

風向変化に対する波向きの変化と, 遠距離海洋レーダによる 海上風向補正の試み

久木幸治(琉大理), 宮里琢磨(前琉大理),
鹿島基彦(神戸学院大人文), 児島正一郎 (NICT)

目的

- 海洋レーダの一次散乱から風向を求めることが可能であるが、それは実際にはブラッグ散乱を起こす波長の波(Bragg波)の平均波向きである。そこで風向変化に対して、その波向きの変化がどうなるかを調べ、海上風向の補正を試みる。

原理

$$\sigma_1(\pm\omega_B) \propto S(\mp 2\mathbf{k}_0)$$

$\sigma_1(\pm\omega_B)$: 正と負の一次散乱,

$S(\mathbf{k}) = S_d(k, \theta)$: 2次元波数スペクトル

\mathbf{k}_0 : 入射電波の波数ベクトル,

$$\mathbf{k} = (k \cos \theta, k \sin \theta)$$

$$S_d(2k_0, \theta) \propto D(\theta - \theta_m)$$

D: 方向分布

θ_m : 波数 $2k_0$ の波に対する平均波向き

原理

$$\frac{\sigma_1(\omega_B)}{\sigma_1(-\omega_B)} = \frac{S(-2\mathbf{k}_0)}{S(2\mathbf{k}_0)} = \frac{S_d(2k_0, \pi)}{S_d(2k_0, 0)}$$
$$= \frac{D(\pi - \theta_m)}{D(-\theta_m)} \quad \text{D:方向分布}$$

$$D(\theta) \propto \cos^{2s}\left(\frac{\theta}{2}\right)$$

$$\frac{\sigma_1(\omega_B)}{\sigma_1(-\omega_B)} = \tan^{2s}\left(\frac{\theta_m}{2}\right)$$

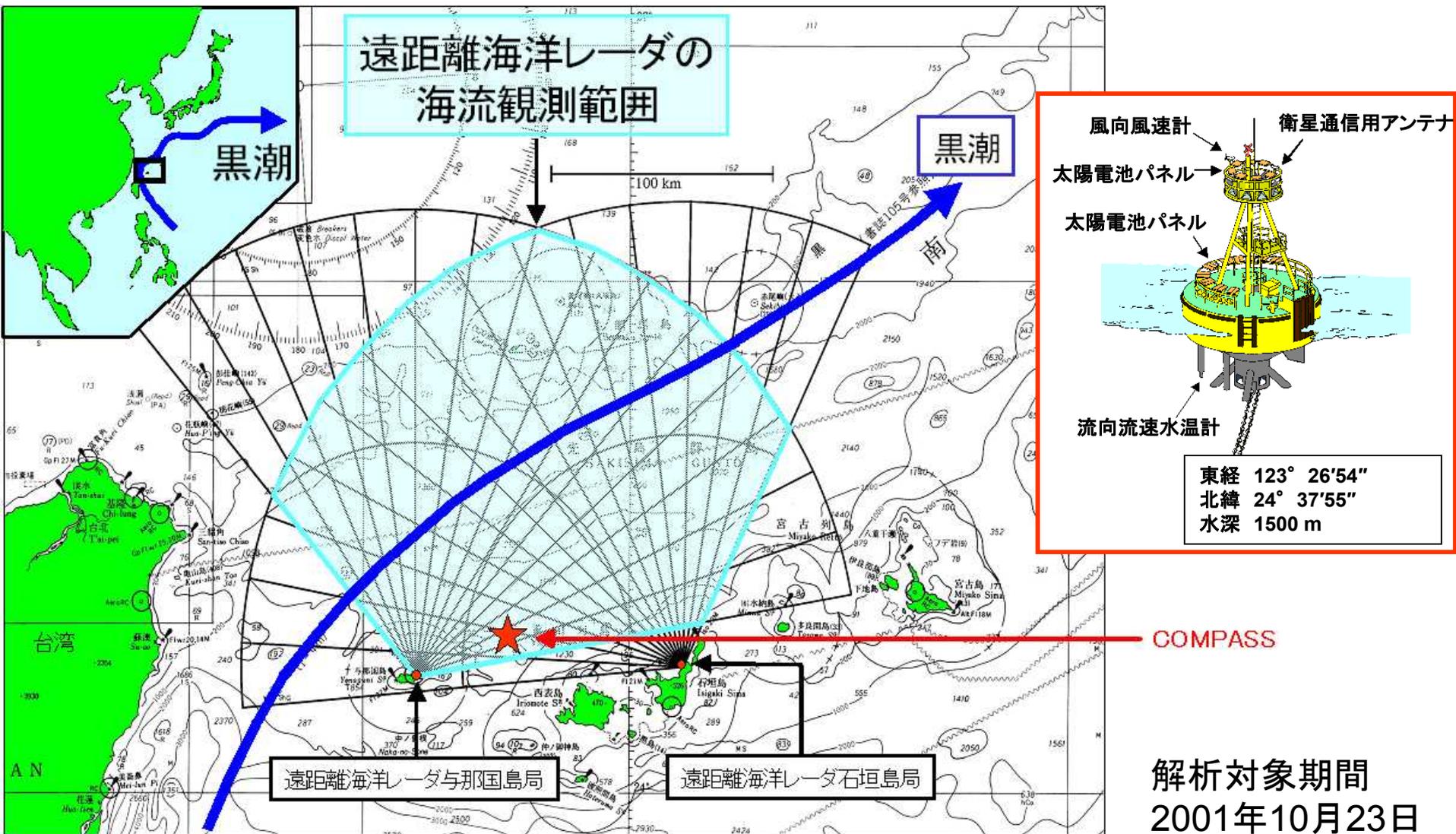
Bragg波向

遠距離海洋レーダ

レーダ方式	FMICW
周波数	9.2595MHz
掃引帯域幅	22kHz
送信電力	1kW（ピーク）、500W（平均）
距離分解能	7.0km
流速分解能	2.5 cm/S
角度分解能	8°
送信アンテナ形式	3極八木アンテナ
受信アンテナ形式	2極八木アンテナの16素子リニアアレイ DBF（デジタルビームフォーミング）

ブラッグ周波数:0.311Hz, ブラッグ波長:16.19m

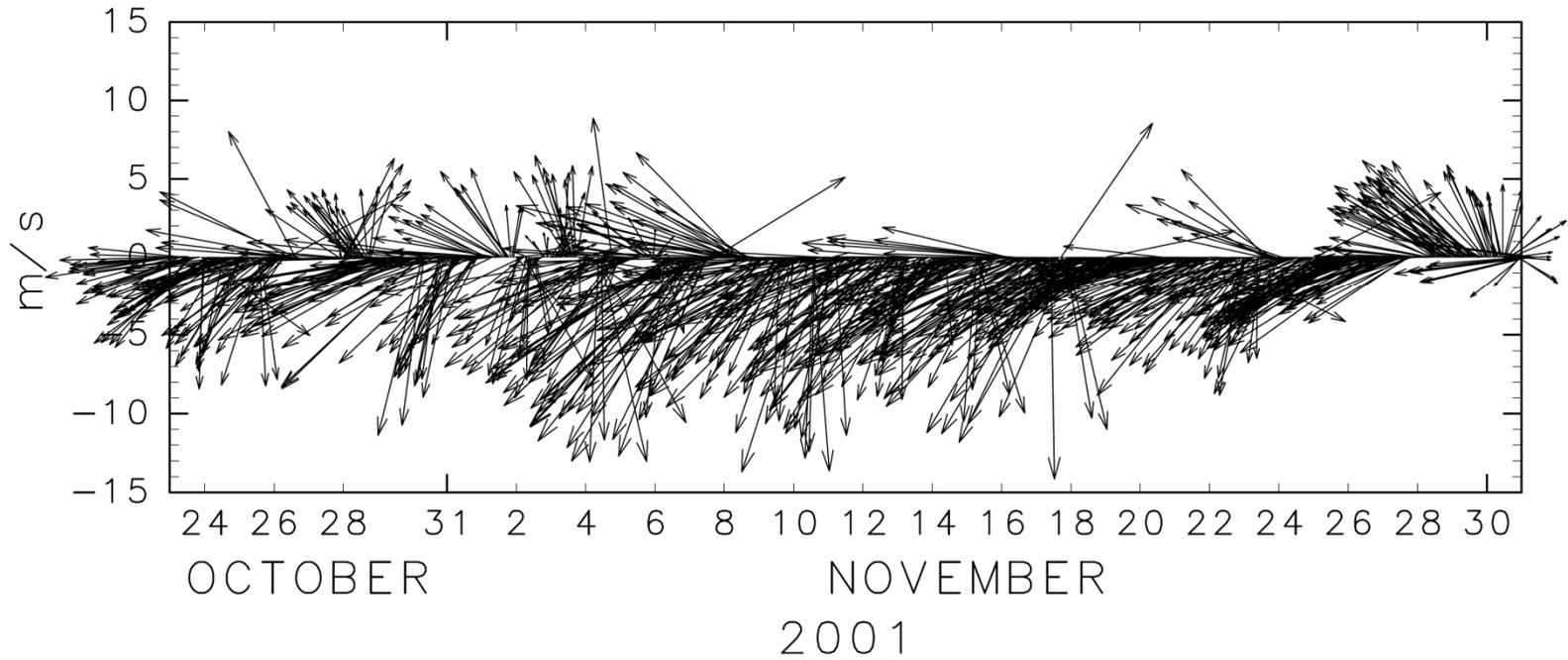
係留ブイCOMPASSの位置とレーダ観測範囲



解析対象期間
2001年10月23日
から11月30日まで

風ベクトル

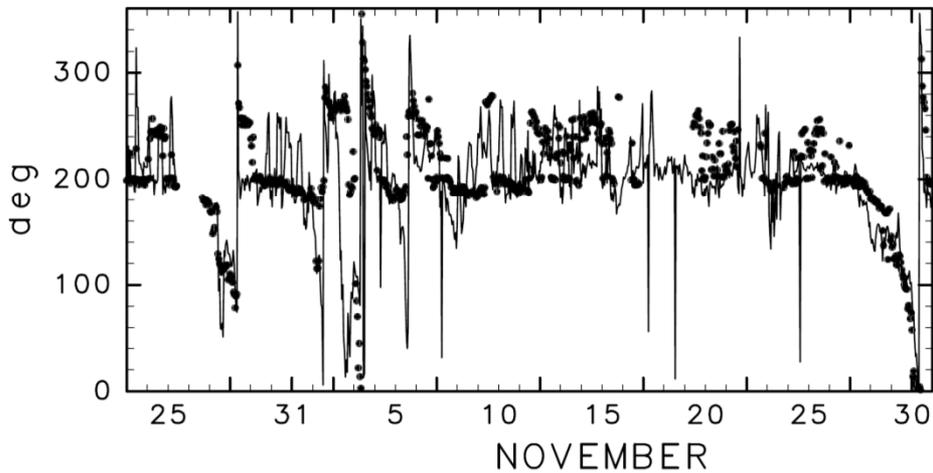
(a) Wind at compass



スカラー平均風速: 8.1m/s

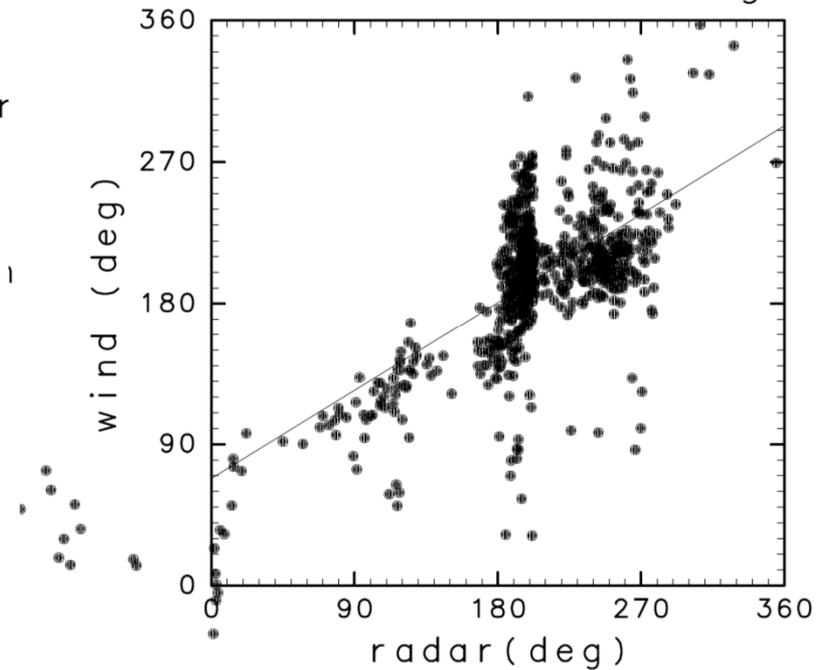
風向とBragg波向き

(a) Time series of wave direction



風向:実線、波向き:●

(b) Scatter diagram



rms差:42.75度、データ数777

波浪推算

$$\frac{\partial S}{\partial t} = Q \quad \text{伝搬項は省略}$$

t : 時刻, S : 波浪スペクトル, Q : ソース関数

$$Q = Q_w + Q_n + Q_d$$

Q_w : 風による入力 (Snyder 1981, Jannsen 1989),
S J

Q_n : 4波共鳴 (DIA, 厳密計算), Q_d : 散逸
D E

波浪推算データ

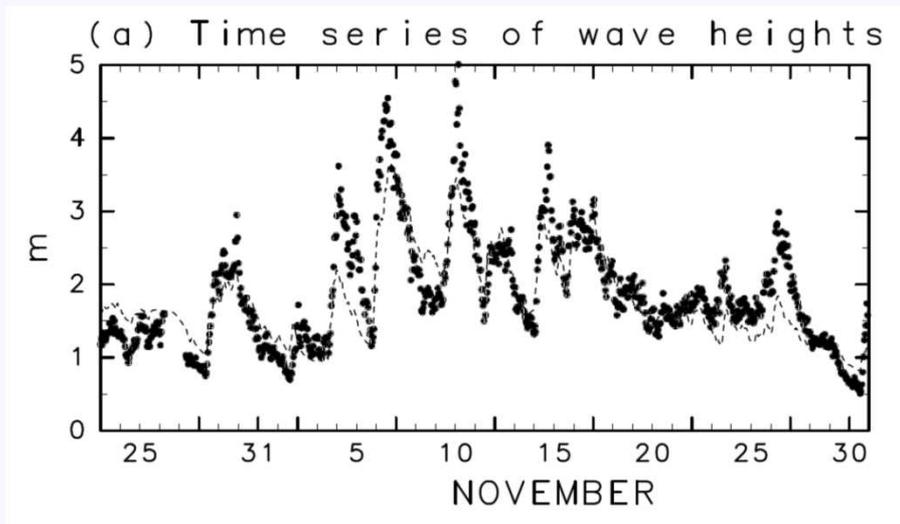
周波数比: 1.1

方向分解能: 15度

$f = f_B$ (Bragg 周波数で 0.31 Hz) での
 S における方向分布から

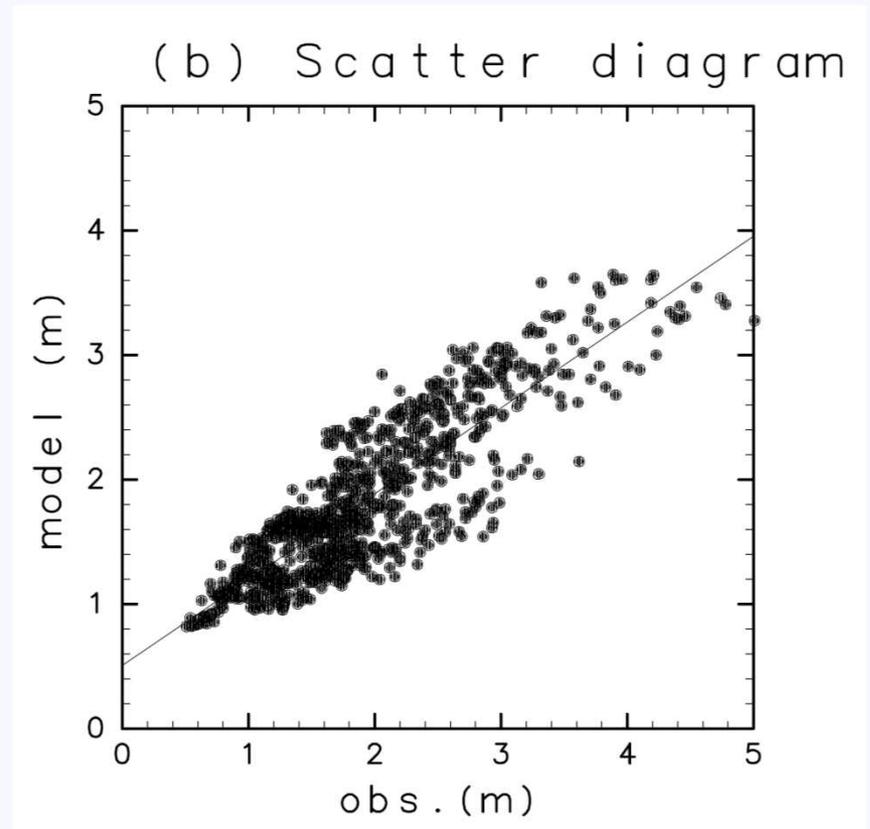
$A \cos^{2s}\left(\frac{\theta - \theta_m}{2}\right)$ 型を適合して, (θ_m, s, A) を求める。

モデルと観測の波高比較 (S-D)

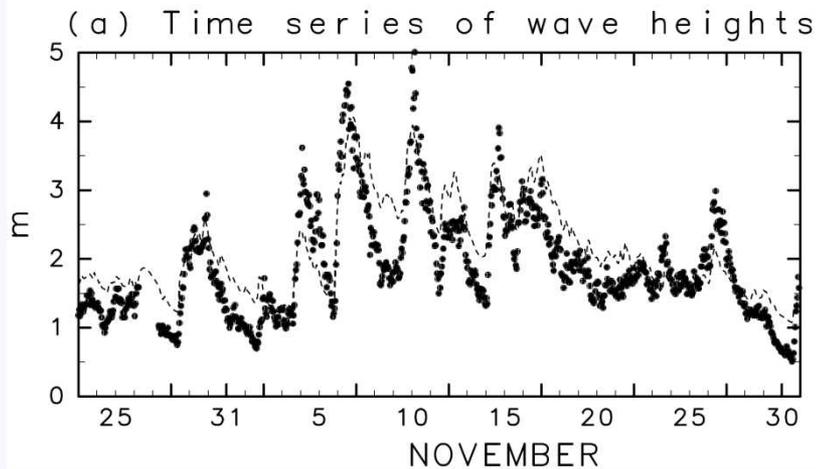


● : 観測、点線 : モデル

相関係数0.86, rms差
0.40m
データ数 908

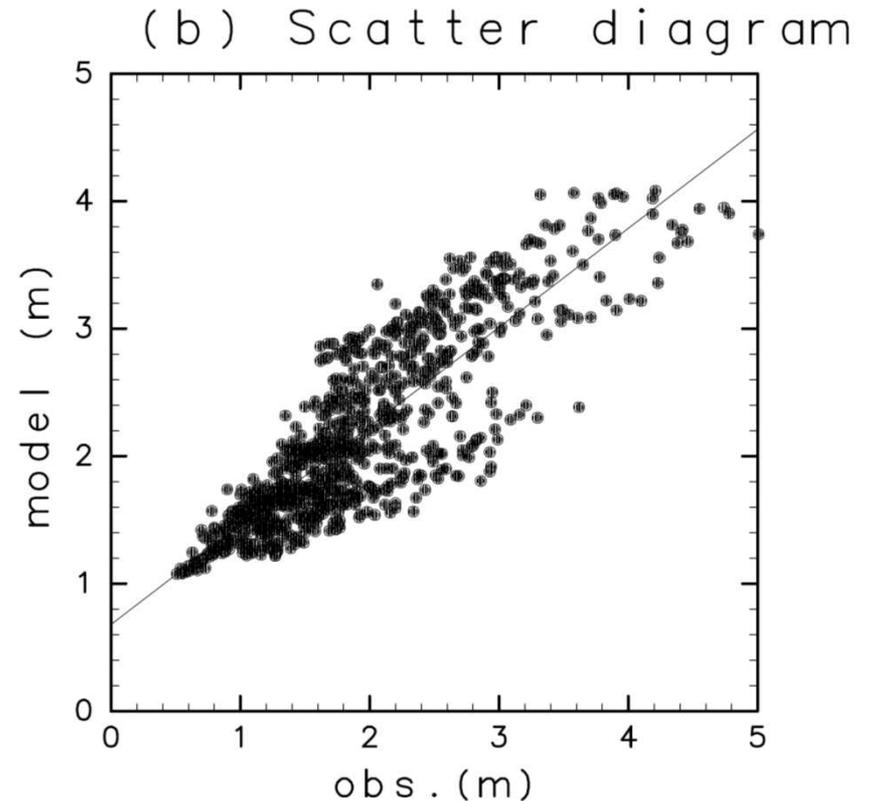


モデルと観測の波高比較 (J-D)



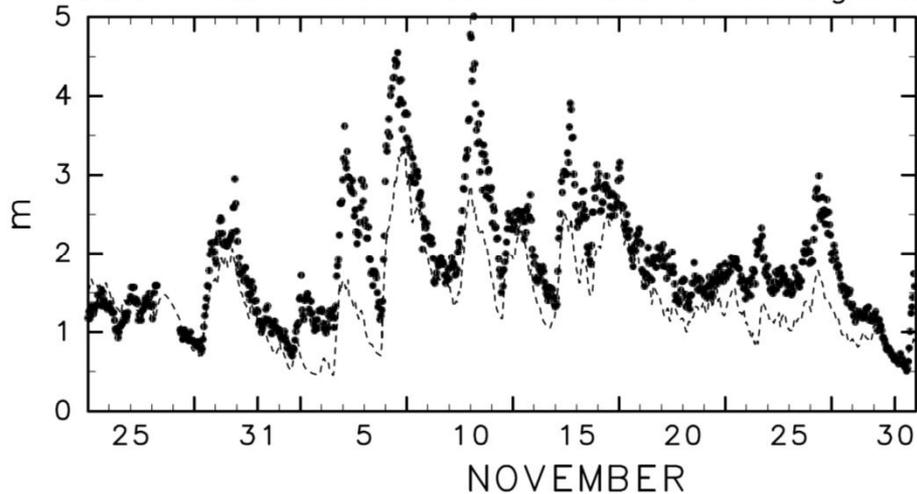
● : 観測、点線 : モデル

相関係数0.85, rms差
0.48m
データ数 908



モデルと観測の波高比較 (J-E)

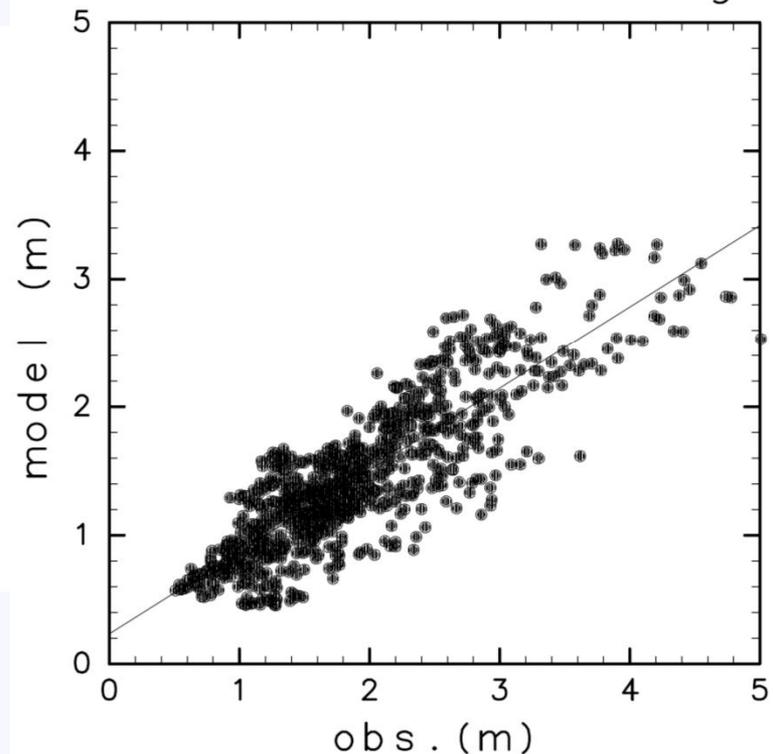
(a) Time series of wave heights



● : 観測、点線 : モデル

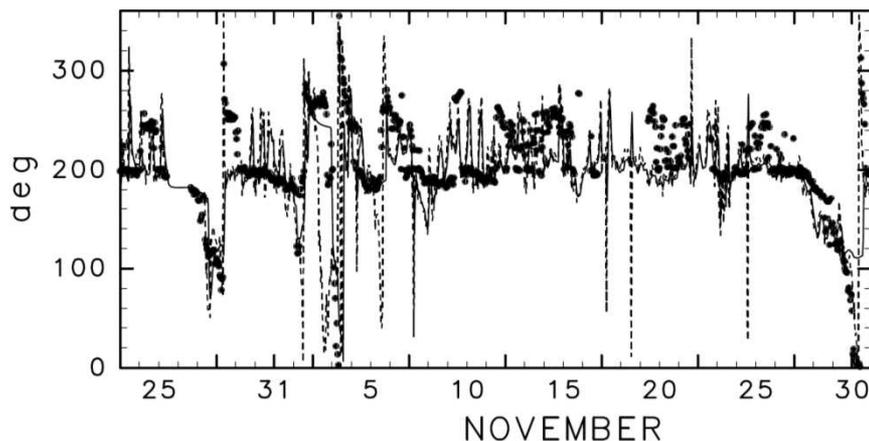
相関係数 0.85, rms差
0.60m
データ数 908

(b) Scatter diagram

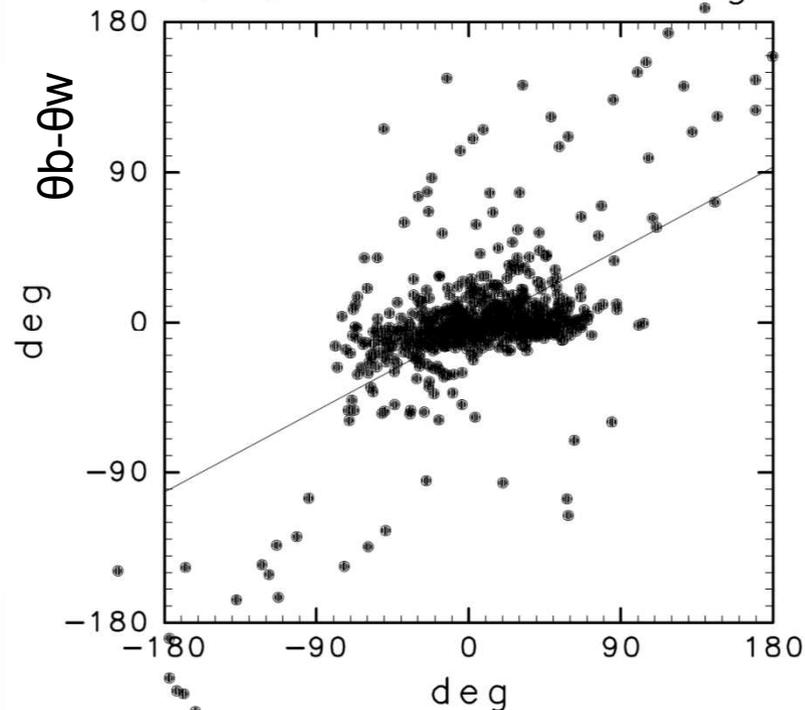


モデルBragg波向 θ_b とレーダ観測 Bragg波向 θ_r の比較 (S-D)

(a) Time series of wave direction



(b) Scatter diagram



rms差 37.0度,

$\theta_b - \theta_w$ と $\theta_r - \theta_w$ の相関 0.60

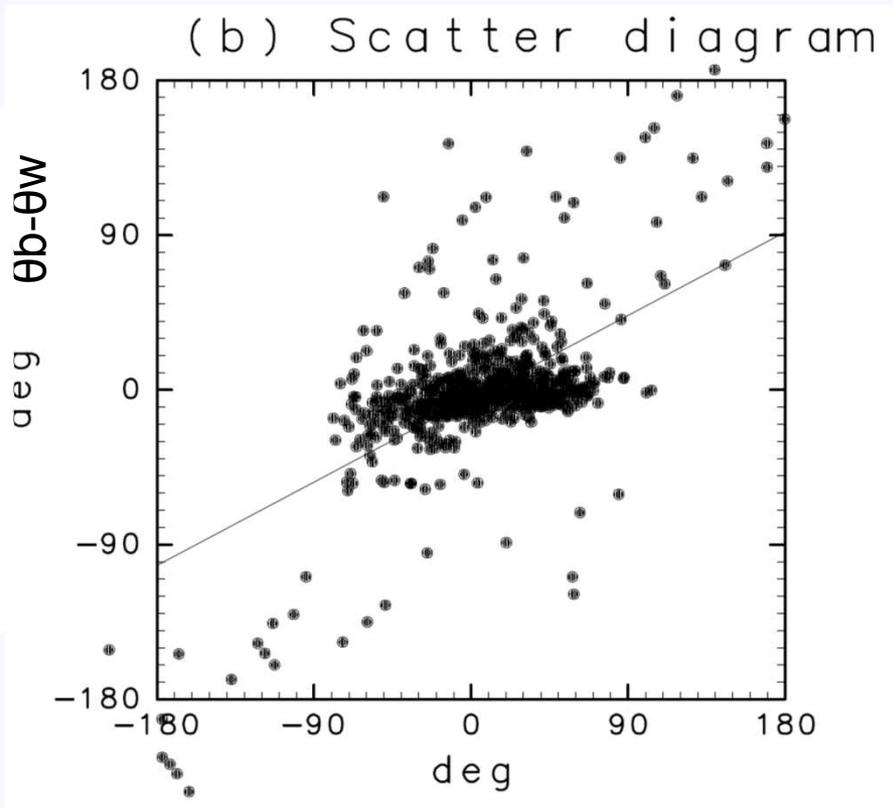
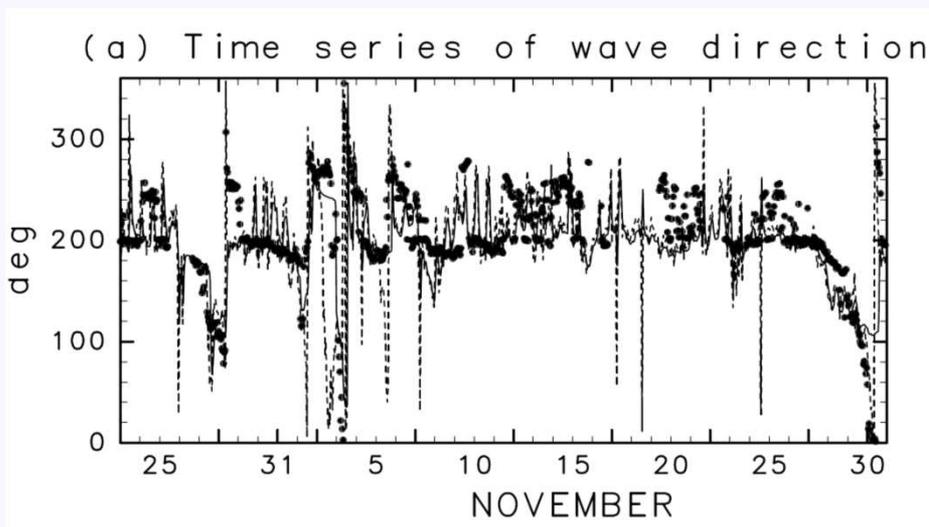
データ数 777

θ_w 風向

$\theta_r - \theta_w$

相関: 角度差が180度以上の場合, 絶対値の大きな方から, 360度引く(足す)

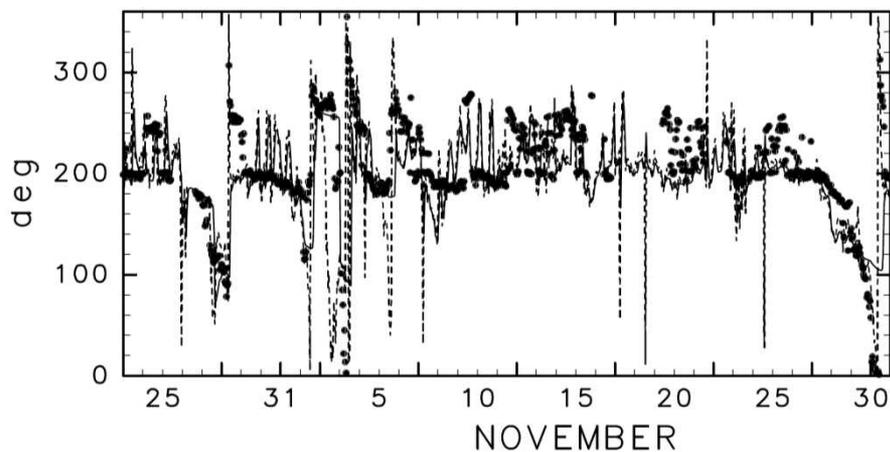
モデルBragg波向 θ_b とレーダ観測 Bragg波向 θ_r の比較 (J-D)



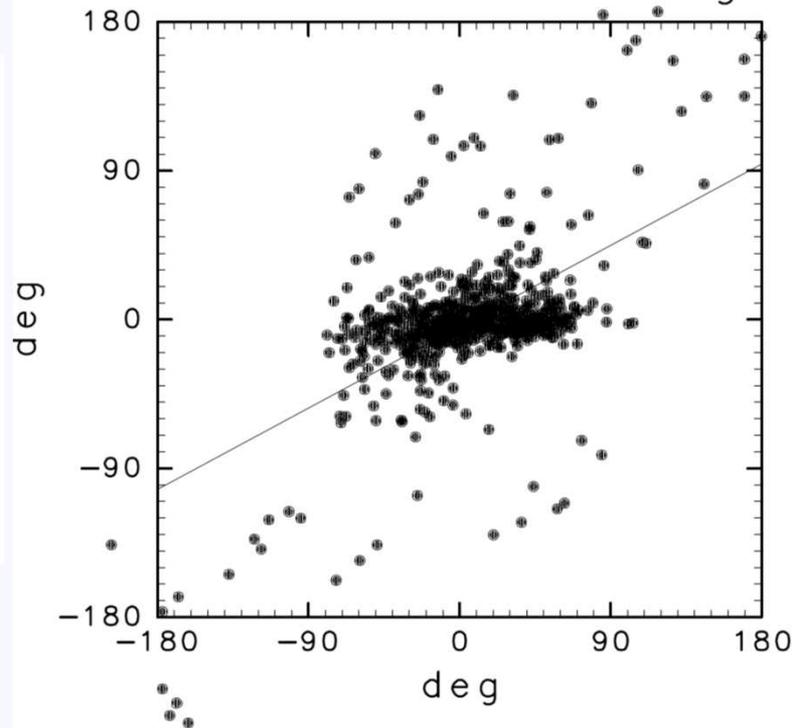
rms差 37.0度,
 $\theta_b - \theta_w$ と $\theta_r - \theta_w$ の相関 0.60
データ数 777 θ_w 風向

モデルBragg波向 θ_b とレーダ観測 Bragg波向 θ_r の比較 (J-E)

(a) Time series of wave direction



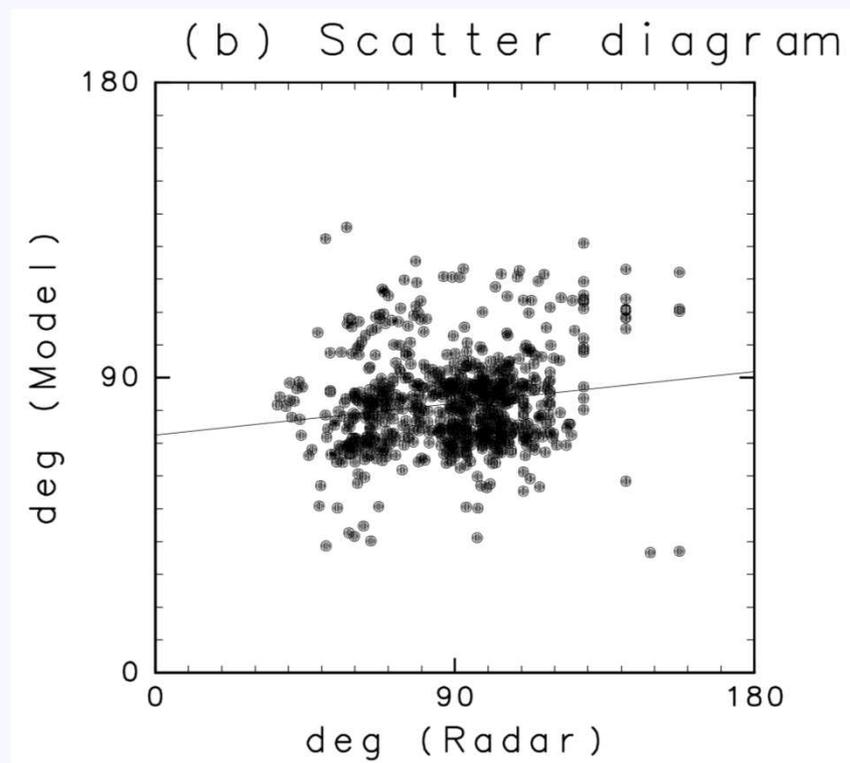
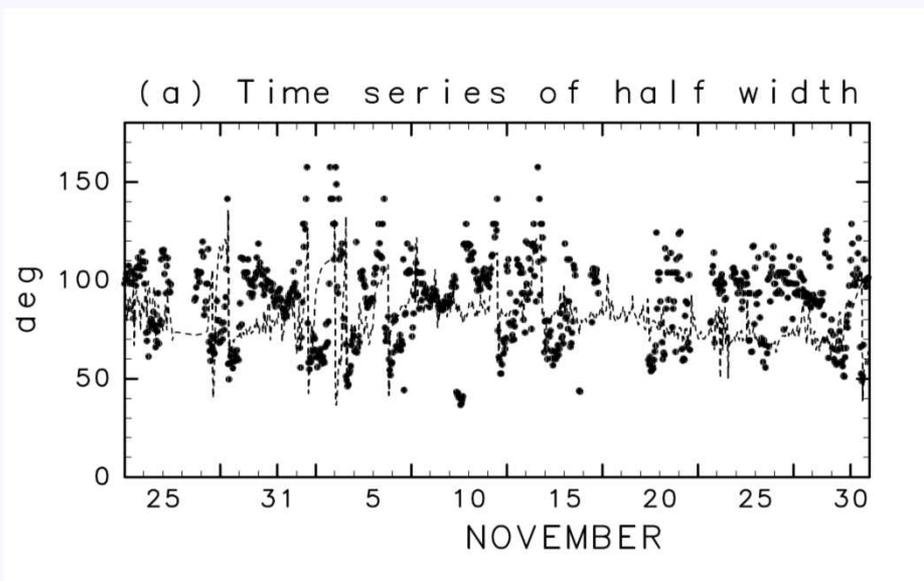
(b) Scatter diagram



rms差 40.8度,
 $\theta_b - \theta_w$ と $\theta_r - \theta_w$ の相関 0.56
データ数 777 θ_w 風向

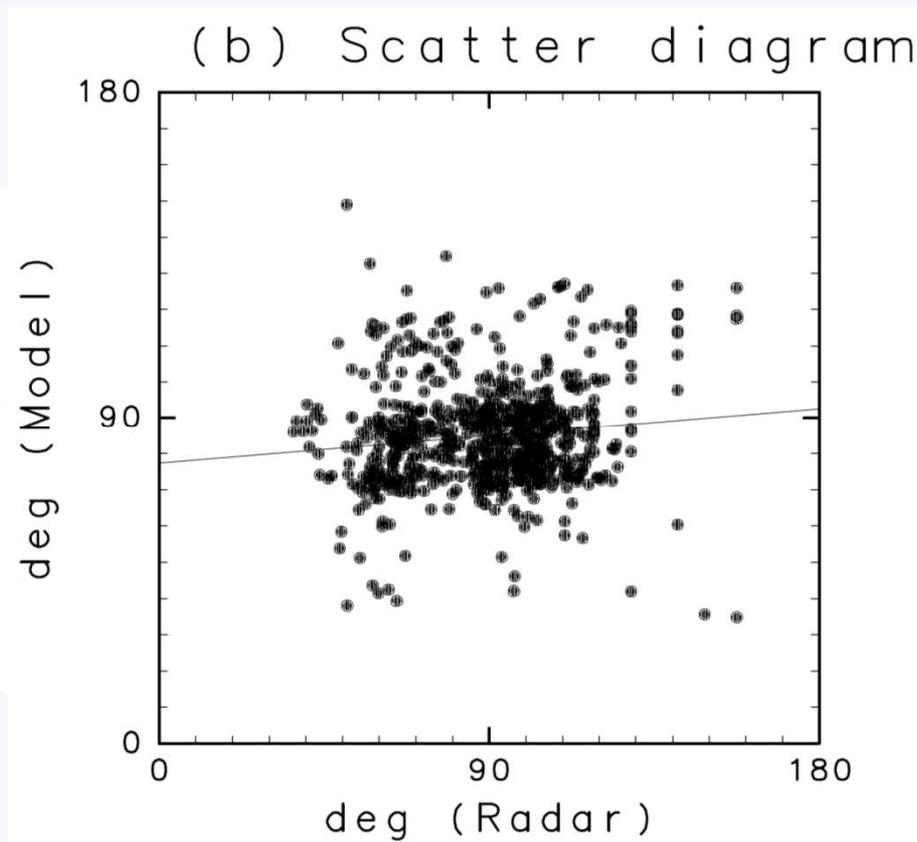
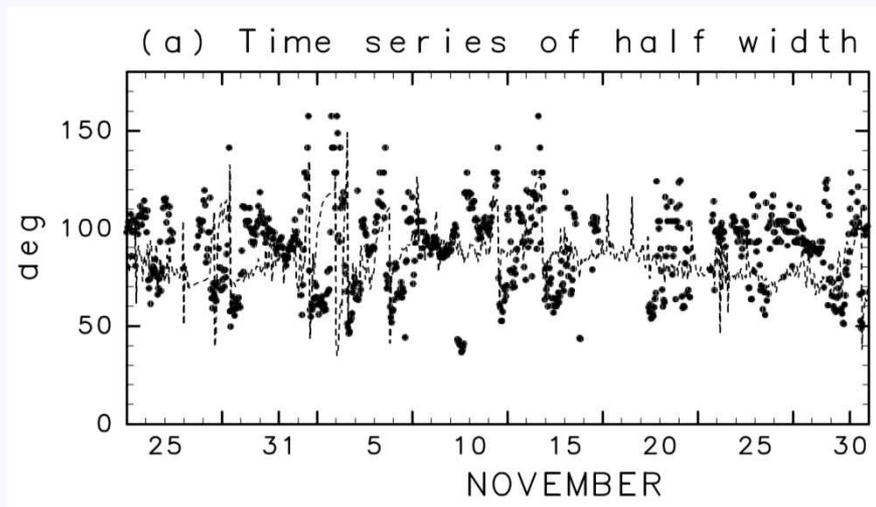
$\theta_r - \theta_w$

モデル半値幅とレーダ観測半値幅の比較(S)



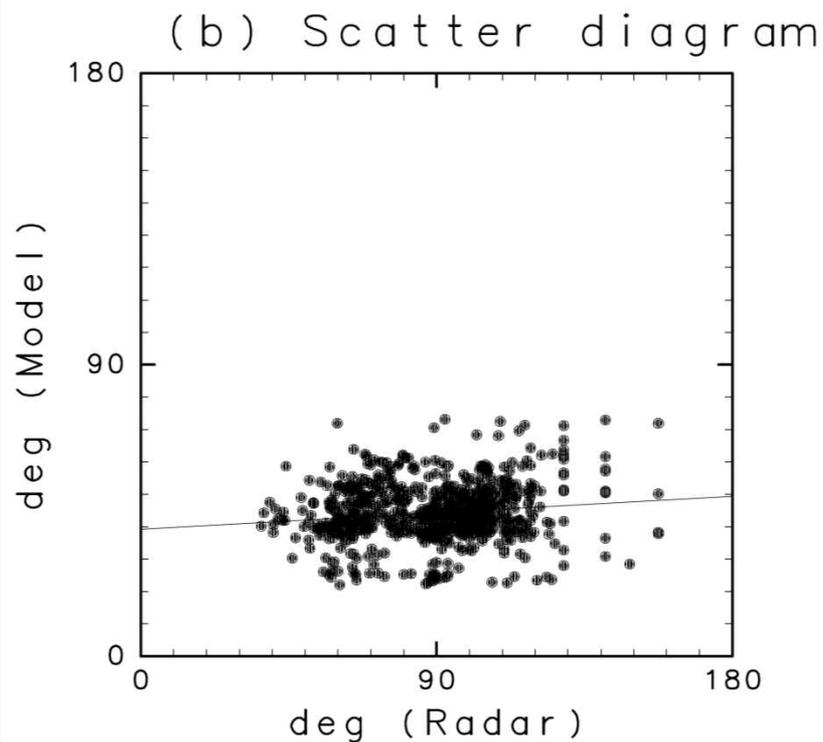
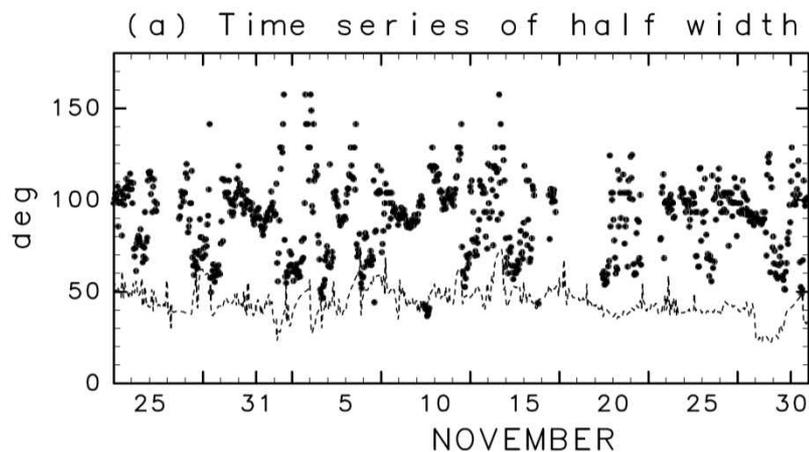
相関係数 0.16, rms差 24.6度 データ数793

モデル半値幅とレーダ観測半値幅の比較(J)



相関係数 0.12, rms差 24.4度 データ数793

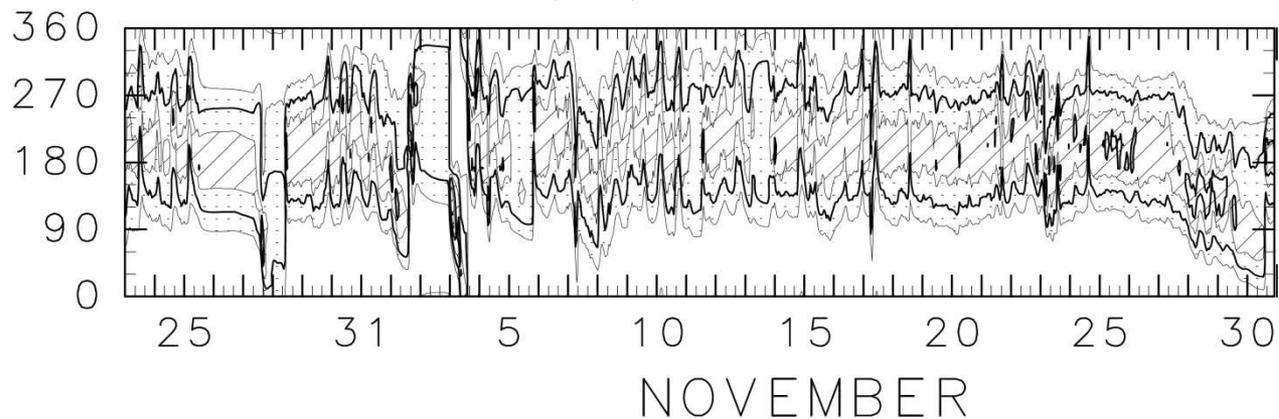
モデル半値幅とレーダ観測半値幅の比較(J)



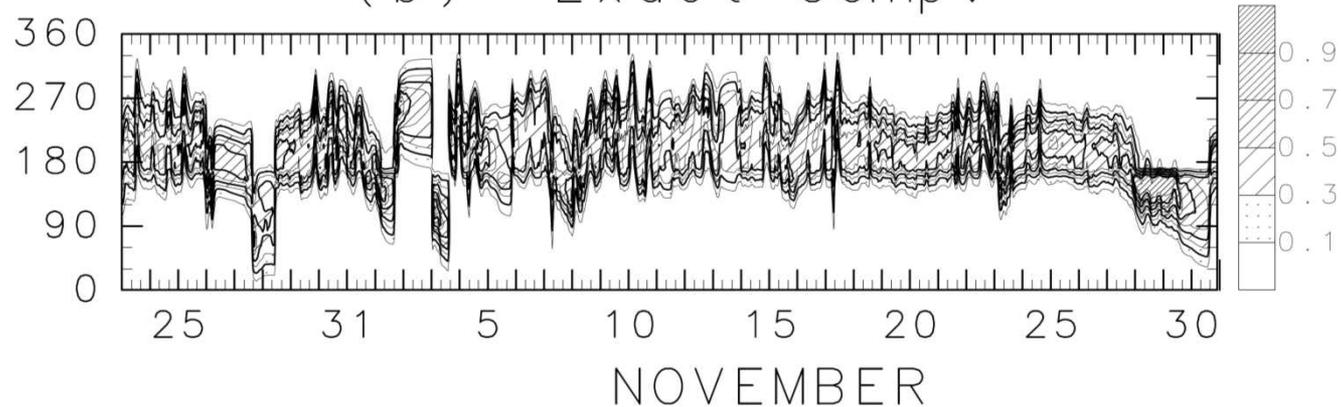
相関係数 0.14, rms差 50.4度 データ数793

規格化した方向分布

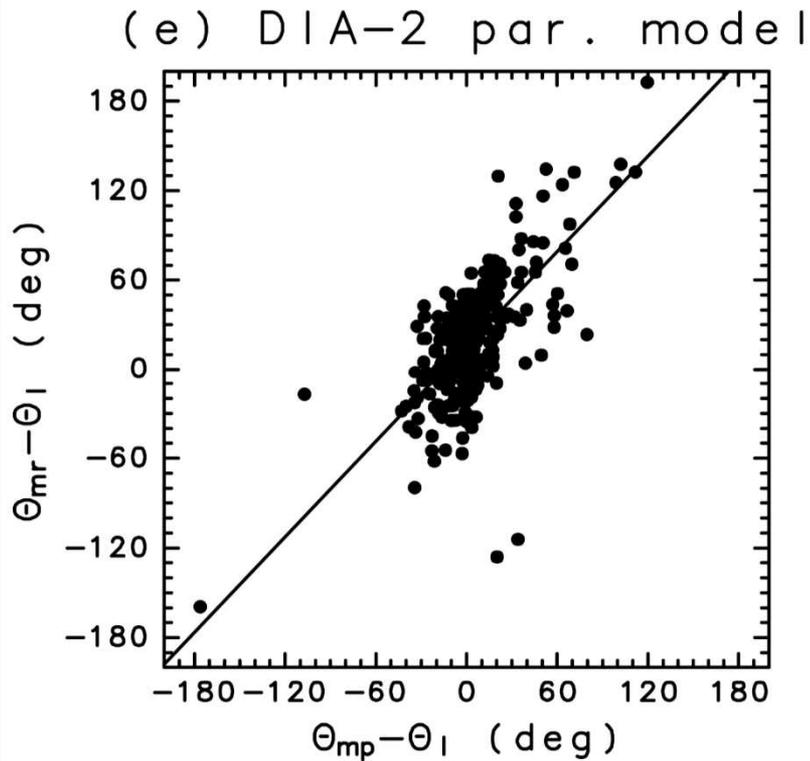
(a) DIA



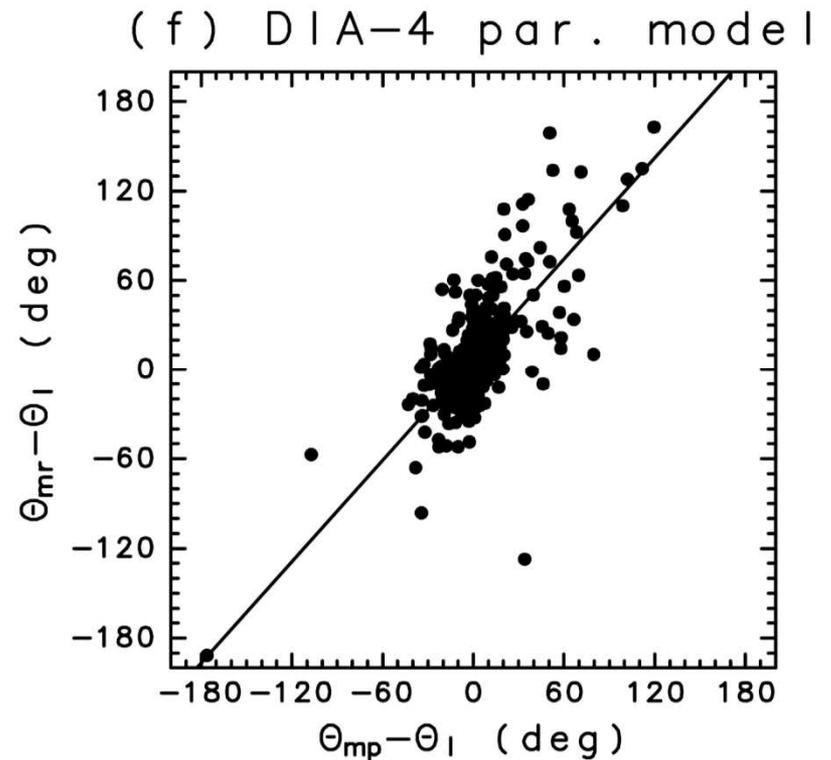
(b) Exact Comp.



24.5MHzレーダの例(Bragg波向)



相関0.65

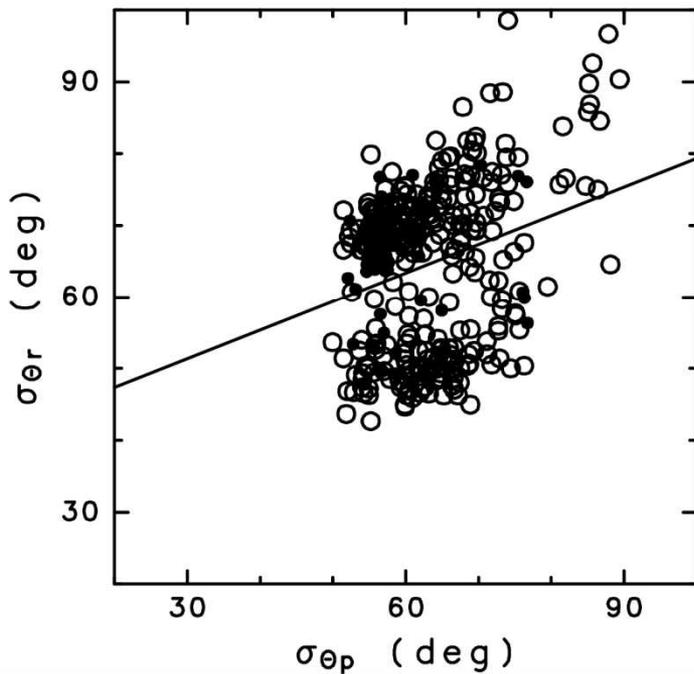


相関0.75

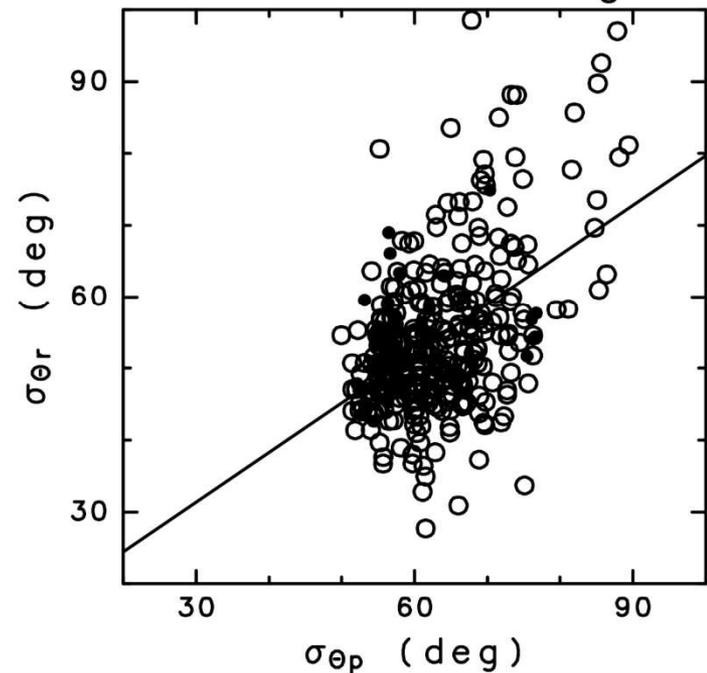
Hisaki 2007

24.5MHzレーダの例 (Bragg波の広がり: 標準偏差)

(e) DIA-2 par. model



(f) DIA-4 par. model

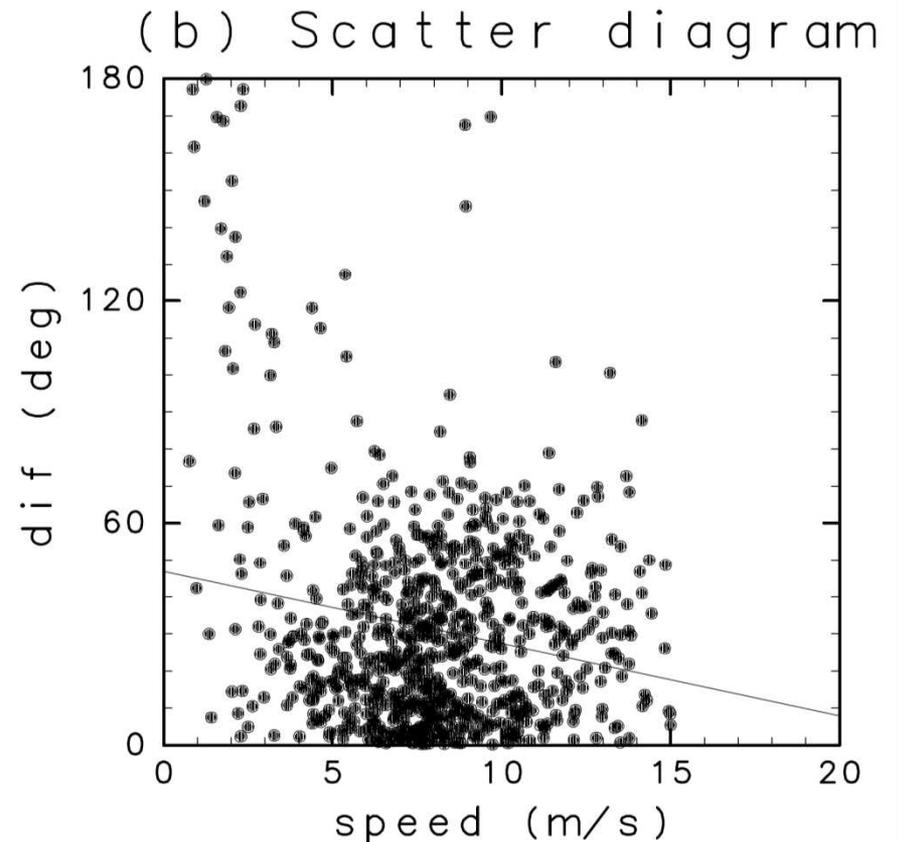
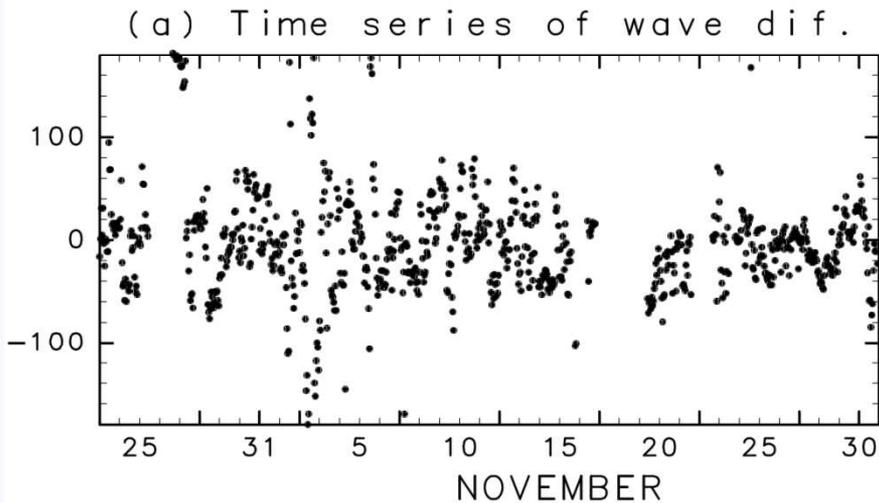


相関0.6

Hisaki 2007

ブイ風向とレーダBragg波向差の時系列(左) と、その絶対値と風速の散布図(右)

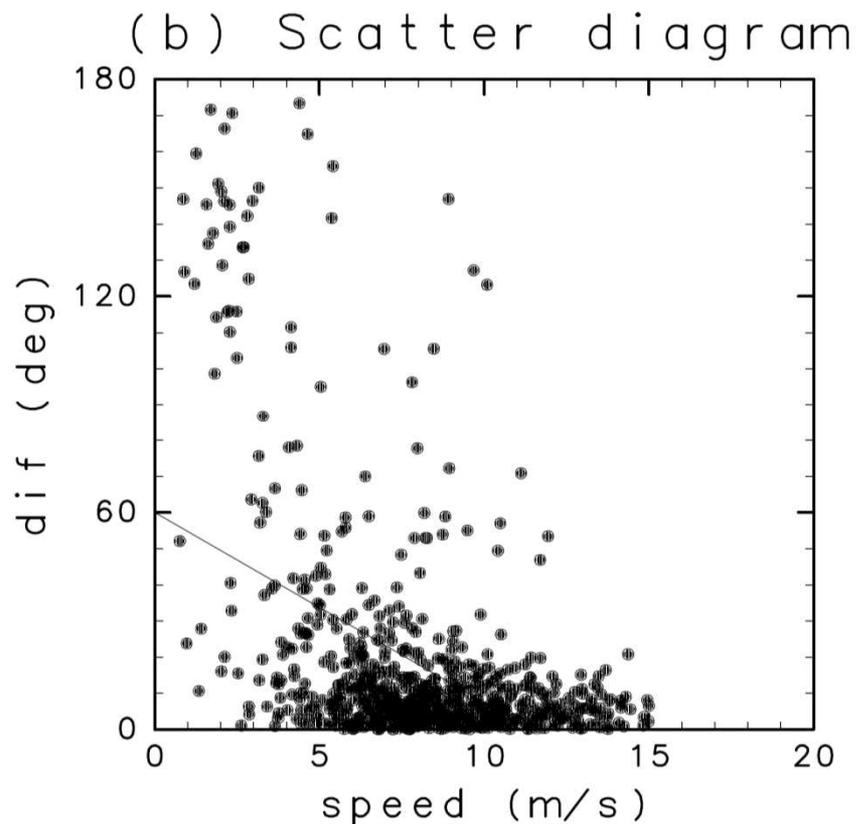
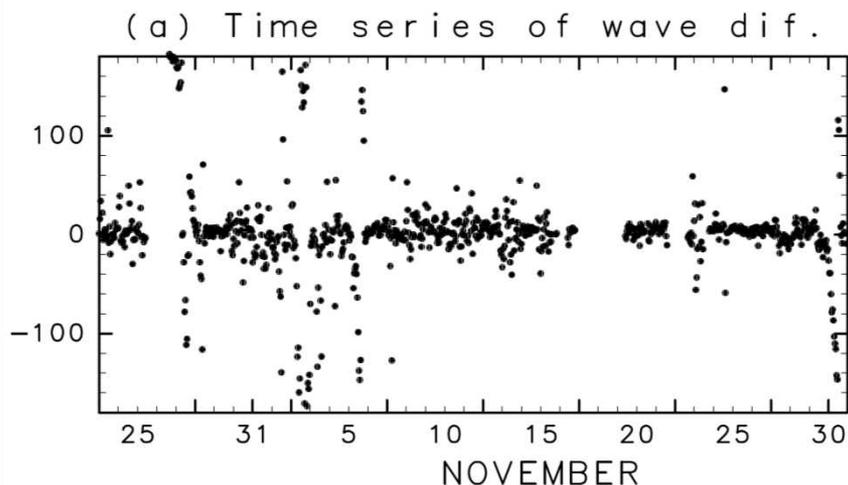
ブイ風向-レーダBragg波向(度)



相関:-0.19

ブイ風向とモデルBragg波向差の時系列(左) と, その絶対値と風速の散布図(右)

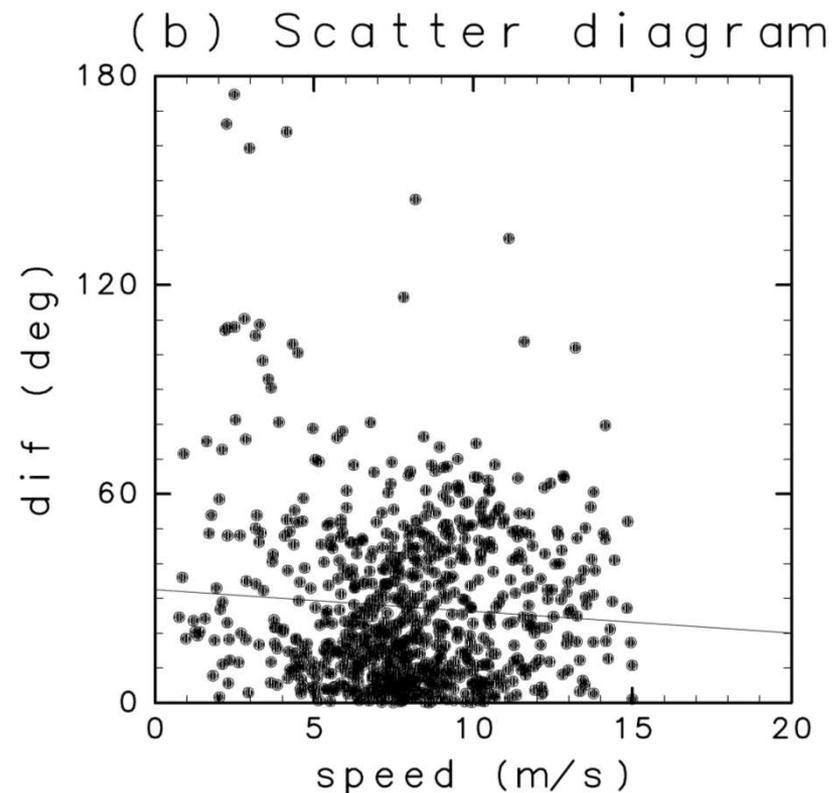
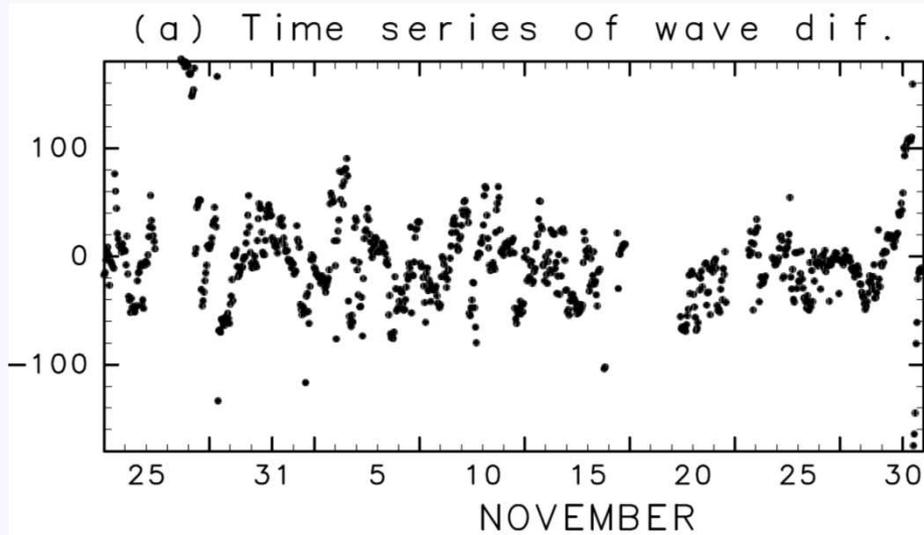
Buoy風向-モデルBragg波向(度)



相関:-0.47

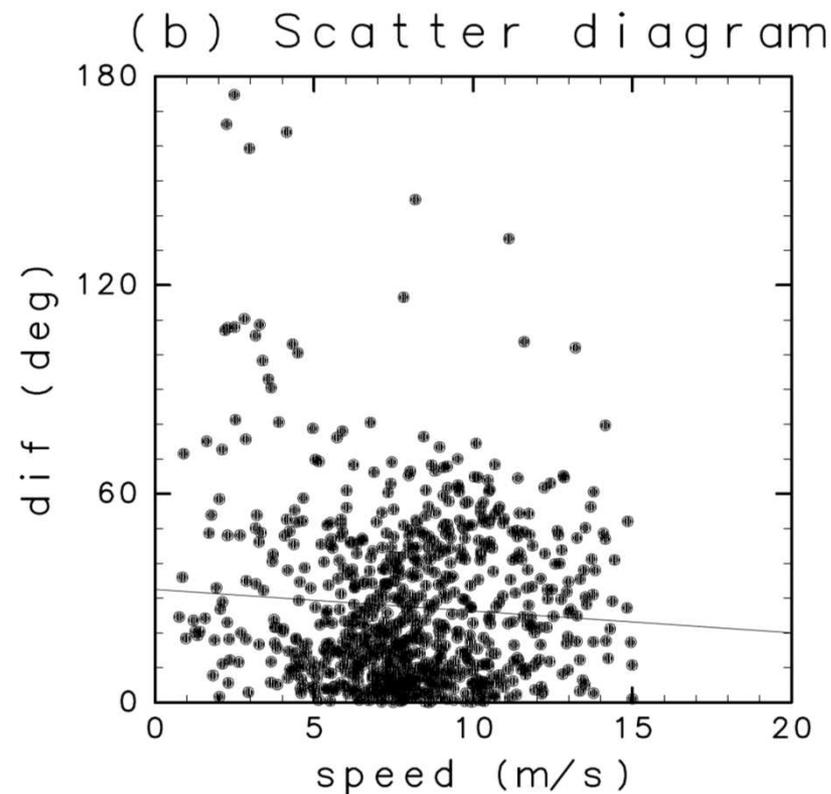
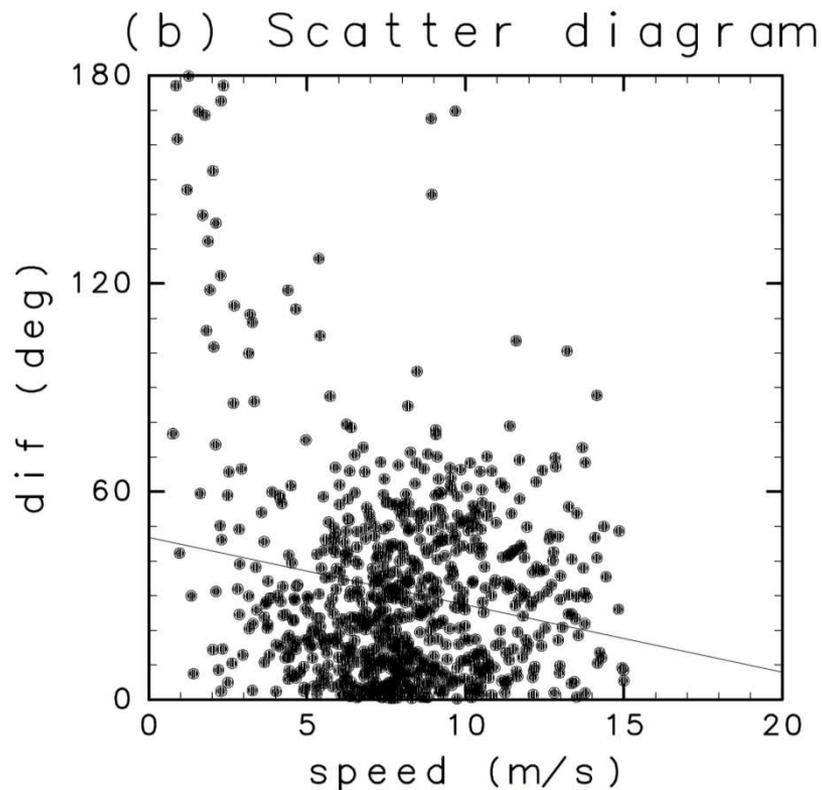
モデルBragg波向とレーダBragg波向差 の時系列(左) と, その絶対値と風速の散布図(右)

Bragg波向-レーダBragg波向(度)



相関:-0.07

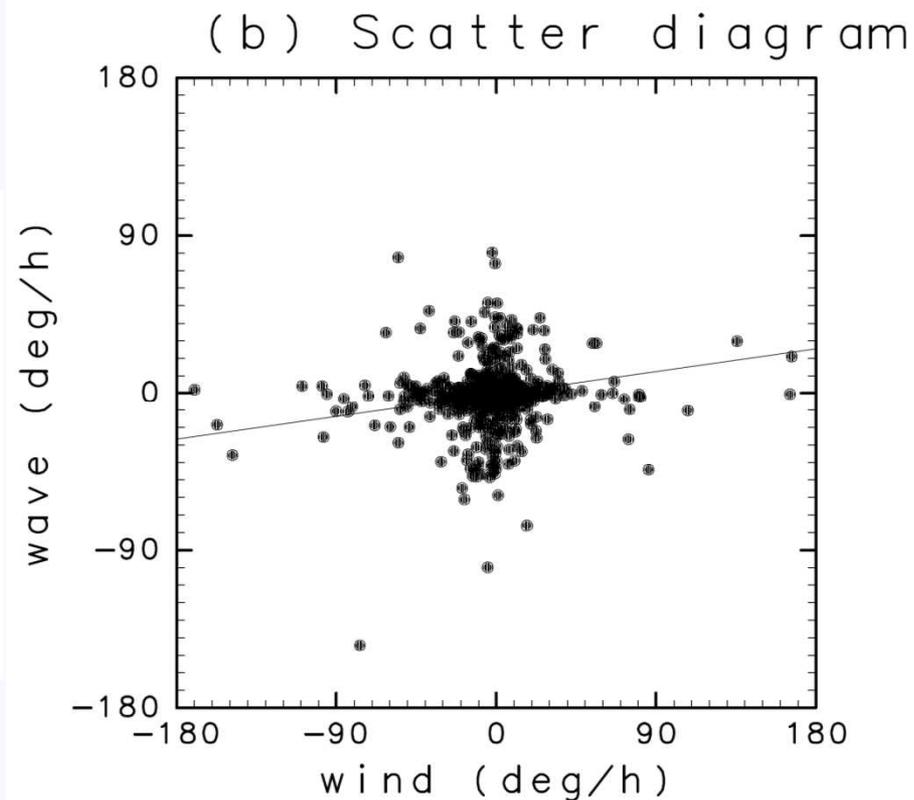
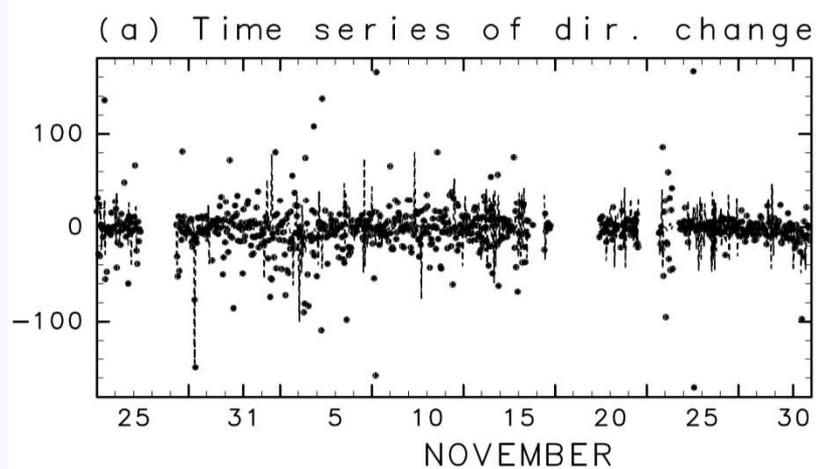
ブイ風向とレーダBragg波向差-風速の散布図(左)と、モデルBragg波向とレーダBragg波向差と風速の散布図(右)



遠距離海洋レーダによる 海上風向補正の試み

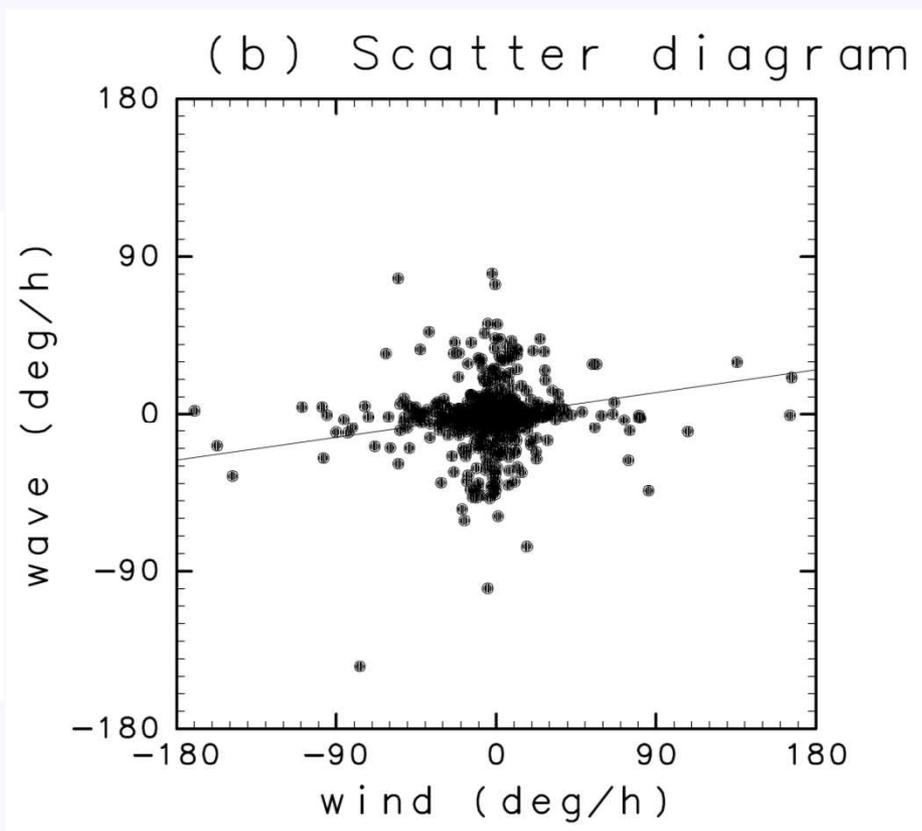
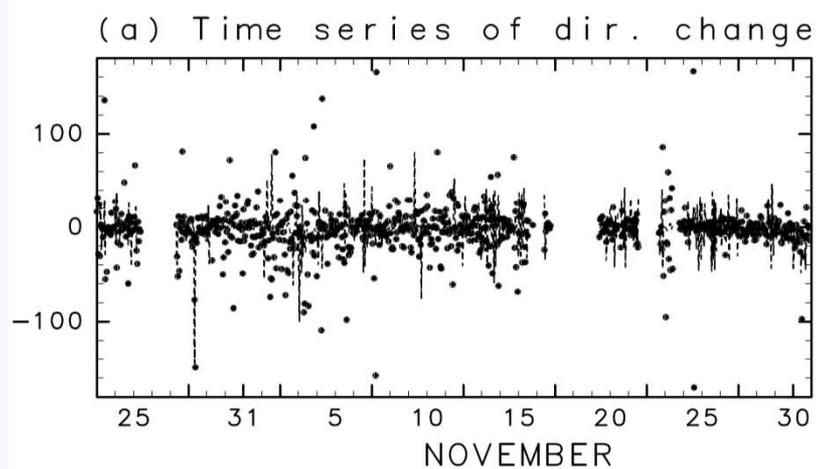
- 1.レーダから得られたBragg波向き¹の時間変化から、風向を推定
- 2.風速を固定して、レーダから得られたBragg波向きを風向の第一推定値として、Bragg波向きを推算する。推算Bragg波向きとレーダBragg波向きとの差が小さくなるように、風向を修正する。

ブイ風向(●)とレーダBragg波向(点線)の時間変化の時系列(左)と散布図(右)



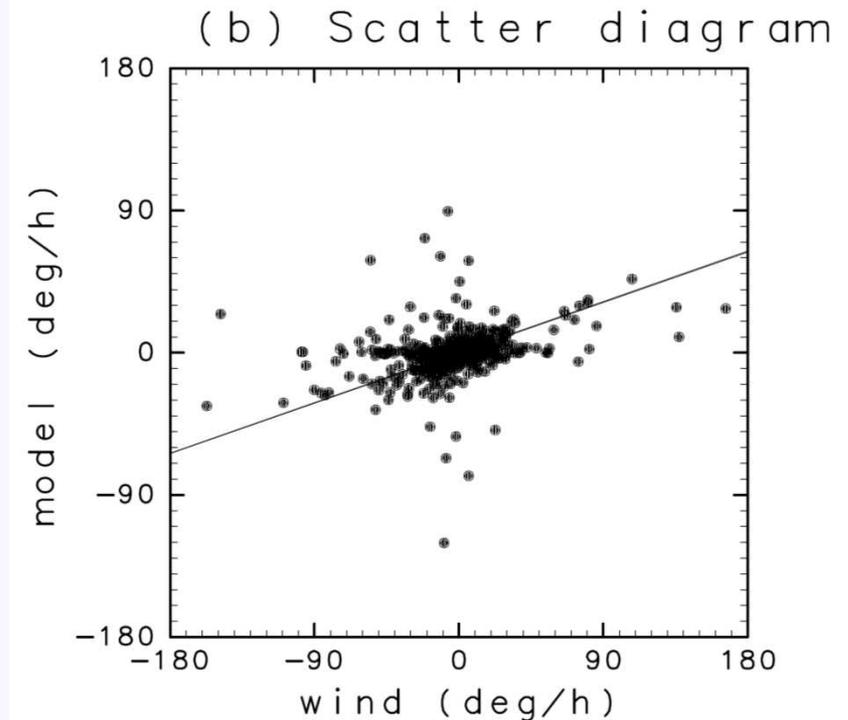
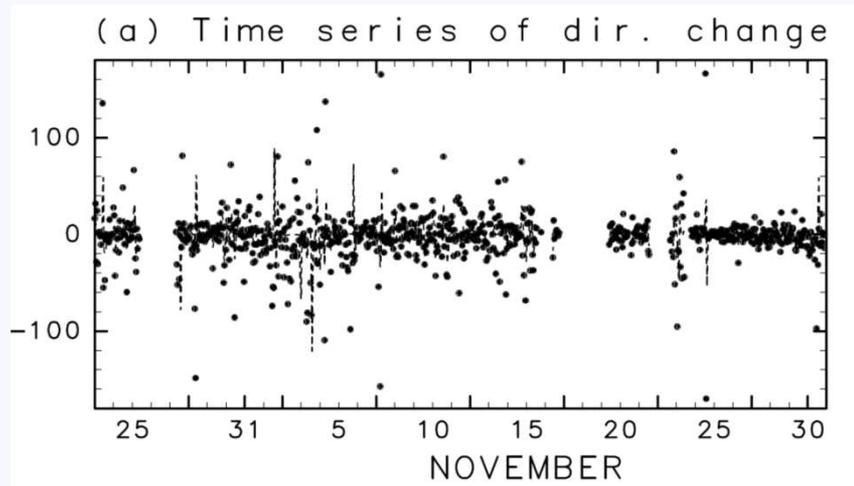
相関0.19

ブイ風向(●)とレーダBragg波向(点線)の時間変化の時系列(左)と散布図(右)



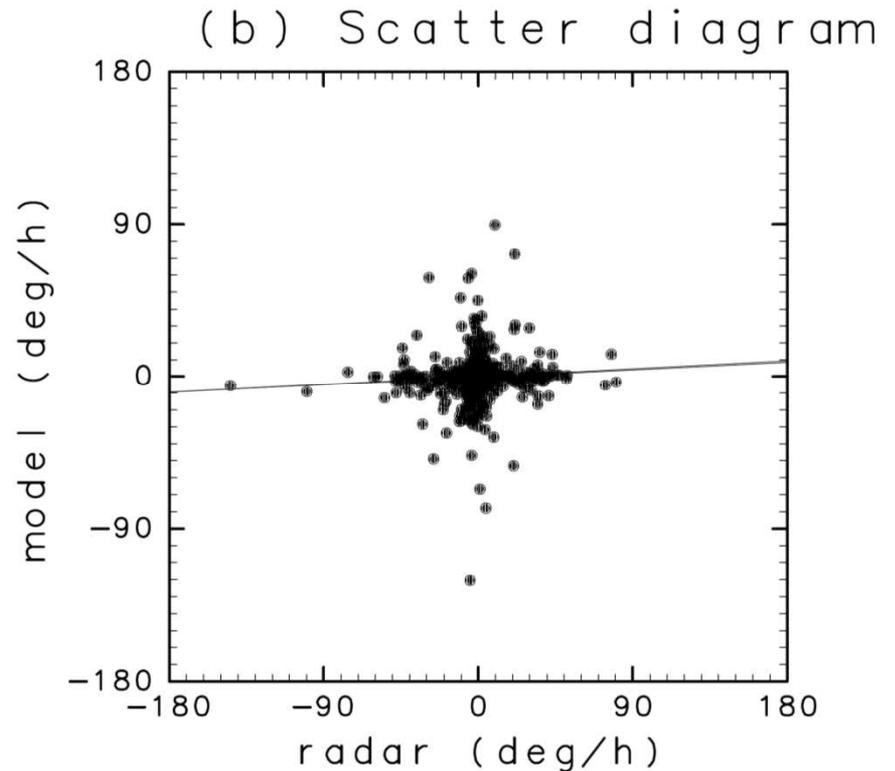
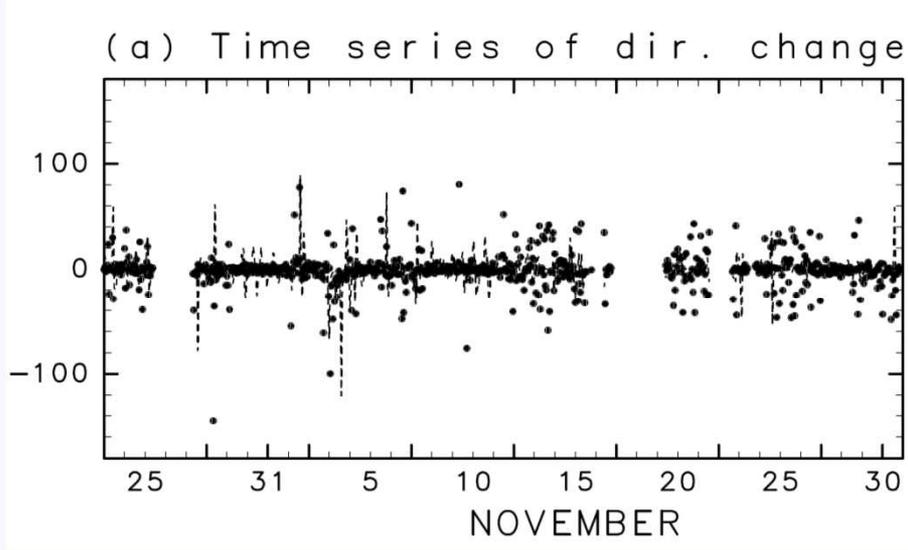
1は困難 相関0.19

ブイ風向(●)とモデルBragg波向(点線)の時間変化の時系列(左)と散布図(右)



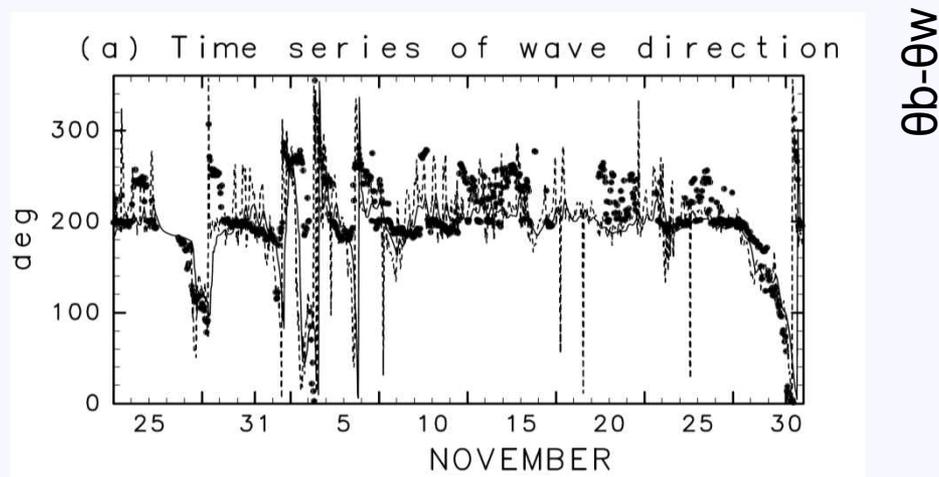
相関0.44

レーダ Bragg 波向(●)とモデル Bragg 波向(点線)の時間変化の時系列(左)と散布図(右)



相関0.067, rms 19.9度

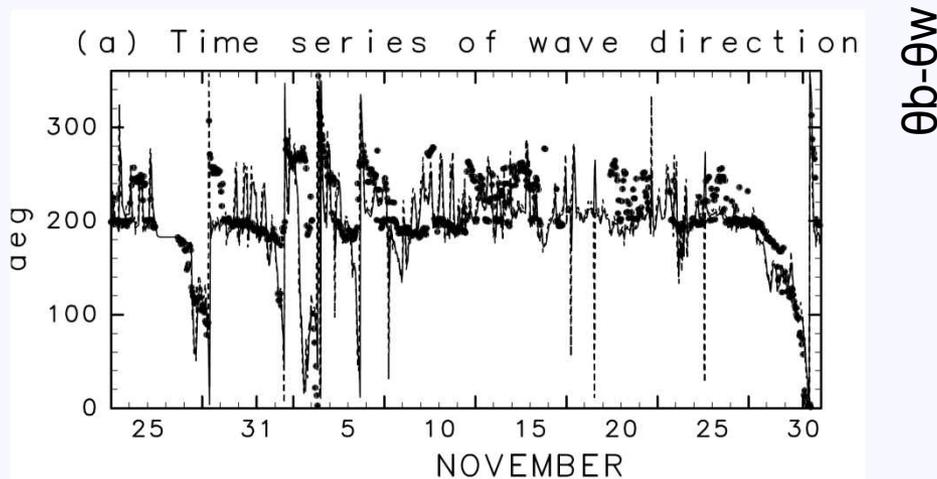
モデルBragg波向 θ_b とレーダ観測 Bragg波向 θ_r の比較 (S-D) 風速5m/s固定



rms差 41.6度,
 $\theta_b - \theta_w$ と $\theta_r - \theta_w$ の相関 0.59
データ数 777 θ_w 風向

$\theta_r - \theta_w$

モデルBragg波向 θ_b とレーダ観測 Bragg波向 θ_r の比較 (S-D) 風速10m/s固定



rms差 40.4度,

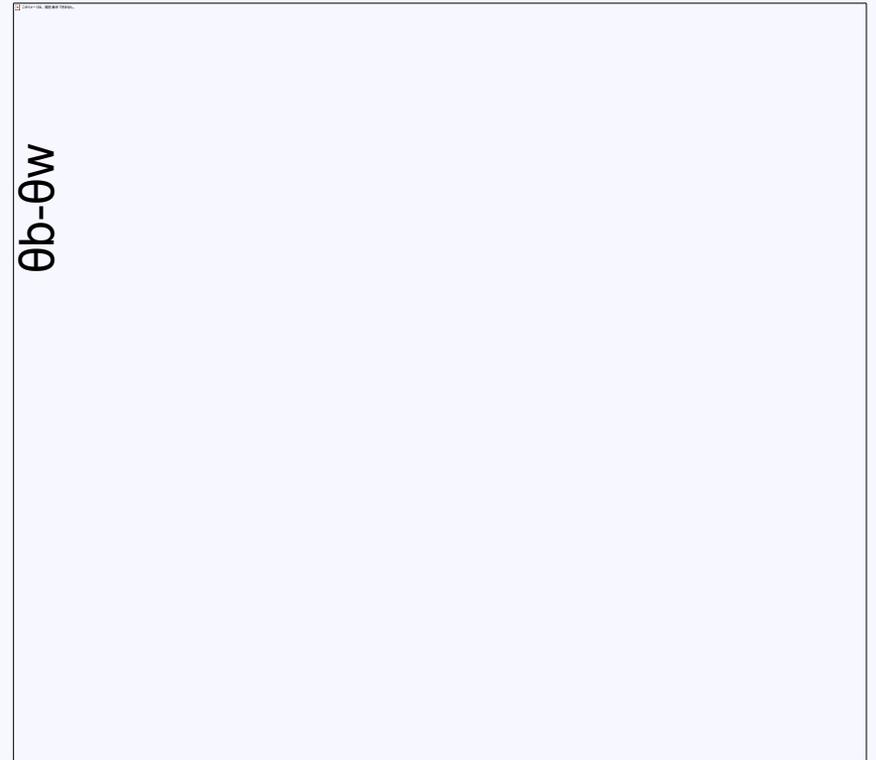
$\theta_b - \theta_w$ と $\theta_r - \theta_w$ の相関 0.42

データ数 777

θ_w 風向

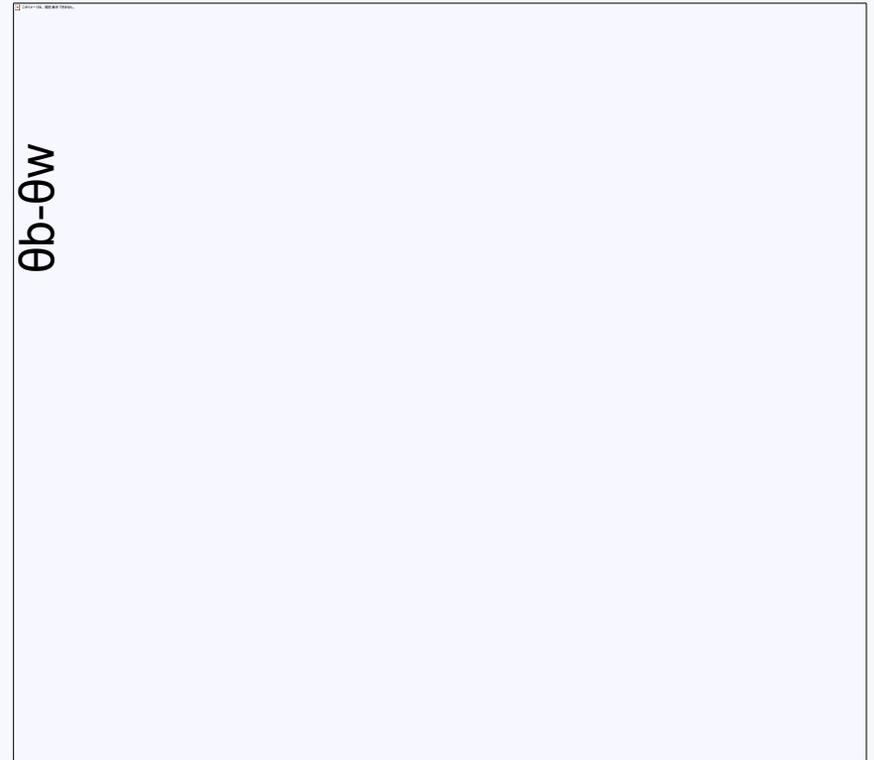
$\theta_r - \theta_w$

モデル風向=レーダ観測Bragg波向と, モデル Bragg波向の比較 (S-D) 風速5m/s固定



rms差 28.6度,
データ数 777

モデル風向=レーダ観測Bragg波向と, モデル Bragg波向の比較 (S-D) 風速5m/s固定



rms差 28.6度,
データ数 777

2は困難

まとめ

- 風向の変化に伴うBragg波の変化を、ある程度再現できる。
- 方向分布の広がり、波浪推算において、4波共鳴のソース関数を厳密計算で計算した場合、DIAの場合やレーダ推定値に比べて狭い。
- ✓ 他ソース関数のチューニングによる。
- 風入力のソース関数については違いは小さかった
- 海上風向の補正は現段階では困難

課題

- 2基のレーダから、方向分布を求め
る妥当性の検討
- ドップラースペクトルの検討