

海洋レーダと現場観測 及びモデルによる 波浪データの相互比較

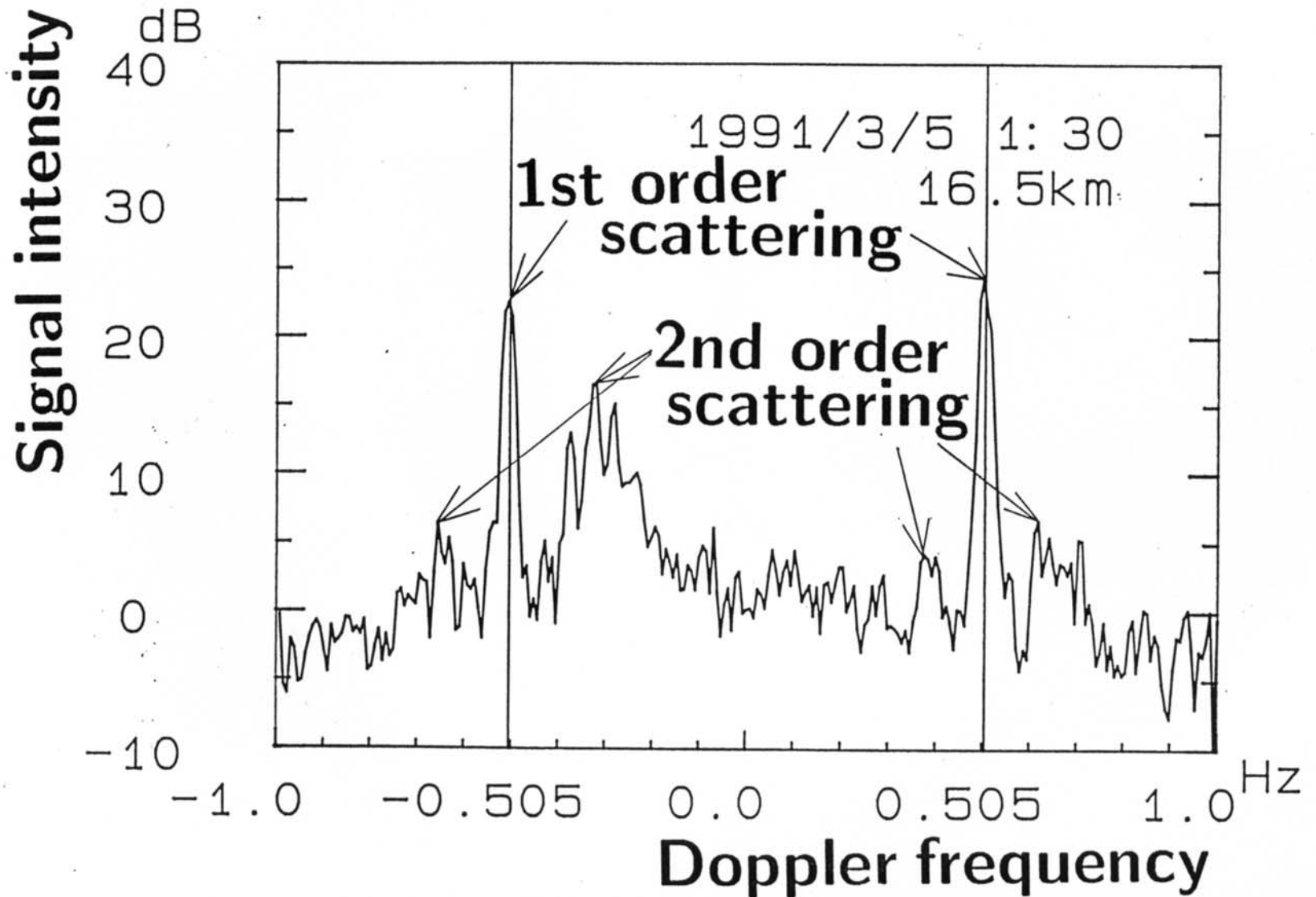
琉球大・理学部

久木幸治

報告内容

- 目的
- 手法：
 - 波浪推定の原理
 - 波浪データの選択(2000, 2001年データ)
 - モデル
- 結果(2001年データ)
- まとめと今後の課題

ドップラスペクトルの例



目的

- レーダから推定した波浪データの検証：
 - 観測データとの比較。
 - 多くの場合,波高・周期などに限定。
 - 空間分布の比較は困難。
- モデルによる推算波浪データによる相互比較。
- ドップラースペクトルのSN比が低い。

原理: 拘束条件

1. 1次散乱と波浪スペクトルの関係式
2. 2次散乱と波浪スペクトルの関係式
3. 波浪スペクトルエネルギー平衡方程式:
スペクトル, 海上風速・風向
4. 連続の式: 海上風速・風向
5. スペクトル値が周波数-方向に対して滑らかに変化(正則化条件)
6. エネルギー平衡方程式における移流項が小さい(正則化条件)

最適化問題

$$U(\mathbf{x}) = \frac{1}{2} \sum_{K=1}^{N_t} [\lambda_{wM} F_K(\mathbf{x})]^2$$

$\implies \text{minimize}$

F_K : 拘束条件式

$\mathbf{x}$: 未知数(スペクトル+風向・風速) N_t : 方程式個数

λ_{wM} ($M = 1, \dots, 6$): 重み(拘束条件の種類に依存)

初期値の設定

初期スペクトル,風速・風向は極座標格子点に依存しない

1. 1次散乱(拘束条件1) → 風向
2. スペクトルをパラメータ表示して,一次及び二次レーダ散乱断面積の式(拘束条件1,2)から,パラメータを求める。
3. 一次及び二次レーダ散乱断面積の式(拘束条件1,2)及び「スペクトル値が周波数・波向に対して滑らかに変化」(拘束条件5)から,最適化アルゴリズムによって初期スペクトル推定 (L-M法も可能)
4. 初期スペクトルの周波数スペクトルから経験的に風速推定

解は初期値に大きく依存



二次レーダ散乱断面積の式(拘束条件2)
及び「スペクトル値が周波数・波向に対して滑らかに変化」
(拘束条件5)
から,最適化アルゴリズムによって初期スペクトル推定

拘束条件2の重み(λ_{w2})に対する拘束条件5
(正則化)の重み(λ_{w5})に依存

重みパラメータ

初期値

case A: $\lambda_{w5} = 10^{-2}$

case B: $\lambda_{w5} = 10^{-1}$

case C: $\lambda_{w5} = 1$

$$\lambda_{w1} = \sqrt{72/11}\lambda_{w2}$$

$$\lambda_{w2} = 1$$

1. 1次散乱
2. 2次散乱
3. エネルギー平衡方程式
4. 連続の式
5. 正則化
6. 伝搬項

本計算

case 1: $(\lambda_{w2}, \lambda_{w3}, \lambda_{w5}) = (100, 1, 1)$

case 2: $(\lambda_{w2}, \lambda_{w3}, \lambda_{w5}) = (1000, 1, 1)$

case 3: $(\lambda_{w2}, \lambda_{w3}, \lambda_{w5}) = (100, 10, 1)$

$$\lambda_{w1} = \sqrt{72/11}\lambda_{w2}$$

$$\lambda_{w4} = 1, \quad \lambda_{w6} = \lambda_{w5}$$

- 3×3 通りの重みに関して計算

波浪データの選択

$$R_s = \frac{1}{2} \log\left(\frac{1}{N_2} \sum F_2^2(\mathbf{x})\right)$$

2次散乱の
式の残差

$$S(t + \Delta t) = S(t) + (-C_g \nabla S + S_t) \Delta t,$$

$$H_r(t) = 4 \left[\int \int S(\omega, \theta, t) d\theta d\omega \right]^{1/2},$$

$$H_{dif} = |H_r(t + \Delta t) - H_r(t)|$$

$\mathbf{x}$: Unknowns (spectral values, wind speeds & directions)

F_2 : Equations of the 2nd-order radar cross sections,

N_2 : Number of 2nd-order Doppler spectral values for wave estimation,

$S = S(t) = S(\omega, \theta, t)$: Wave spectrum,

C_g : group velocity vector,

S_t : Source function, $\Delta t = 2$ hour

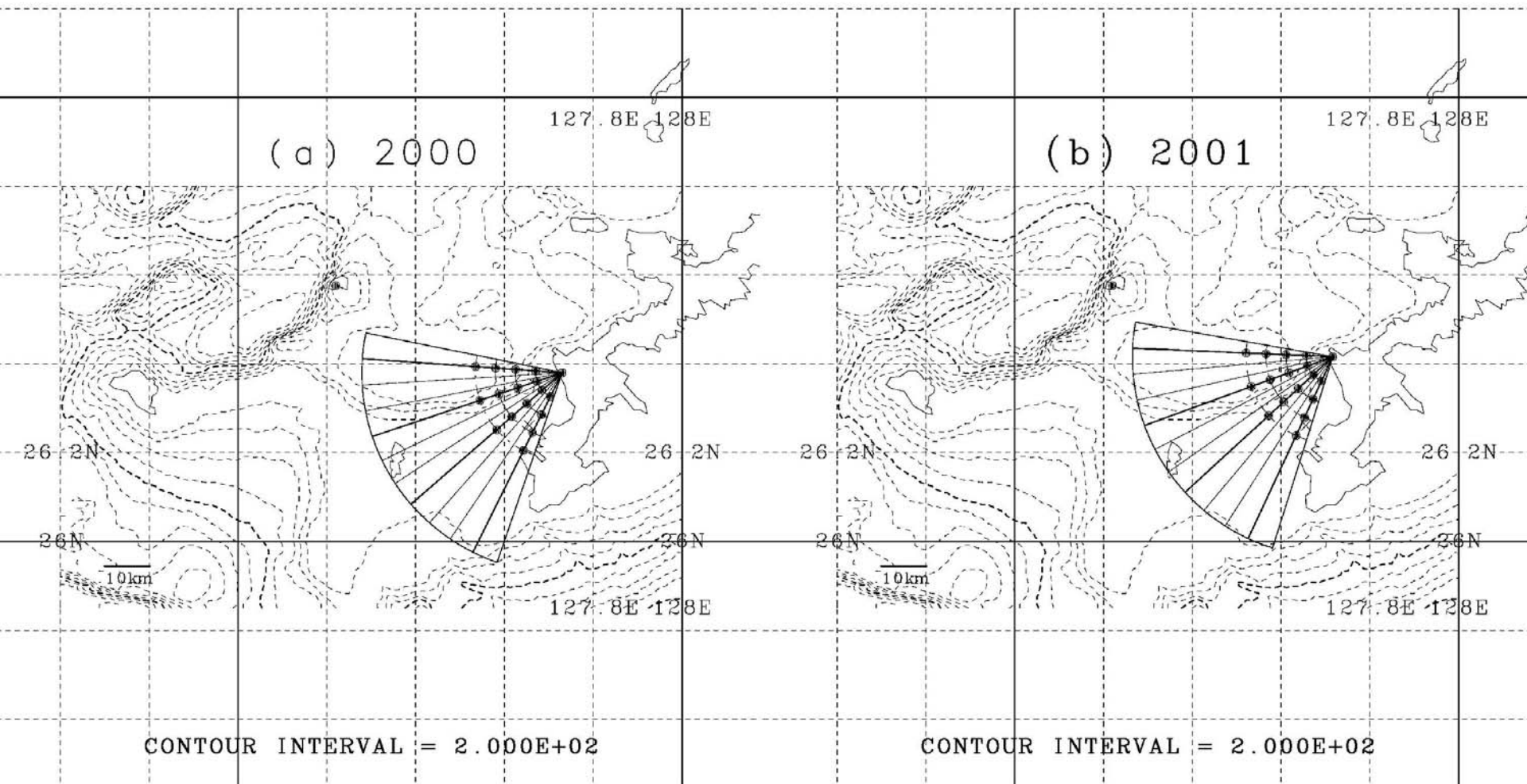
波浪データの取捨選択

1. 9つの波浪データから最小の R_s を求める.
2. 閾値 R_{smax} 、 H_{dmax} を与え、 $R_s < R_{smax}$ 及び $H_{dif} < H_{dmax}$ の場合、波浪データを選択.
3. 2の条件を満たさない場合、その波浪データを除去.
4. 様々な R_{smax} and H_{dmax} について波高比較

(R_s : 2次散乱の式の残差.

H_{dif} : 波高変化.)

観測海域

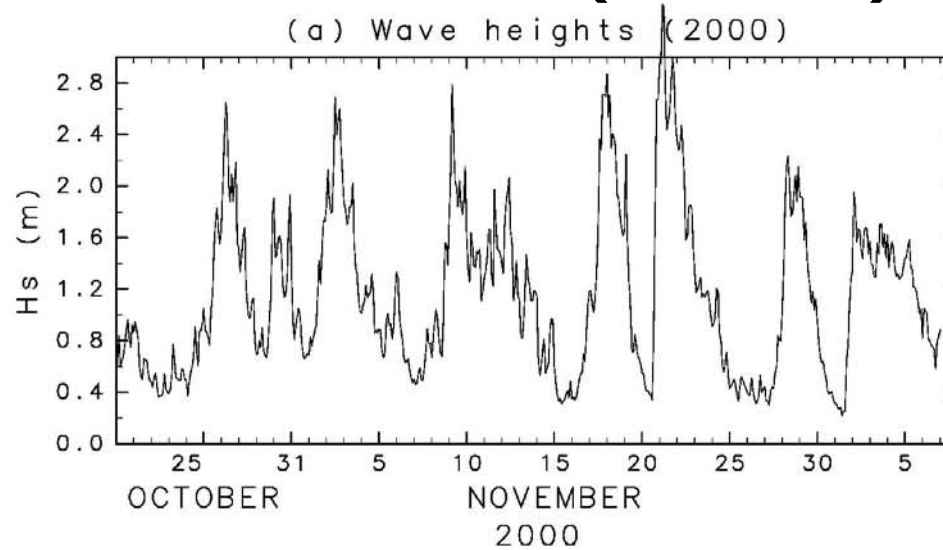


×: 超音波波高計 (-52.9m)

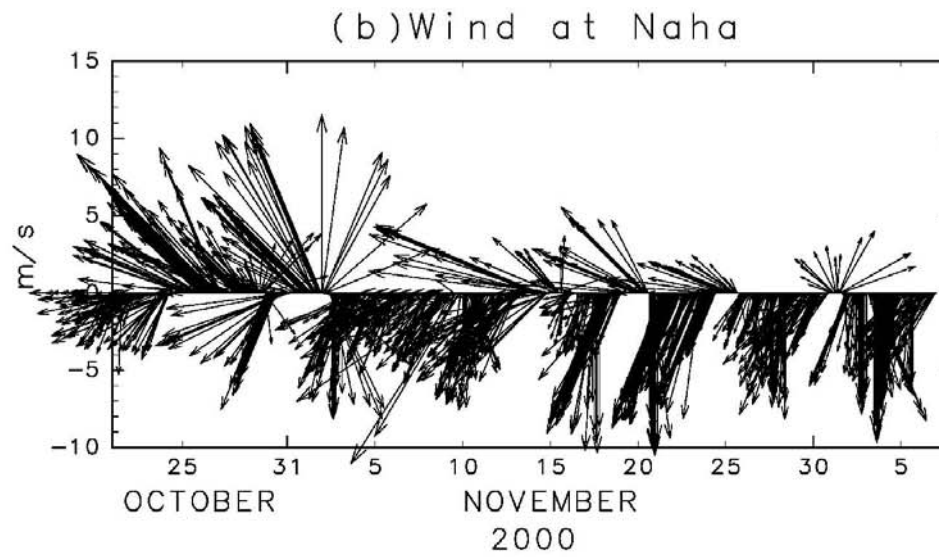
データ

- 海洋レーダドップラースペクトル:
2000年10月21日から12月7日.
2001年5月26日から7月2日.
- 有義波高, 有義波周期 (超音波波高計),
平均波向き (流速計)
- その他 (風向・風速)
- 2001年データの相互比較を報告

波高・風 (2000)

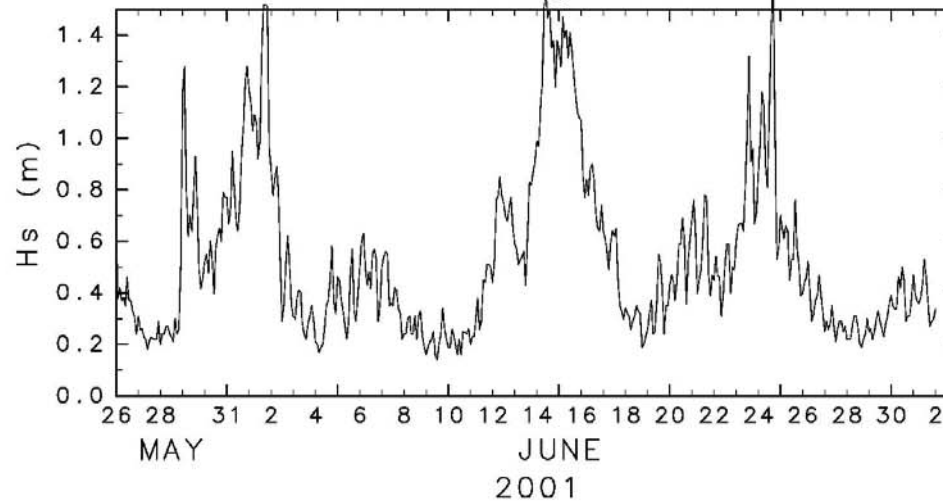


Mean=1.16 m, St. dev.=0.64 m



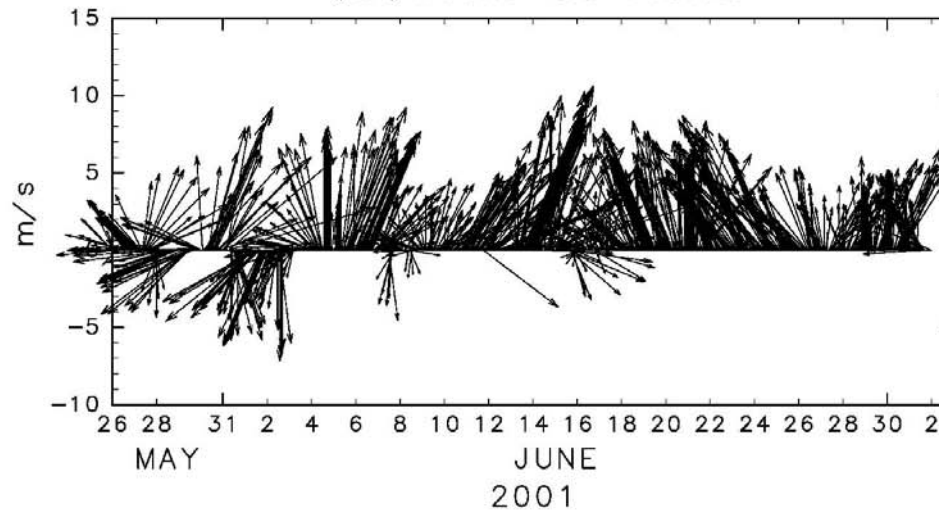
波高・風 (2001)

(b) Wave heights (2001)



Mean=0.53 m, St. dev.=0.32 m:

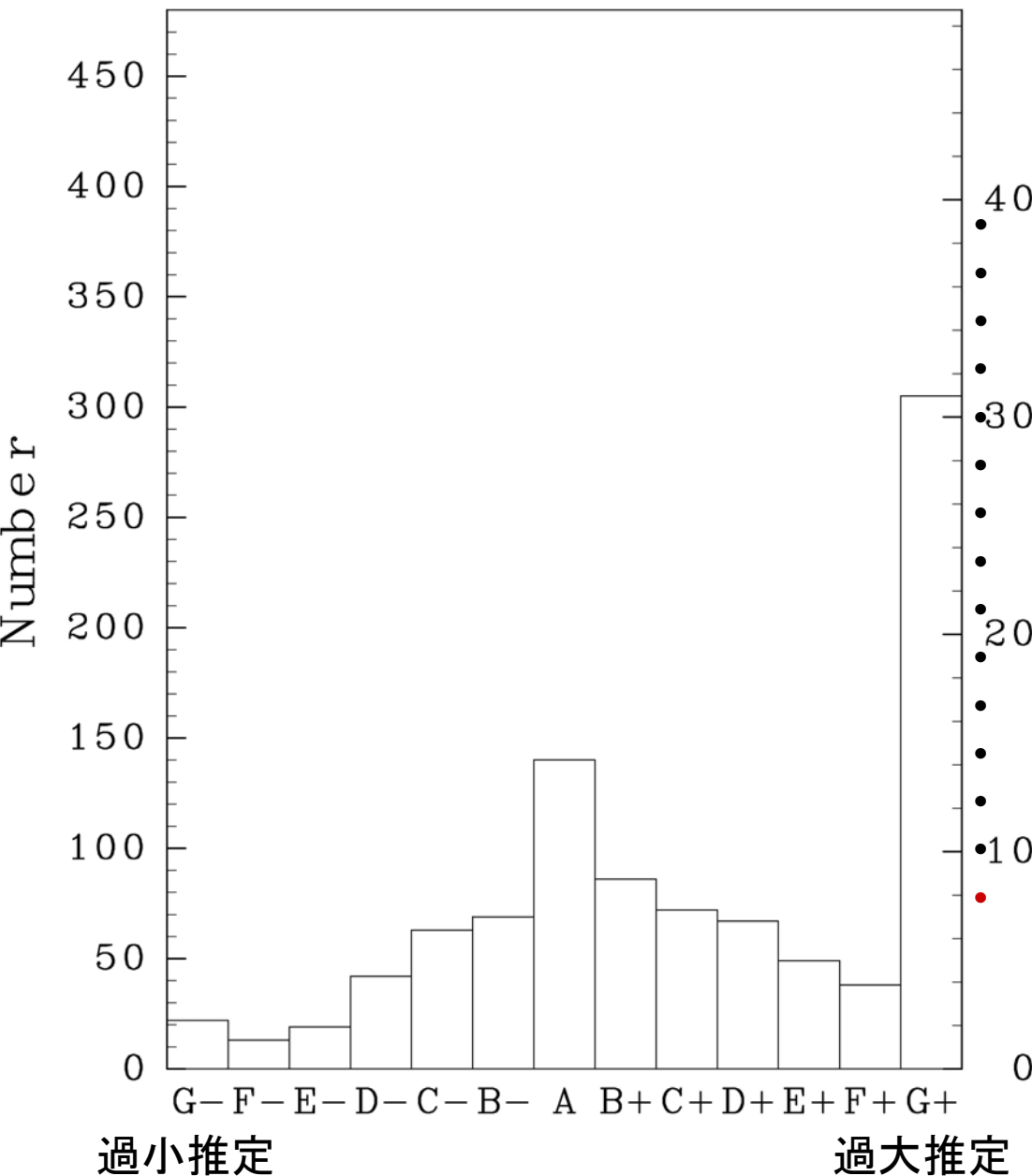
(b) Wind at Naha



(c) Total

%

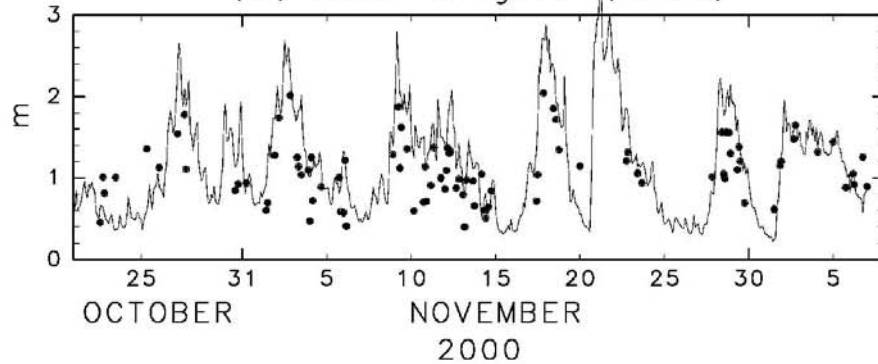
Case A-1



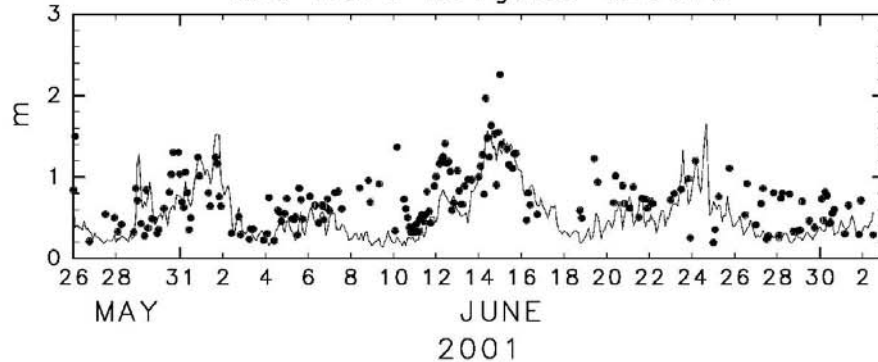
- A: 「 $\text{Hr}/\text{Hs} \leq 1.1$ かつ $\text{Hs}/\text{Hr} \leq 1.1$ 」, または「 $|\text{Hr}-\text{Hs}| \leq 0.1\text{m}$ 」
- B+: $1.1 < \text{Hr}/\text{Hs} \leq 1.3$ または $|\text{Hr}-\text{Hs}| \leq 0.15\text{m}$,
- B_: $1.1 < \text{Hs}/\text{Hr} \leq 1.3$ または $|\text{Hr}-\text{Hs}| \leq 0.15\text{m}$,
- C+: $1.3 < \text{Hr}/\text{Hs} \leq 1.5$ または $|\text{Hr}-\text{Hs}| \leq 0.25\text{m}$,
- C_: $1.3 < \text{Hs}/\text{Hr} \leq 1.5$ または $|\text{Hr}-\text{Hs}| \leq 0.25\text{m}$,
- D+: $1.5 < \text{Hr}/\text{Hs} \leq 1.7$ または $|\text{Hr}-\text{Hs}| \leq 0.35\text{m}$,
- D_: $1.5 < \text{Hs}/\text{Hr} \leq 1.7$ または $|\text{Hr}-\text{Hs}| \leq 0.35\text{m}$,
- E+: $1.7 < \text{Hr}/\text{Hs} \leq 1.9$ または $|\text{Hr}-\text{Hs}| \leq 0.45\text{m}$,
- E_: $1.7 < \text{Hs}/\text{Hr} \leq 1.9$ または $|\text{Hr}-\text{Hs}| \leq 0.45\text{m}$,
- F+: $1.9 < \text{Hr}/\text{Hs} \leq 2.1$ または $|\text{Hr}-\text{Hs}| \leq 0.55\text{m}$,
- F_: $1.9 < \text{Hs}/\text{Hr} \leq 2.1$ または $|\text{Hr}-\text{Hs}| \leq 0.55\text{m}$,
- G+: $\text{Hr}/\text{Hs} > 2.1$ かつ $|\text{Hr}-\text{Hs}| > 0.55\text{m}$,
- G_: $\text{Hs}/\text{Hr} > 2.1$ かつ $|\text{Hr}-\text{Hs}| > 0.55\text{m}$,
- Hr:レーダ推定値, Hs:現場観測値

$$H_{dmax}=1, R_{smax}=-3.4$$

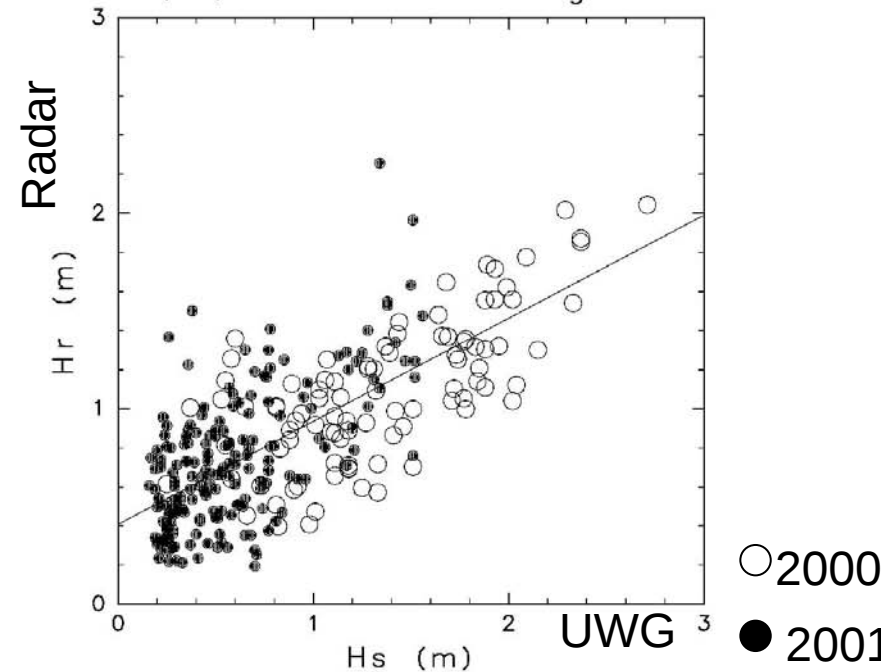
(a) Wave heights (2000)



(b) Wave heights (2001)



(c) Scatter diagram

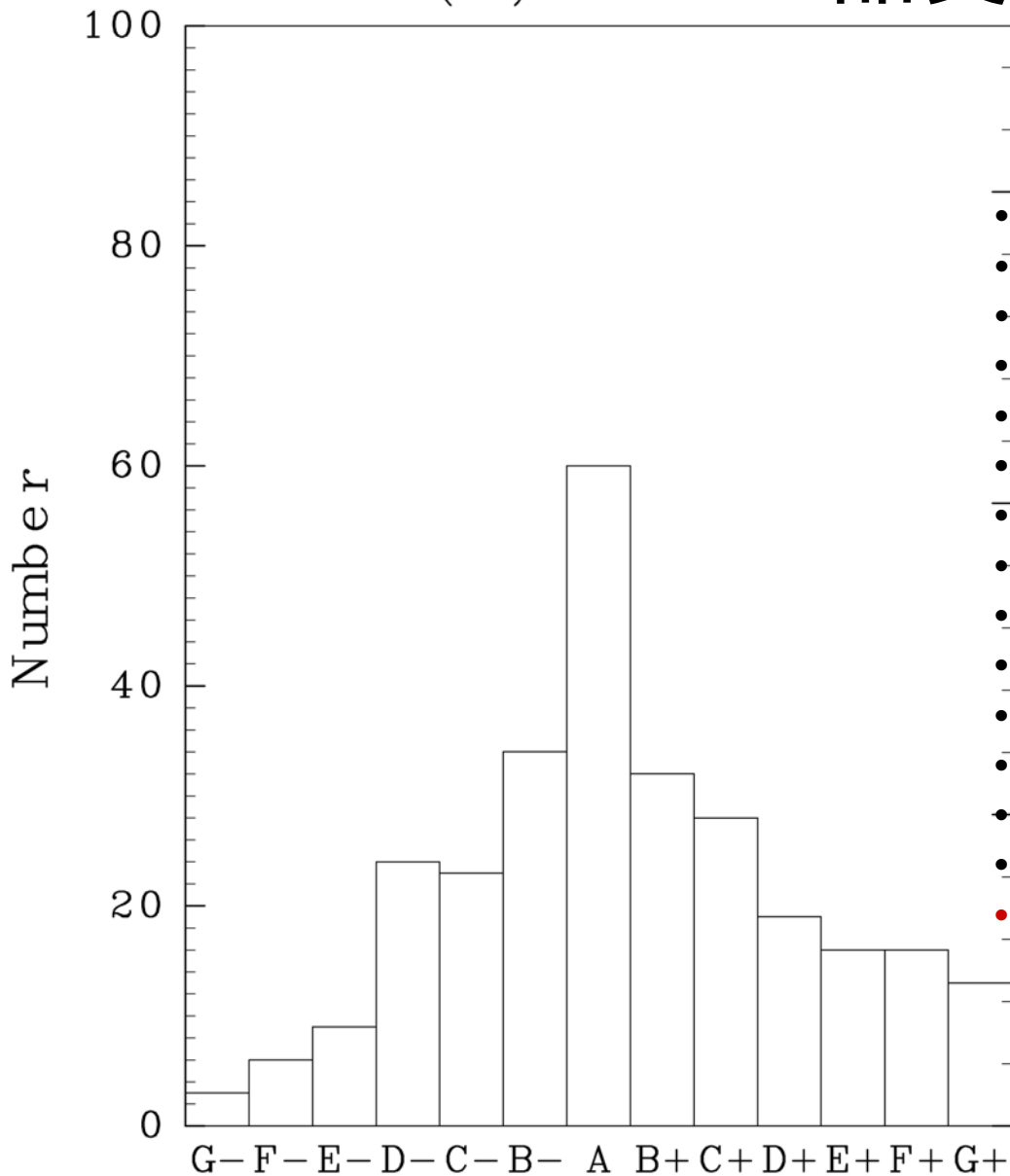


$$Cor.=0.73, \quad rms=0.38 \text{ m}$$

H_{dmax} : 波高変化の閾値,

R_{smax} : 2次散乱の式の残差の閾値

(c) Total 品質管理された波高比較

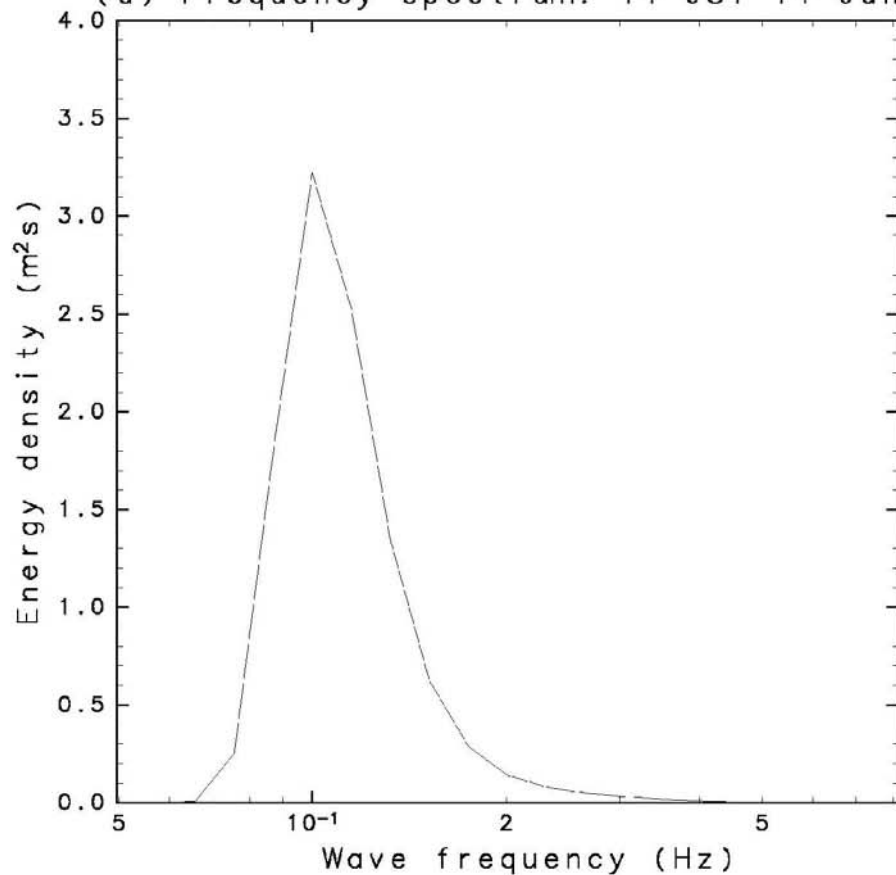


- ³⁰ A: 「 $\text{Hr}/\text{Hs} \leq 1.1$ かつ $\text{Hs}/\text{Hr} \leq 1.1$ 」, または「 $|\text{Hr}-\text{Hs}| \leq 0.1\text{m}$ 」
- B+: $1.1 < \text{Hr}/\text{Hs} \leq 1.3$ または $|\text{Hr}-\text{Hs}| \leq 0.15\text{m}$,
- B_: $1.1 < \text{Hs}/\text{Hr} \leq 1.3$ または $|\text{Hr}-\text{Hs}| \leq 0.15\text{m}$,
- C+: $1.3 < \text{Hr}/\text{Hs} \leq 1.5$ または $|\text{Hr}-\text{Hs}| \leq 0.25\text{m}$,
- C_: $1.3 < \text{Hs}/\text{Hr} \leq 1.5$ または $|\text{Hr}-\text{Hs}| \leq 0.25\text{m}$,
- ²⁰ D+: $1.5 < \text{Hr}/\text{Hs} \leq 1.7$ または $|\text{Hr}-\text{Hs}| \leq 0.35\text{m}$,
- D_: $1.5 < \text{Hs}/\text{Hr} \leq 1.7$ または $|\text{Hr}-\text{Hs}| \leq 0.35\text{m}$,
- E+: $1.7 < \text{Hr}/\text{Hs} \leq 1.9$ または $|\text{Hr}-\text{Hs}| \leq 0.45\text{m}$,
- E_: $1.7 < \text{Hs}/\text{Hr} \leq 1.9$ または $|\text{Hr}-\text{Hs}| \leq 0.45\text{m}$,
- F+: $1.9 < \text{Hr}/\text{Hs} \leq 2.1$ または $|\text{Hr}-\text{Hs}| \leq 0.55\text{m}$,
- F_: $1.9 < \text{Hs}/\text{Hr} \leq 2.1$ または $|\text{Hr}-\text{Hs}| \leq 0.55\text{m}$,
- ¹⁰ G+: $\text{Hr}/\text{Hs} > 2.1$ かつ $|\text{Hr}-\text{Hs}| > 0.55\text{m}$,
- G_: $\text{Hs}/\text{Hr} > 2.1$ かつ $|\text{Hr}-\text{Hs}| > 0.55\text{m}$,
- Hr: レーダ推定値, Hs: 現場観測値

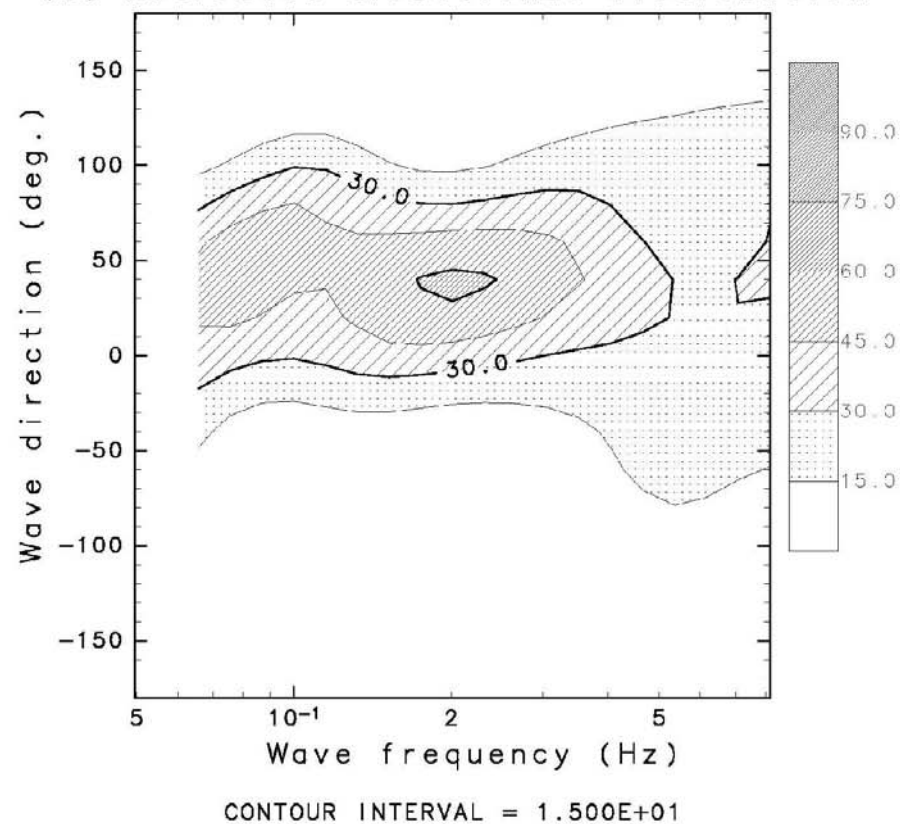
0

レーダから求めた波浪スペクトルの例

(a) Frequency spectrum: 14 JST 14 Jun.



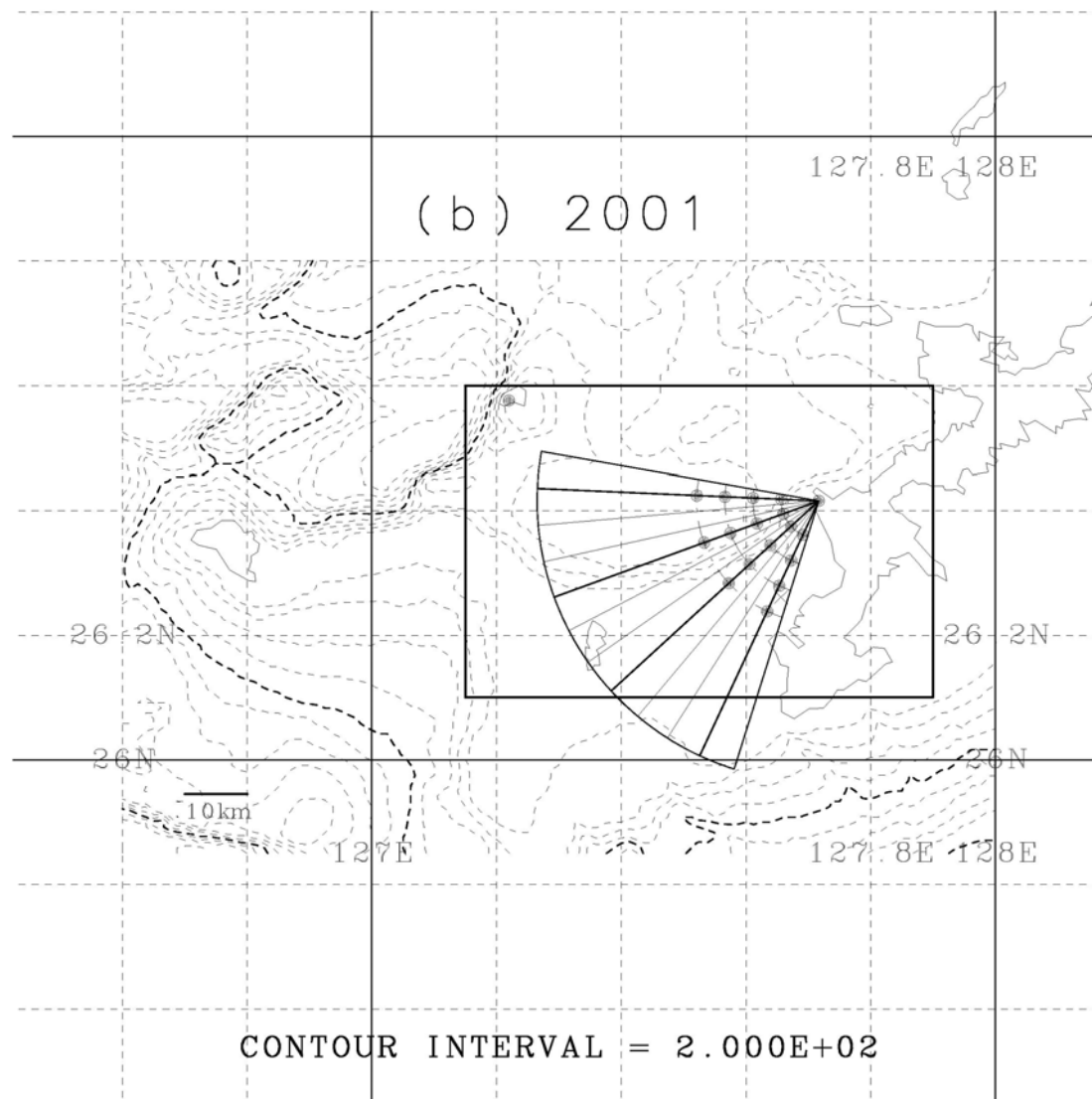
(b) Retrieved directional distribution



波浪推算モデル(2001年)

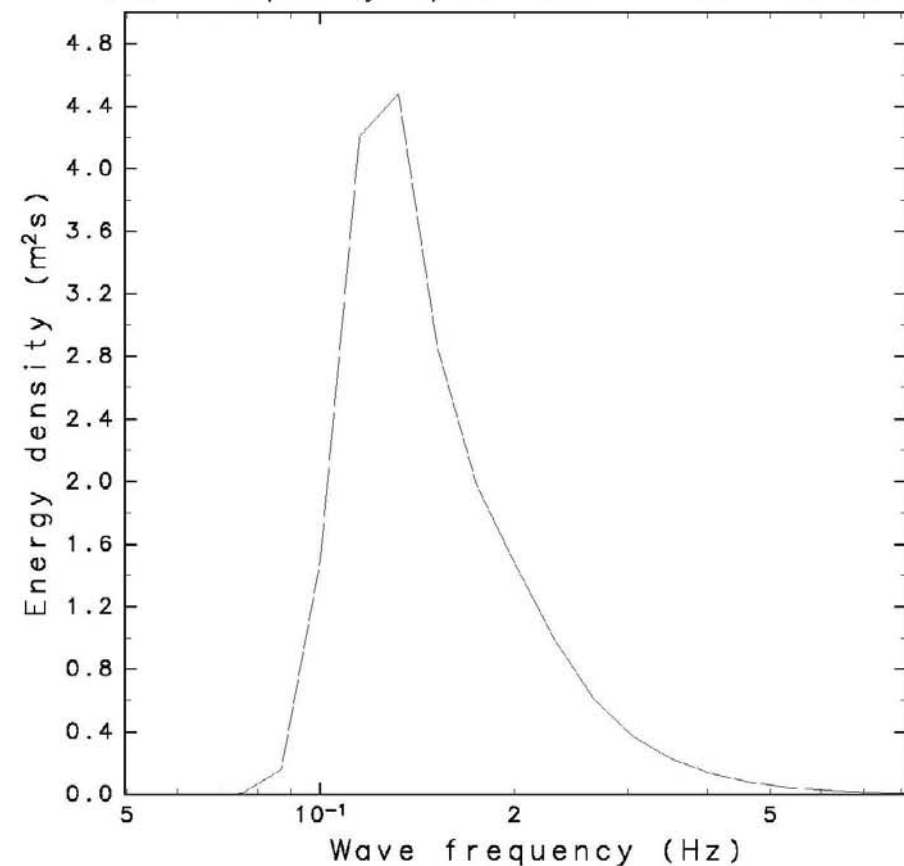
- エネルギー平衡方程式
- ソース関数はWAMと同じ。
- 風は気象庁メソ客観解析データを使用。
- 計算領域: 経度 127.15度から127.9度まで
- 緯度 26.1度から26.6度まで
- 間隔: 0.01度

観測・計算領域

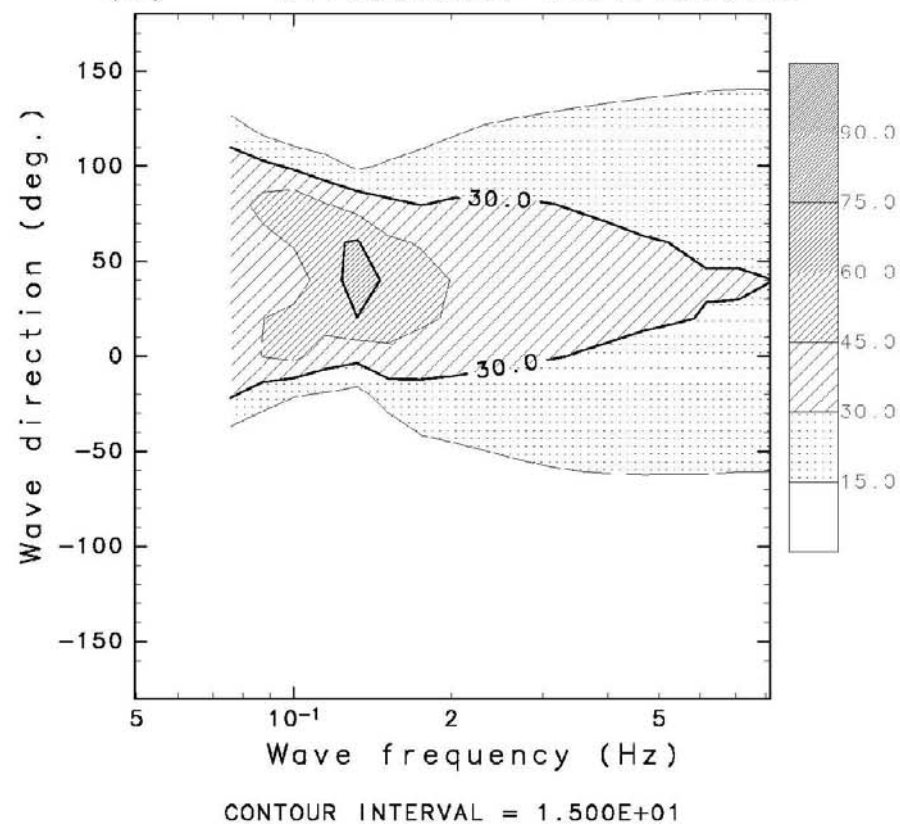


モデル推算波浪スペクトルの例

(a) Frequency spectrum: 14 JST 14 Jun.

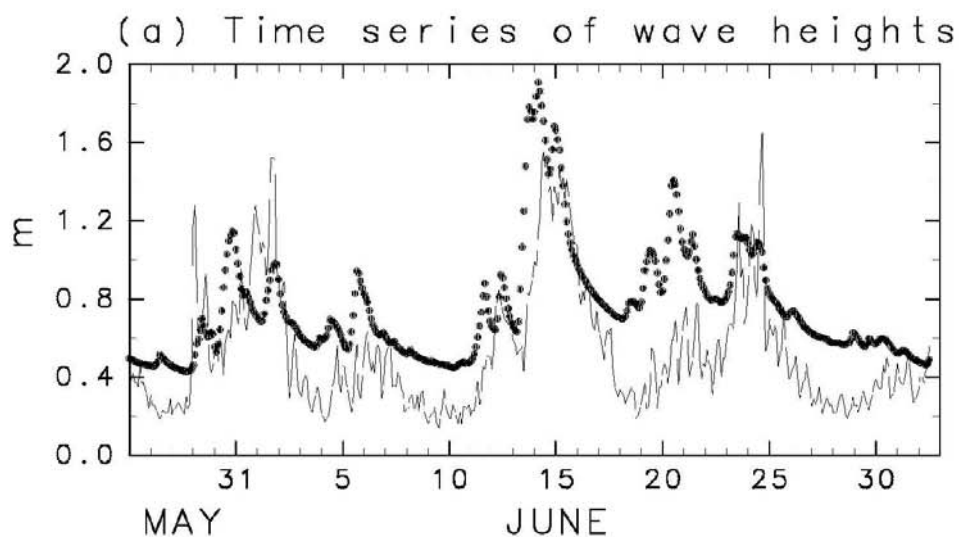


(a) Directional distribution

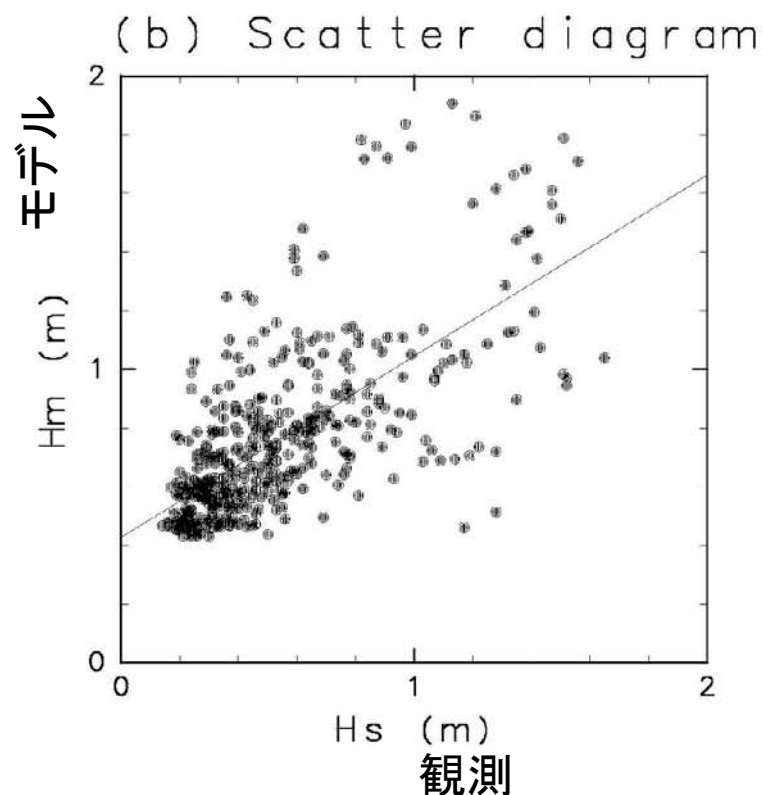


波高の比較

観測波高とモデル推算波高

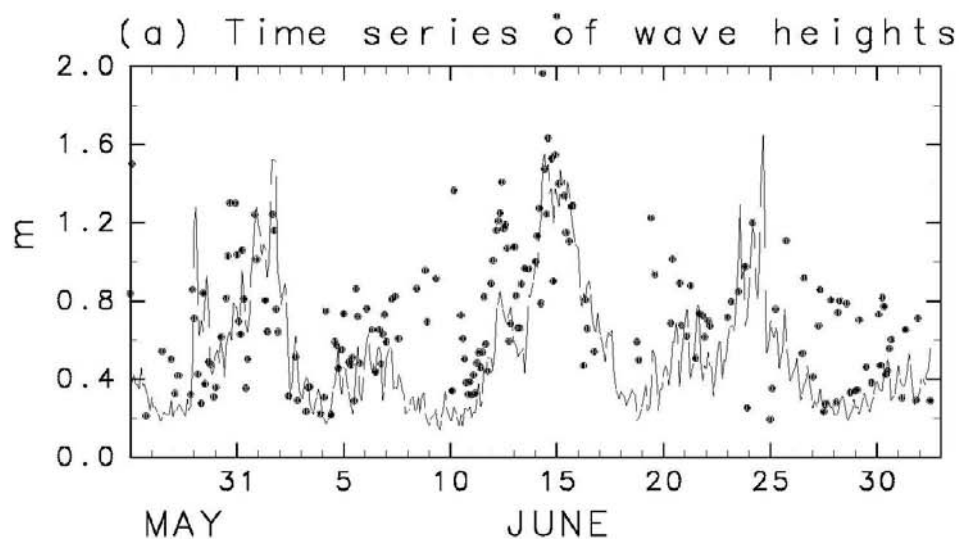


●:モデル, 実線:観測値

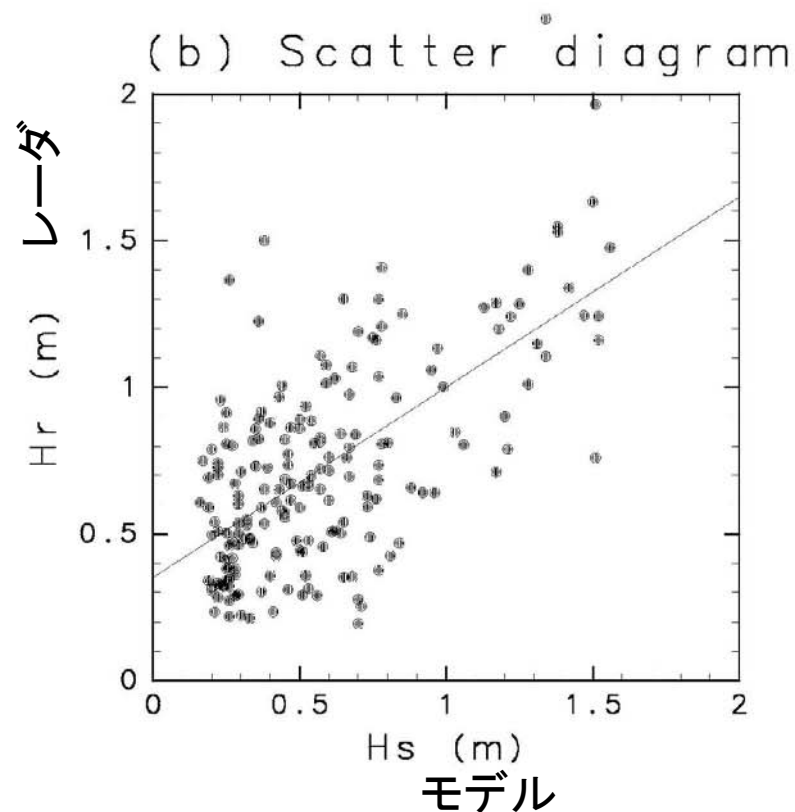


Rms: 0.33m, 相関係数: 0.68

観測波高とレーダ波高

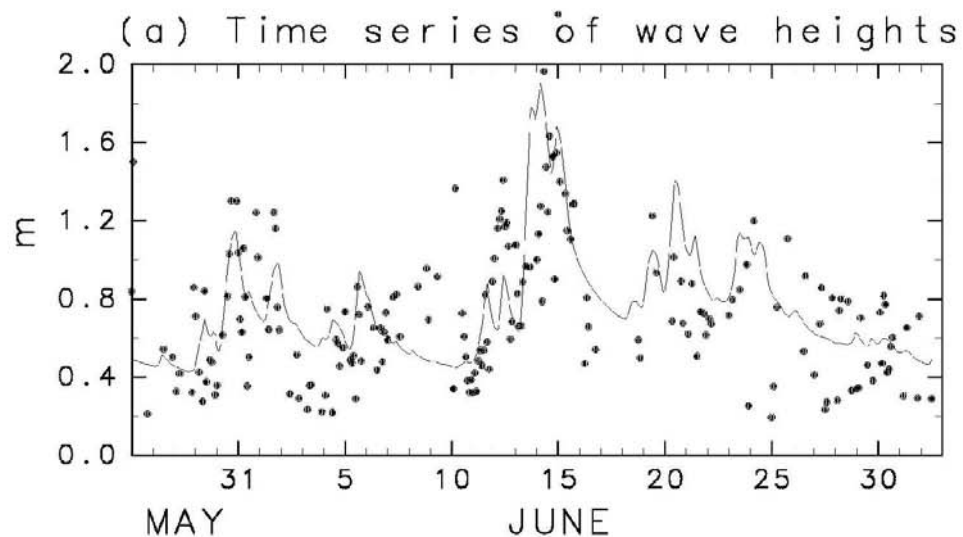


●:レーダ, 実線:観測値

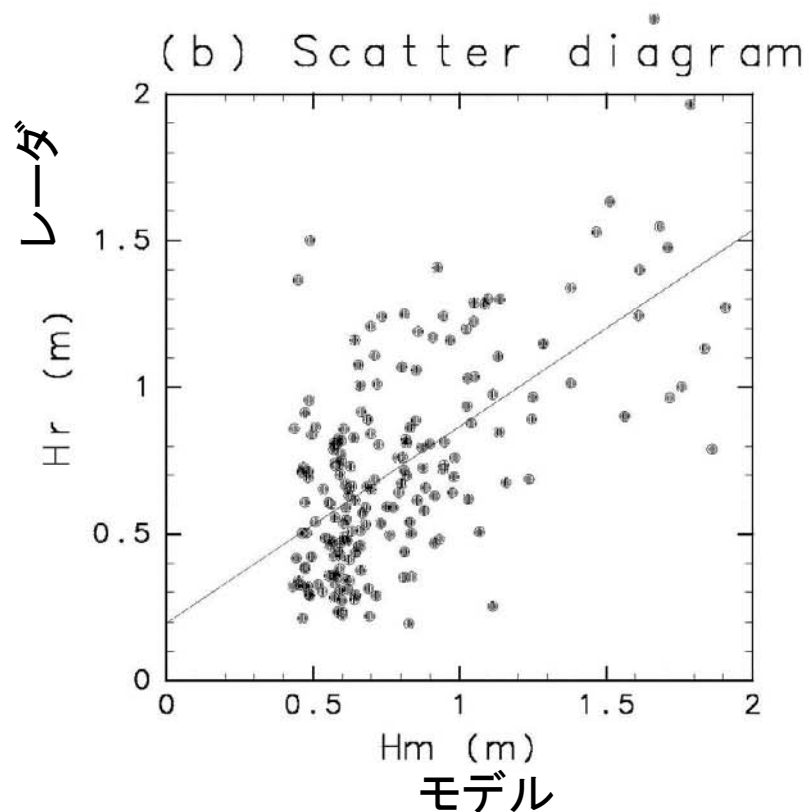


Rms: 0.33m, 相関係数: 0.64

モデル推算波高とレーダ波高



●:レーダ, 実線:モデル

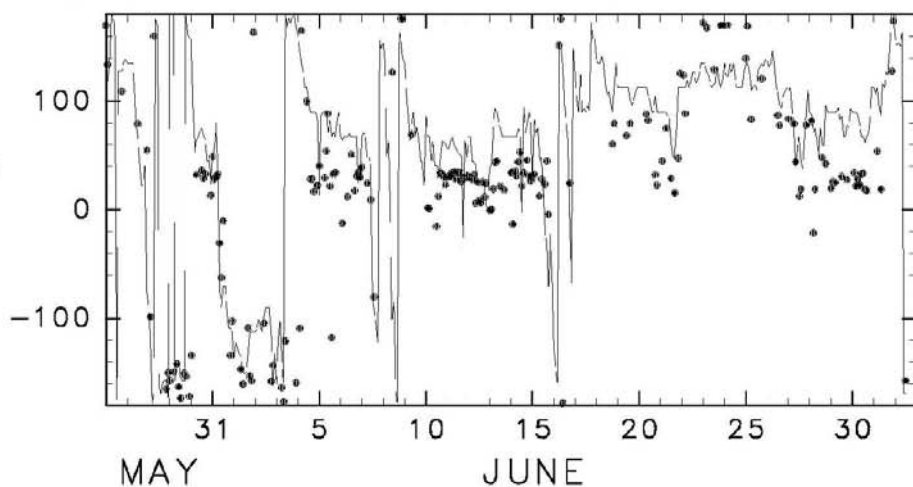


Rms: 0.31m, 相関係数: 0.62

風向の比較

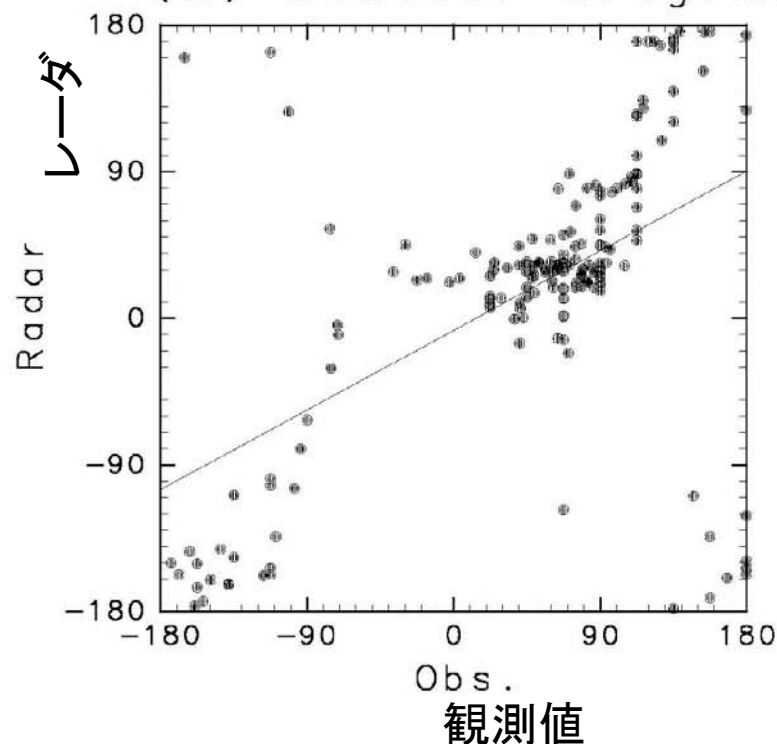
風向観測値(那覇)とレーダ風向

(a) Time series of wind direction



●:レーダ, 実線:観測値

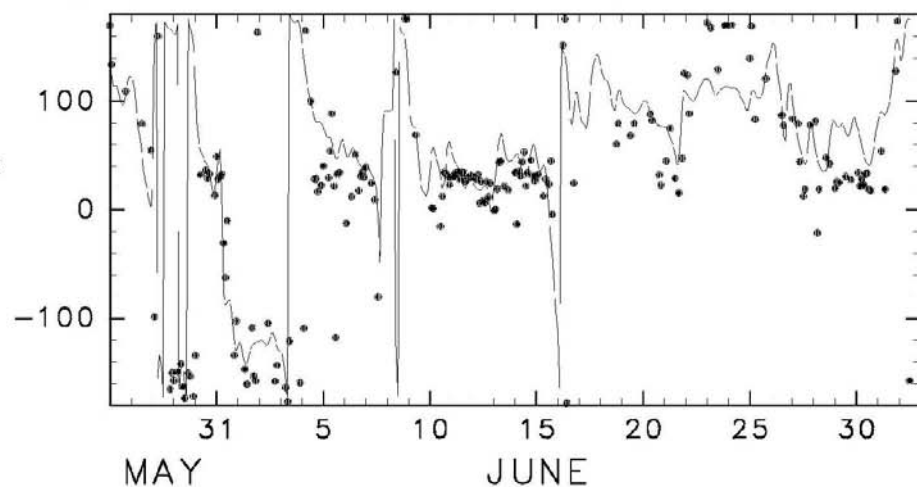
(b) Scatter diagram



Rms: 44.1度

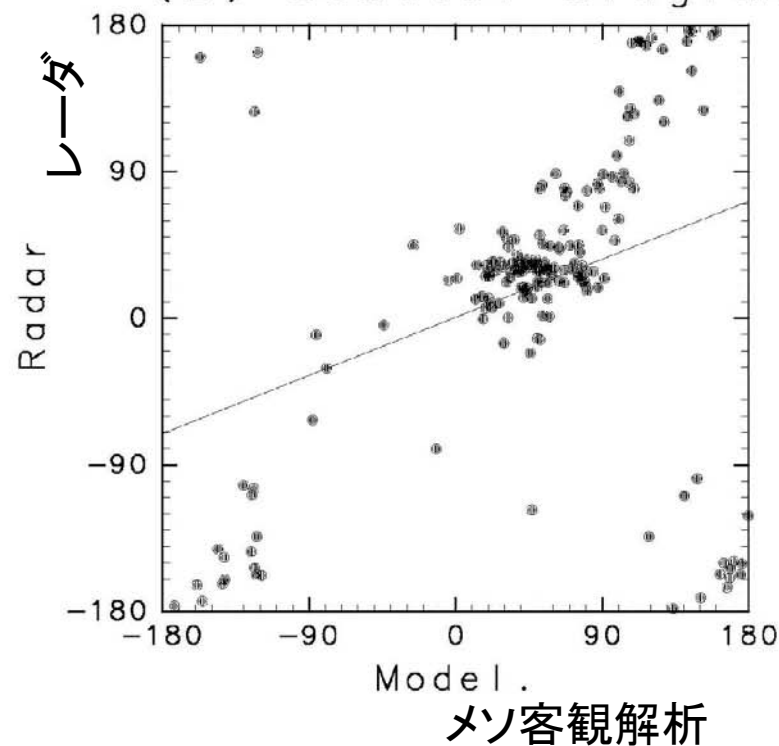
メソ客観解析風向とレーダ風向

(a) Time series of wind direction



●:レーダ, 実線:メソ客観解析

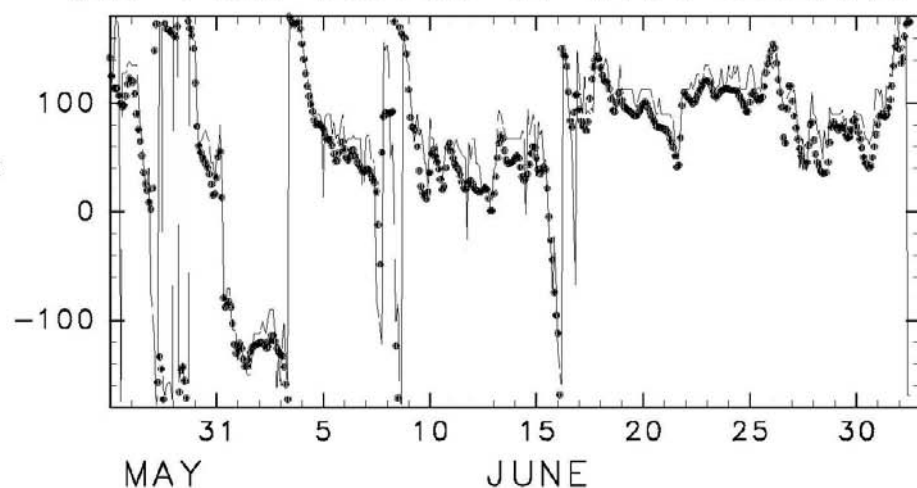
(b) Scatter diagram



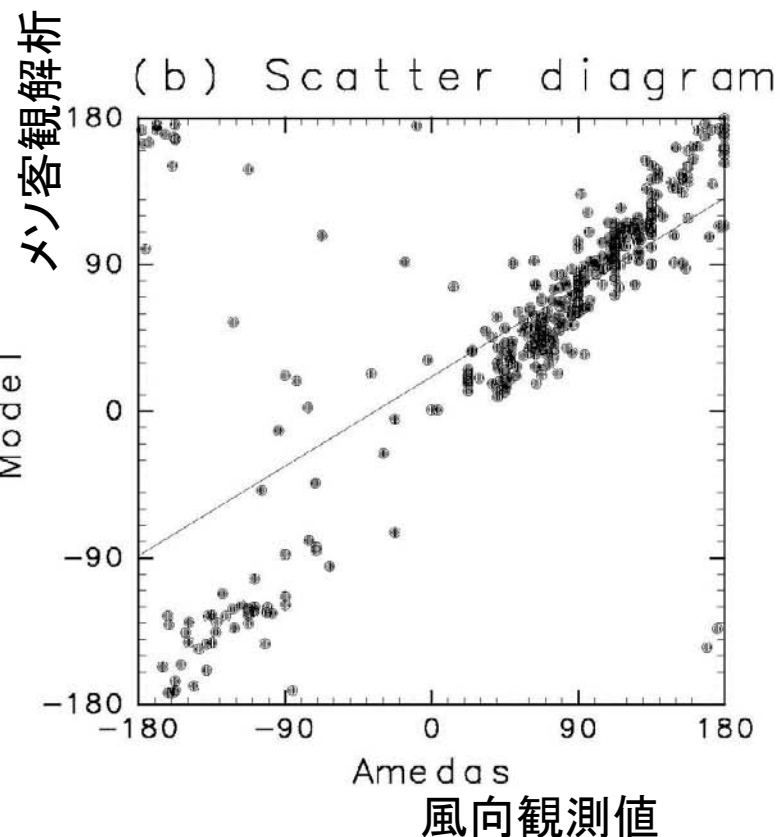
Rms: 37.5度

風向観測値(那覇)とメソ客観解析風向

(a) Time series of wind direction



●: メソ客観解析
実線: 風向観測値

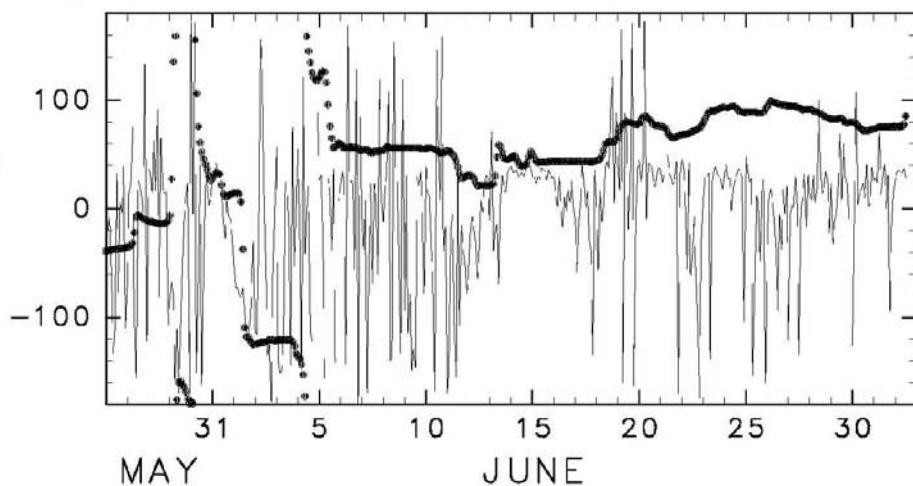


Rms: 28.9度

波向きの比較

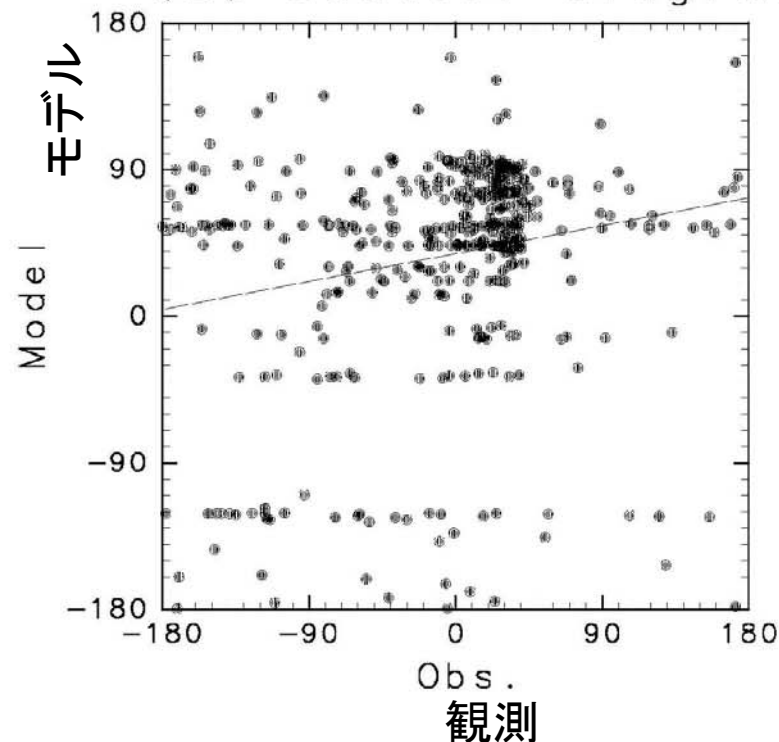
観測波向きとモデル推算波向き

(a) Time series of wave direction



●:モデル, 実線:観測値

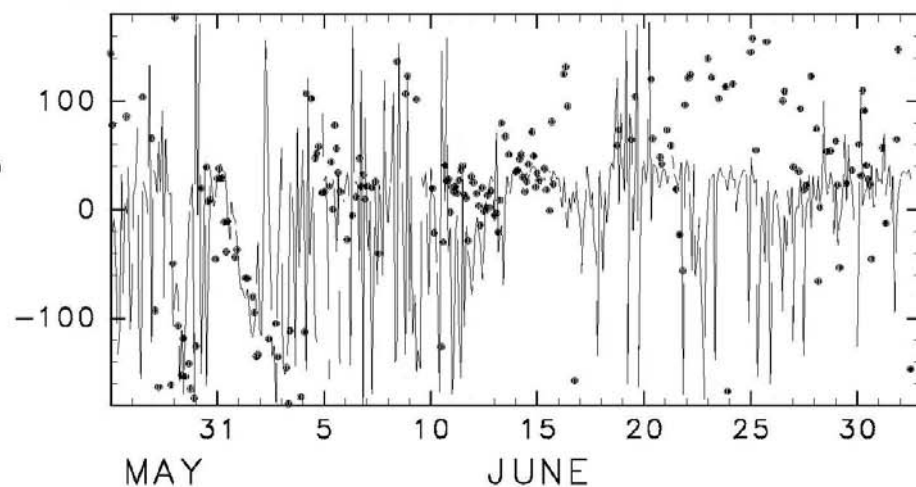
(b) Scatter diagram



Rms: 78.5度

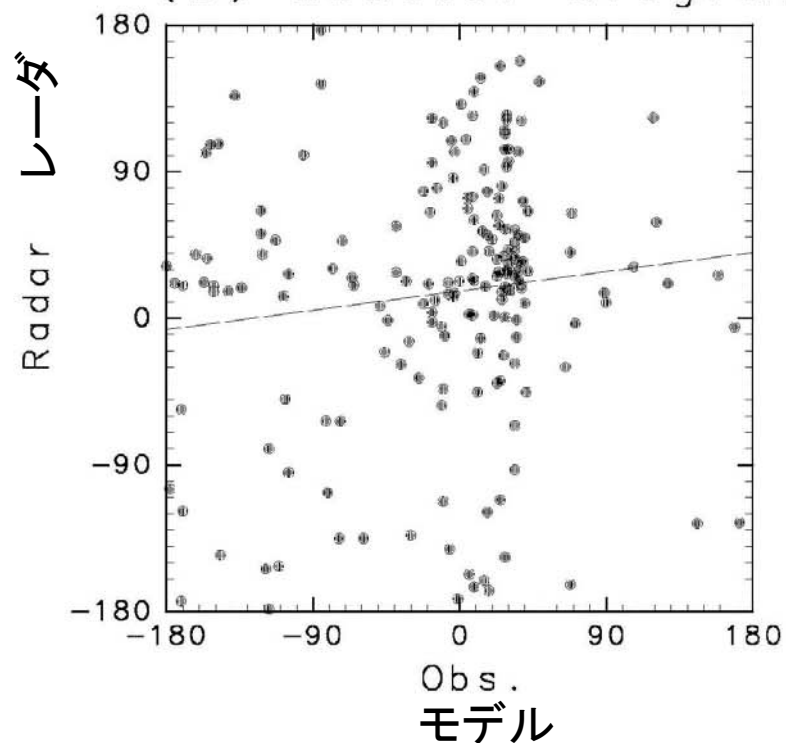
観測波向きとレーダ波向き

(a) Time series of wave direction



●:レーダ, 実線:観測値

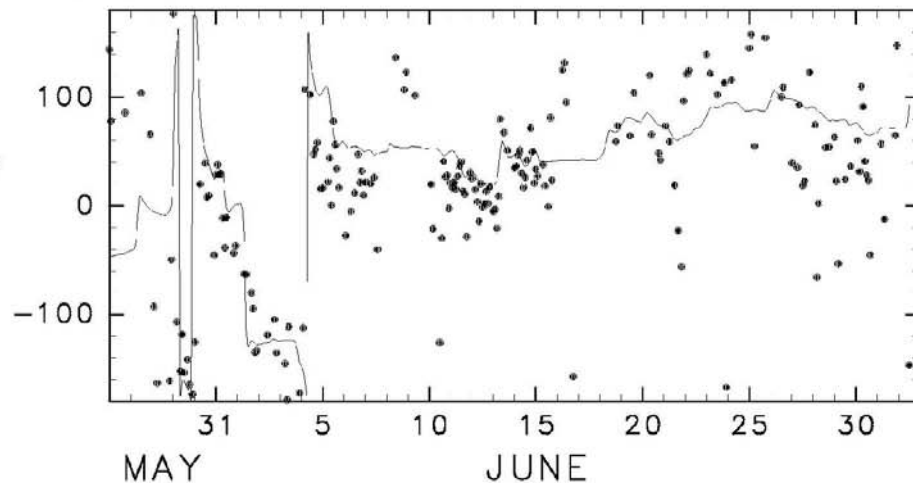
(b) Scatter diagram



Rms: 86.3度

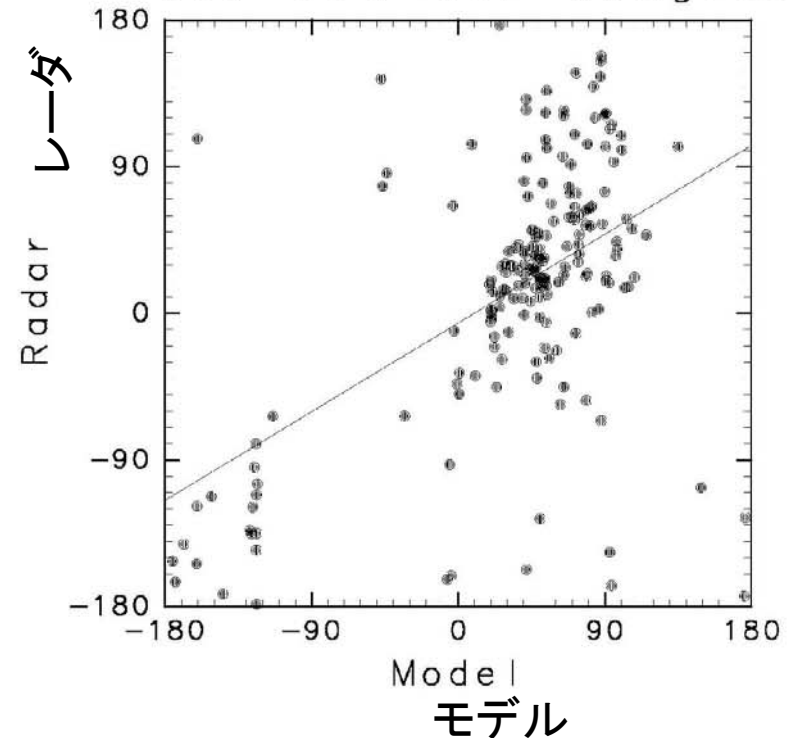
モデル推算波向きとレーダ波向き

(a) Time series of wave direction



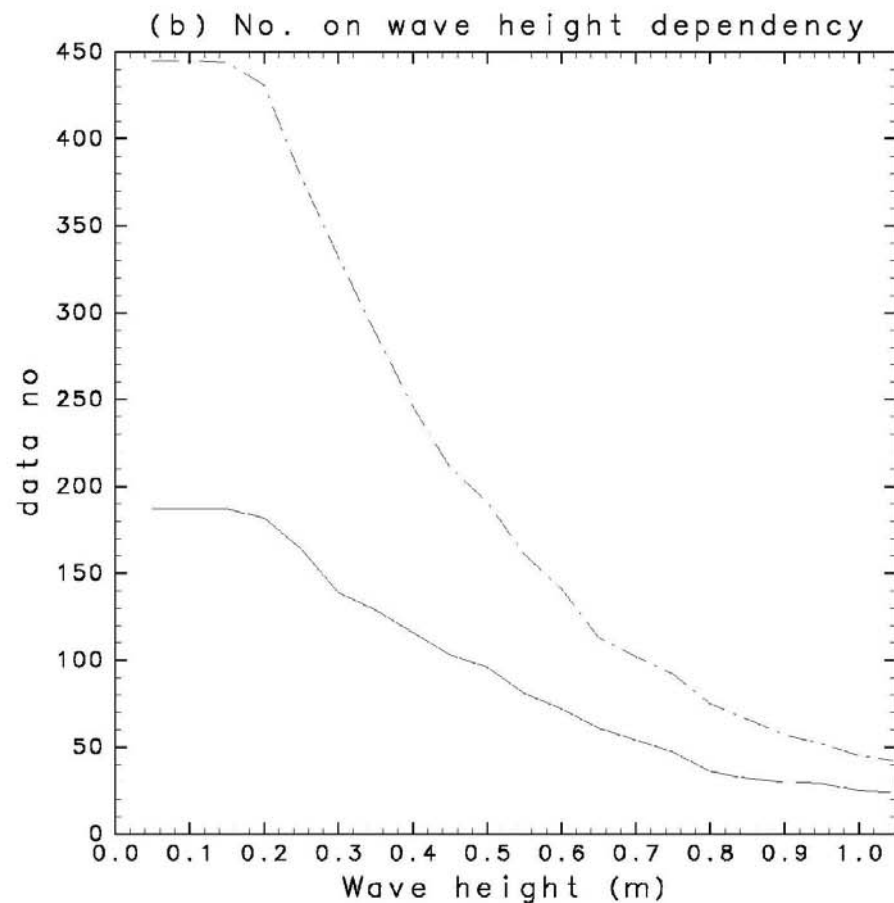
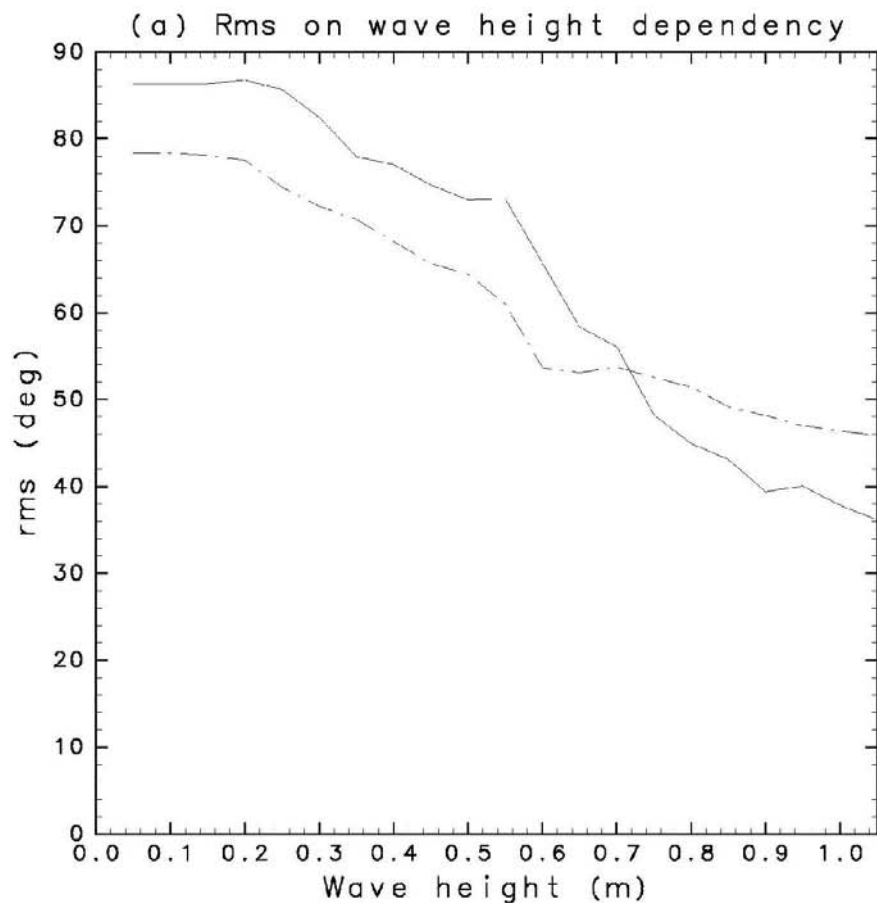
●:レーダ, 実線:モデル

(b) Scatter diagram



Rms: 56.4度

平均波向きのRMS差の波高依存性(左)と 比較データ数(右)

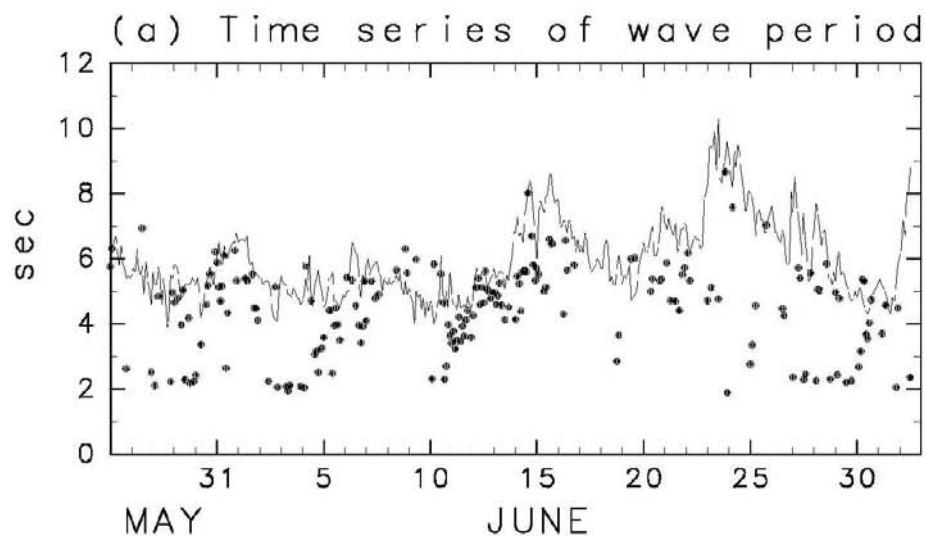


波高閾値

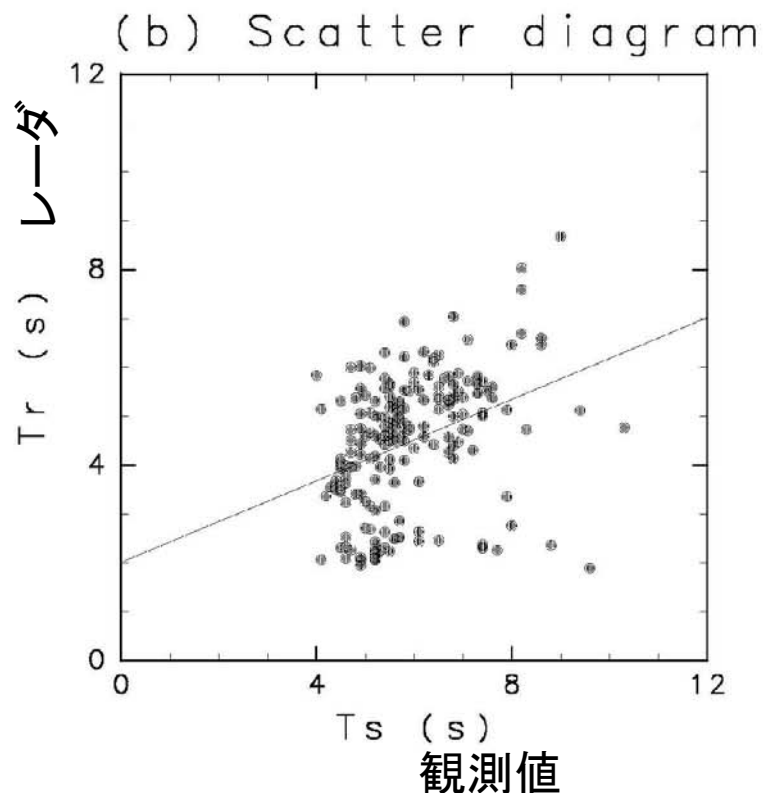
実線:レーダと観測値の比較,破線:モデルと観測値の比較

周期の比較

観測有義波周期とレーダ平均周期

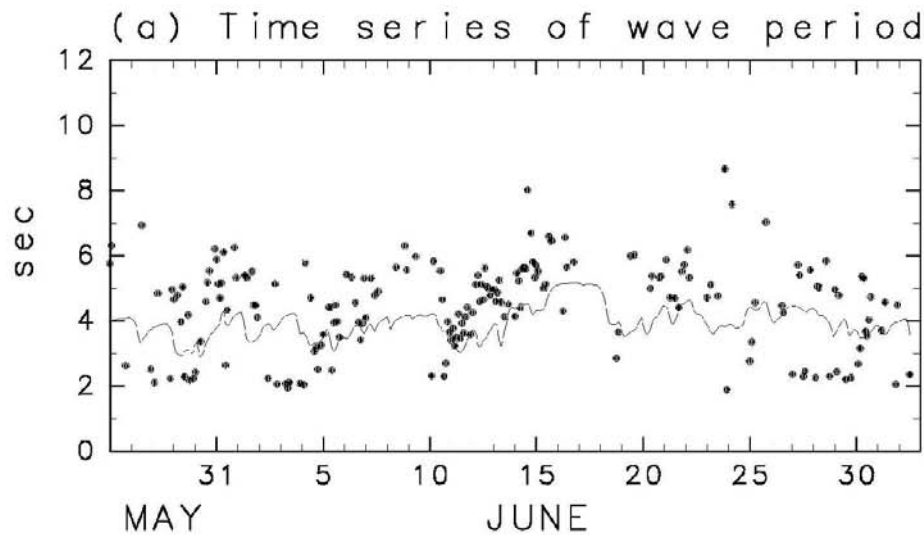


●:レーダ, 実線:観測値

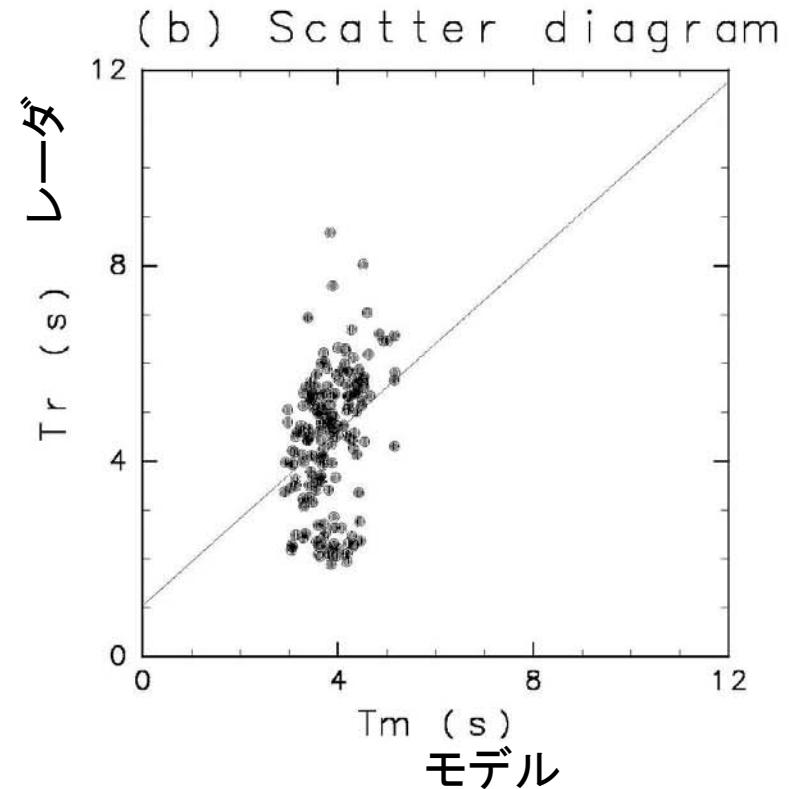


相関係数: 0.37

モデル推算平均周期とレーダ平均周期

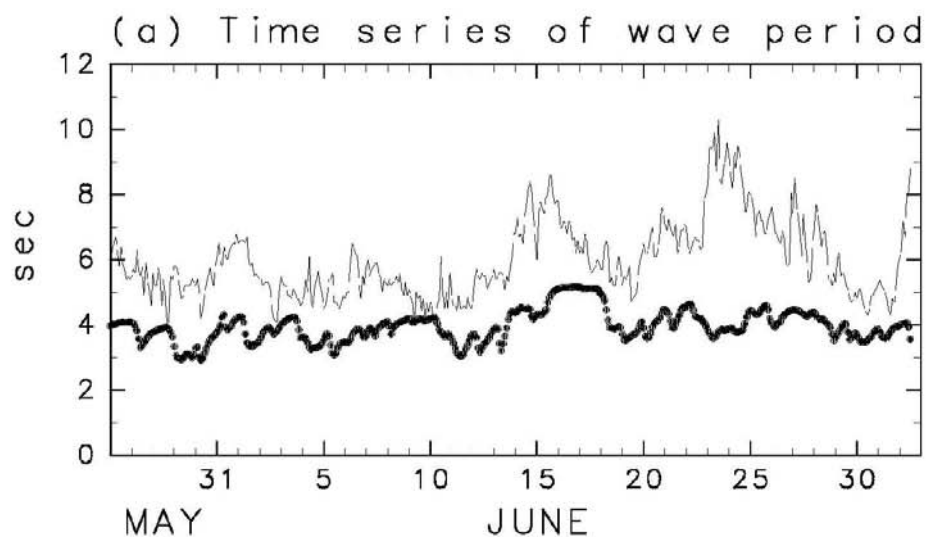


●:レーダ, 実線:モデル

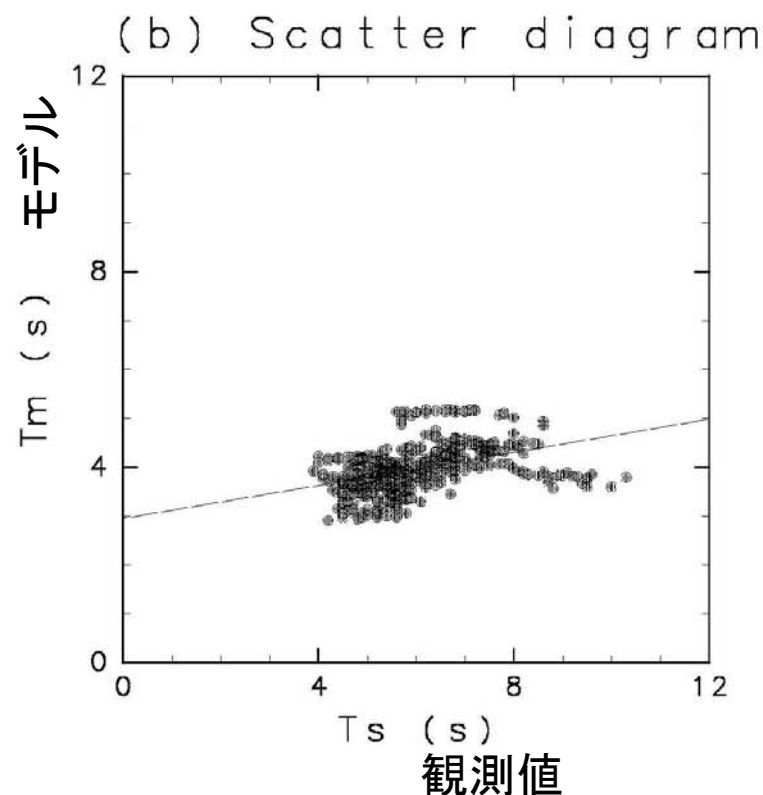


Rms:1.43秒, 相関係数: 0.32

観測有義波周期とモデル推算平均周期



●:モデル, 実線:観測値



相関係数: 0.42

相互比較(rms差)

	観測-モデル	観測-レー ダ	レーダ-モデル
波高	0.33m	0.33m	0.31m
風向	28.9度	44.1度	37.5度
波向き	78.5度	86.3度	56.4度
周期			1.43秒

相互比較(相関係数)

	観測-モ デル	観測- レーダ	レーダ-モ デル
波高	0.68	0.64	0.62
風向			
波向き			
周期	0.37	0.32	0.42

まとめ

波高・周期については、観測-モデル、
観測-レーダ、レーダ-モデル間の違
いは、ほぼ同じ。

波高がある程度大きくなれば、波向き
の観測-レーダ間の差は小さくなる。

今後の課題

- 2000年についても、同様な比較を行う。
- 波高などの、空間分布についても、比較できるようにする。
- スペクトルの形についても、比較できるようにする。

終わり



終わり

