

九州大学応用力学研究所 研究集会

「海洋レーダを用いた海況監視システムの開発と応用」

2023年12月19日-20日

開催場所 九州大学筑紫キャンパス

2023年12月19日(火)

16:10-16:30

深層学習モデルを用いた海洋レーダによる 風・波浪同時観測の試み

三宅 智大¹⁾・片岡 智哉²⁾・田村 仁³⁾

1) 愛媛大学 工学部 工学科

2) 愛媛大学 大学院理工学研究科

3) 港湾空港技術研究所 海洋利用研究領域



背景・目的



短波海洋レーダ

沿岸から短波帯電波を照射し、海面からの散乱波をスペクトル解析することで海面の流れや波浪などを観測する

→面的に陸上で沿岸波浪を計測可能

海洋開発, 沿岸開発, 船舶運行などに重要

(久木, 2020)



HF Radar

(場者: 佐喜浜局 所有: 三菱電機)

ドップラースペクトル(DS)・波浪スペクトル

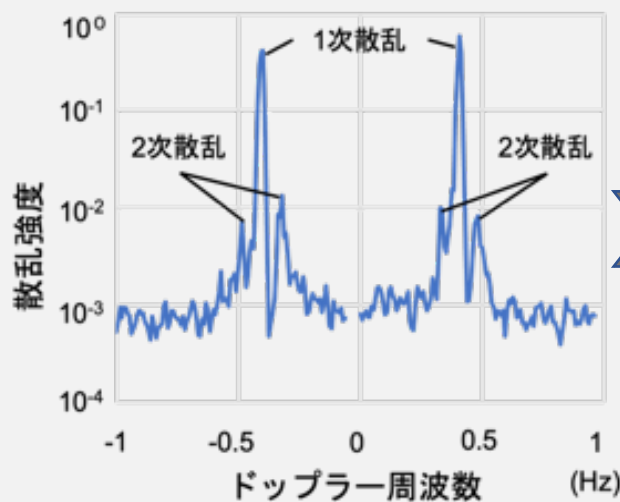
ドップラースペクトルの2次散乱から波浪情報を抽出し波浪スペクトルを推定する

(久木, 2020)

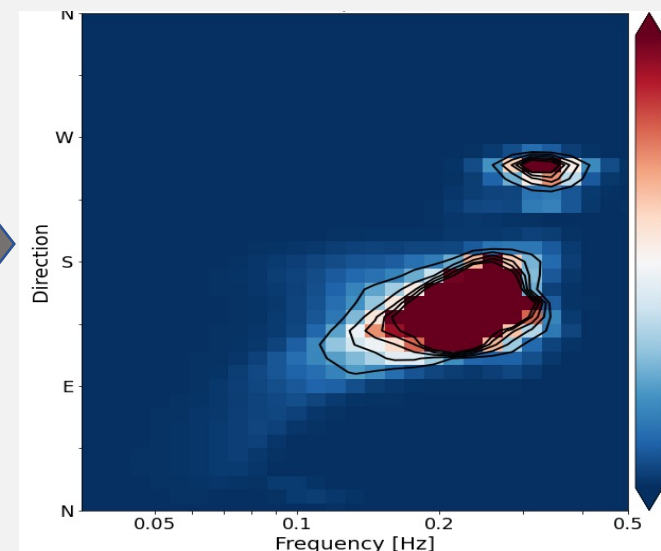


- 1次散乱と2次散乱の分離が必要
- レーダ2局のDSが必要

ノイズの影響で1次散乱と2次散乱の分離が困難になる



$$\begin{cases} \mathbb{K}_1 + \mathbb{K}_2 = -2 \mathbb{K}_0 \\ \lambda_0 = 2\pi \div \mathbb{K}_0 \end{cases}$$



(波浪スペクトル)



波浪推定に用いるDSの選択

波の測定には2次散乱において少なくとも10dbの信号対雑音 (SN) 比が必要

→波浪推定に用いるDSの選択が必要

(Kataoka et al, 2023)

風向・風速

ドップラースペクトル(DS) → 風向・風速

うねり性の波による影響でスペクトルから風速を推定する物理モデルを見つけるのは困難

(Wyatt, 2022)

深層学習の活用による仮説

課題

- ① 1次散乱と2次散乱の分離が必要
- ② レーダー2局のDSが必要
- ③ 高SN比を有したDSの選択の必要
- ④ 海洋レーダを用いた風速・風向の推定
- ⑤ 風・波浪計測の汎用性



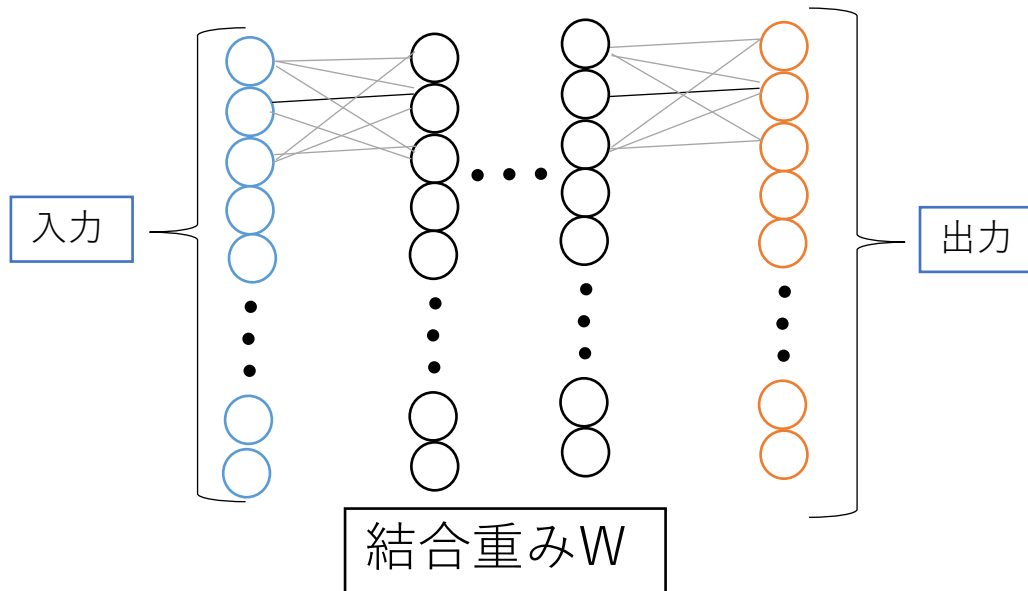
- ① 分離が不要
- ② 1局のみでも波浪推定が可能
- ③ 波浪計測に適したDSを自動選択
- ④ 風向・風速の推定が可能に
- ⑤ 汎用的な計測が可能

目的 深層学習を用いて海洋レーダーから風と波の同時観測を試みる



研究概要

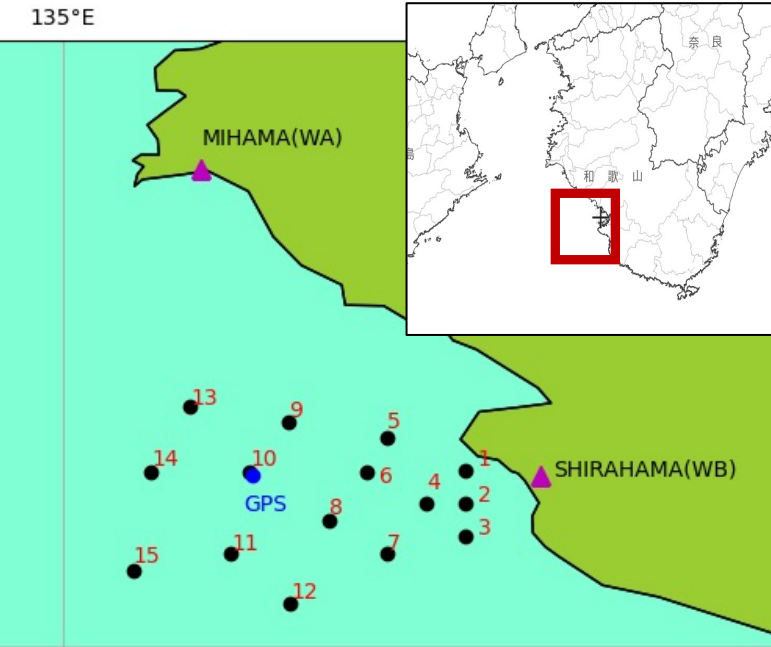
Neural Networkの学習



出力が正解に近づくよう
重みWを更新していく

入力値・・・DS
出力値・・・波浪スペクトル
(WAVEWATCH-III)

期間：2013年8,9月
場所：紀伊水道(15地点)



重みWを用いてDSから波浪スペクトルを推定する

- ①学習で使用した2013年8, 9月のDS
- ②学習で使用していない2014年8, 9月のDS

GPS波浪計(国土交通省)→ 波の推定精度の検証
MSM (気象庁)→ 風の推定精度の検証

Single Point Selection

①1stnモデル

②2stnモデル

DS1局(三浜・白浜)

DS2局

波浪スペクトル
風速・風向

Single Point Selection
(SPS)

Quad Point Selection

③1stnモデル

④2stnモデル

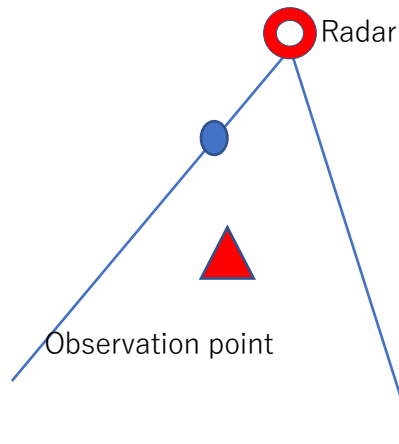
DS1局(三浜・白浜)

DS2局

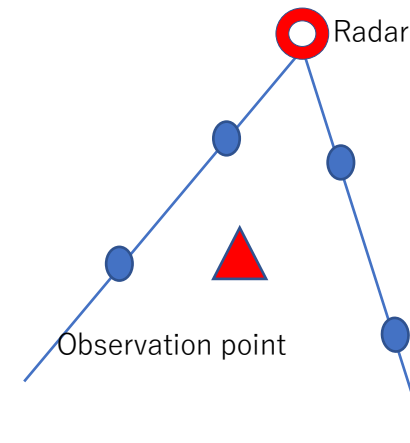
波浪スペクトル
風速・風向

Quad Point Selection
(QPS)

WAVEWATCH-III (WW3)
入力風: ERA5
海底地形: ETOTO1
ネスト回数: 3回
(Tamura et al., 2021)



(DS)1stn





SONYのNeural Network Console(NNC)を用いて深層学習を行う
紀伊水道の2013年8,9月のデータを学習させる

- 課題**①**の検証
 - WW3と比較して波浪スペクトルの推定精度を確認
- 課題**②**の検証
 - 1stnモデルと2stnモデルとで推定精度の確認
- 課題**③**の検証
 - SPSモデルとQPSモデルとで推定精度の比較
- 課題**④**の検証
 - MSMの風速・風向データと比較し検証
- 課題**⑤**の検証
 - 2014年8,9月のDSから波浪スペクトルを推定する
 - GPS波浪計のデータとの比較（波高, 周期, 波向）
 - MSMの風データとの比較（風速, 風向）

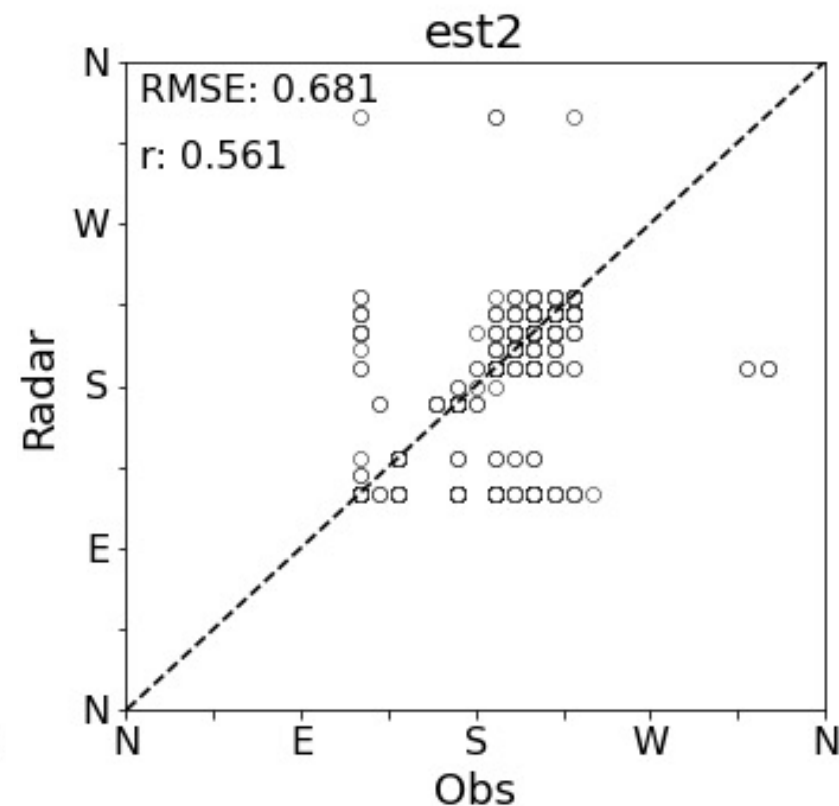
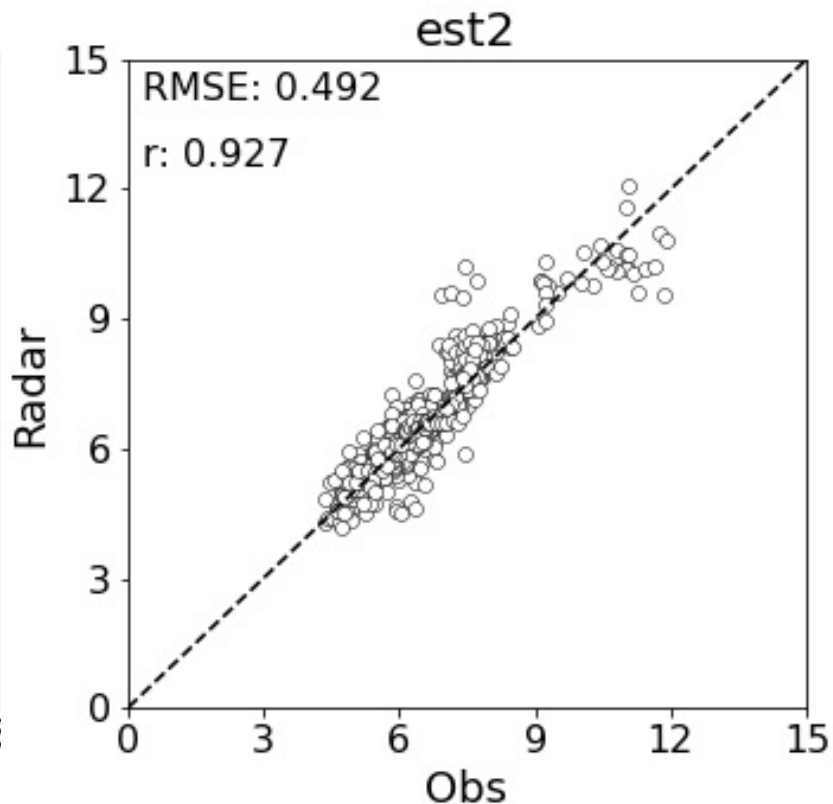
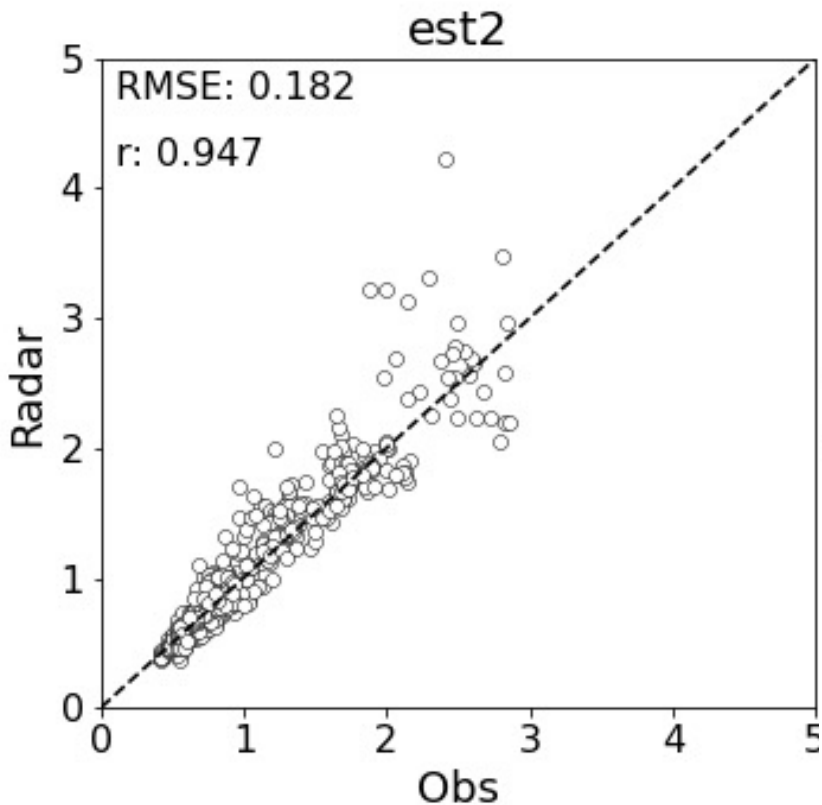


SPS

波高の相関：地点10

周期の相関：地点10

波向の相関：地点10





結果1. まとめ

波高, 周期, 波向, 全てにおいてWW3との高い相関が確認できた

→課題**1**で挙げた1次散乱と2次散乱の分離無くとも
レーダーから波浪スペクトルを推定することが可能



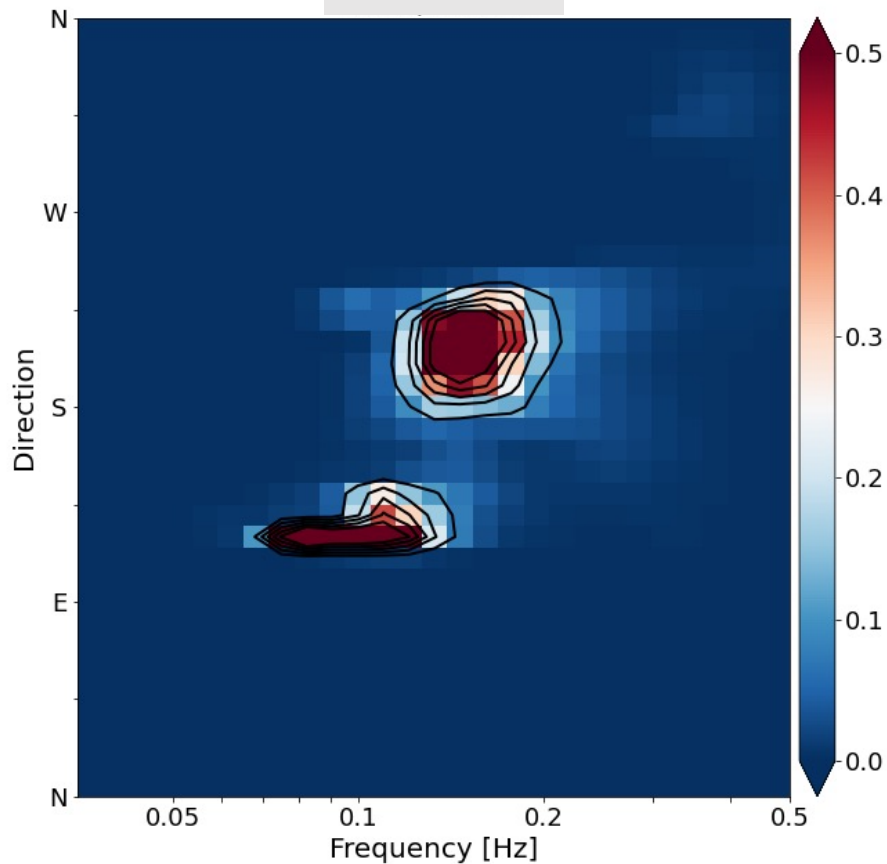
SPS

(波浪スペクトル)

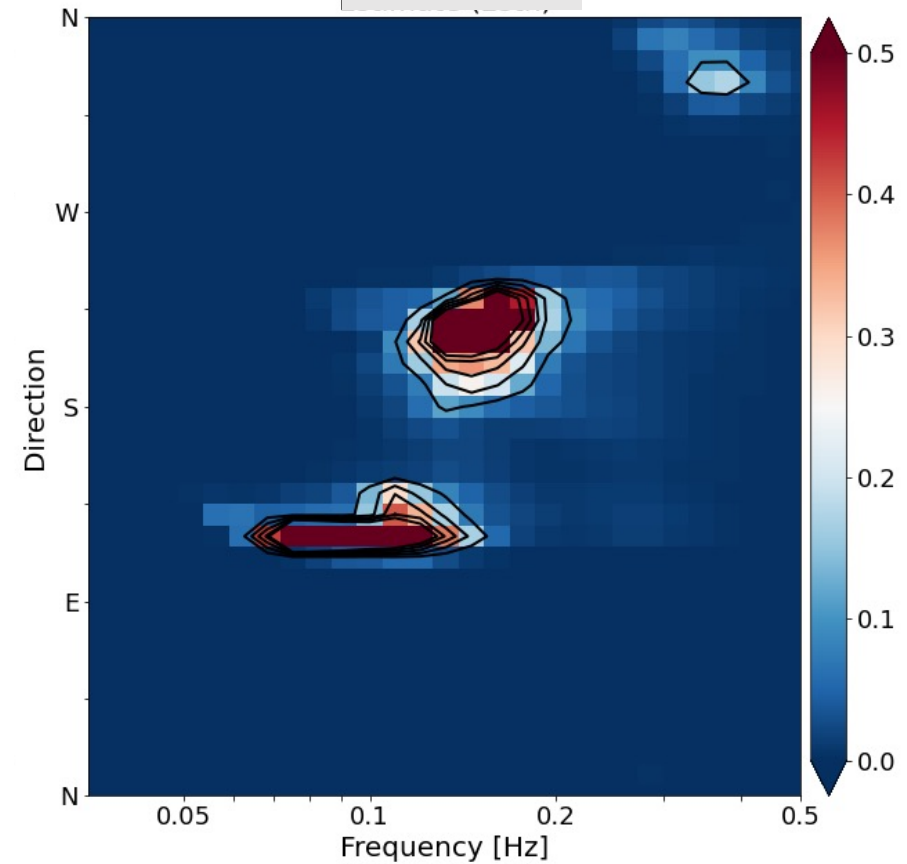
地点10

2013年8月6日19:00

WW3



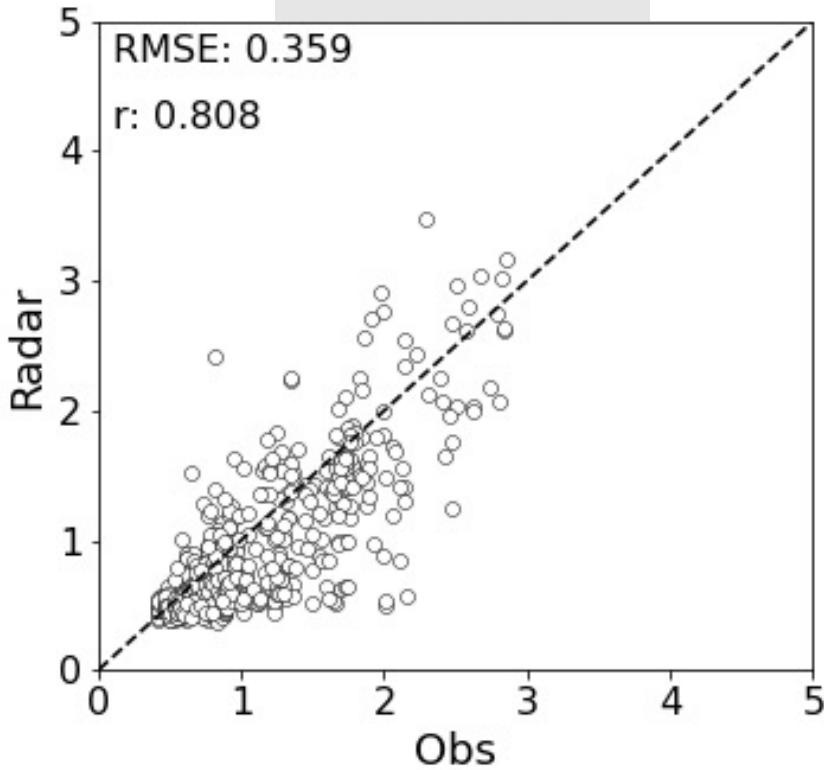
2stn



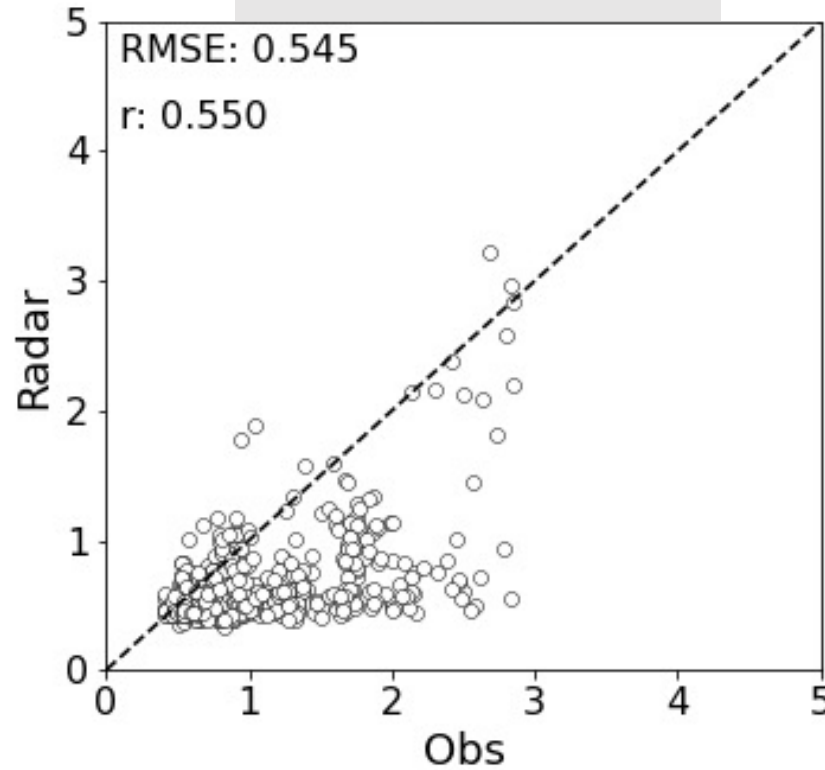


SPS (波高の相関：地点10)

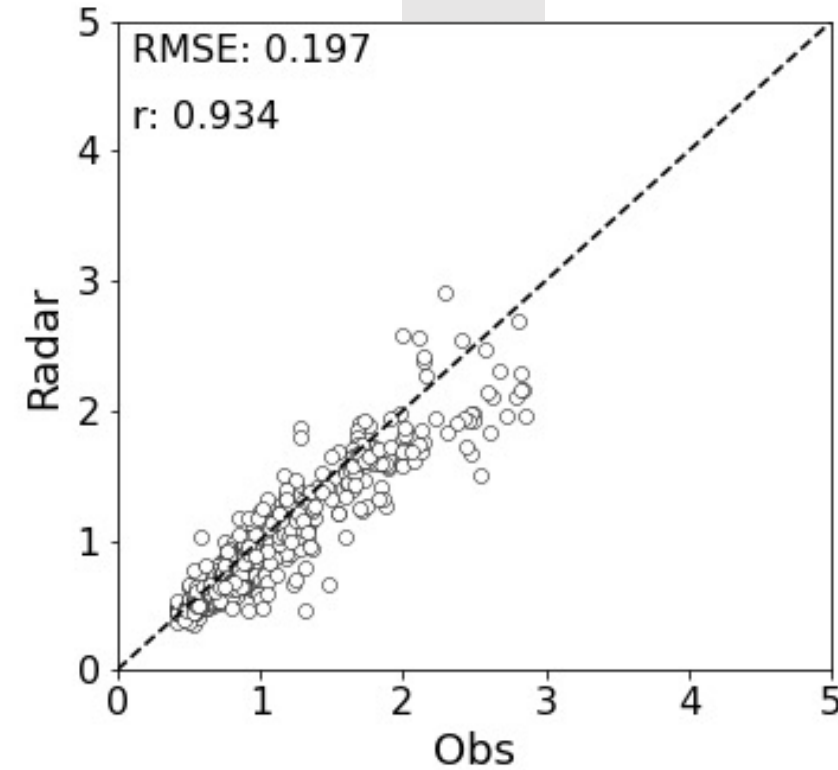
MIHAMAJI



SHIRAHAMAJI



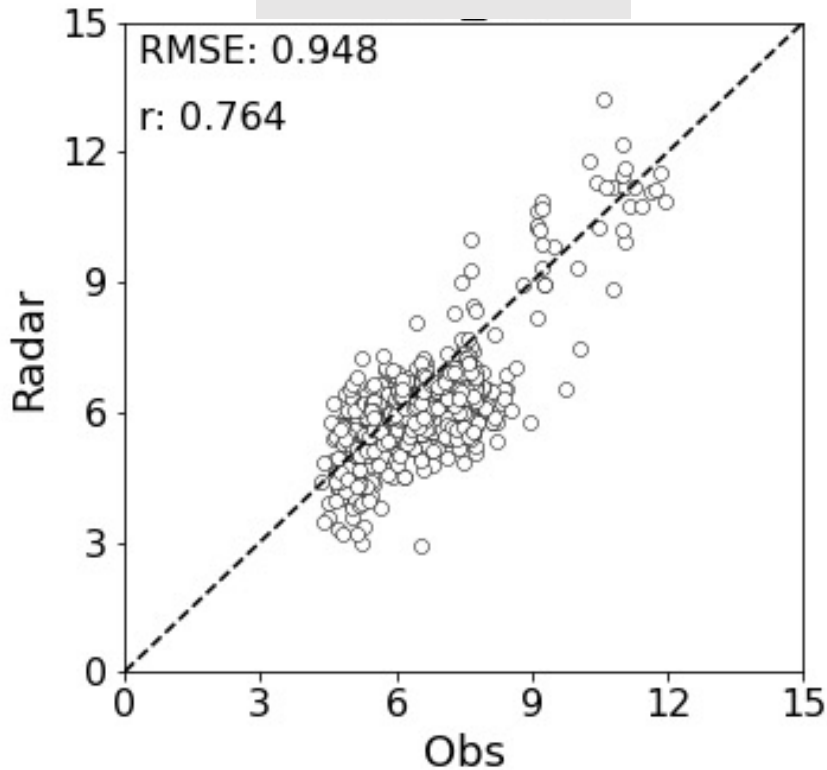
2局



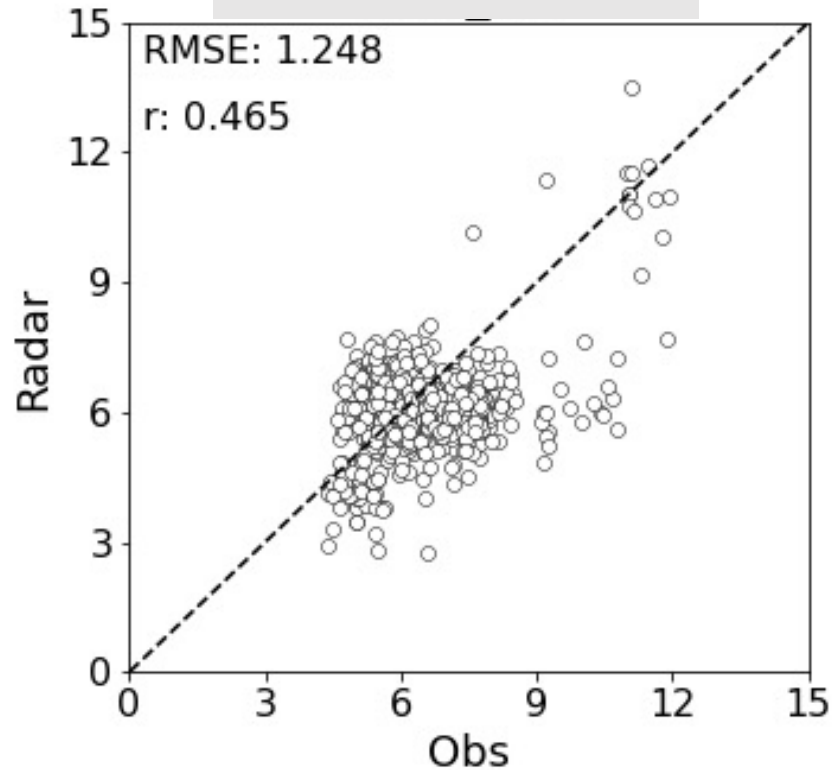


SPS (周期の相関：地点10)

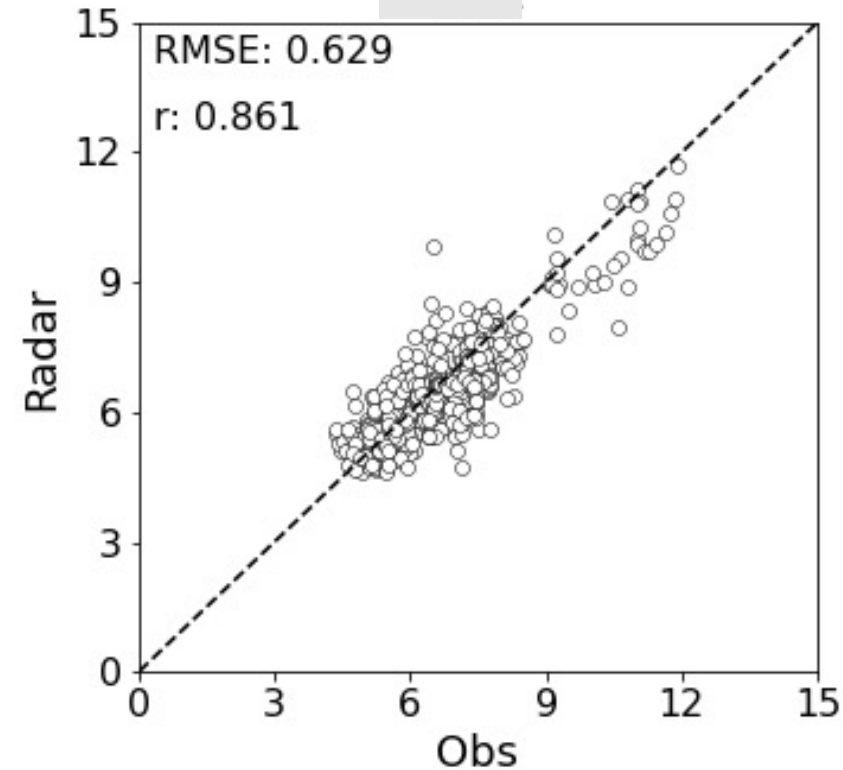
MIHAMA局



SHIRAHAMA局



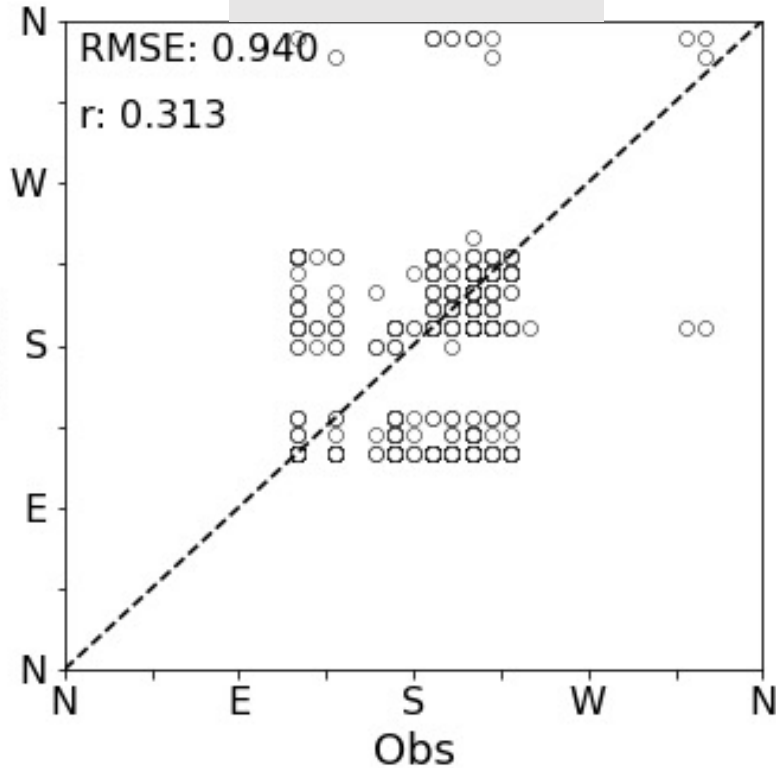
2局



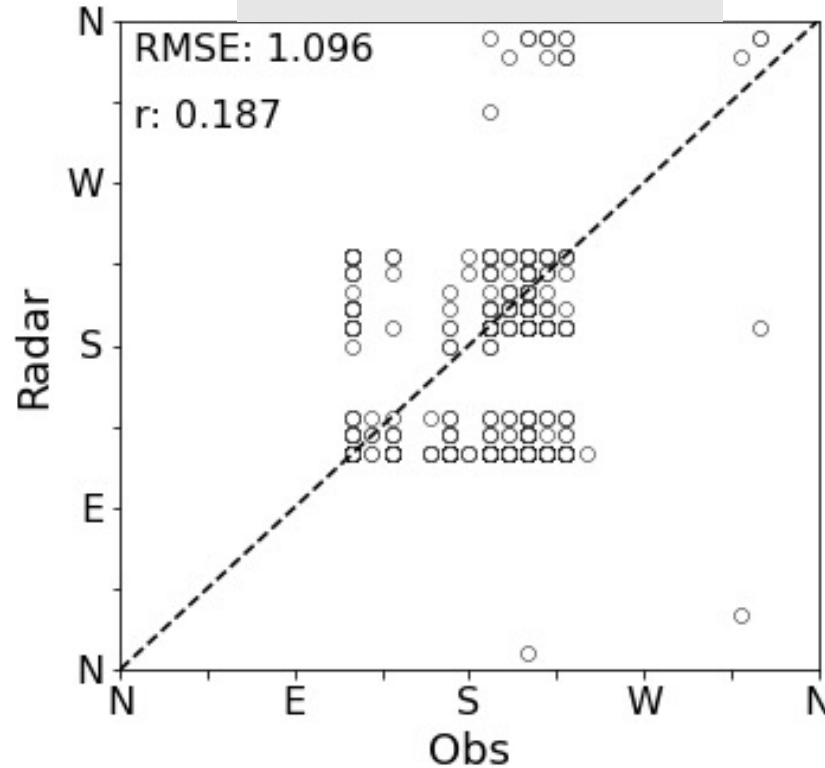


SPS (波向の相関：地点10)

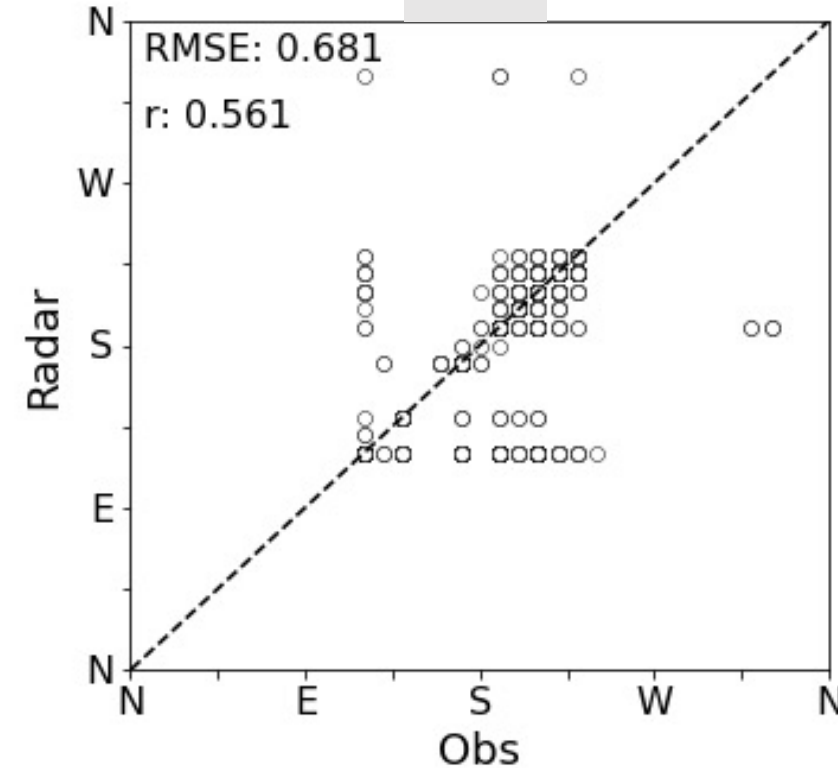
MIHAMAJI



SHIRAHAMAJI



2局





結果2. まとめ

2局のレーダーを用いた方が高精度ではあるが、1局のみでも一定の精度で波浪計測が可能であることが確認できた

→1局が欠測した場合の補間方法として有効であることが示唆された



SPS

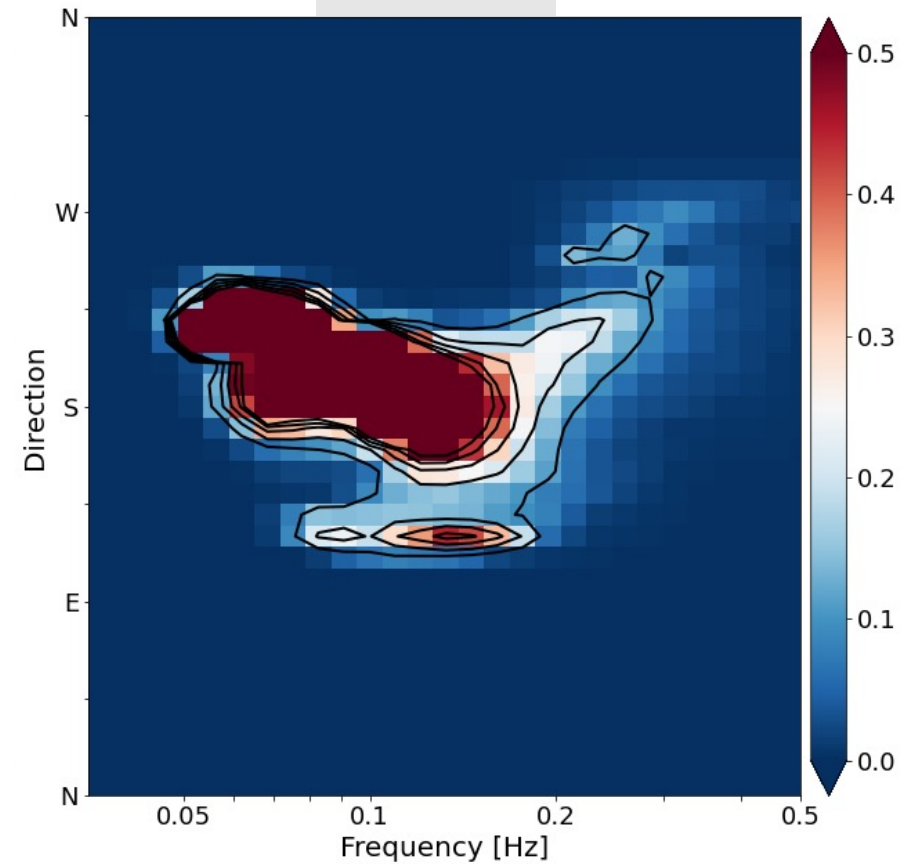
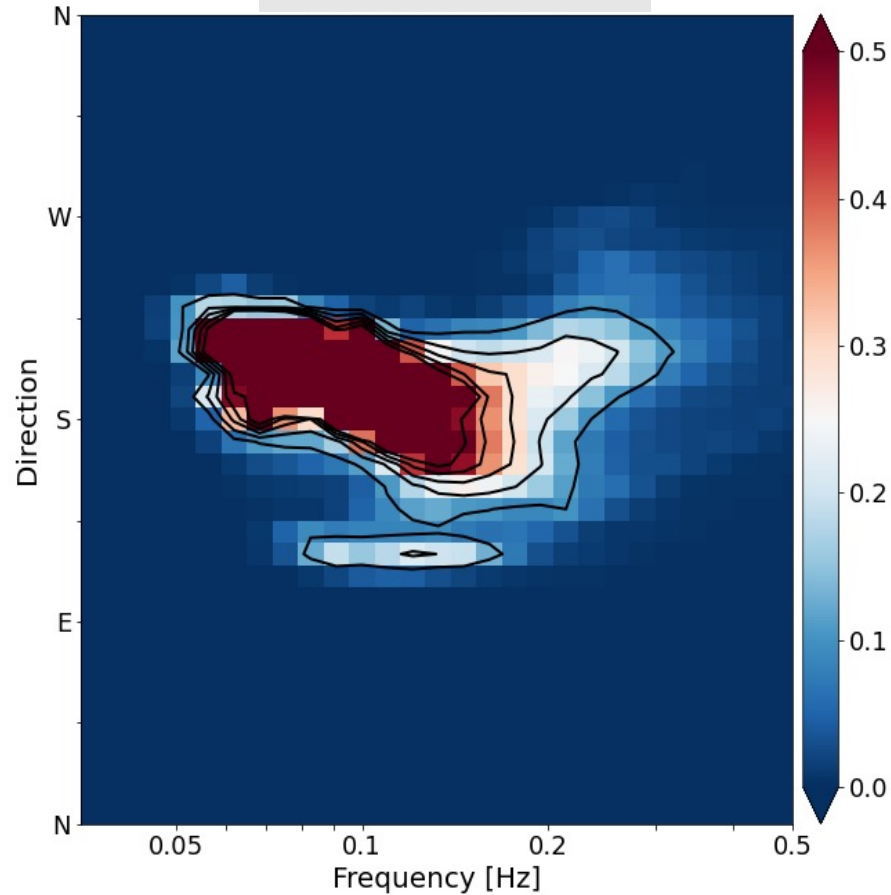
(波浪スペクトル)

地点10

2013年8月21日21:00

MIHAMA局

2stn



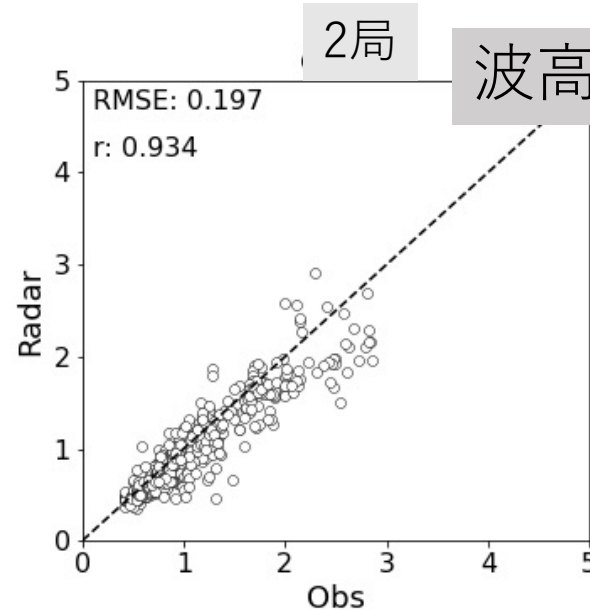
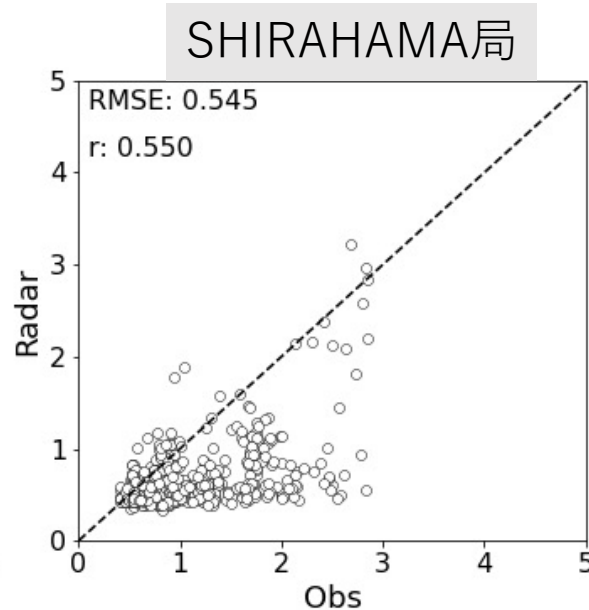
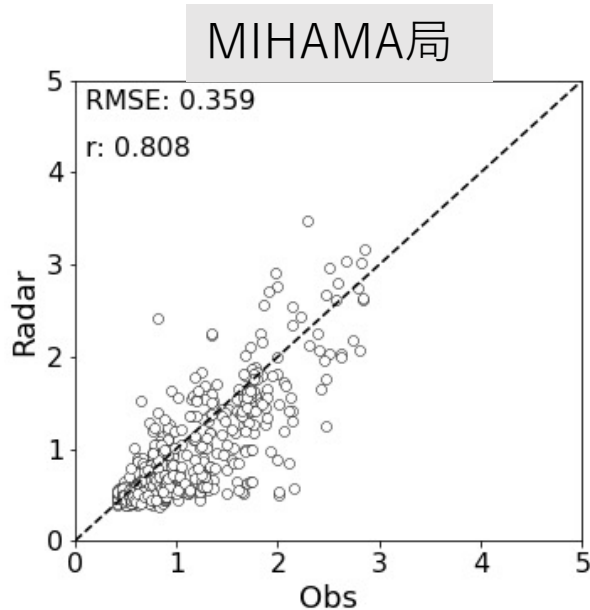


結果3・考察：課題③の検証

(SPSとQPSの比較)

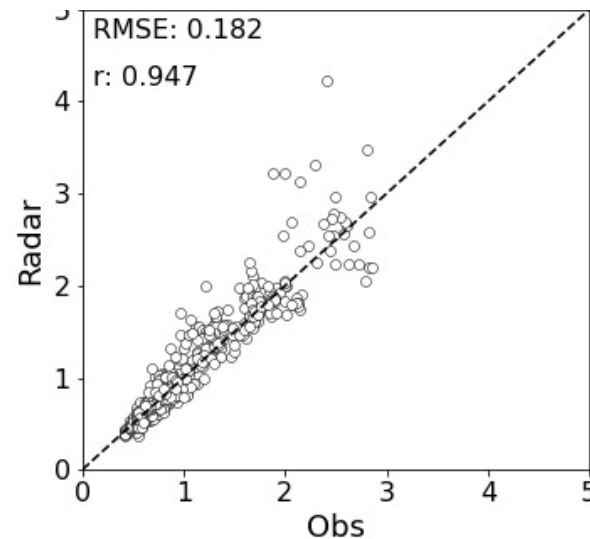
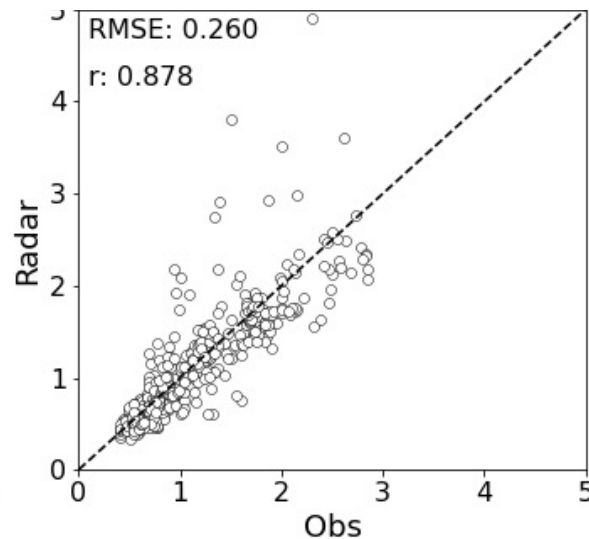
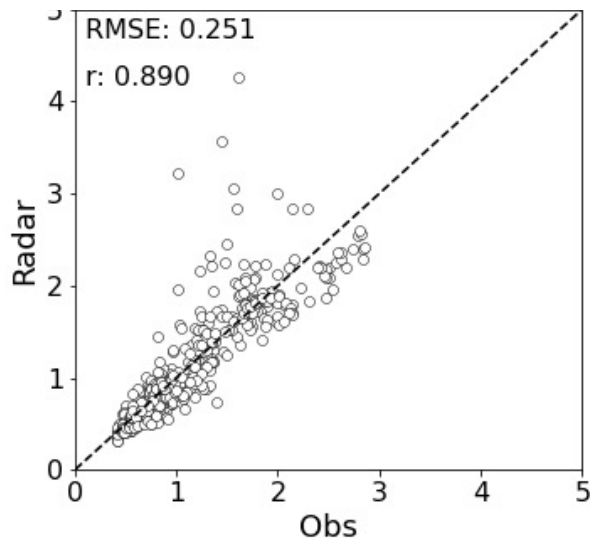


SPS



波高の相関：地点10

QPS





結果3. まとめ

どの波浪パラメータにおいても、QPSはSPSよりも精度が高いことが確認できた

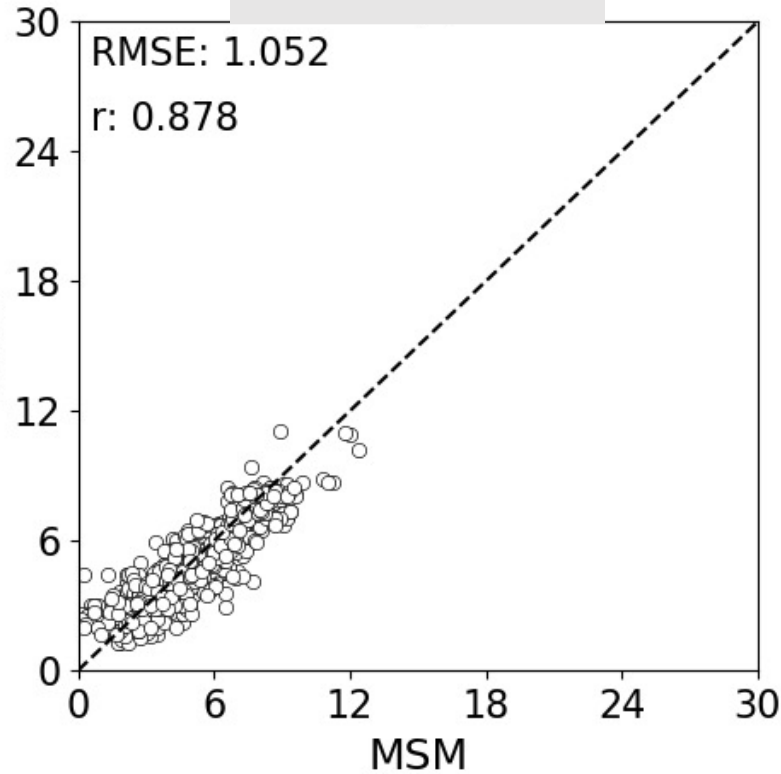
→学習データをQPSにすることで
ノイズの少ないDSを適切に選択して波浪スペクトルを
推定したと考えられる

観測点周りの複数のDSを用いることの有効性が示唆された

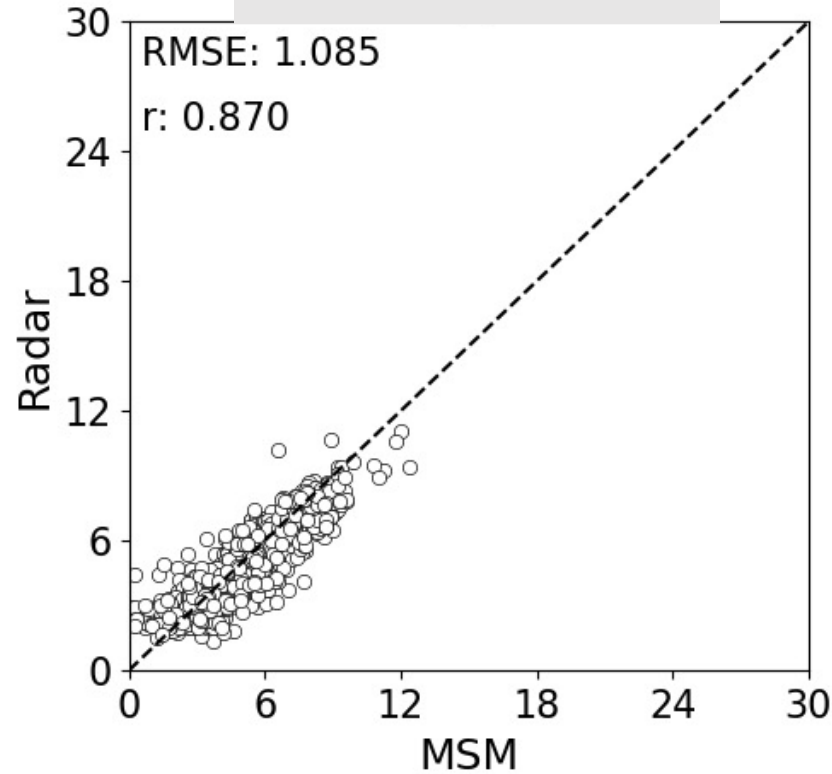


風速の相関：地点11

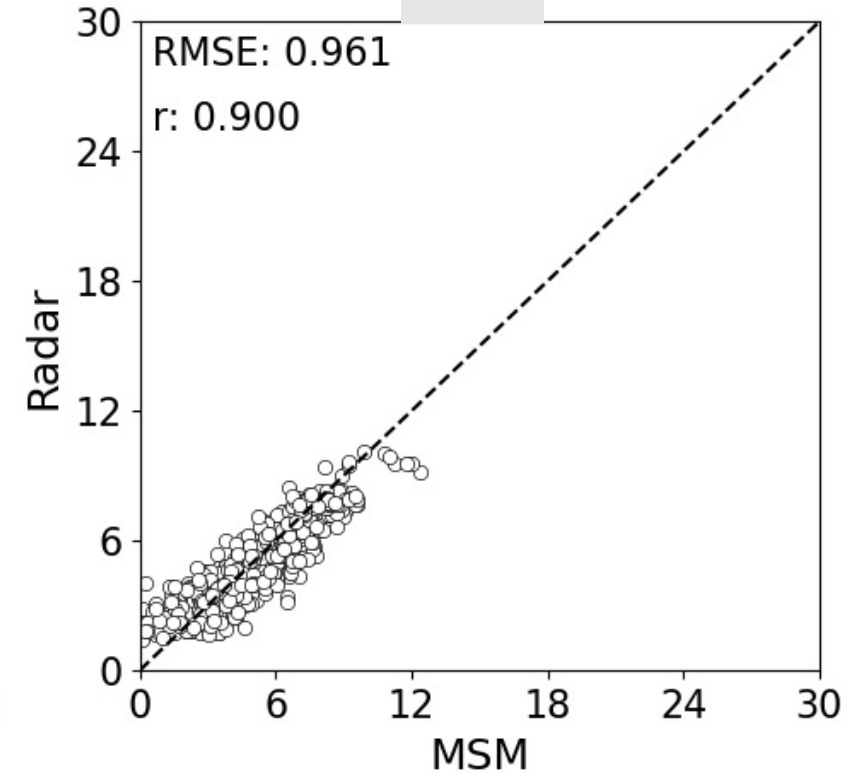
MIHAMA局



SHIRAHAMA局



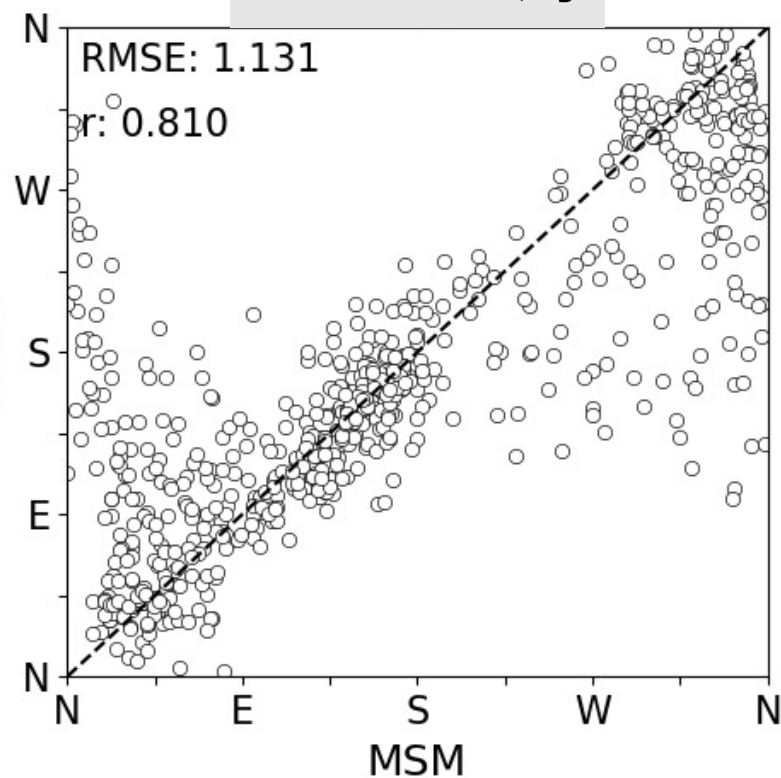
2局



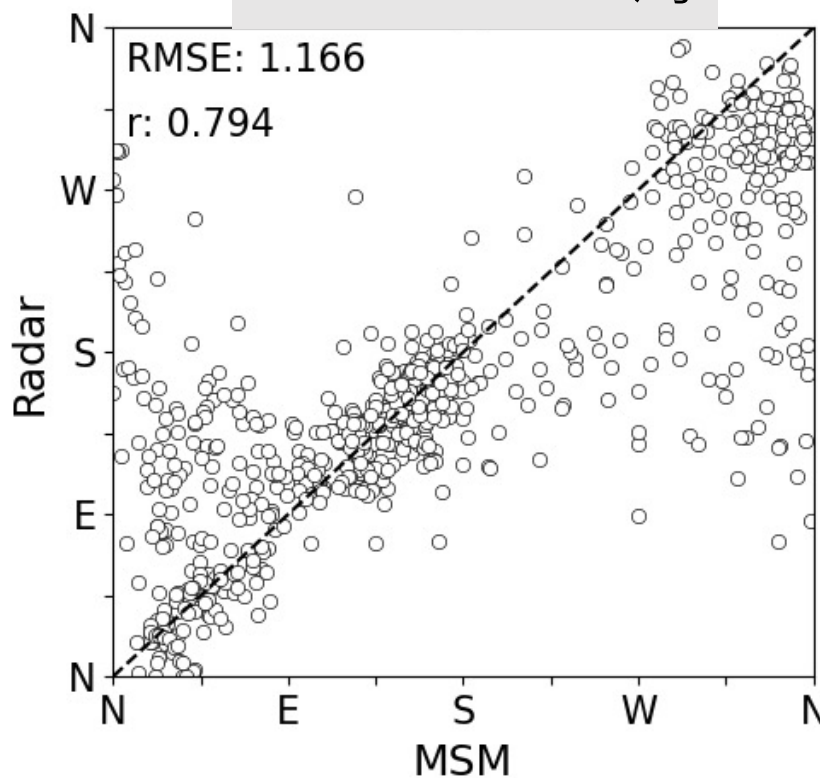


風向の相関：地点11

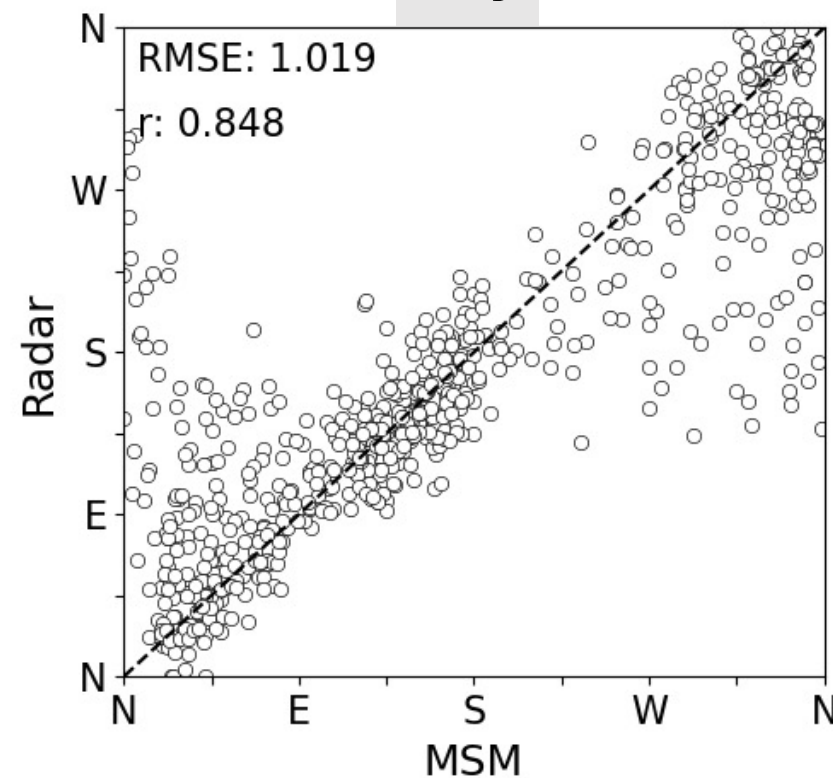
MIHAMA局



SHIRAHAMA局



2局





結果4. まとめ

MSMとの比較の結果, 風速風向ともに十分な相関が確認できた

→ 深層学習を用いることで
レーダーでの波と風の同時観測が可能なが示唆された



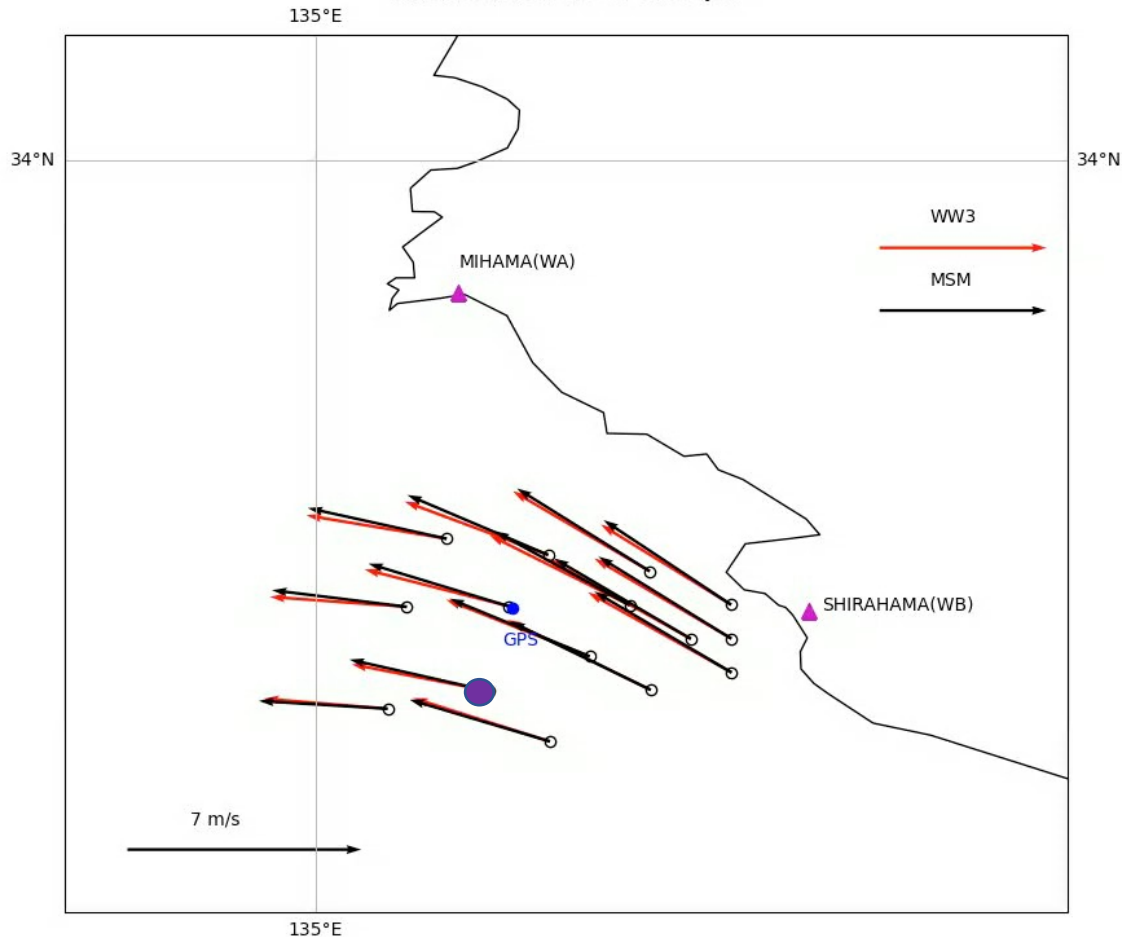
結果4・考察：課題④の検証

(MSMとの比較) QPS



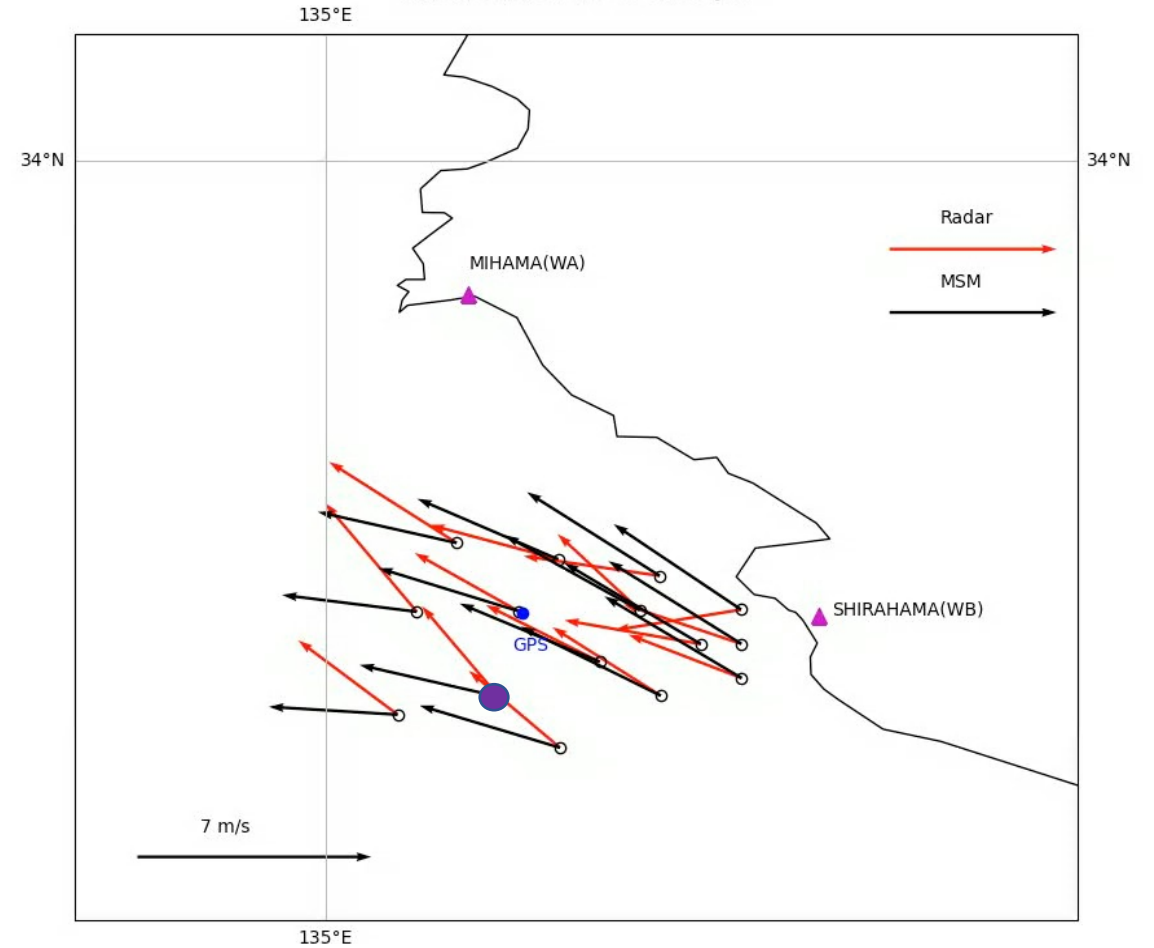
WW3

Wind Vectors 2013-08-01 09 JST



2stn

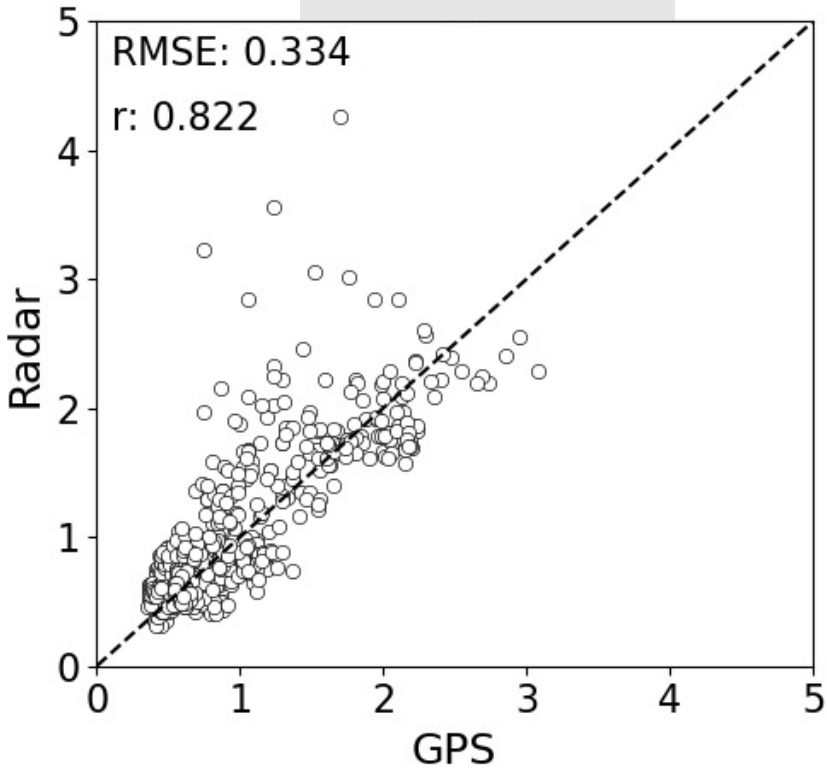
Wind Vectors 2013-08-01 09 JST



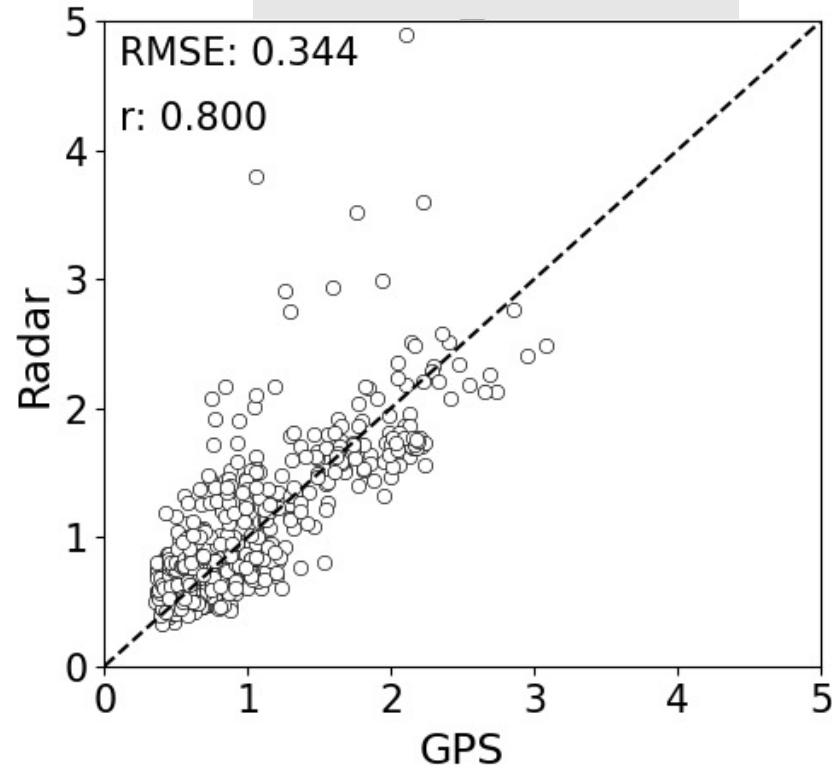


波高の相関：地点10 (2013/8)

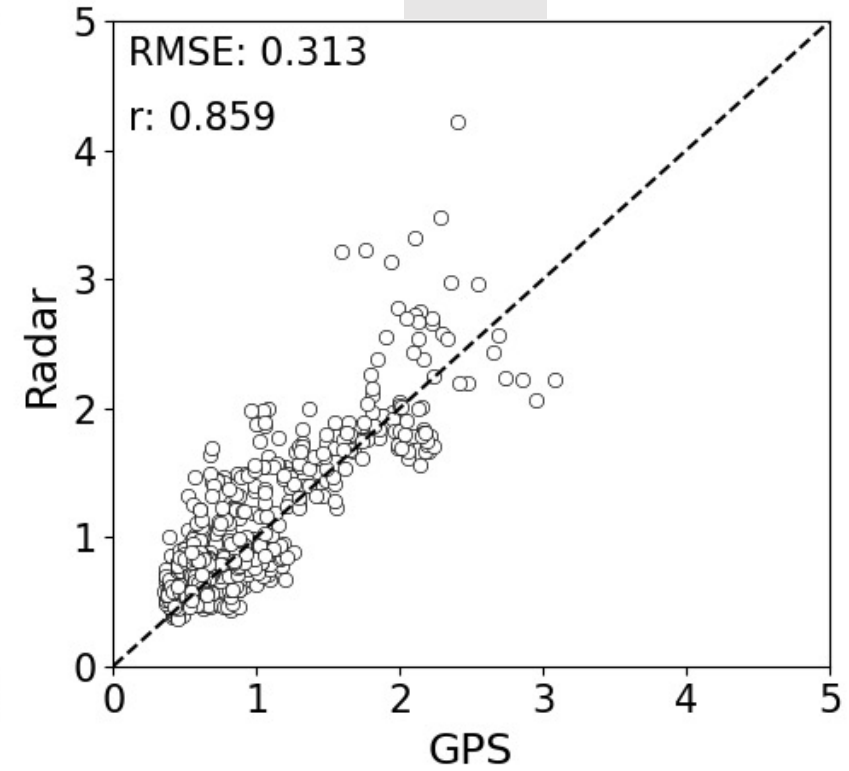
MIHAMA局



SHIRAHAMA局

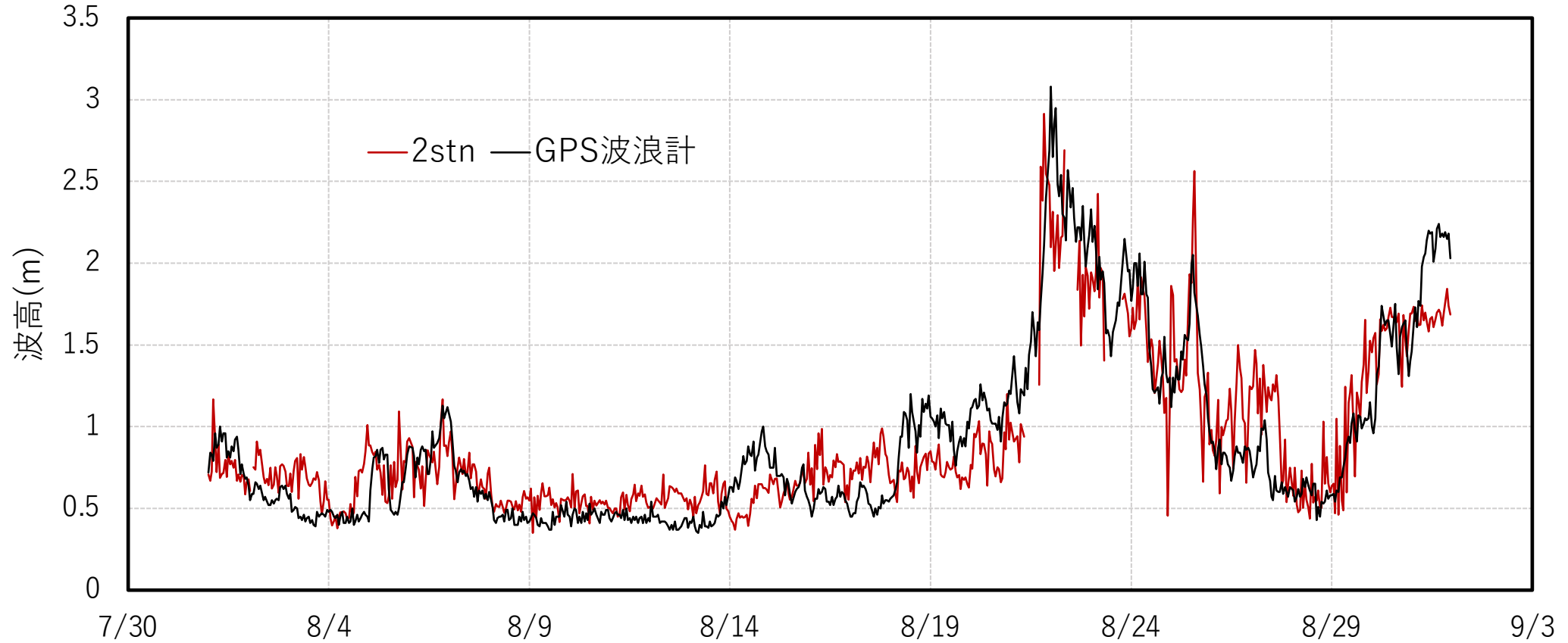


2局





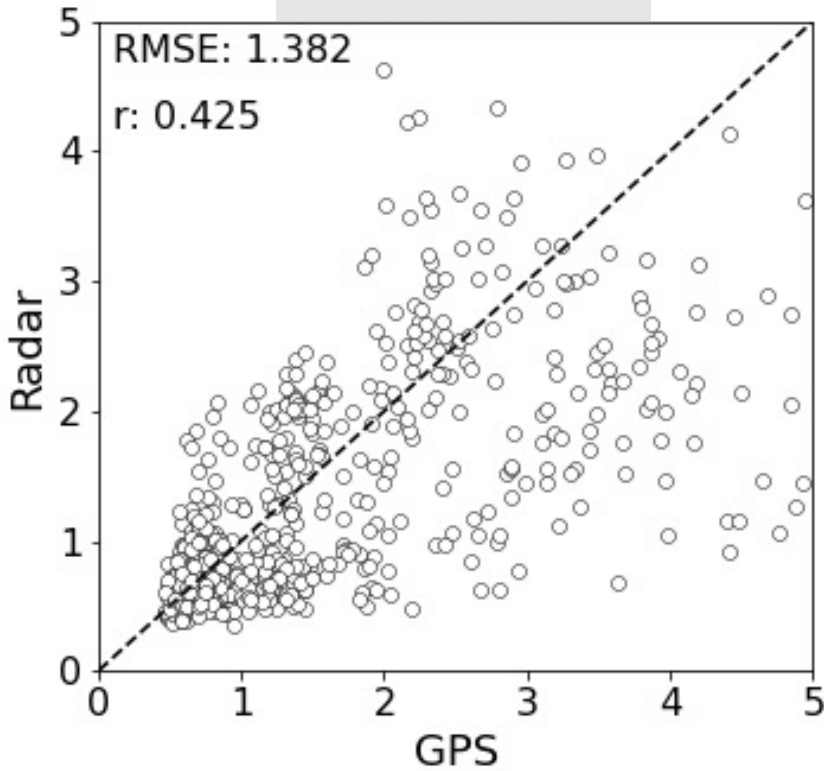
波高の時系列：地点10 (2013/8)



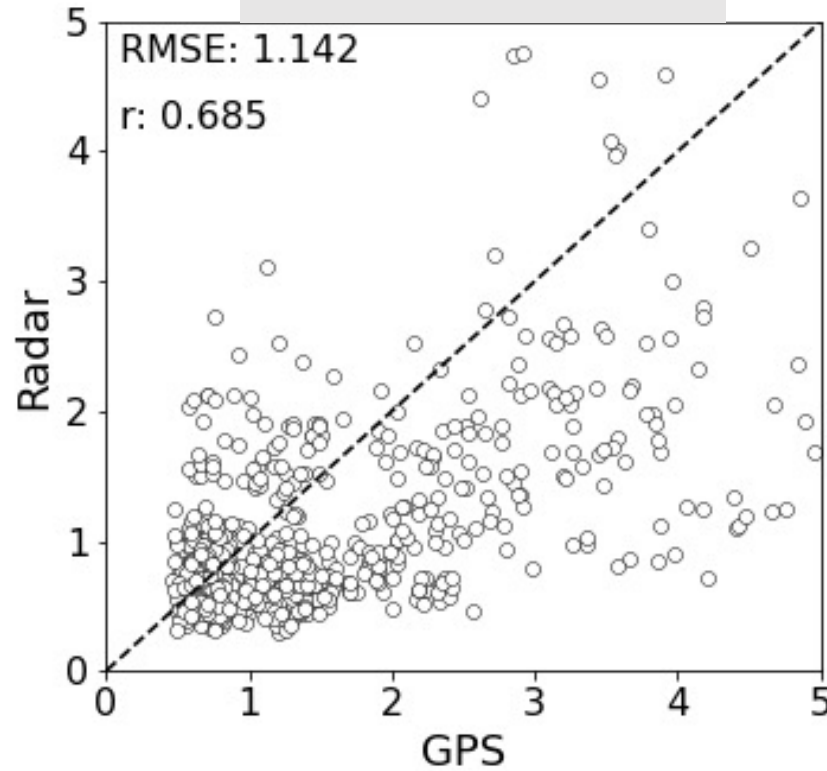


波高の相関：地点10 (2014/8)

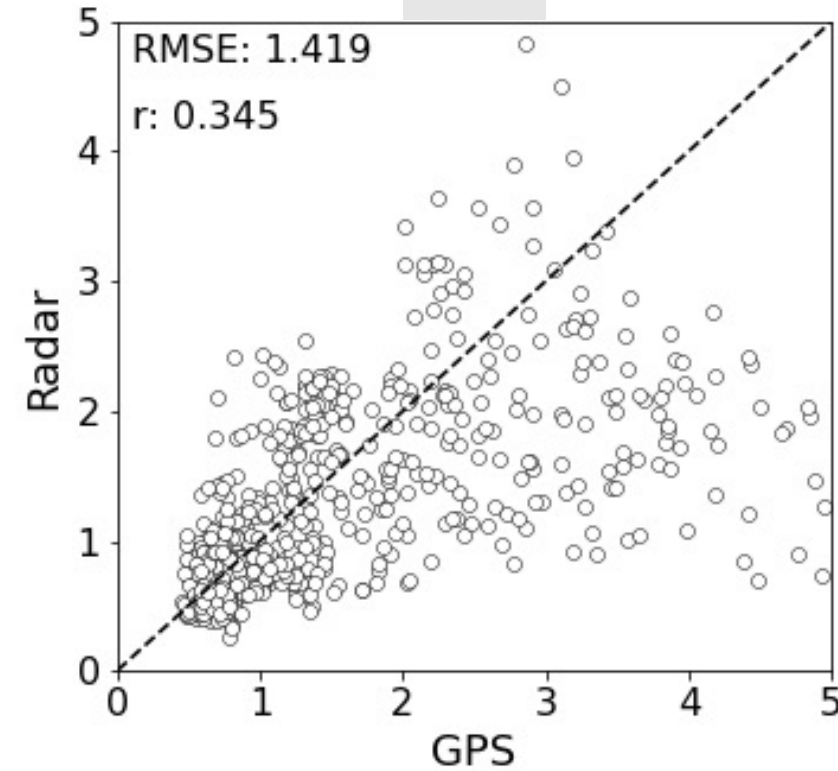
MIHAMA局



SHIRAHAMA局

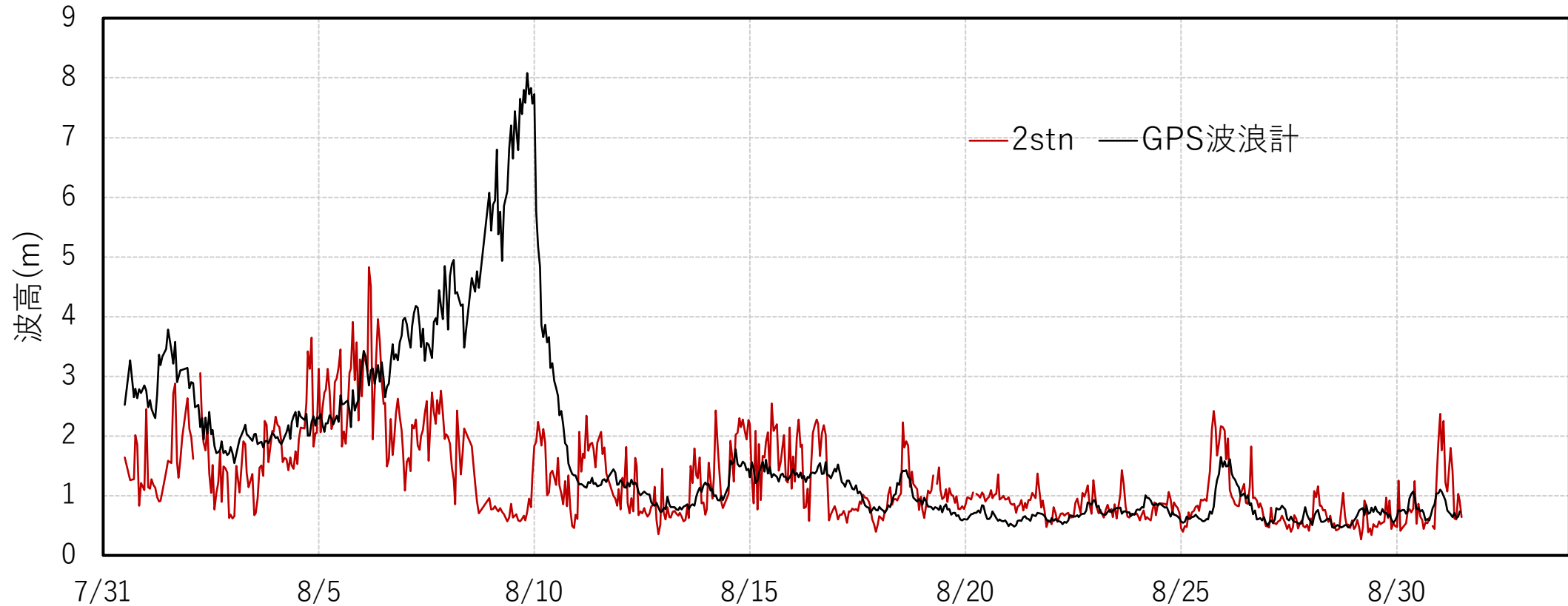


2局





波高の時系列：地点10 (2014/8)





結果5. まとめ

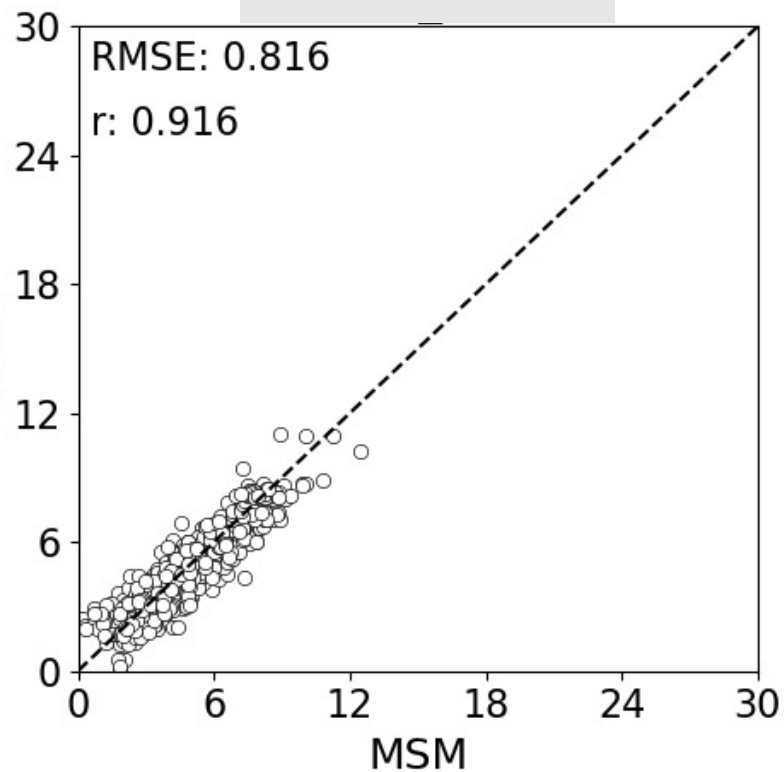
波高の高い時間の再現性が低い
(2014年のこの期間は台風11号が発生していた)

- 学習データに波高が高い場合のDSが含まれていなかったため
- 学習データを見直すことで汎用的に推定できる可能性有り

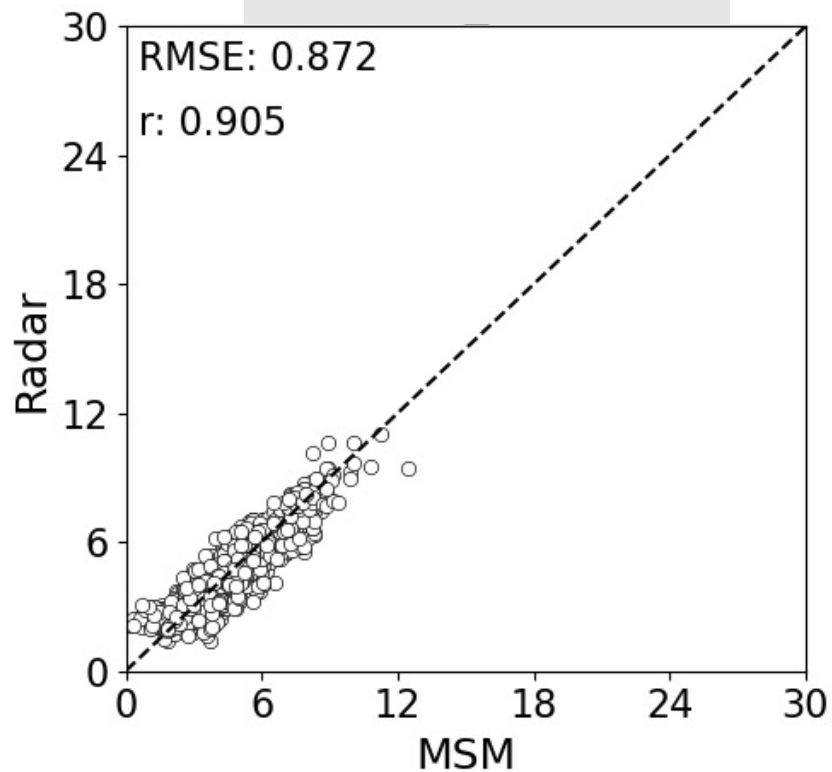


風速の相関：地点11 (2013/8)

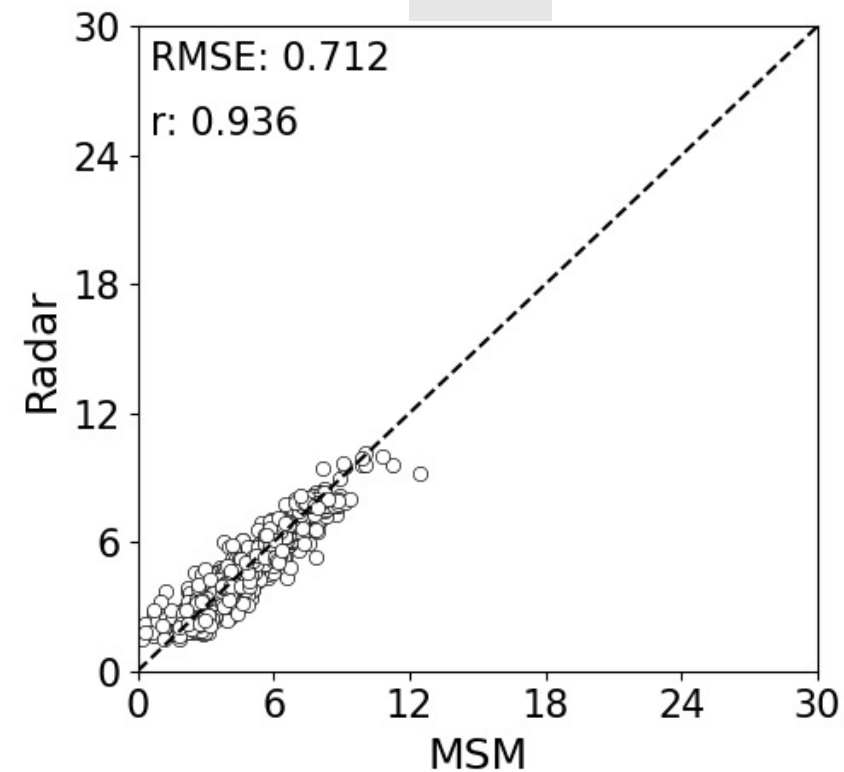
MIHAMA局



SHIRAHAMA局

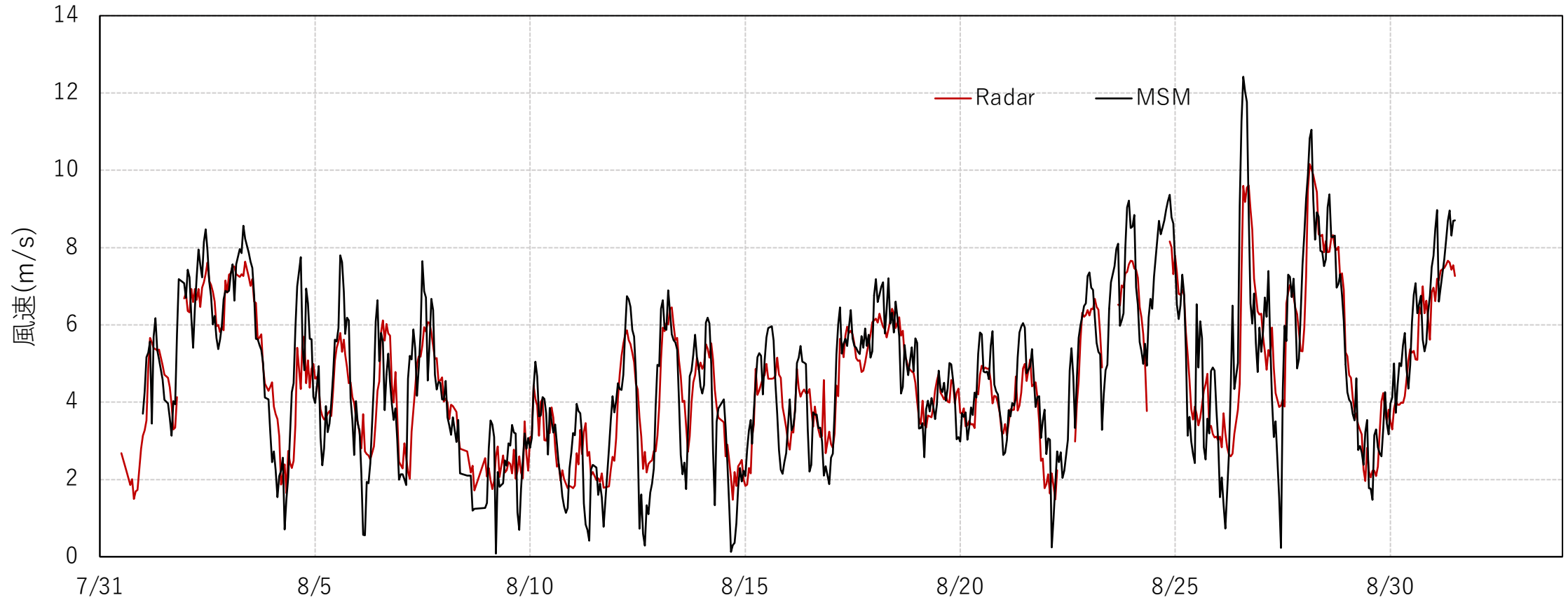


2局





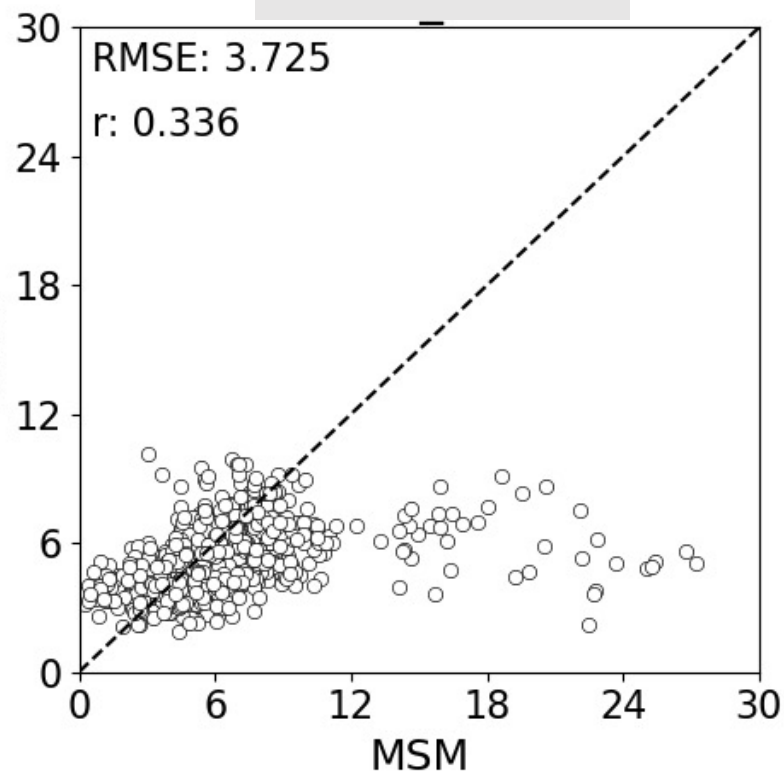
風速の時系列：地点11 (2013/8)



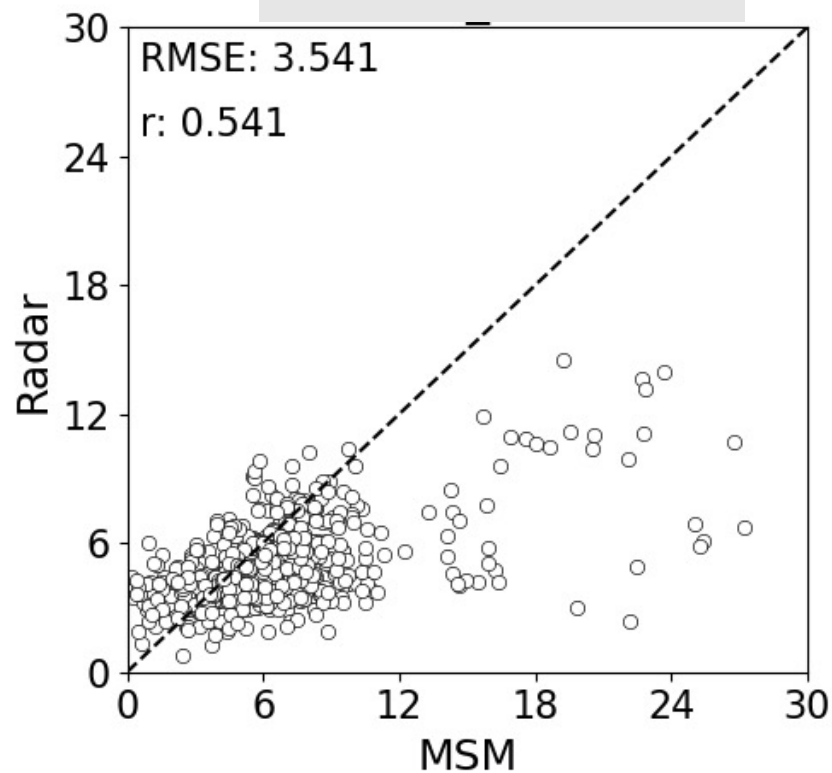


風速の相関：地点11 (2014/8)

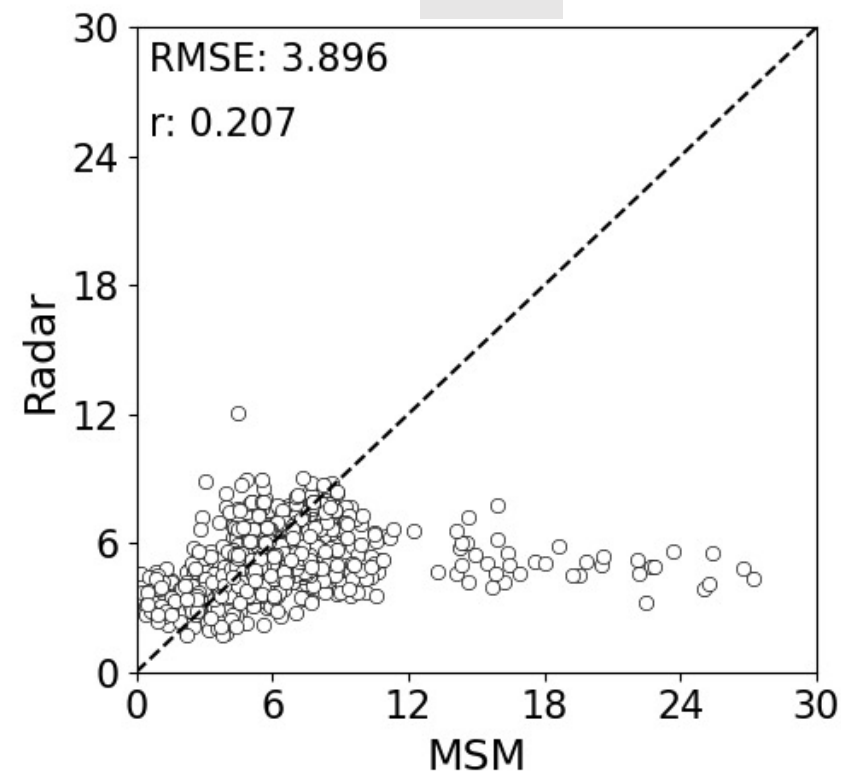
MIHAMAJI



SHIRAHAMAJI

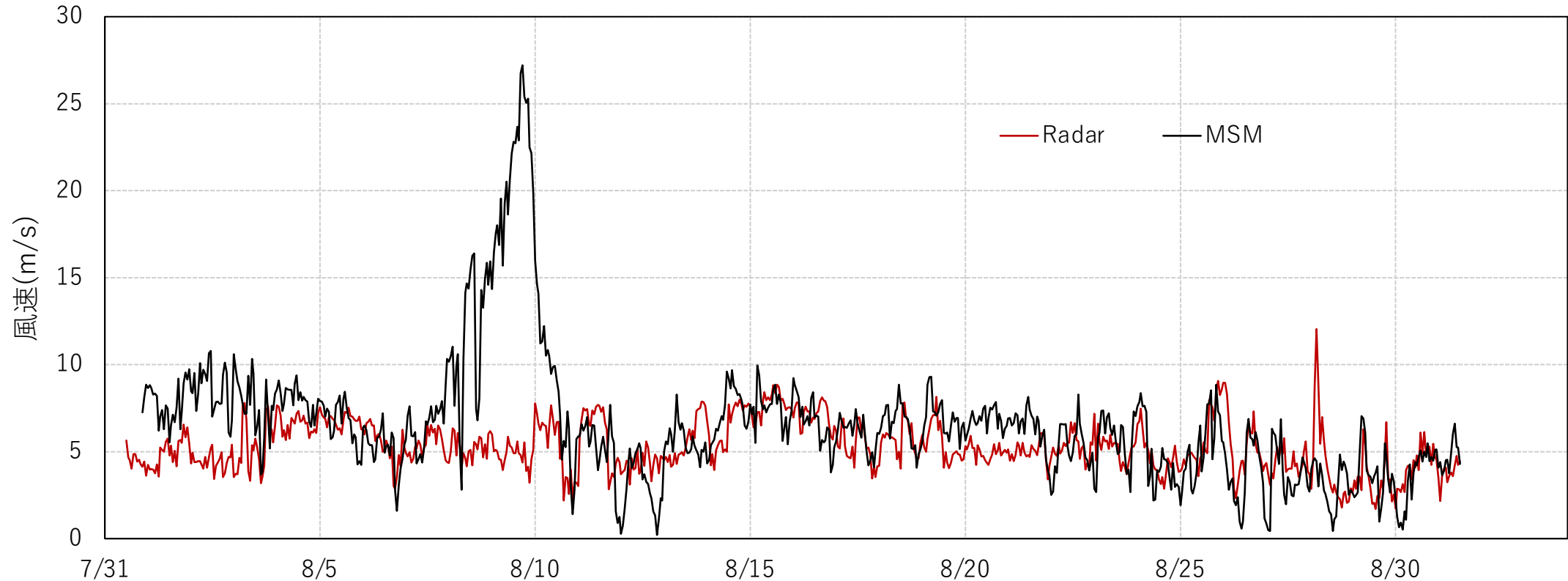


2局





風速の時系列(2stn)：地点11 (2014/8)





課題

- ① 1次散乱と2次散乱の分離が必要
- ② レーダー2局のDSが必要
- ③ 高SN比を有したDSの選択の必要
- ④ 海洋レーダを用いた風速・風向の推定
- ⑤ 風・波浪計測の汎用性



結論

- ① 1次散乱と2次散乱の分離をせず波浪推定が可能
- ② 1局のみでも波浪推定が可能（但し，2局レーダの方が高精度）
→ 広範囲かつ安定的な波浪計測が可能
- ③ SPSよりQPSの方が波浪計測精度が高い
→ 深層学習モデルが波浪計測にとって適切なDSを選択
- ④ MSMの海上風データと類似
→ レーダによる波浪と風の同時観測が可能
- ⑤ 期間によらず海上計測の波浪パラメータやMSMの海上風を再現
→ 高波浪時の学習データを加えることで更なる計測精度の向上が可能