

海洋レーダによる 波浪方向スペクトルの 推定手法の開発:

波浪パラメータの
現場観測との比較

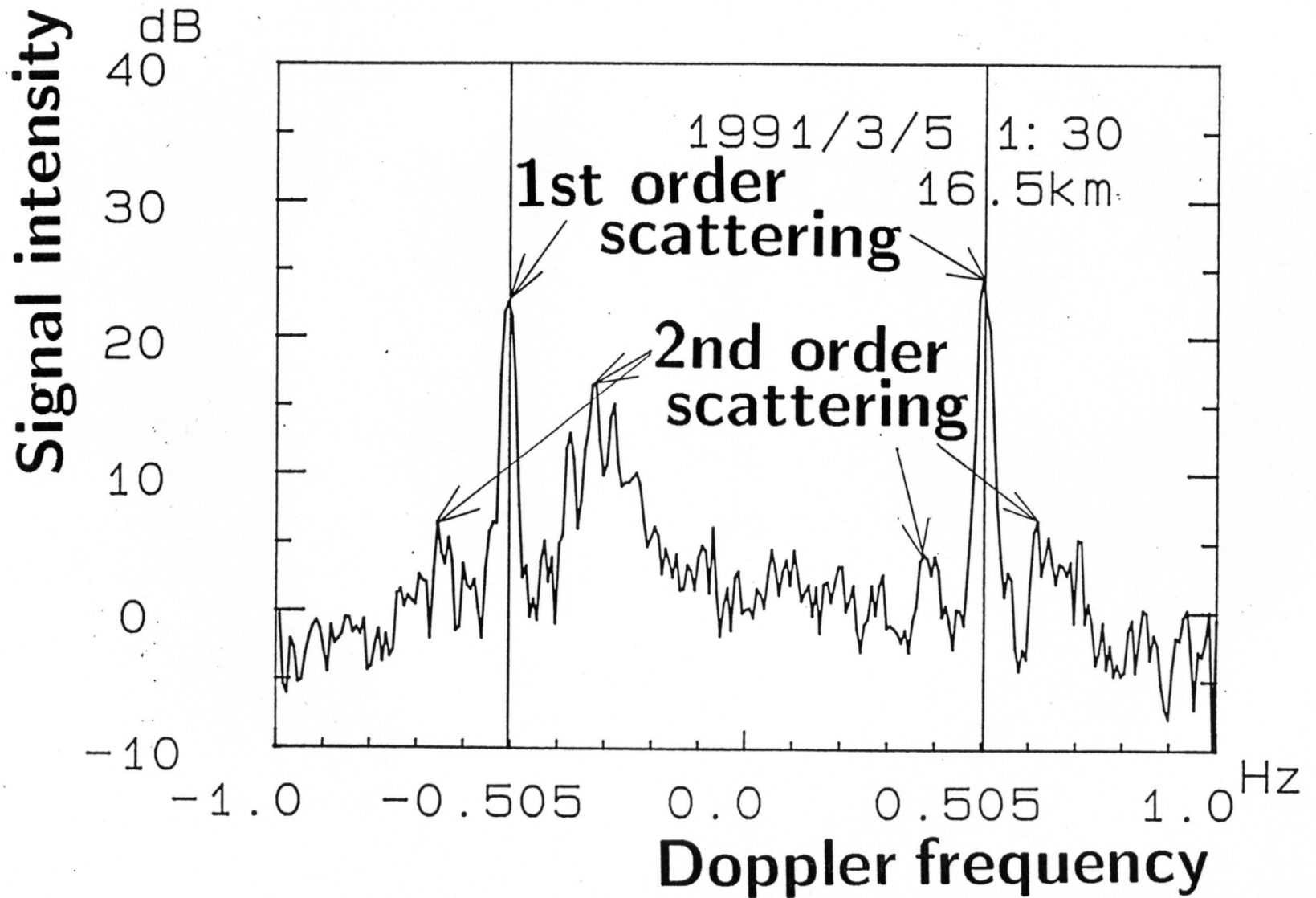
琉球大学理学部

久木幸治

報告内容

- 目的・原理
- 観測の概況
- 波浪パラメータの比較
- 風向・風速の比較
- 波浪方向スペクトル推定例
- まとめと今後の課題

ドップラスペクトルの例



研究の目標

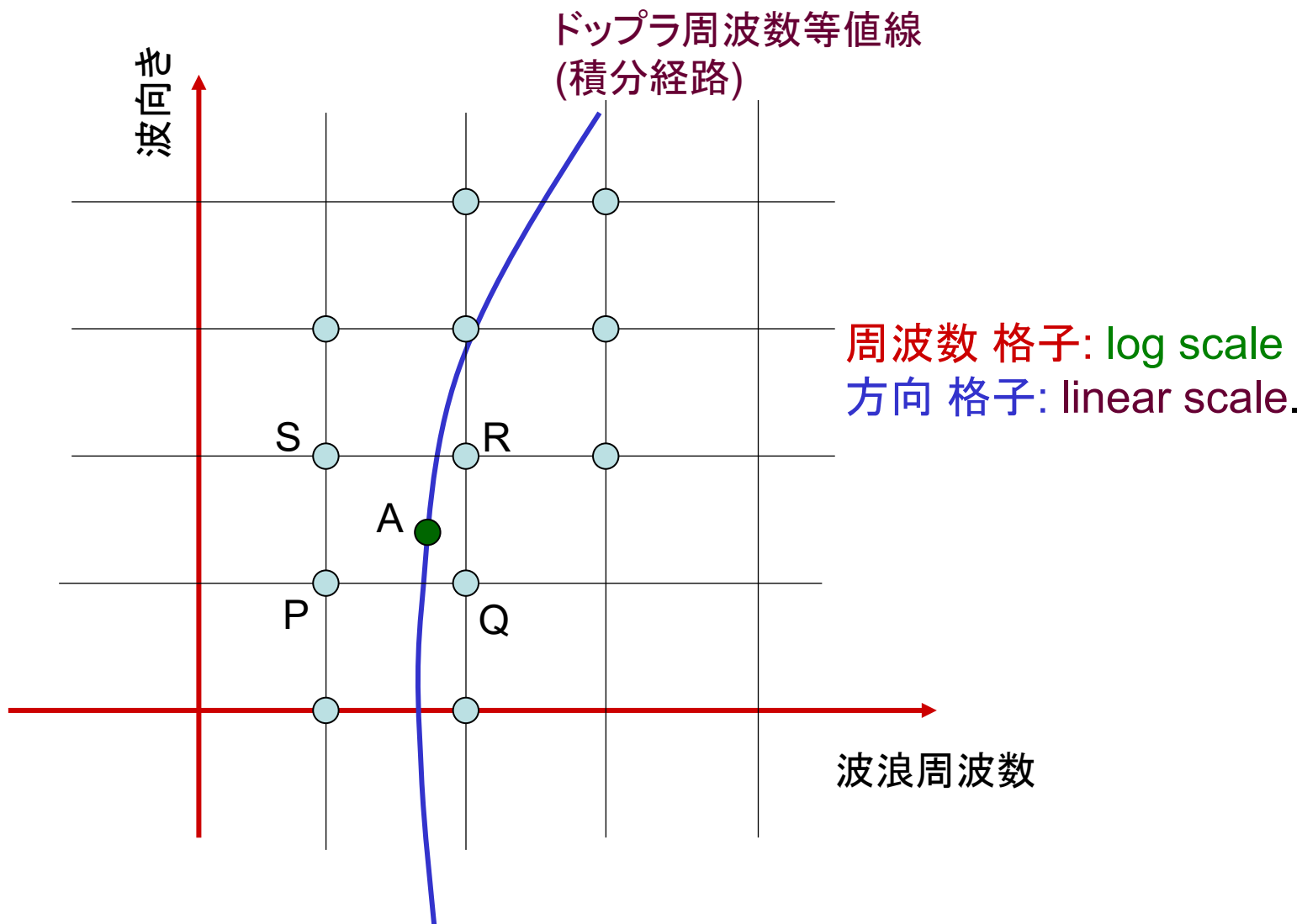
- 一基のレーダシステムによる波浪方向スペクトル推定手法の開発
- 二次散乱データが使用できないところでのデータ補間

ドップラスペクトル: レーダを中心とする
極座標格子点上

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.
- 4.

積分方程式の離散化



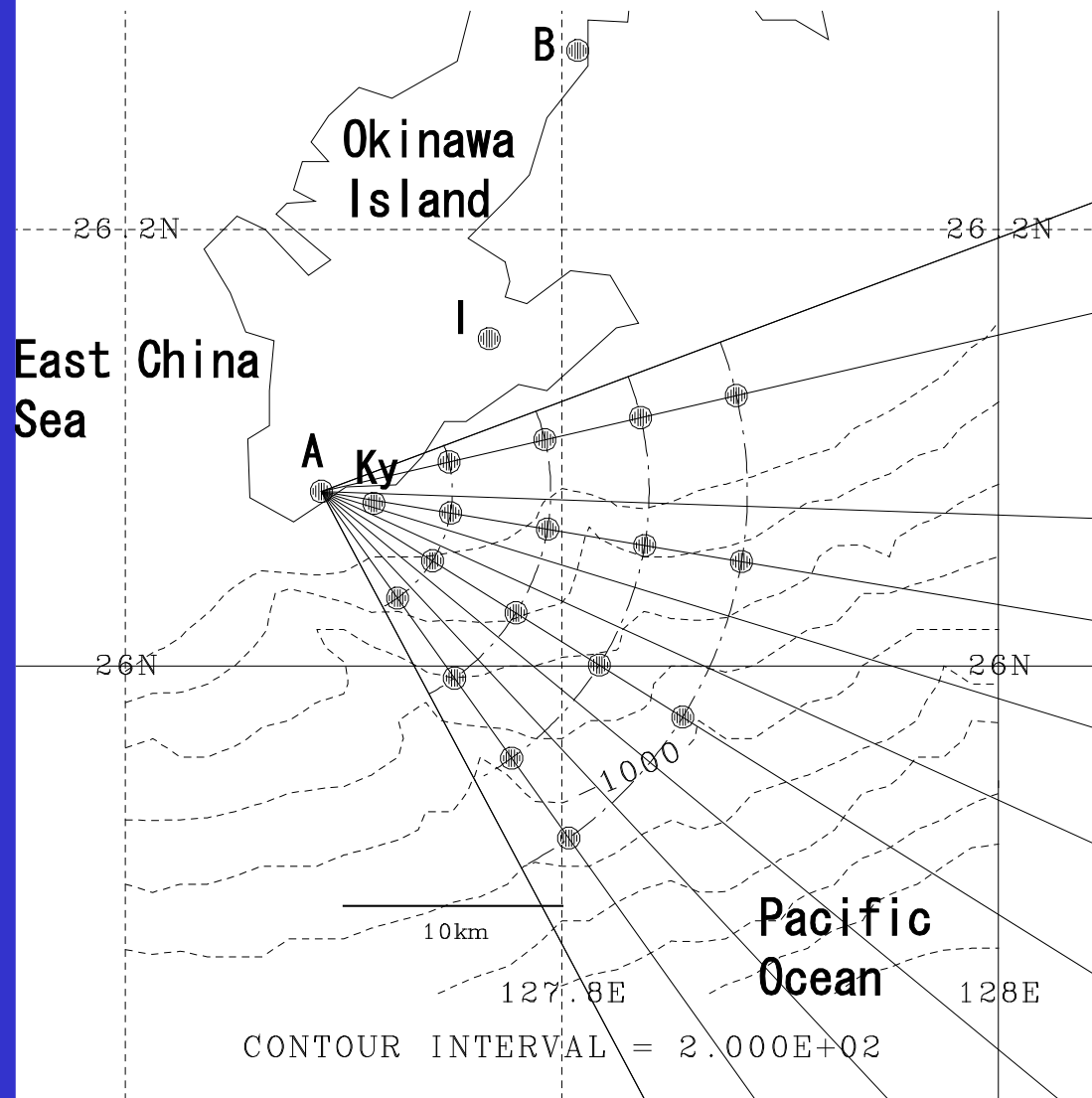
原理: 拘束条件

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:
4. 連続の式:
5. スペクトル値が周波数・波向に対して滑らかに変化
6. エネルギー平衡方程式における移流項が小さい

未知数: 格子点上の波浪スペクトル値, 海上風速・風向

拘束条件の重みつき2乗和で定義される**目的関数の最小化**

観測海域



観測期間:
1995年8月21日
から9月10日

Ky: 波浪観測点
I: 気象観測点

波浪・レーダパラメータ

- 波浪周波数分割数 $M_f = 21$
- 周波数比 1.15, 周波数範囲 0.0497—0.813Hz
- 波向分割数 $M_d = 18$
- 電波波長 $2\pi/k_0 = 12.2\text{m}$
- 極座標格子 (r, ψ_B)

$$r = r_{min} + \Delta r(i - 1), \quad (i = 1, \dots, N_r)$$

$$\psi_B = \psi_{Bmin} + \Delta\psi(j - 1), \quad (j = 1, \dots, N_B)$$

$$r_{min} = 6\text{km}$$

$$\Delta r = 4.5\text{km}$$

$$\psi_{Bmin} = -54.5^\circ$$

$$\Delta\psi = 22.5^\circ$$

$$N_r = N_B = 4$$

- 未知数の個数=スペクトル値個数+風速・風向個数

$$N_u = M_f M_d N_r N_B + 2N_r N_B = 6080$$

重みパラメータ

Case 1 $\lambda_{w1} = 1, \lambda_{w2} = (\frac{\nu_1}{\nu_2})^{1/2}$ $\lambda_{w3} = \lambda_{w6} = 1$

$\lambda_{w5} = 1, \lambda_{w4} = 10^2$

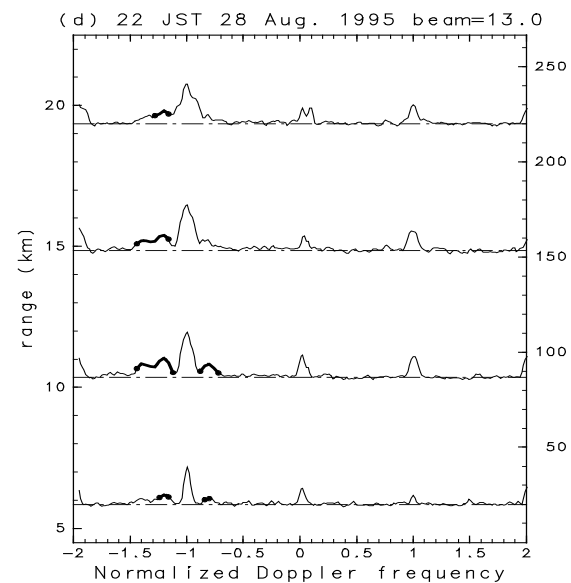
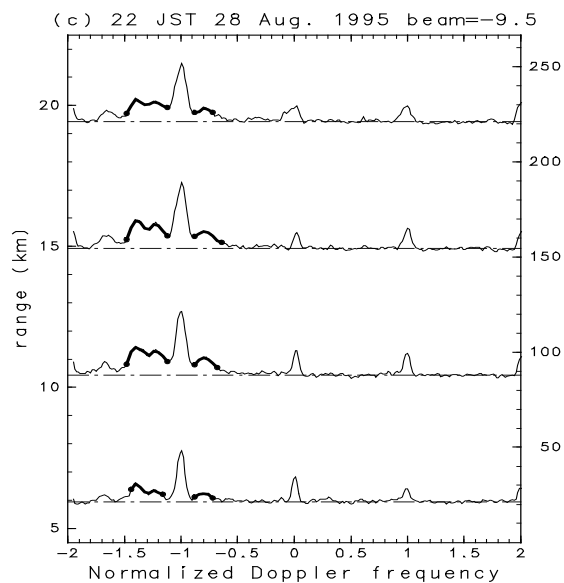
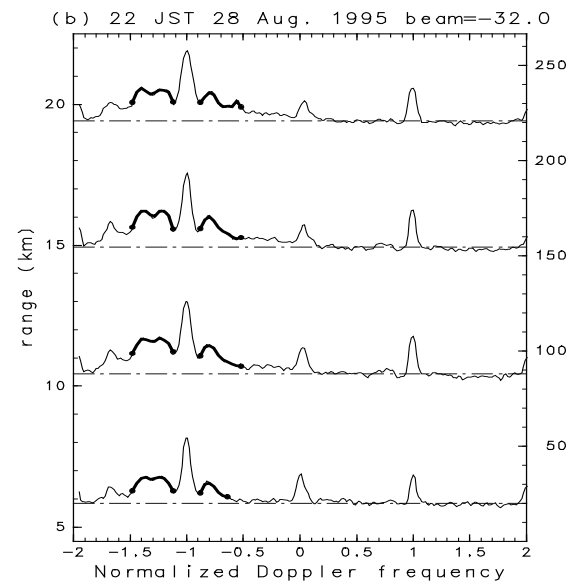
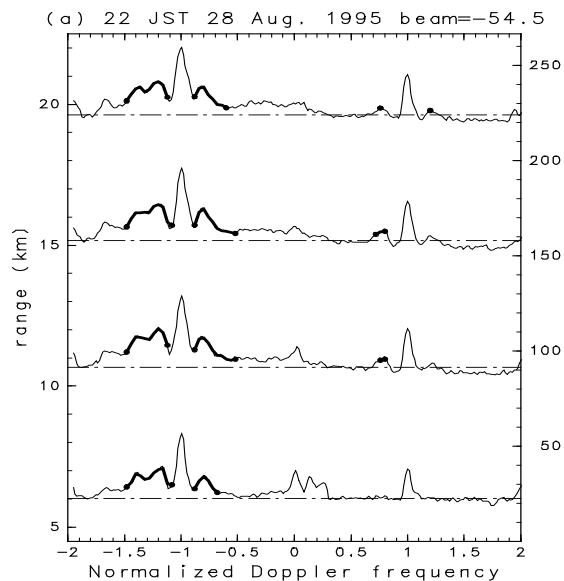
Case 2 $\lambda_{w5} = 0.1$ 他はCase 1 と同じ

Case 3 $\lambda_{w5} = 10$ 他はCase 1 と同じ

Case 4 $\lambda_{w3} = 10$ 他はCase 1 と同じ

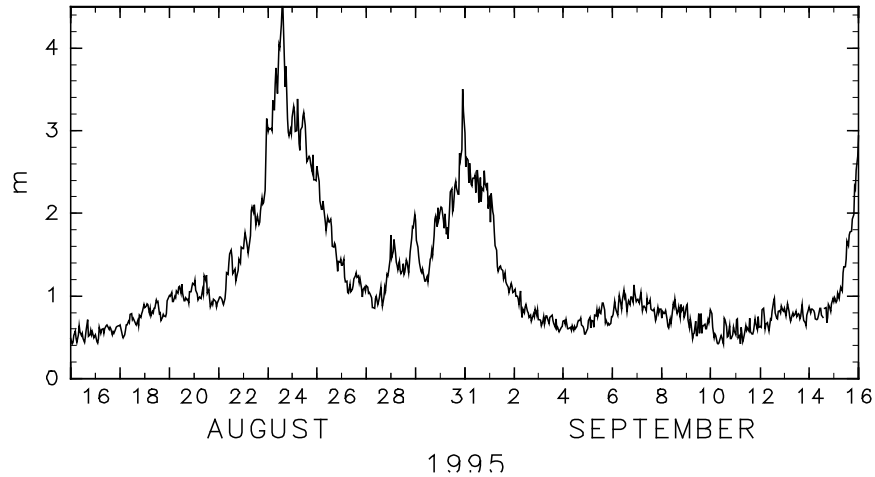
1. 1次散乱と波浪スペクトルの関係式
2. 2次散乱と波浪スペクトルの関係式
3. 波浪スペクトルエネルギー平衡方程式:
4. 連続の式:
5. スペクトル値が周波数・波向に対して滑らかに変化
6. エネルギー平衡方程式における移流項が小さい

二次散乱範囲(太線)の抽出例

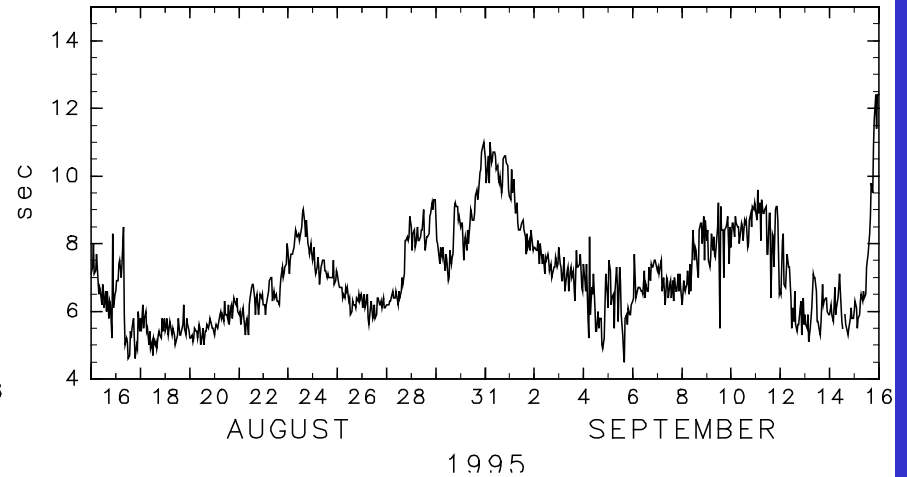


有義波高・周期・風の時系列

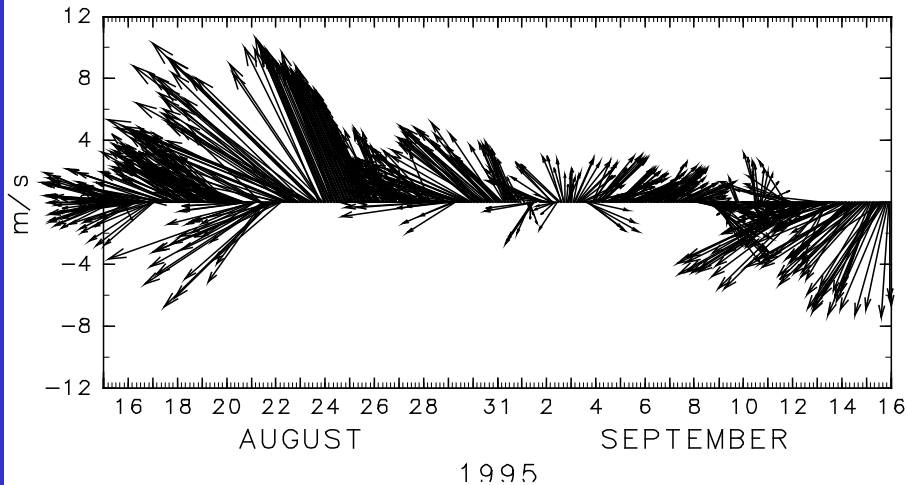
(a) Wave height



(b) Wave period

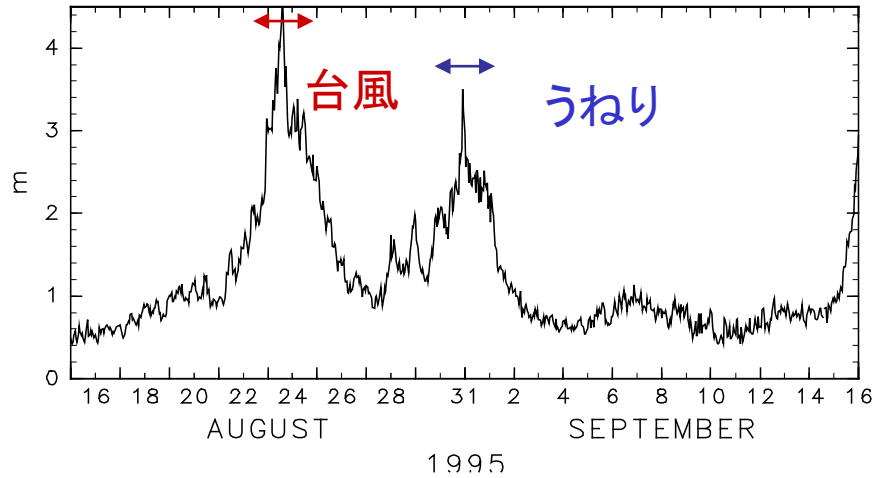


(c) Winds at Itokazu

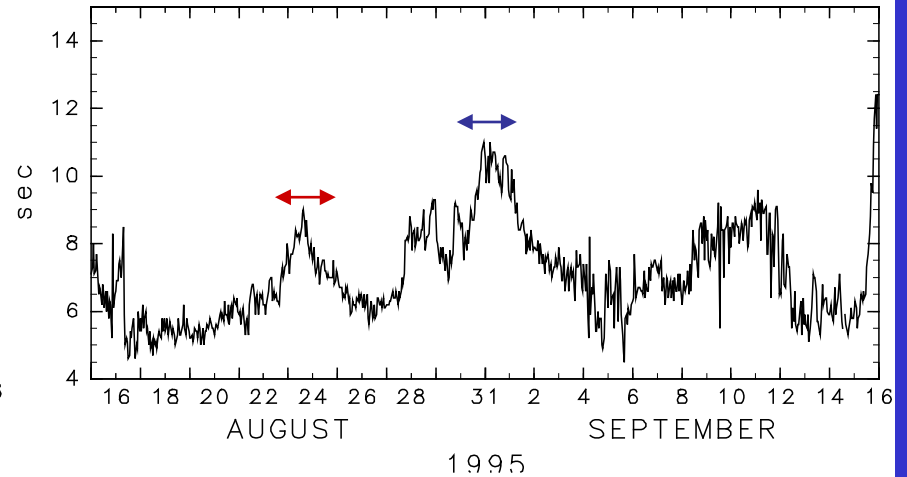


有義波高・周期・風の時系列

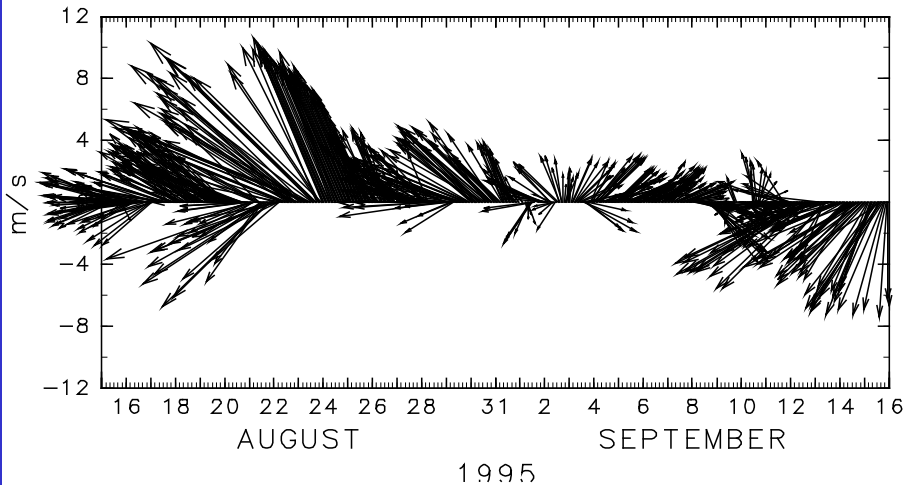
(a) Wave height



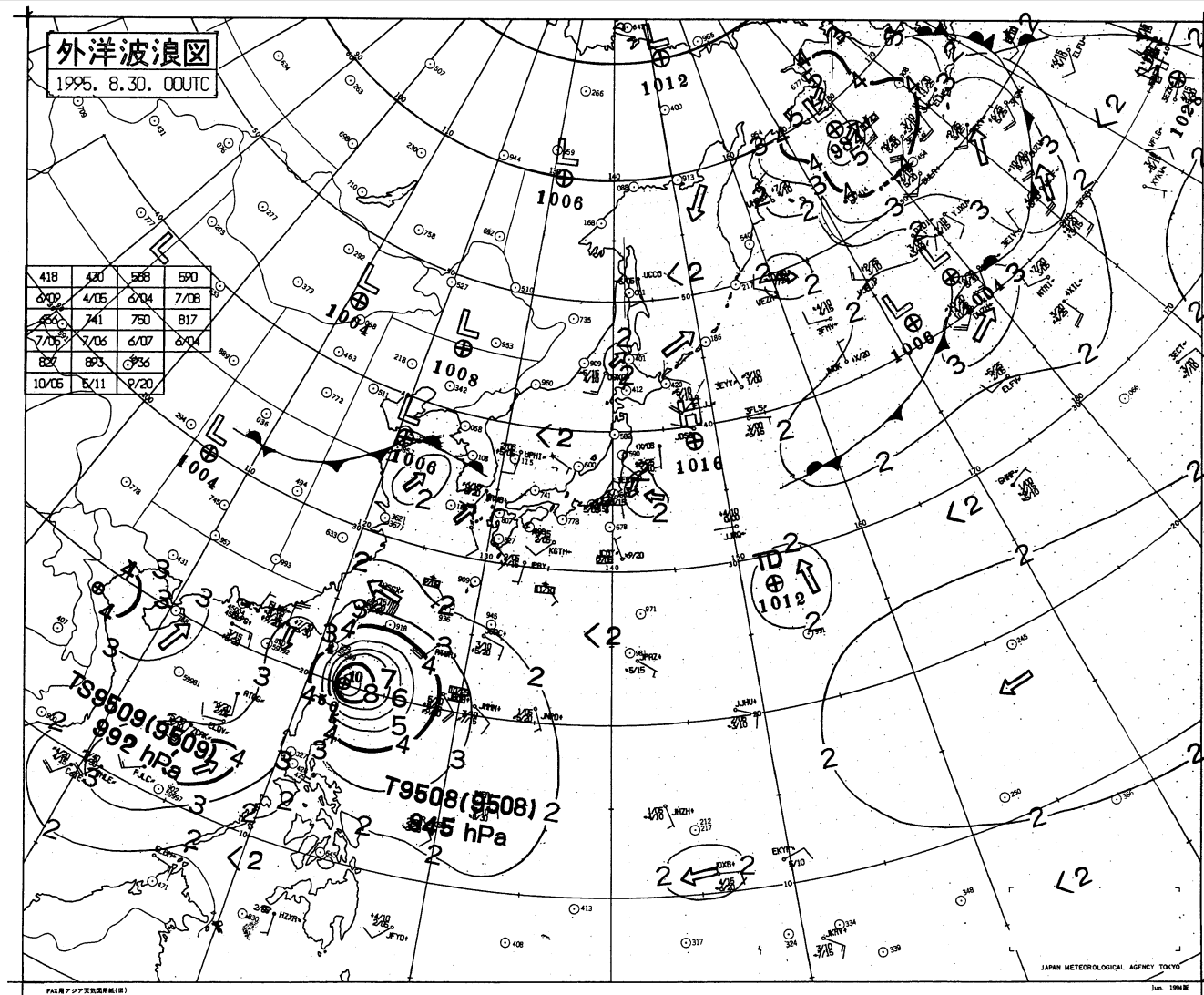
(b) Wave period



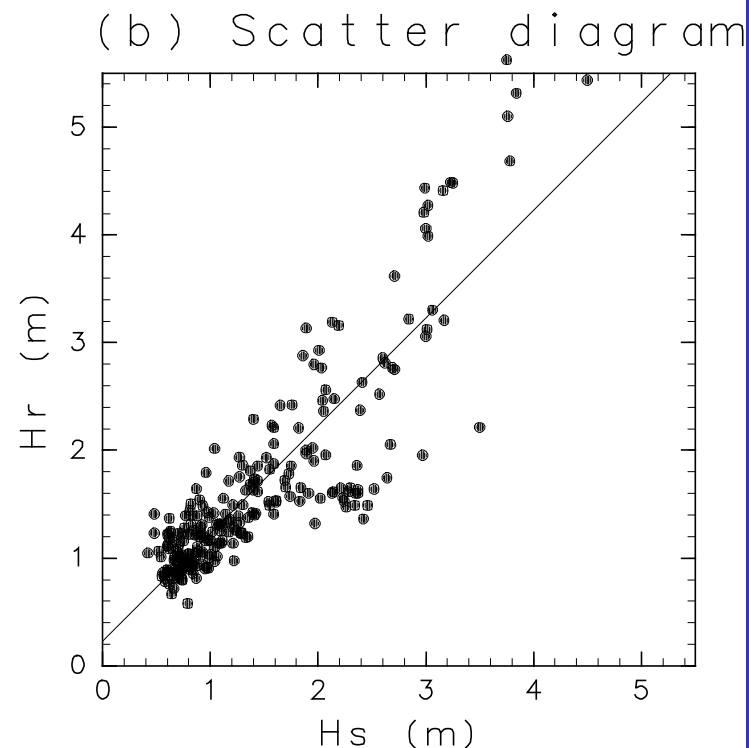
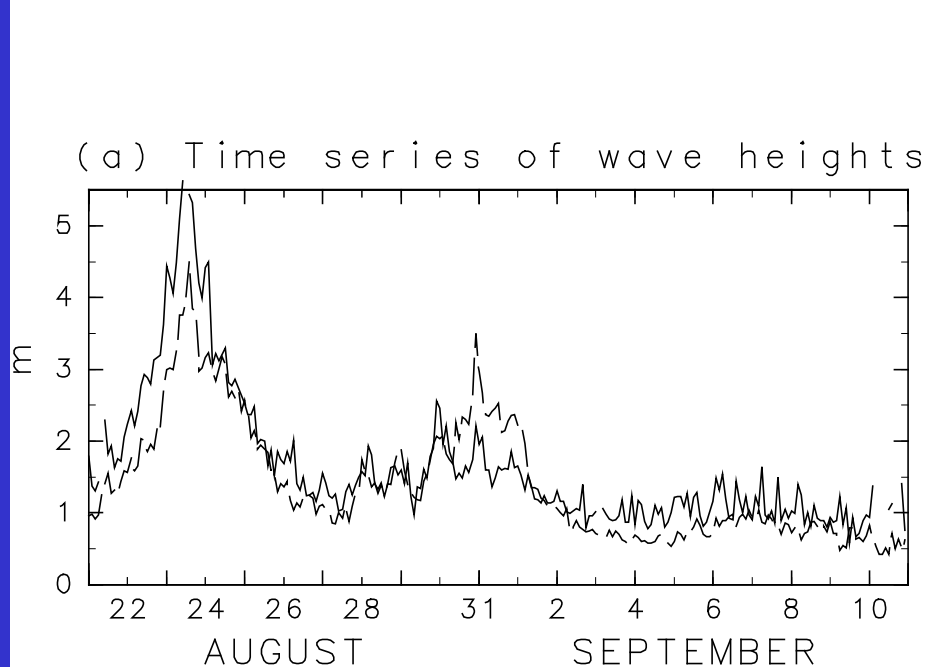
(c) Winds at Itokazu



気象庁外洋波浪図 1995年8月30日



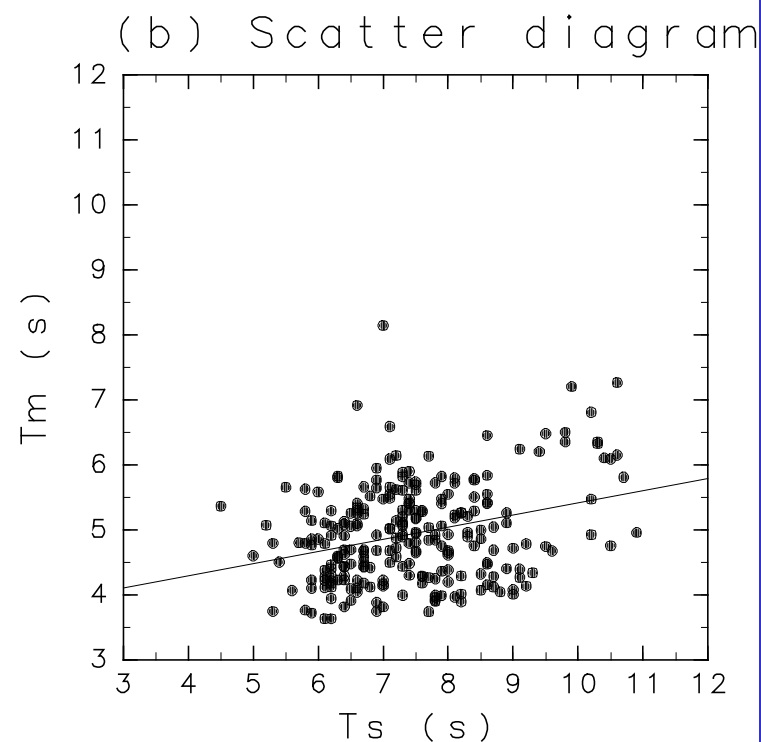
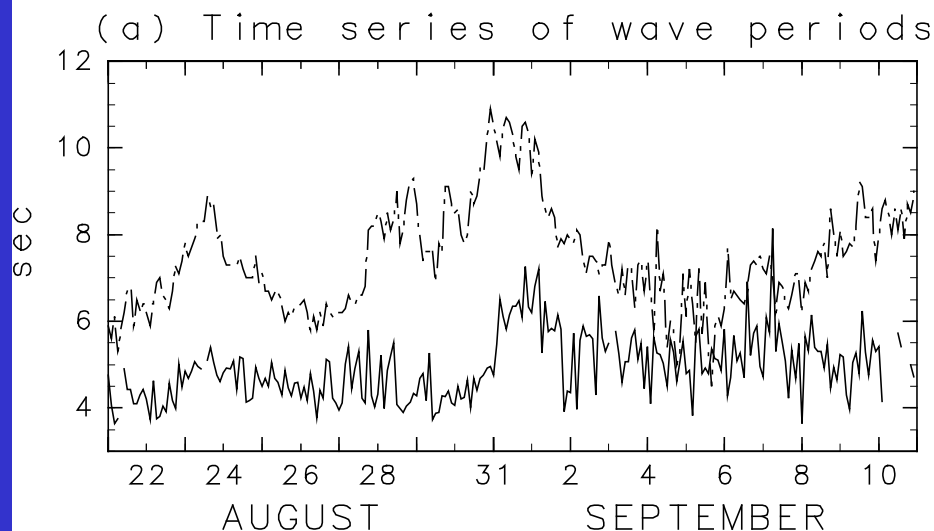
波高の比較 (Case 1)



実線:レーダ推定値(Hr), 破線:気象庁観測値(Hs)

相関係数=0.87, rms差=0.52m, $H_r = 1.02H_s + 0.23$

周期の比較 (Case 1)



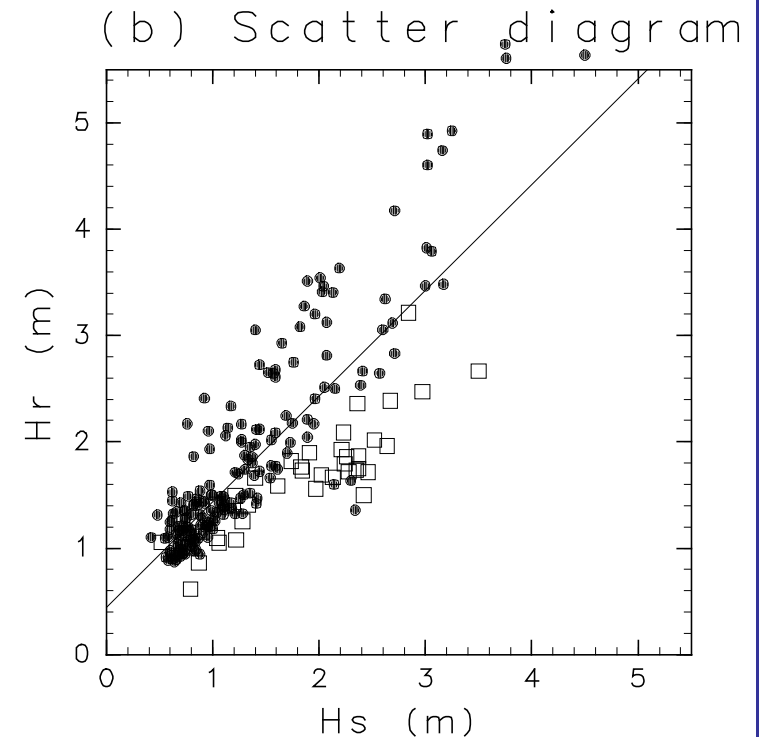
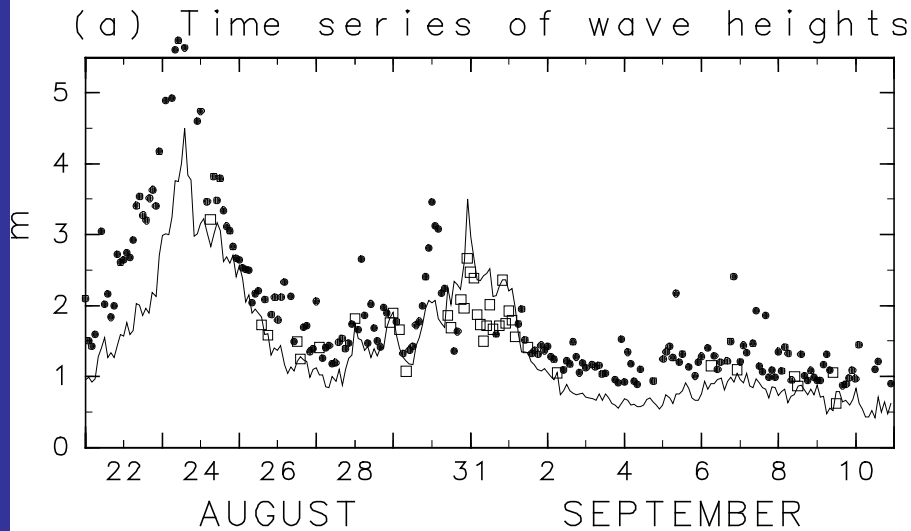
実線:レーダ推定モーメント周期(T_m), 破線:気象庁観測有義波周期(T_s)

相関係数=0.31, $T_m=0.19H_s+3.54$

T_s/T_m (平均)=1.53

波高の比較 (Case 2)

条件5:「スペクトル値が周波数・波向に対して滑らかに変化」の重みが小さい場合



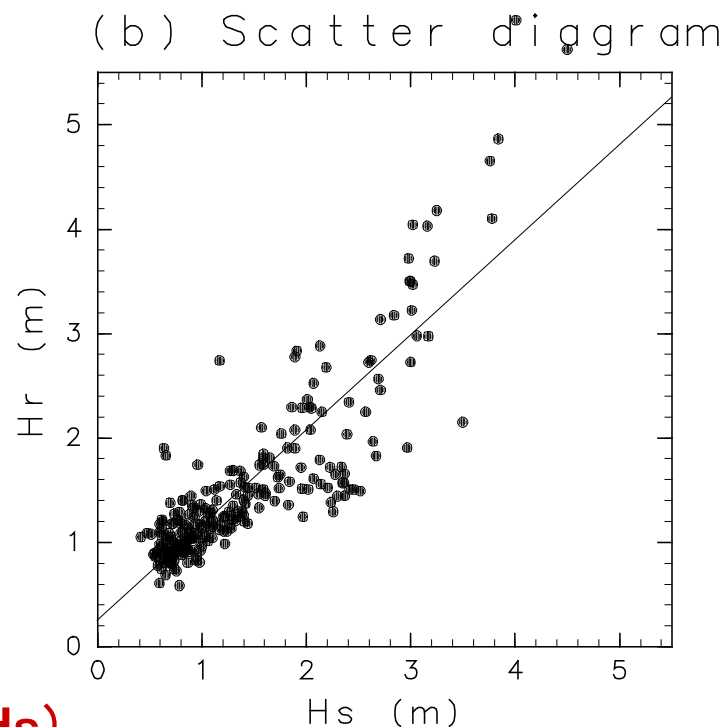
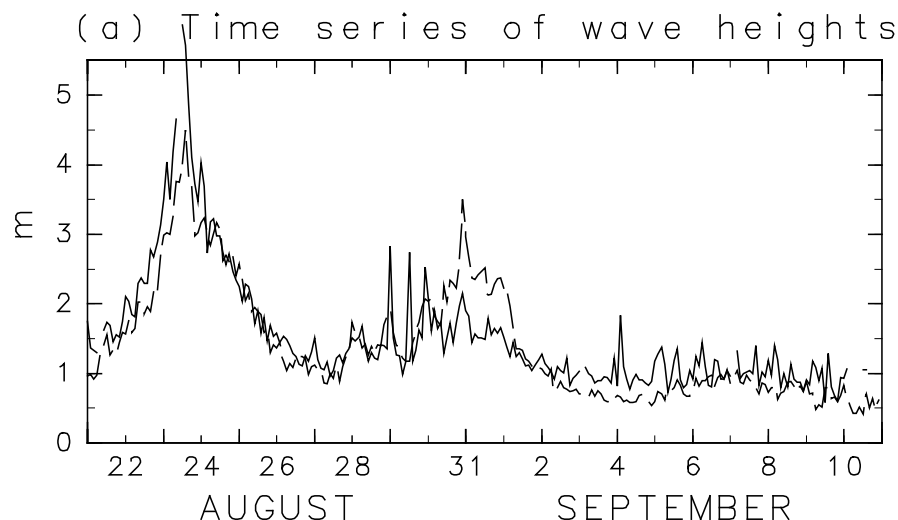
実線:レーダ推定値(H_r), 破線:気象庁観測値(H_s)

白四角:レーダ推定値が前の場合よりも気象庁観測値に近い場合。

相関係数=0.83, rms差=0.67m, $H_r=0.99H_s+0.52$

波高の比較 (Case 3)

条件5:「スペクトル値が周波数・波向に対して滑らかに変化」の重みが大きい場合

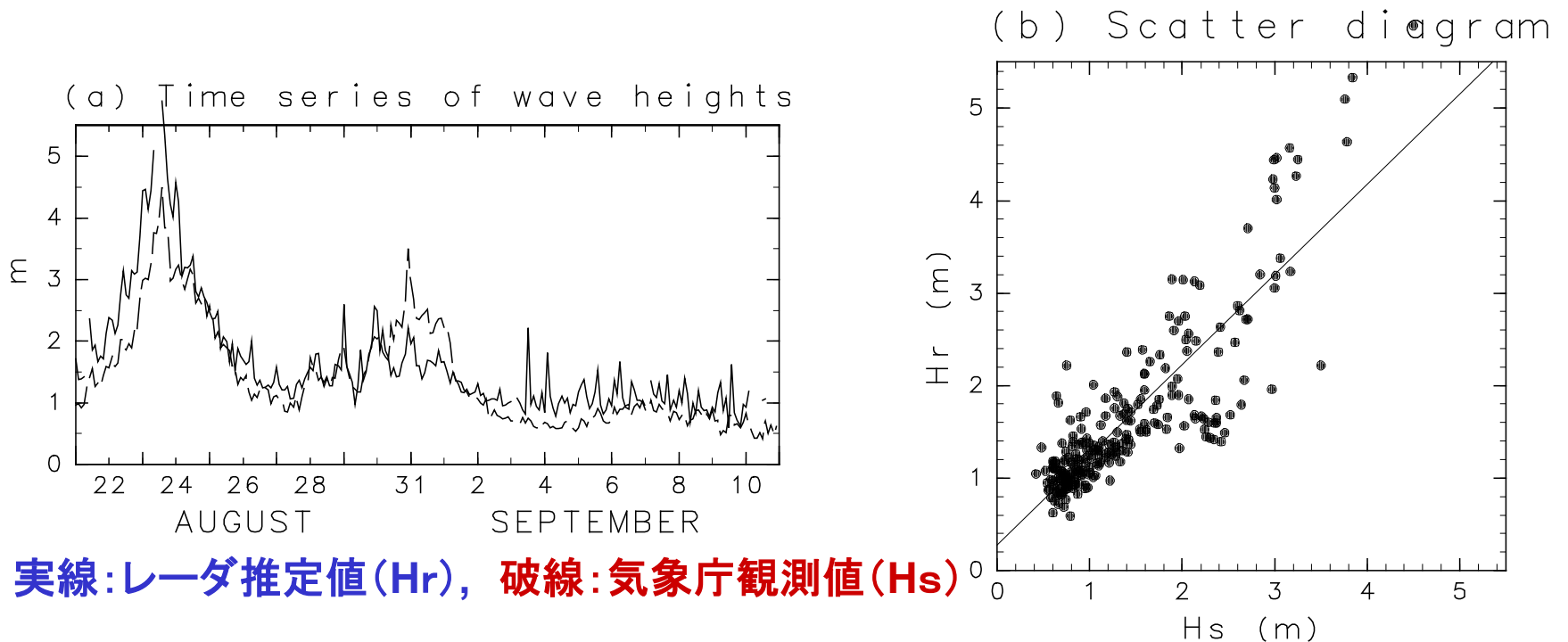


実線:レーダ推定値(Hr), 破線:気象庁観測値(Hs)

相関係数=0.87, rms差=0.45m, $Hr=0.91Hs+0.25$

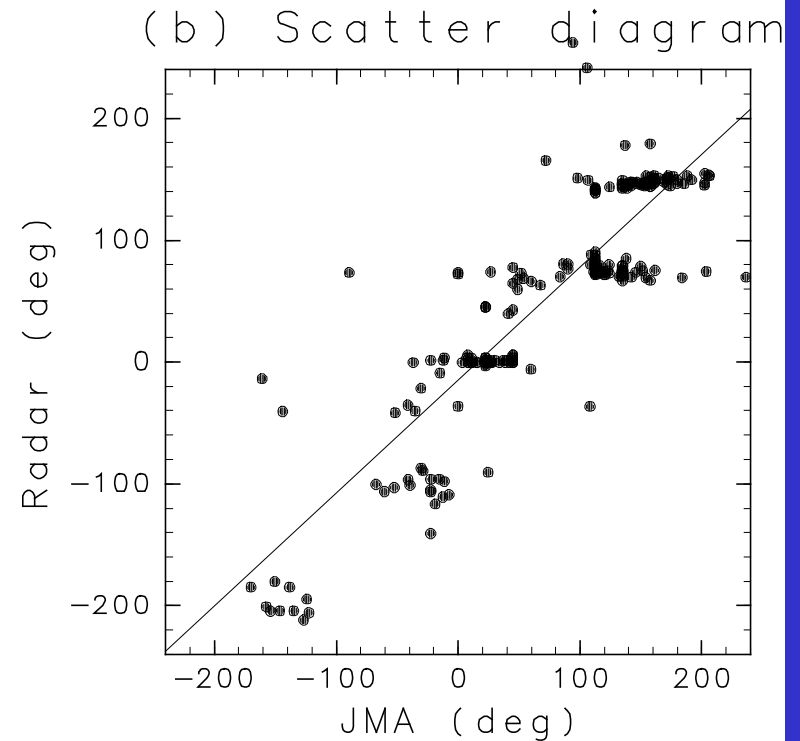
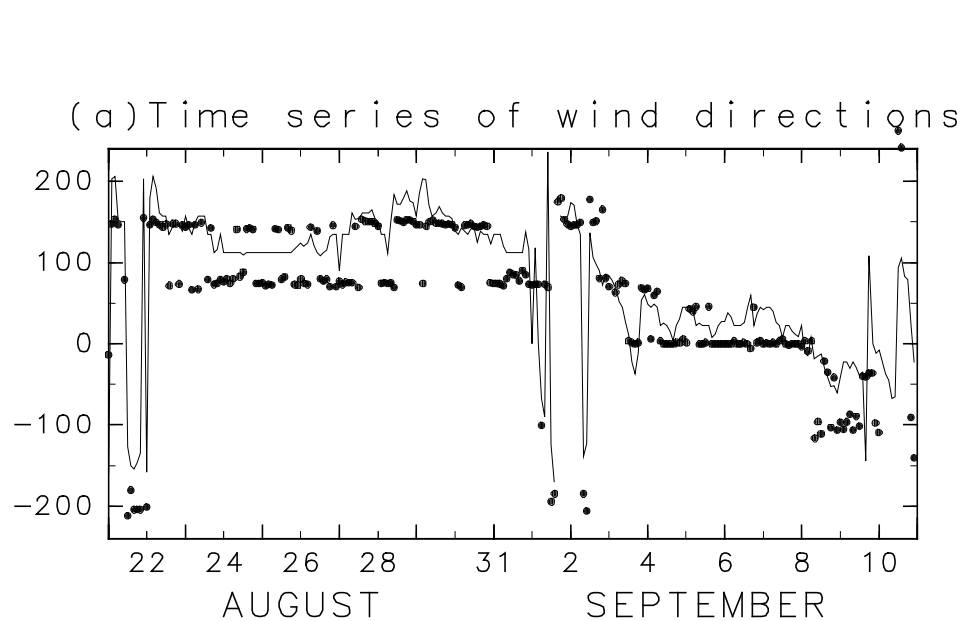
波高の比較 (Case 4)

条件3:「波浪スペクトルエネルギー平衡方程式」の重みが
大きい場合



相関係数=0.85, rms差=0.53m, $H_r = 0.98H_s + 0.27$

風向の比較

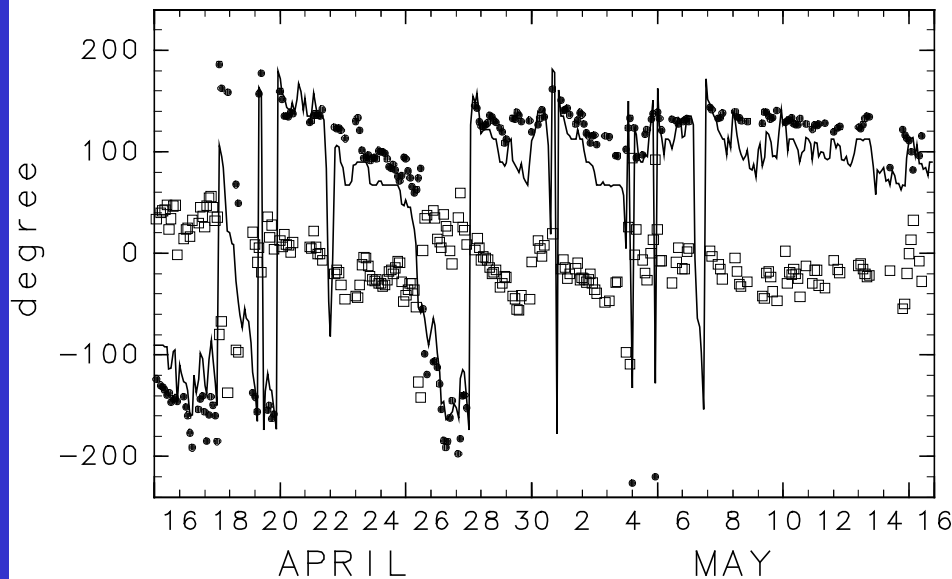


黒丸:レーダ風向(θ_w), 実線:気象庁アメダス観測風向(θ_I)

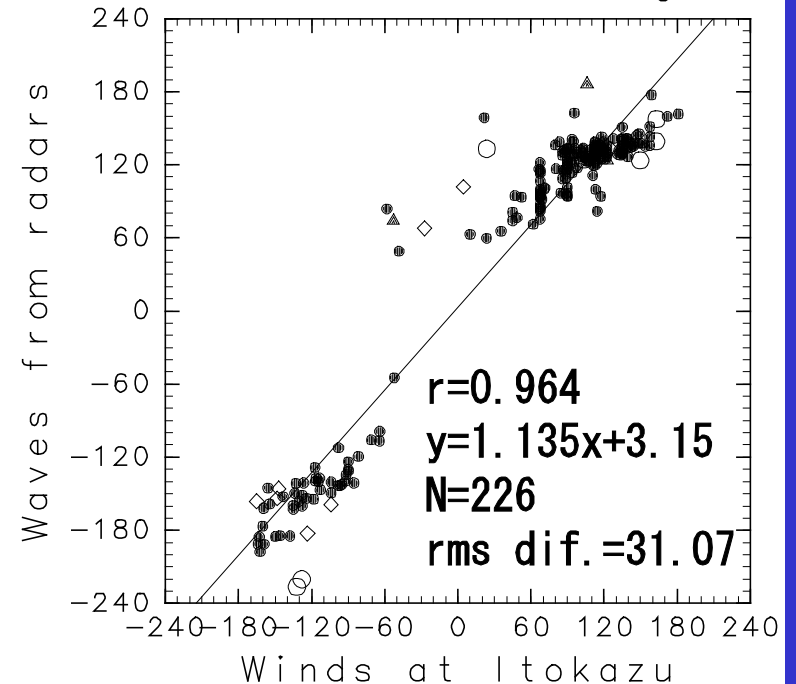
相関係数=0.88, rms=49.6°, $\theta_w=0.93\theta_I-14.7^\circ$

風向の比較 (2つのレーダ)

(a) Time series

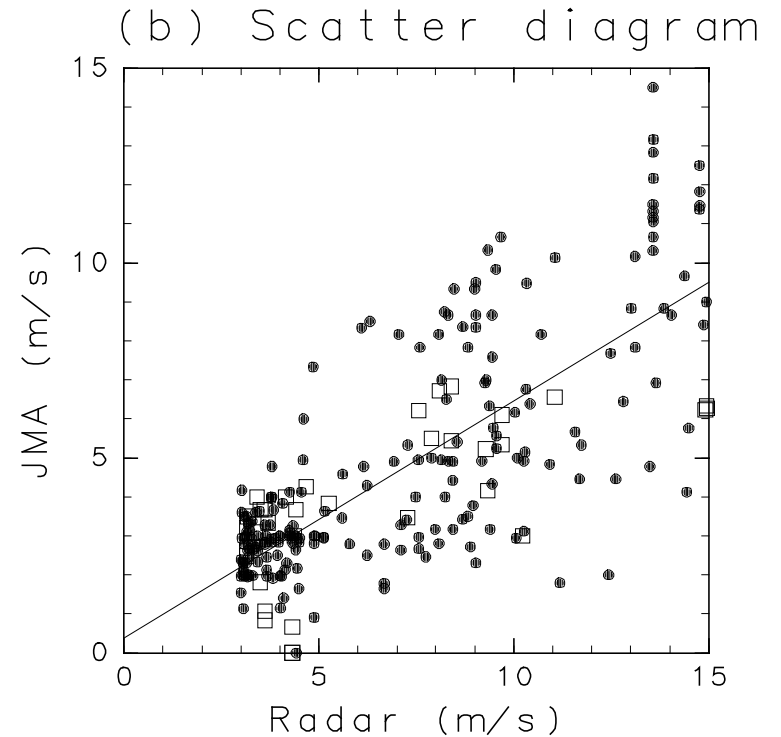
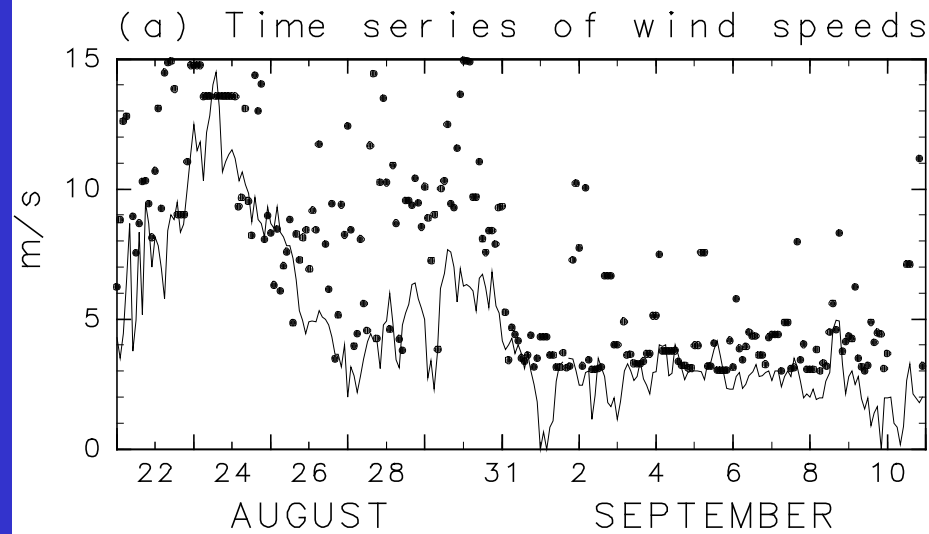


(b) Scatter diagram



黒丸:レーダ推定風向, 実線:気象庁アメダス観測値,
白四角:両者の差

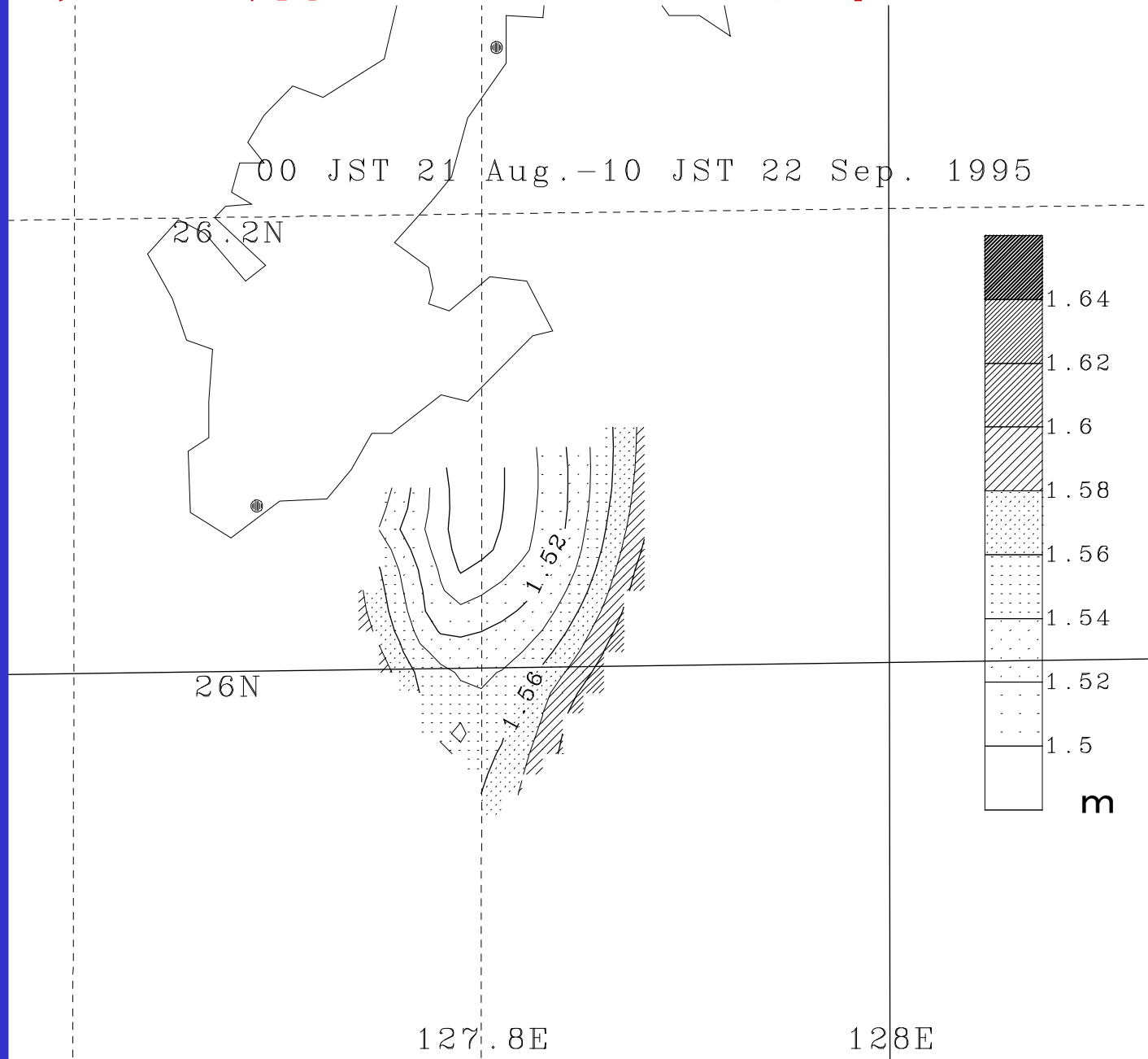
風速の比較



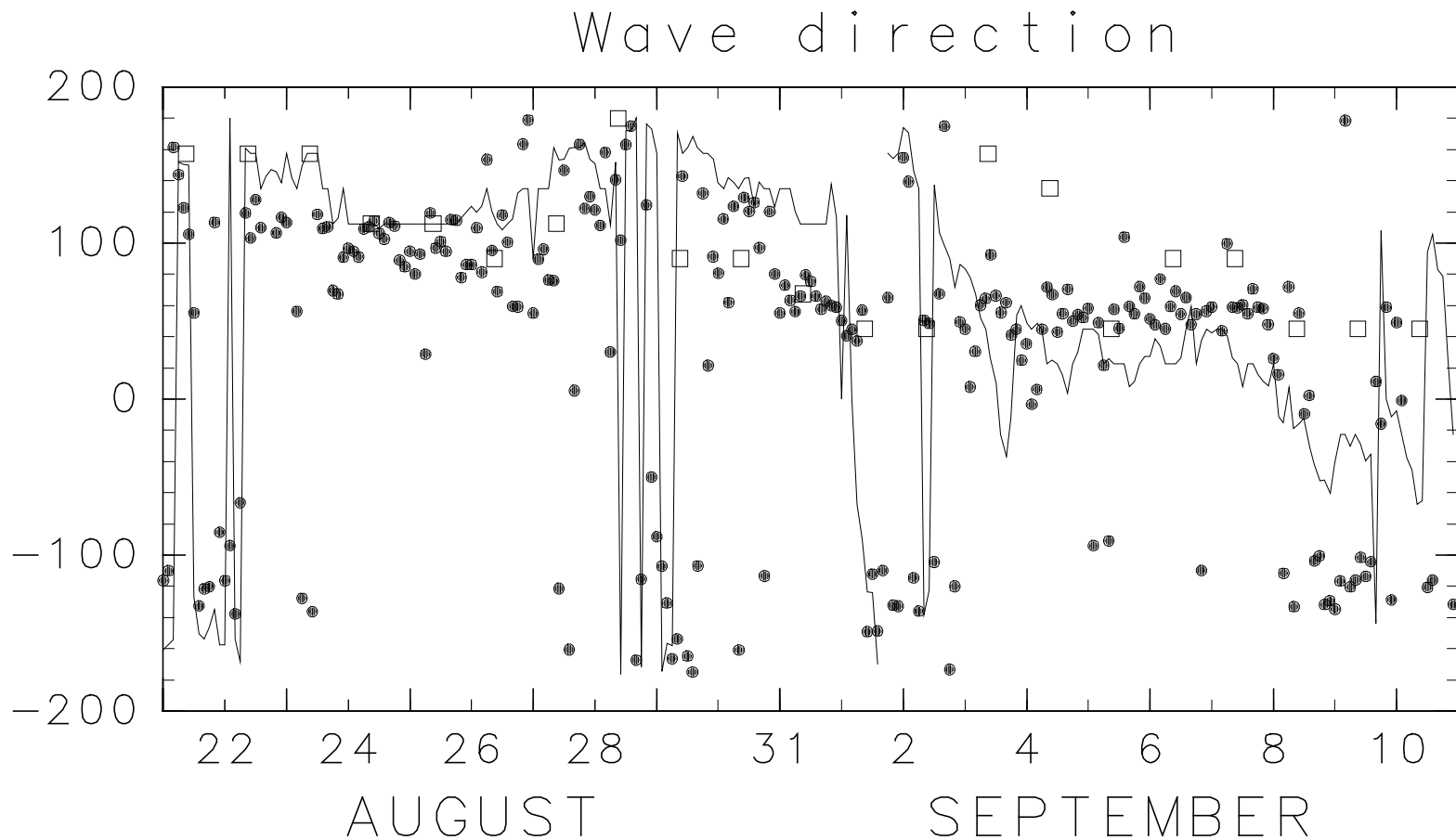
黒丸:レーダ推定風速(U_w), 実線:気象庁アメダス観測値(U_i)

相関係数=0.75, $U_i=0.61U_w + 0.39$

観測期間における波高平均



波向きの時系列



黒丸:レーダから推定された平均波向き,

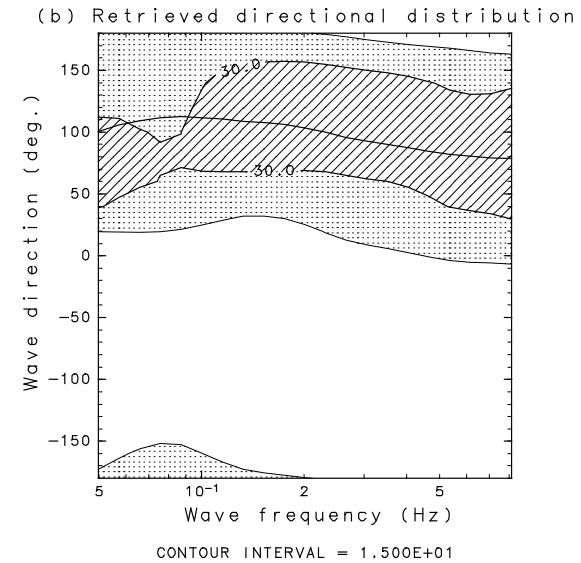
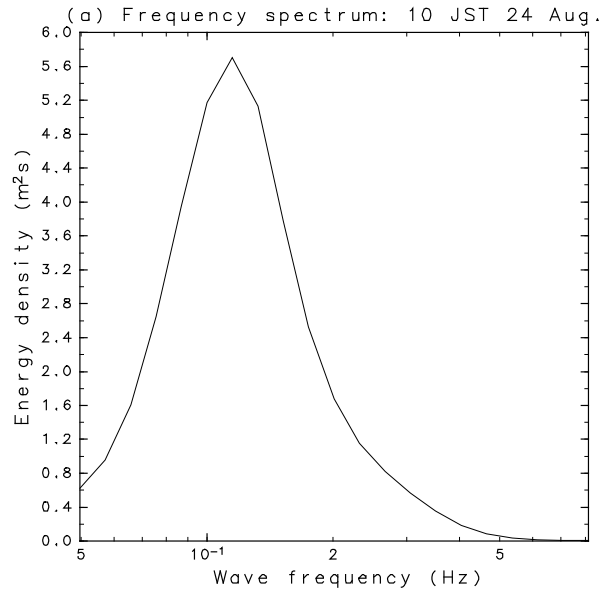
実線:気象庁アメダス観測風向

白四角: 沿岸代表点波浪推算値(気象庁外洋波浪図)

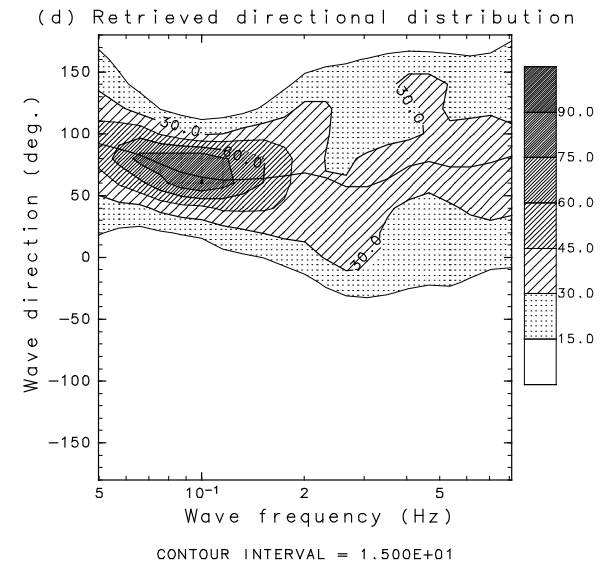
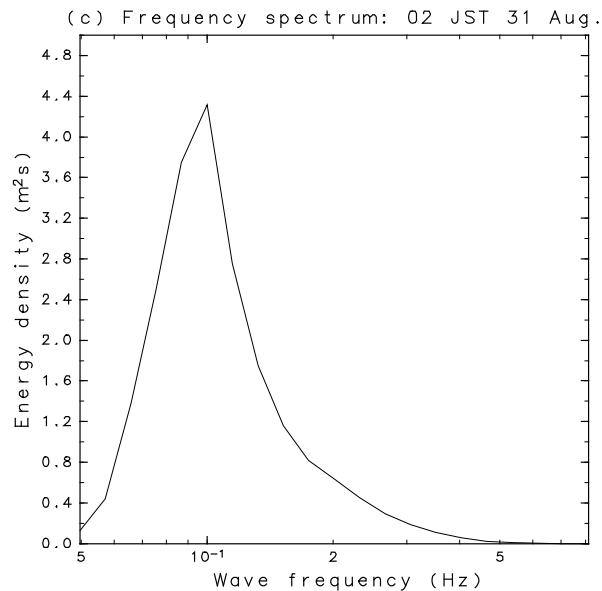
波浪スペクトルの例

(左:周波数スペクトル, 右:方向分布)

台風



うねり



まとめと今後の課題

- レーダ散乱断面積の式とエネルギー方程式を組み合わせた波浪スペクトル推定手法を開発。
- 波浪パラメータを推定可能。
- うねりの場合でも波浪スペクトルの推定可能。
- 波浪方向スペクトルの現場観測との比較。
- パラメータ化・アルゴリズムなどの改良。
- 最適な重みの設定手法。
- 風速の推定手法の改良。

終わり