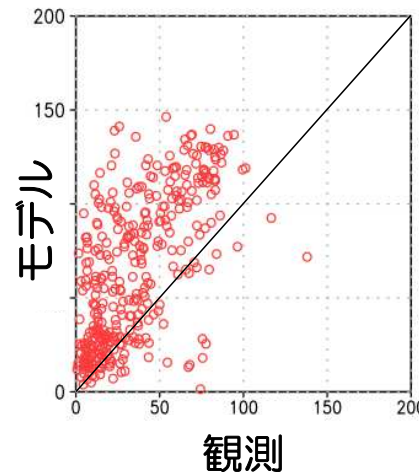
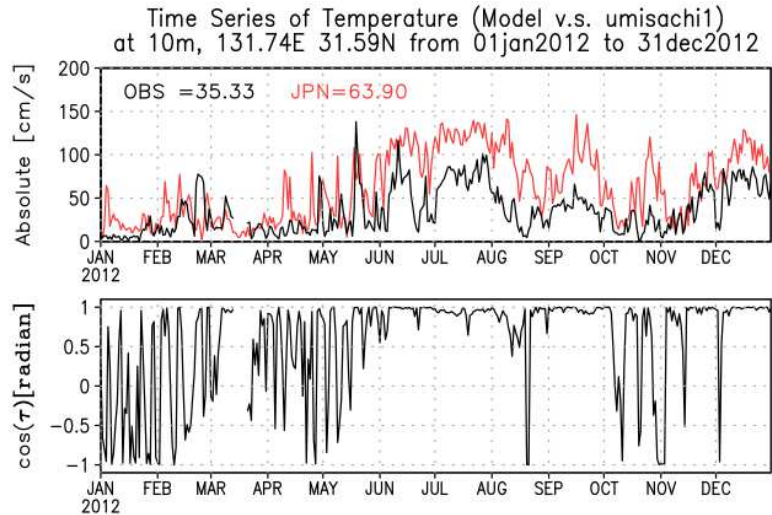
東西

南北



うみさちブイ(絶対流速と流向)

- 東西、南北流速から絶対流速と流向に変換して比較



観測 : $\mathbf{V}_{obs} = (u_{obs}, v_{obs})$
モデル : $\mathbf{V}_{mdl} = (u_{mdl}, v_{mdl})$
絶対流速

$$V^{abs} = \sqrt{u^2 + v^2}$$

流向

観測とモデルの内積で評価

$$\cos\theta = \frac{\mathbf{V}_{obs} \cdot \mathbf{V}_{mdl}}{|\mathbf{V}_{obs}| |\mathbf{V}_{mdl}|}$$

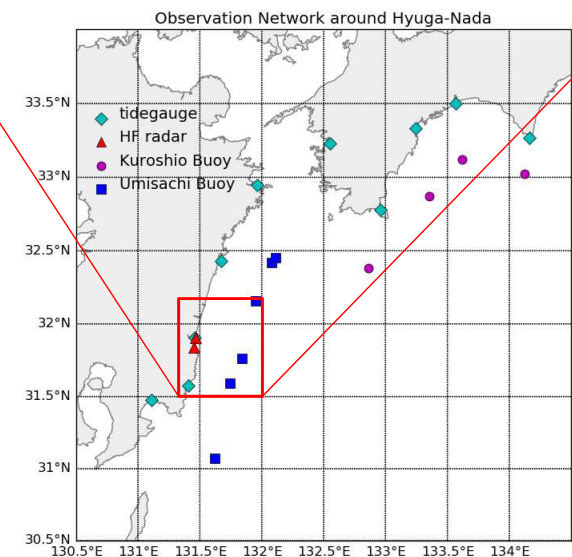
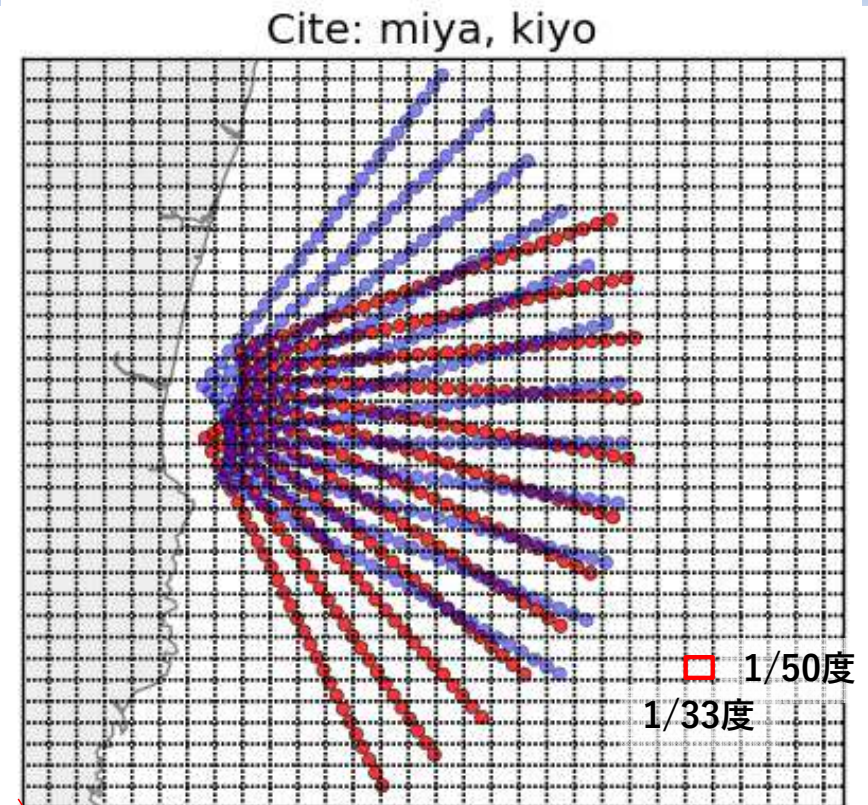
$$\cos\theta = \begin{cases} 1 \rightarrow \mathbf{V}_{obs} \parallel \mathbf{V}_{mdl} \text{ 同方向} \\ 0 \rightarrow \mathbf{V}_{obs} \perp \mathbf{V}_{mdl} \\ -1 \rightarrow \mathbf{V}_{obs} \parallel \mathbf{V}_{mdl} \text{ 逆方向} \end{cases}$$

- ✓ 流速絶対値のオーダー、変動パターンは合う。
 - ✓ ややモデル過大
- ✓ 時折、観測とモデルが正対した流向をとっている。
 - ✓ 不自然な流向の出現は、ブイ番号や観測期間毎に異なる。

HFレーダー観測の概要

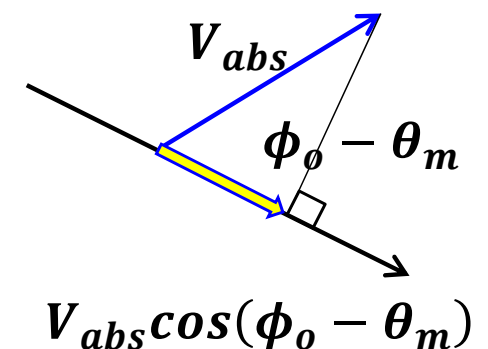
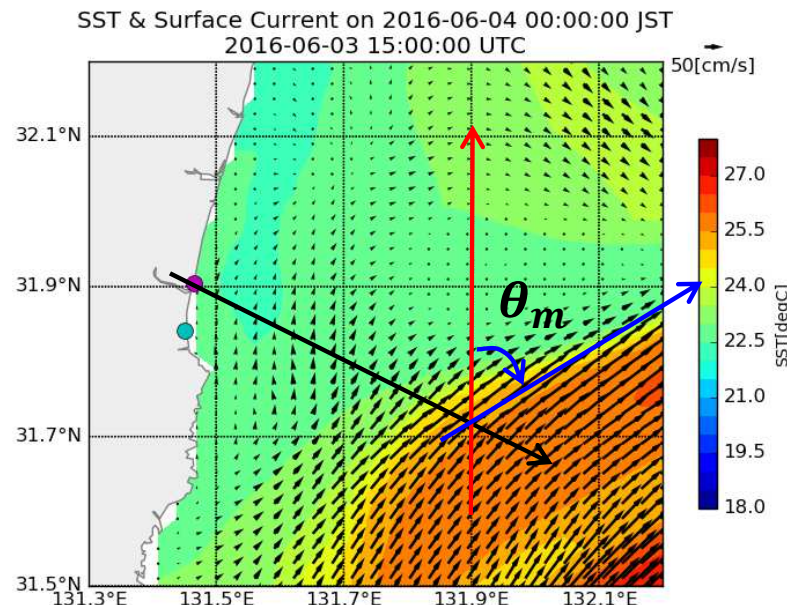
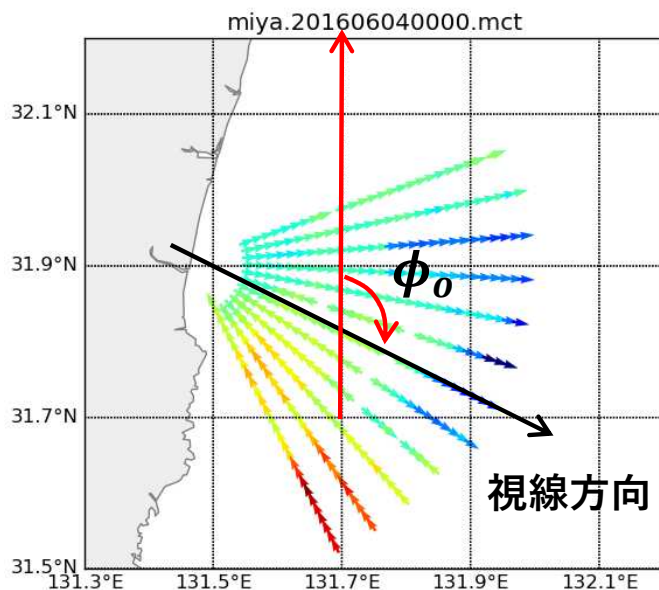
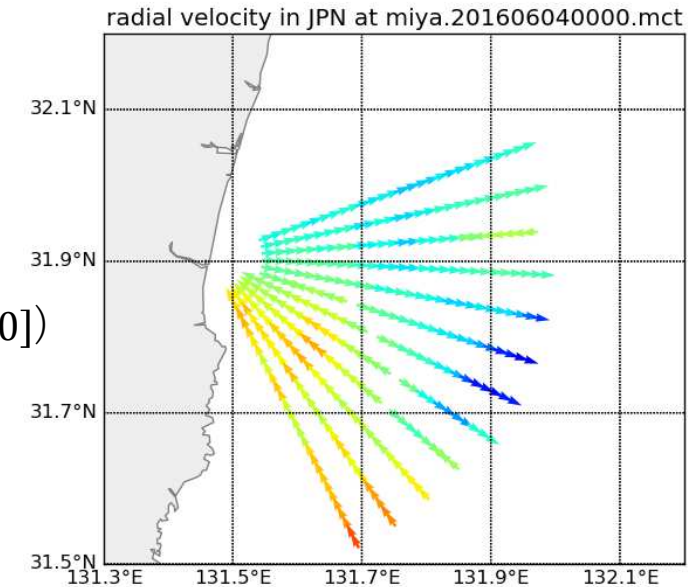
渡慶次氏(宮崎水試)から視線流速に変換済のデータを提供いただく

- HFレーダーの観測網
 - **宮崎港局**: 2015/11/20~2017/1
 - **清武川局**: 2016/3/28~2017/1
 - 中心周波数: 24.5MHz
 - 距離分解能: 1.5km
- データ要素
 - 観測時刻(JST)、経緯度、視線流速、観測局からの距離、北からの回転角
 - 時間分解能は2時間
- 現在は宮崎局と美々津局を運用中
 - 13MHz ~ 3km分解能
- 本発表では、**宮崎港局**のデータを用いた検証を紹介する。

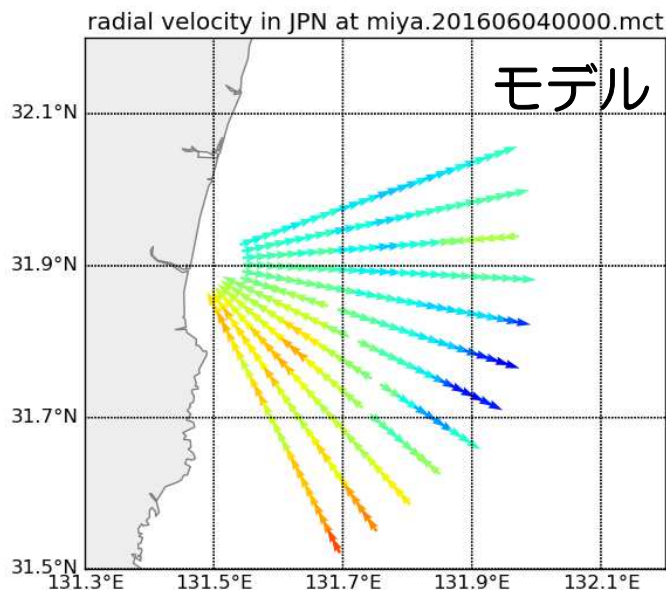
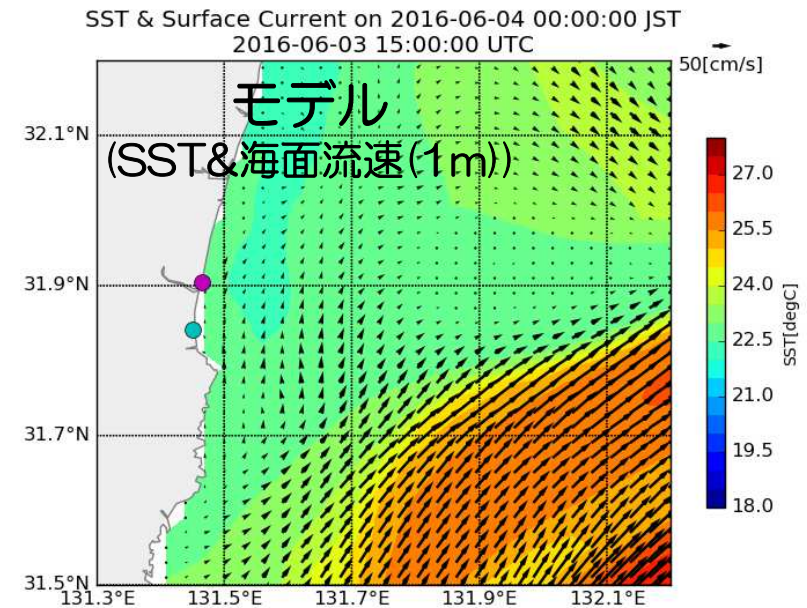
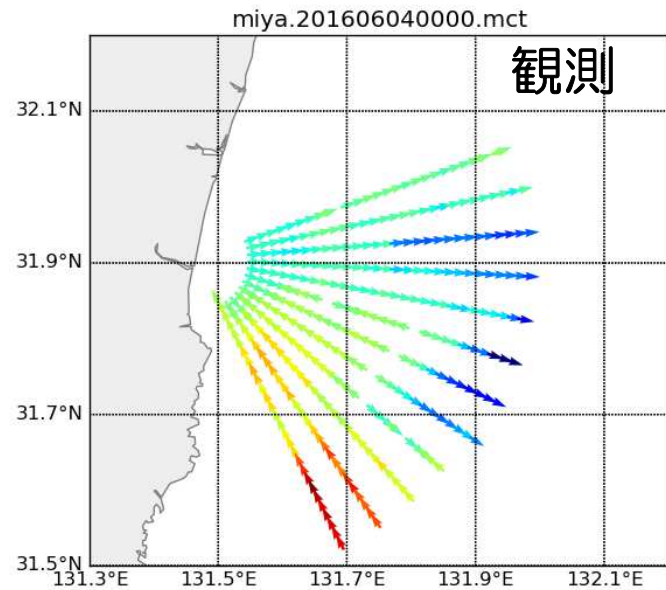


モデル出力の視線流速への変換処理

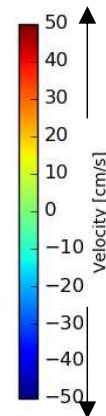
- 観測データの測定情報
 - 測定：位置固定、JST
 - 要素：視線流速、北からの回転角(ϕ_o)
 - 基地局に近づく方向に正の値
- 対応するモデル格子点(i, j)における(U_m, V_m)を抽出。
 - 絶対流速($V_{abs} = \sqrt{U_m^2 + V_m^2}$)と北からの回転角を出力($\theta_m: [0, 360]$)
 - 30分瞬間値(UTC)をJSTの観測時刻を合わせる。
- モデル流速を基地局の視線方向に変換
 - 変換角度： $\phi_o - \theta_m$
 - 視線流速の正值は、基地局に近づく方向。



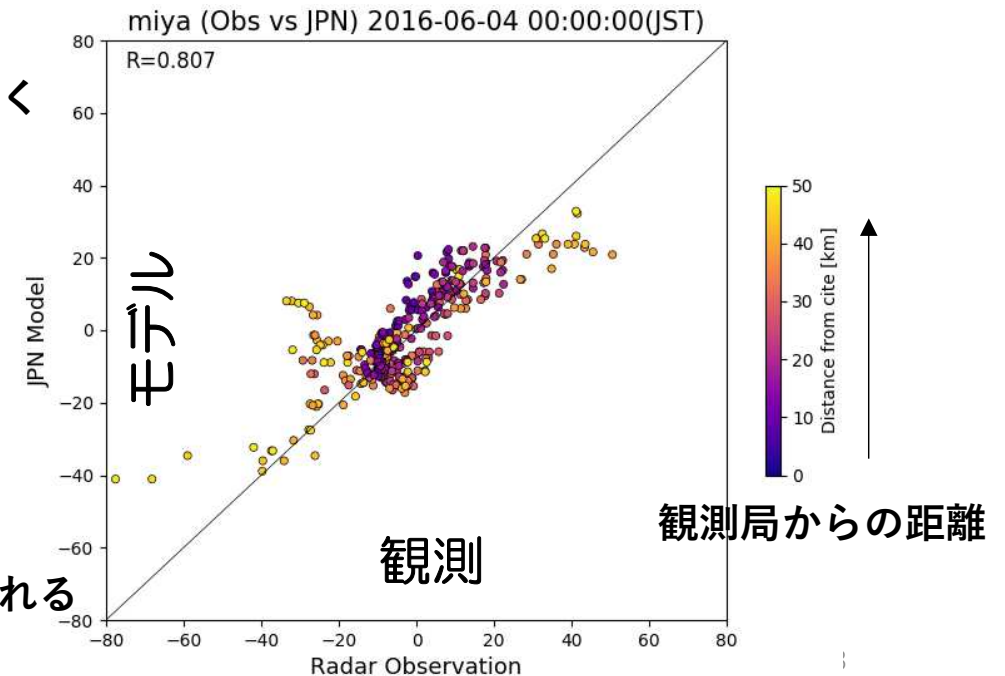
宮崎港局(hourly, snapshot, JST)



観測局に近づく

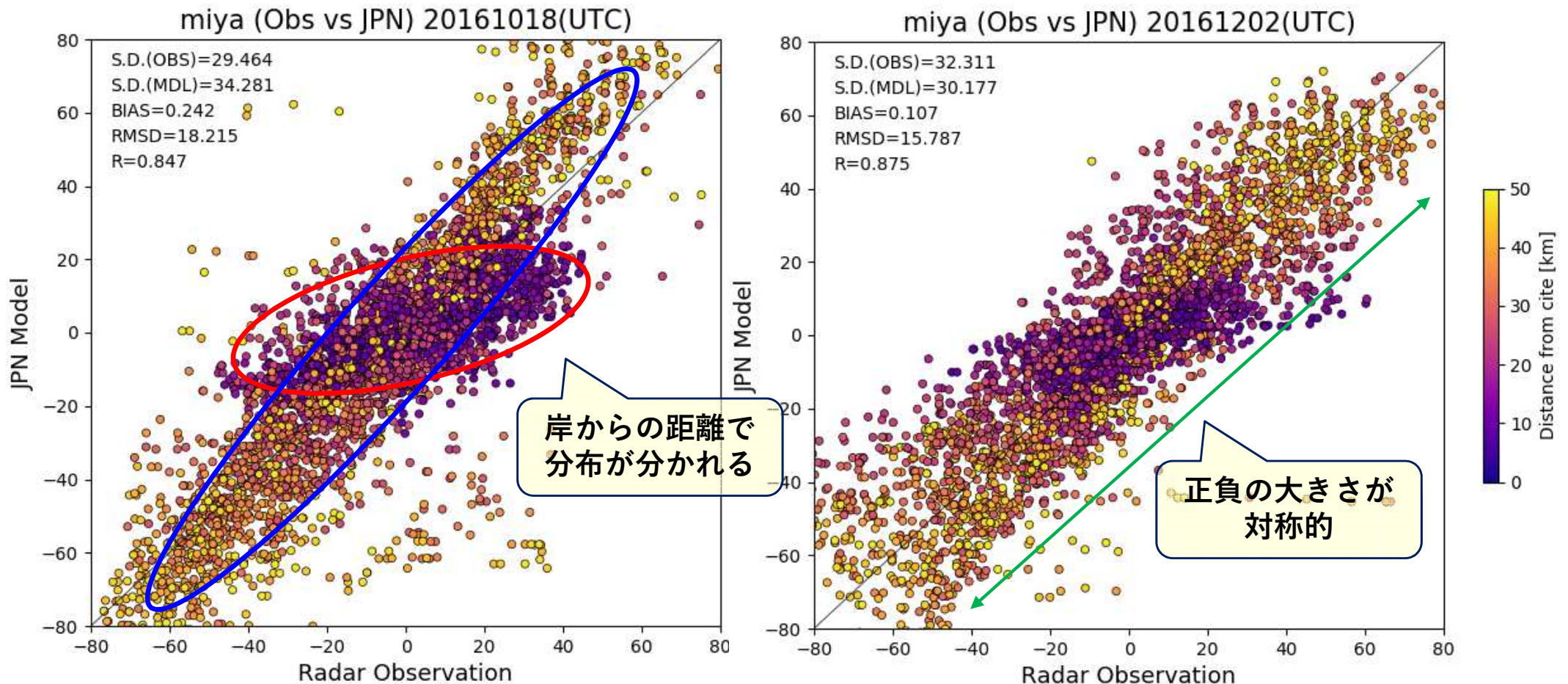


観測局から離れる



観測とモデルの対応が良い事例

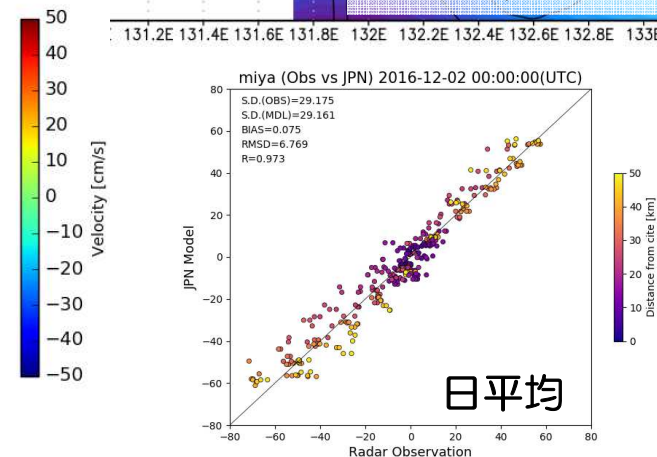
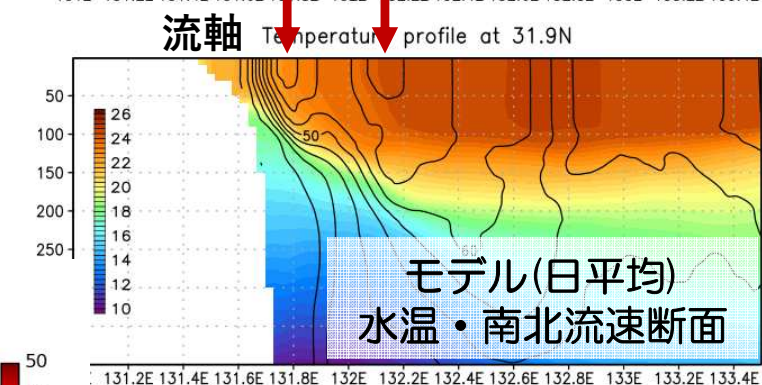
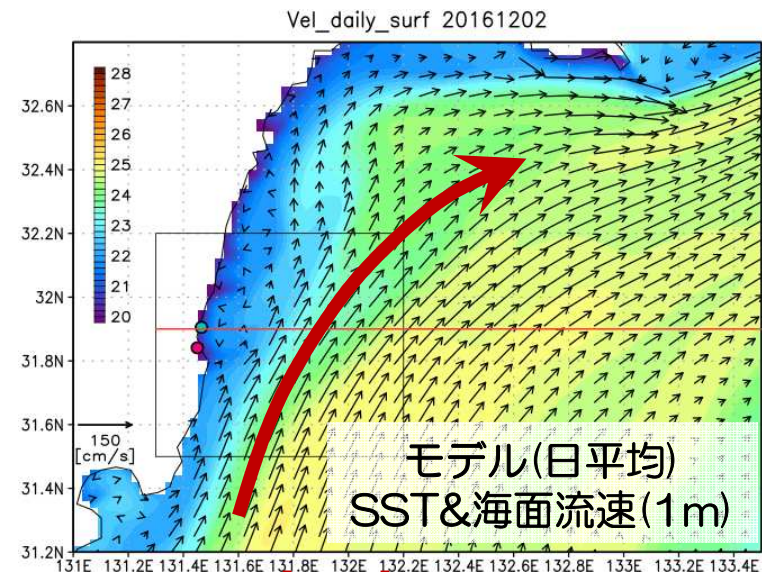
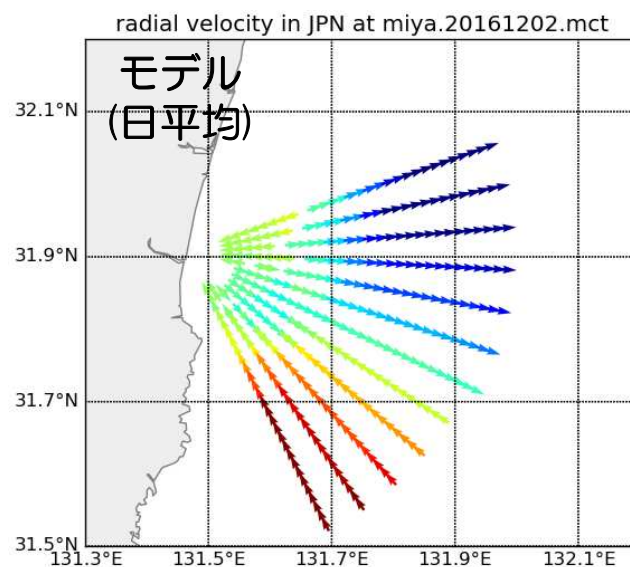
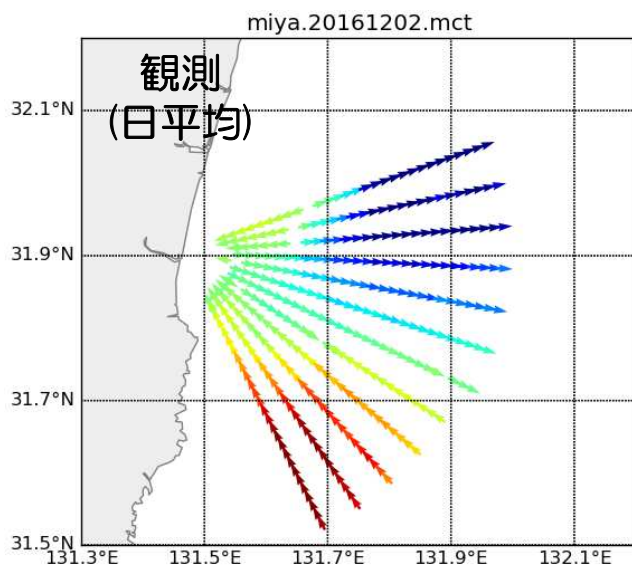
- 例：宮崎港局：2016/10/18, 2016/12/2
 - UTC時刻に合わせる
 - 10JST-08JST(+1dy) (2h間隔)



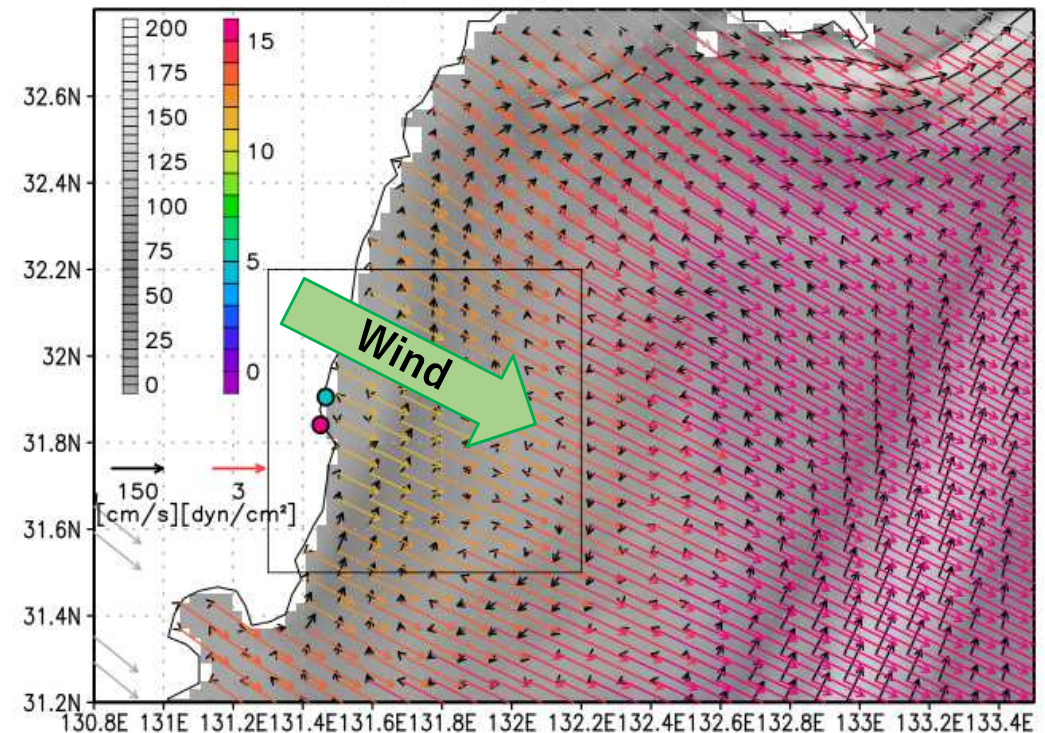
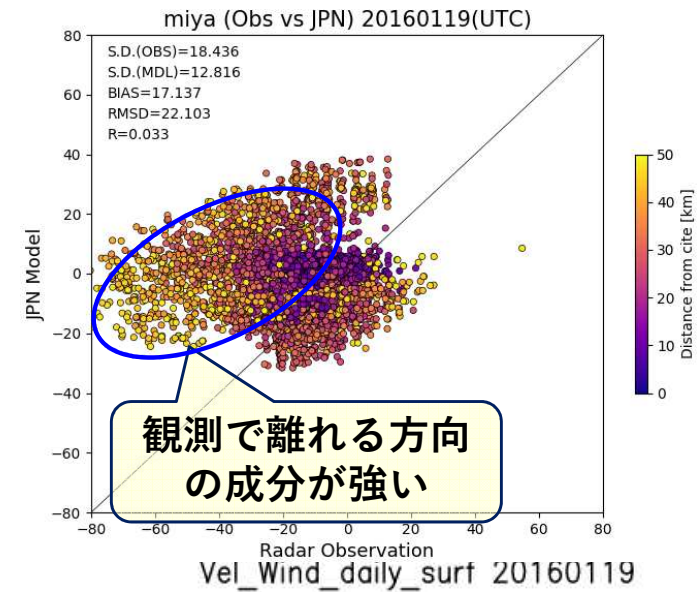
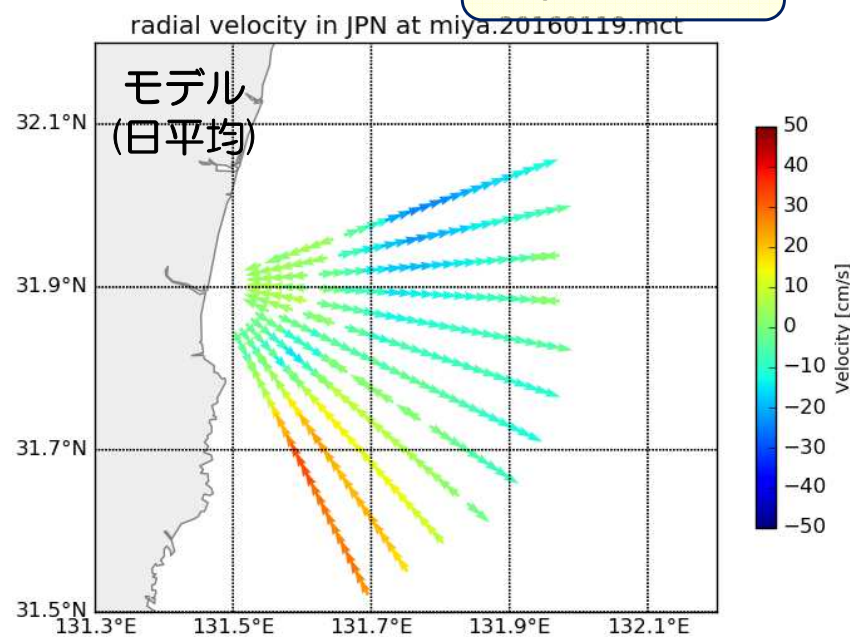
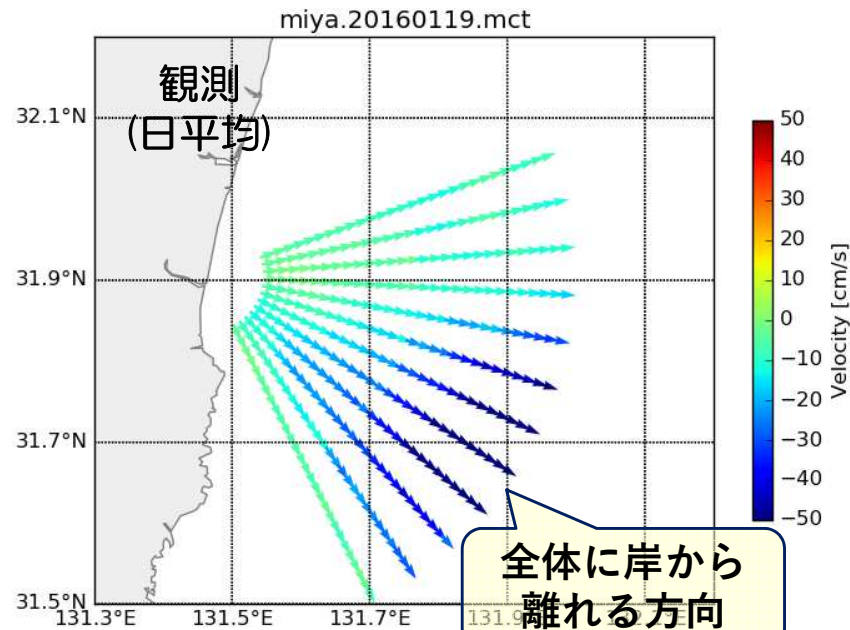
2016/12/2の例

視線流速とモデルの2次元流速場

- 沖合で視線流速の値が大きい
- 黒潮が日向灘の岸よりを北上。
 - HFレーダーの観測範囲内
- 2つの流軸のコア
 - 131.8E, 0-100m→レーダーによる検知
 - 132.1E, 0-150m(黒潮の本流か)



風による吹送流への影響(2016/1/19)



視線流速の検証

- データ

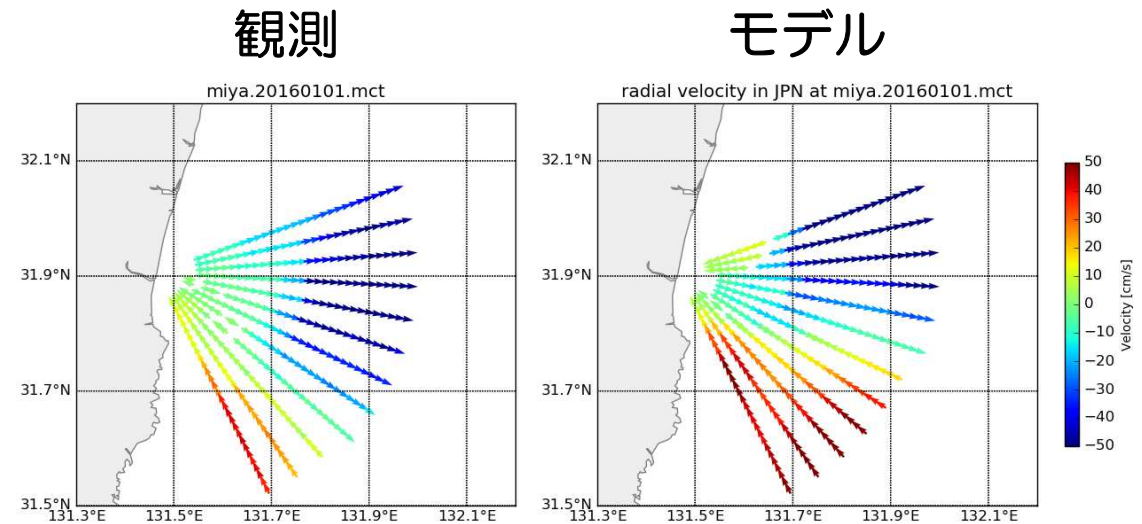
- 標本：観測空間全体
- 日平均値(UTC)
 - 12レコード揃う場合のみ
 - 2016年の1年間
- 宮崎港局(miya):N=336
- 清武川局(kiyo): N=234

- 統計指標(各基地局)

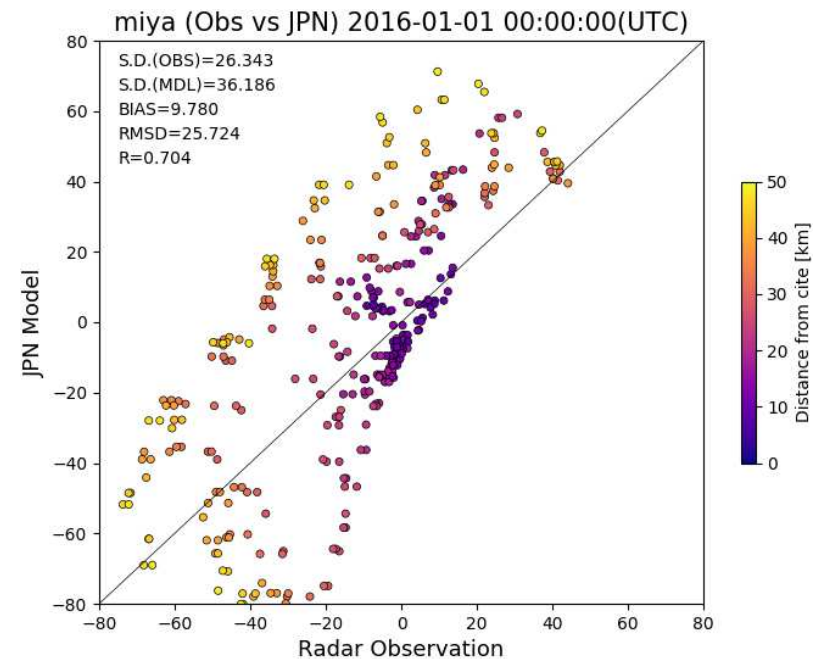
- 標準偏差(観測、モデル)
- バイアス(モデル-観測)
- RMSD
- 相関係数

- 参考：32Nにおける最大流速経度

- モデル結果より計算
- 黒潮の流軸位置を代表させる

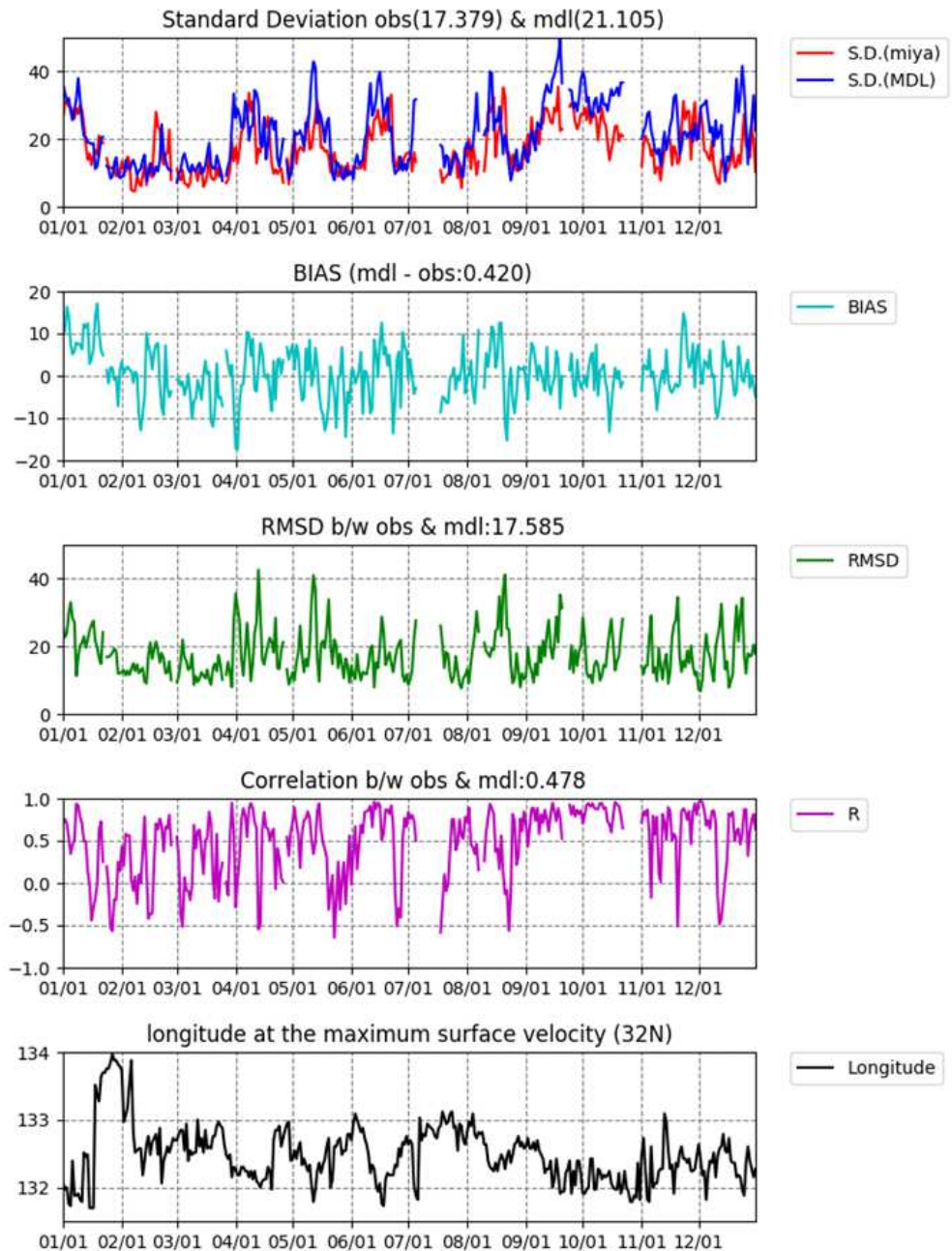
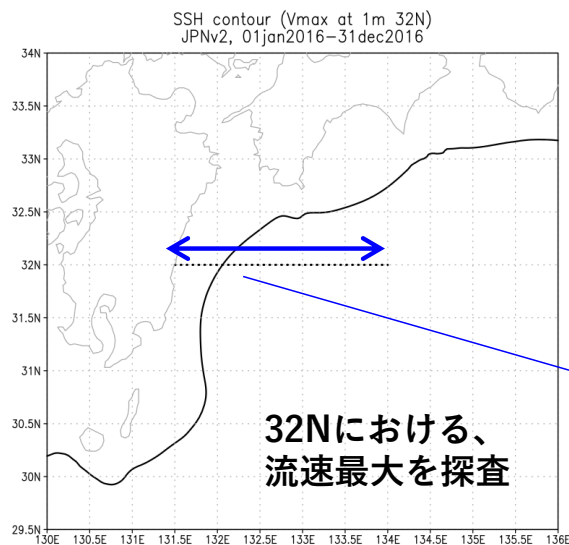


各種統計量(空間代表)



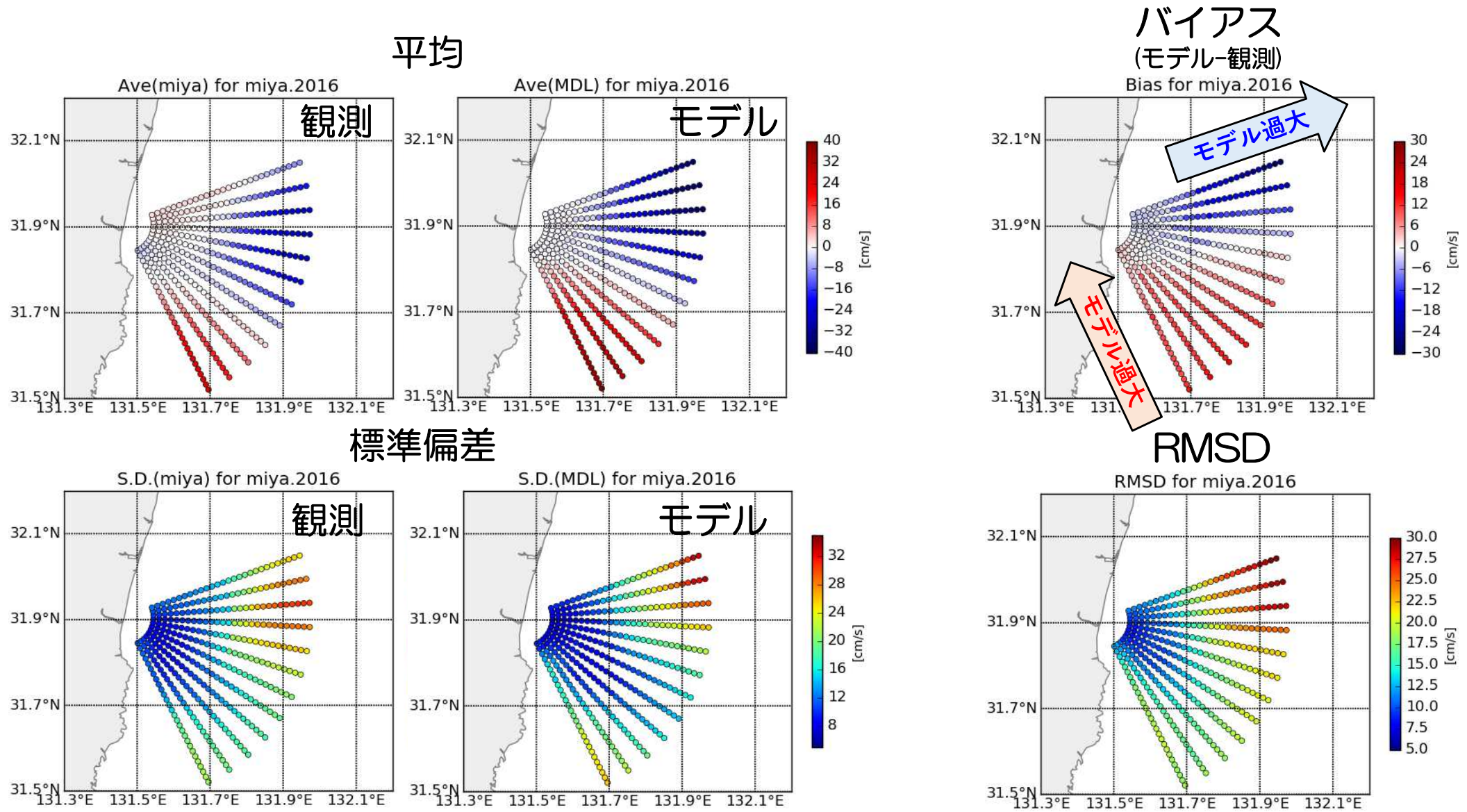
統計指標の時間変化(宮崎港局、2016年)

- 標準偏差
 - 観測(17.379)、モデル(21.105)
 - モデルの方がやや変動が大きい
 - 時間変動のパターンは合う
 - RMSD(17.585)とも変動は関連
- バイアス(-0.420)
 - 系統的には小さい
- 相関係数(0.478)
 - 高い時は0.9を超える
 - 黒潮流軸が岸に近いと相関が高い傾向はありそう



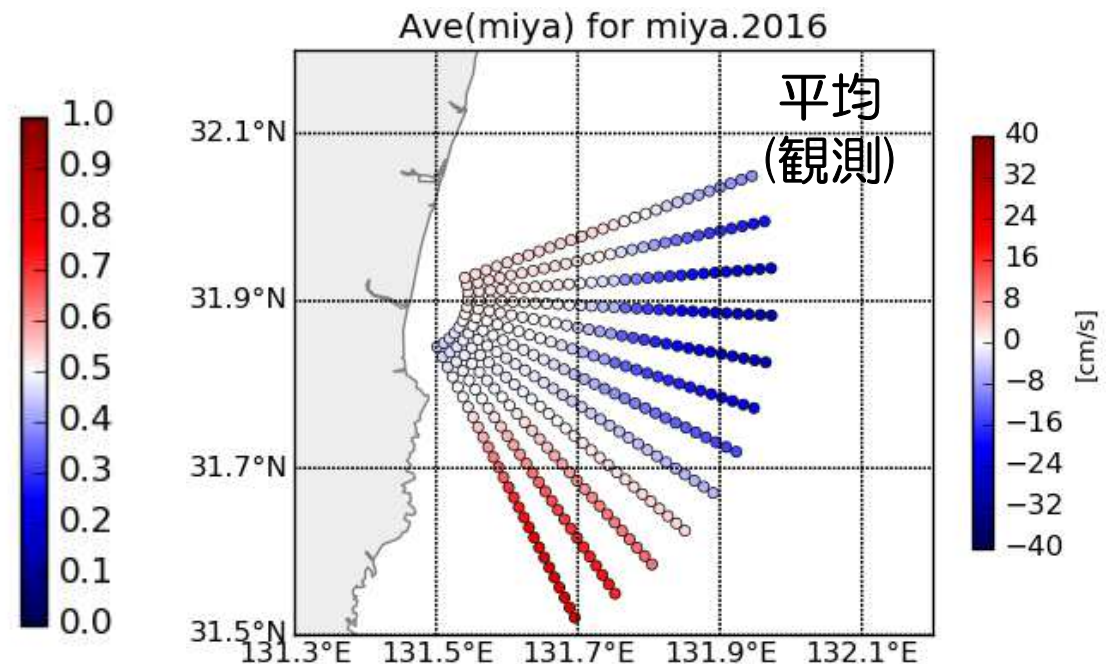
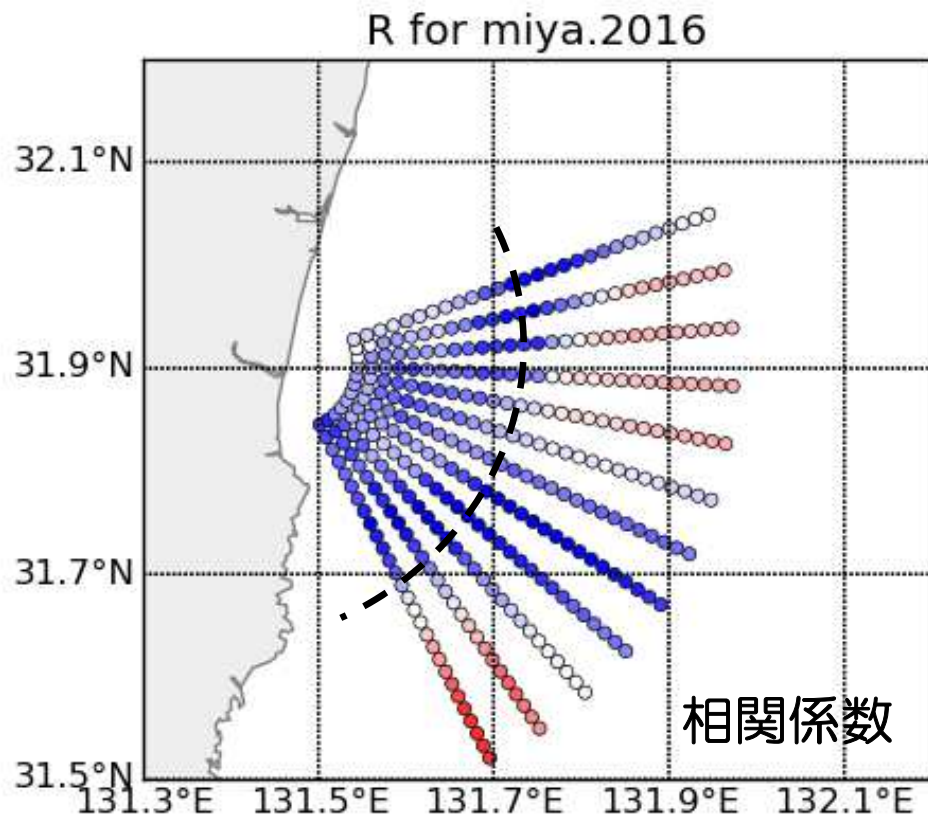
統計指標の空間分布(宮崎港局、2016年)

- 各観測点において時間方向にサンプリング
 - 同様に、標準偏差、バイアス、RMSD、相関等を計算



相関係数の空間分布

- 沖合：相関高め
 - 黒潮や暖水波及の影響。→深い流速構造と関連がある可能性
 - 北からの回転角が120度前後は相関低い
 - » 平均流速が弱い。
 - » 黒潮の流向との関係で捉えずらい方向か。
- 沿岸：相関低め
 - 元々の変動が小さいことに注意。



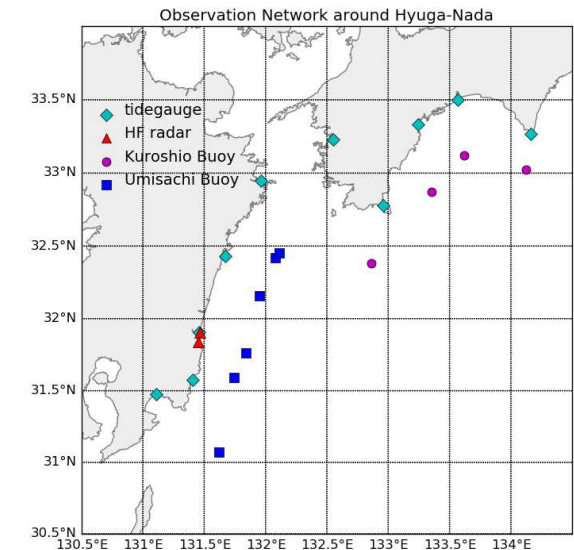
流速同化に向けて

• 流速観測

- ブイやADCP観測：点、鉛直に複数層
- HFレーダー観測：面的、海面

• HFレーダーの同化に向けて

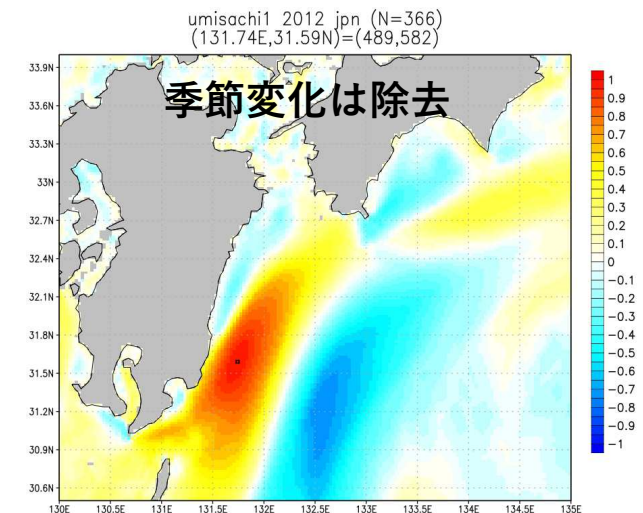
- 視線流速(1次元データ)の同化
→速度(u,v)の背景誤差共分散の設計が重要
- 観測(ごく海面)とモデル(水深1m)の吹送流の表現の違い
→風向や風速と海面流速場の相関関係が必要か
- モデルの大気外力の解像度の問題(今回はJRA55-doの55km)
→表現誤差として扱う必要がある



モデルの南北流速 の相関構造

• 日向灘周辺の海況

- 黒潮やそれに伴う流れが沿岸付近をしばしば通過
- 表層(~100m)に傾圧構造を持つ。
- HFレーダーにより強い流れが捉えられる
- 空間相関分布→流れ依存の修正範囲を推定が必要。



まとめ

- JPNシステムの**日向灘周辺の再現性**を検証

- 水位、黒潮牧場ブイ、うみさちブイ

- 中規模から短期変動まで概ねよくあっている。

- 短期イベントが存在していれば、詳細な解析が必要

- **HFレーダー**

- 観測とモデルの**視線流速**で比較

- 対応のよい時：レーダーが**強い流軸(黒潮や前線波動)**を捉えるとき

- 対応の悪い時：風による吹送流の影響は一つの要因

- レーダー観測で捉える海面情報と、モデル第一層の表現性の違い。

- モデルの大気外力の解像度(今回は、JRA55の約55km)

- 海洋モデルの空間解像度の問題もある。

今後の課題：流速のデータ同化の開発

- 適切な誤差相関関係の設計が必要。

- 日向灘周辺はデータが充実。

- 短期変動(急潮や暖水波及)への影響を評価

公開データの利用者を募集中

- JPN情報：https://mri-ocean.github.io/mricom/mri.com-user_jpn_start.html

- Contact：nhirose@mri-jma.go.jp

- 一部の研究者の方々には、データの提供済み。