

台湾北東部における 日周期の表層流変動

高橋大介(愛媛大 CMES)

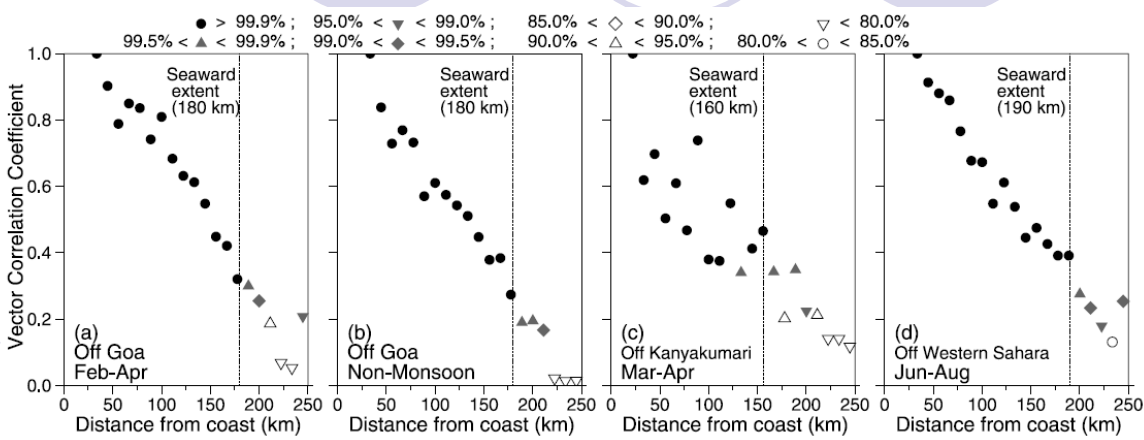
郭新宇(愛媛大 CMES)

森本昭彦(名大 水循環セ)

Sen Jan (HIS/National Central University)

最近の沿岸域における海陸風に関する研究

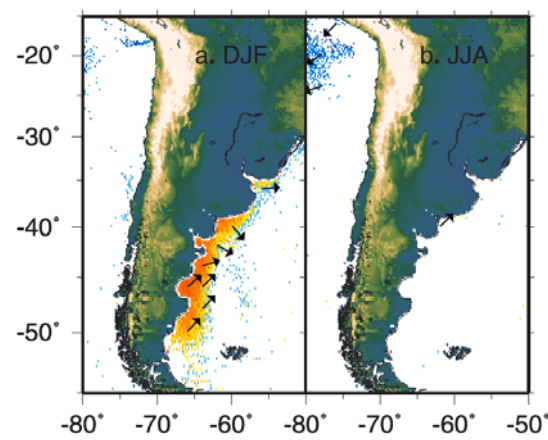
1. 海陸風の空間スケール(沿岸域から沖への広がり)は, 100–200 km 程度にも及ぶ(DiMarco et al., 2000; Simpson., 2002; Aparna et al., 2005; Hunter et al., 2007 etc.).



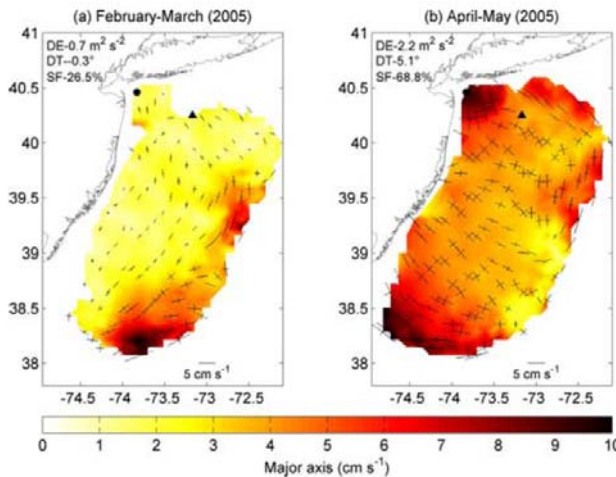
Aparna et al. (2005)

Indian west coast

2. 沿岸域に吹く海陸風, もしくはそれによって形成された流れは明瞭な季節変動を示す (DiMarco et al., 2000; Gille et al., 2003; Hunter et al., 2007 etc.).



South America
Gille et al. (2003)



New Jersey
Hunter et al. (2007)

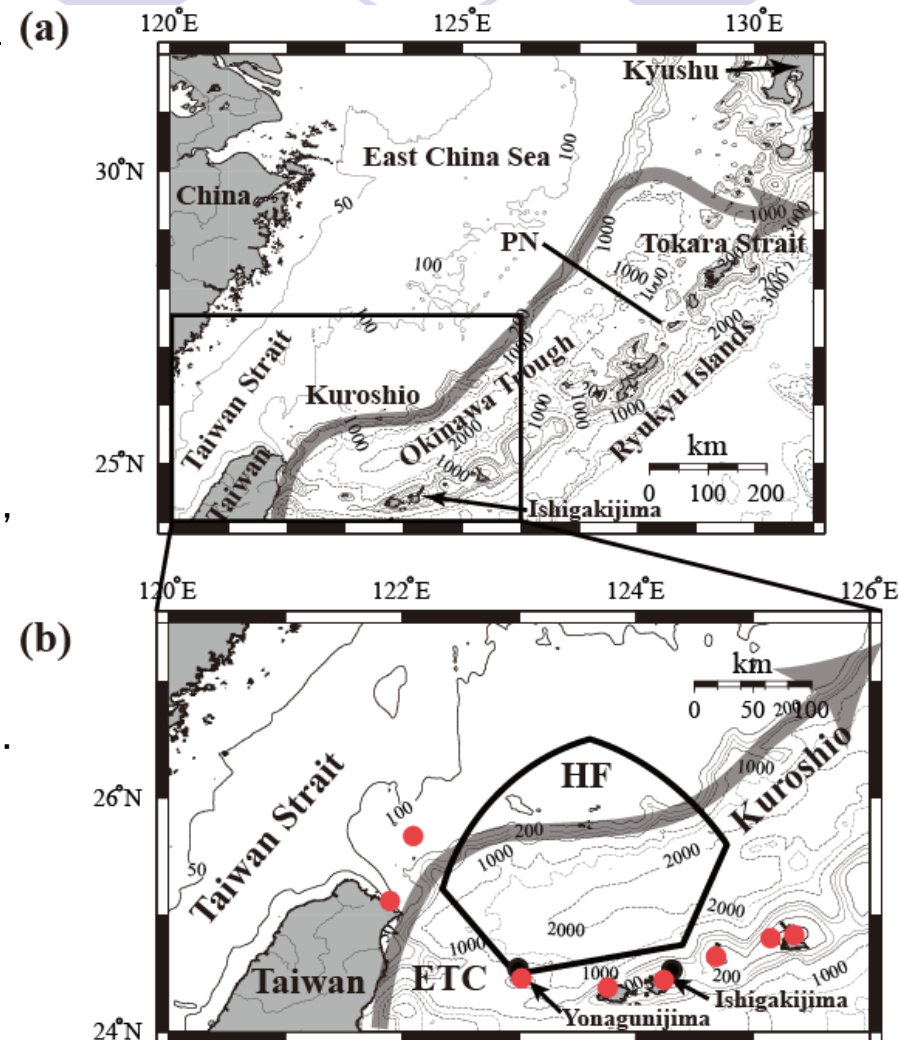
研究海域と使用データ

1. 情報通信研究機構 沖縄亜熱帯計測技術センター (NICT)から提供していただいた2002年の台湾北東部における遠距離海洋レーダ (LROR) の表層流データ ($7\text{km} \times 7\text{km}$, 30分間隔).

2. データ処理

- (1) 1時間平均.
- (2) 各グリットにおけるデータ取得率の算出し, データ取得率が80%以上のグリットのデータを使用.
- (3) 最小二乗法によって10分潮 (M2, S2, N2, K2, K1, O1, P1, Q1, Mf, Msf) を除去した.
- (4) 時空間補間・平滑化.
- (5) 24時間周期のバンドパスフィルターによる日周期変動の抽出.

3. 台湾北東部周辺の風データ (8点: 赤丸)



Slab model による海陸風に対する 表層流の応答

Slab model

$$\frac{\partial u}{\partial t} = fv - ru + \tau_x \quad (1)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} = -fu - rv + \tau_y \quad (2)$$

where τ_x and τ_y are the surface stress

per unit mass (e.g. $\tau_x = T_x / \rho h$) and r

is the linear friction coefficient.

North-south periodic forcing

$$\tau_x = 0 \quad (3)$$

$$\tau_y = \text{Re}\{\tau_{y0} e^{i\omega t}\} \quad (4)$$

$$\tau_{y0} = \tau_{y1} e^{i\phi y} \quad (5)$$

Periodic solution

$$u = \text{Re}\{u_0 e^{i\omega t}\}, v = \text{Re}\{v_0 e^{i\omega t}\} \quad (6)$$

$$u_0 = u_1 e^{i\phi u}, v_0 = v_1 e^{i\phi v} \quad (7)$$



Solution

$$u_0 = \frac{f\tau_{y0}(f^2 + r^2 - \omega^2 - i2\omega r)}{(f^2 - \omega^2 + r^2)^2 + 4r^2\omega^2} \quad (8)$$

$$v_0 = \frac{\tau_{y0}(r(f^2 + \omega^2 + r^2) + i\omega(f^2 - \omega^2 - r^2))}{(f^2 - \omega^2 + r^2)^2 + 4r^2\omega^2} \quad (9)$$

(Hyder et al., 2002)

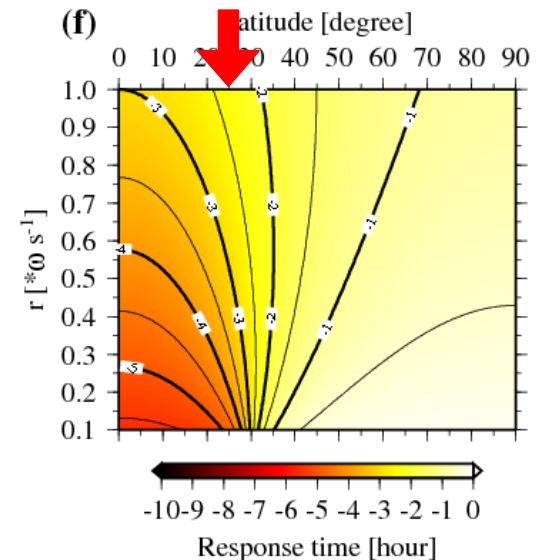
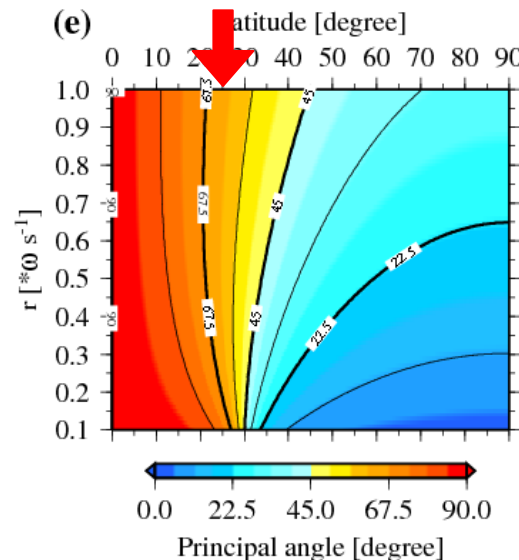
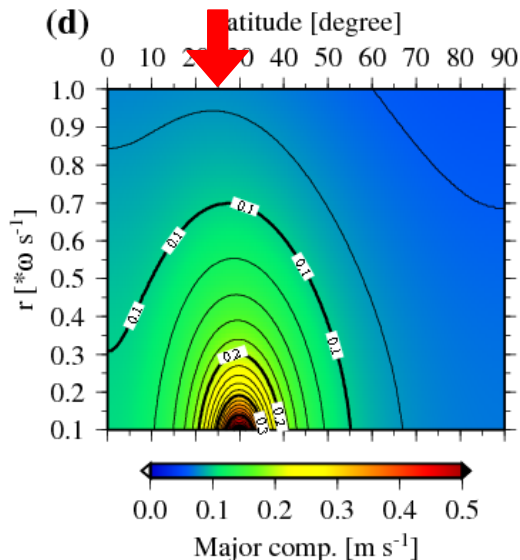
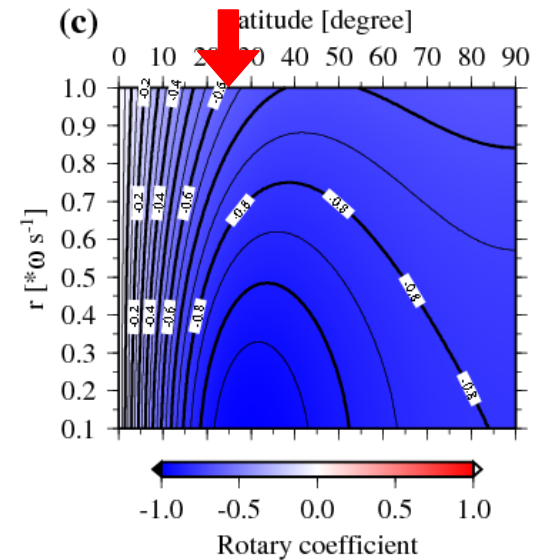
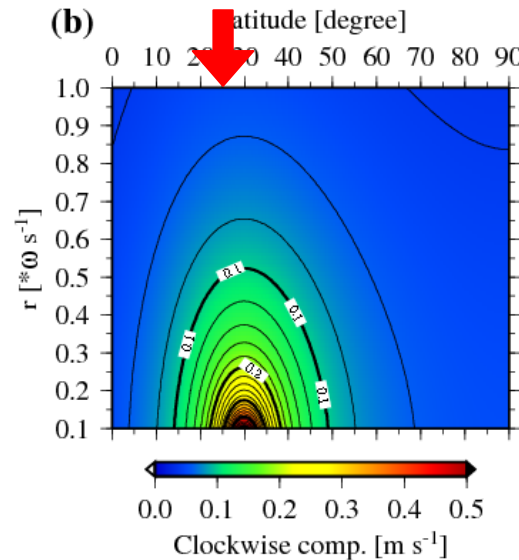
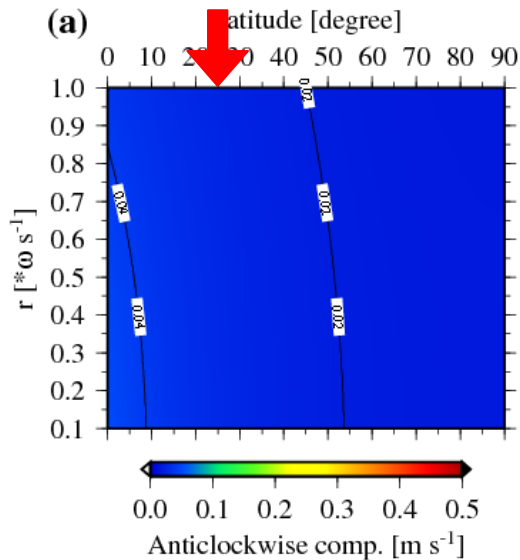
海陸風に対する表層流の応答 (Hyder et al., 2002)

$$\tau_{y1} = 4 \text{ m/s}$$

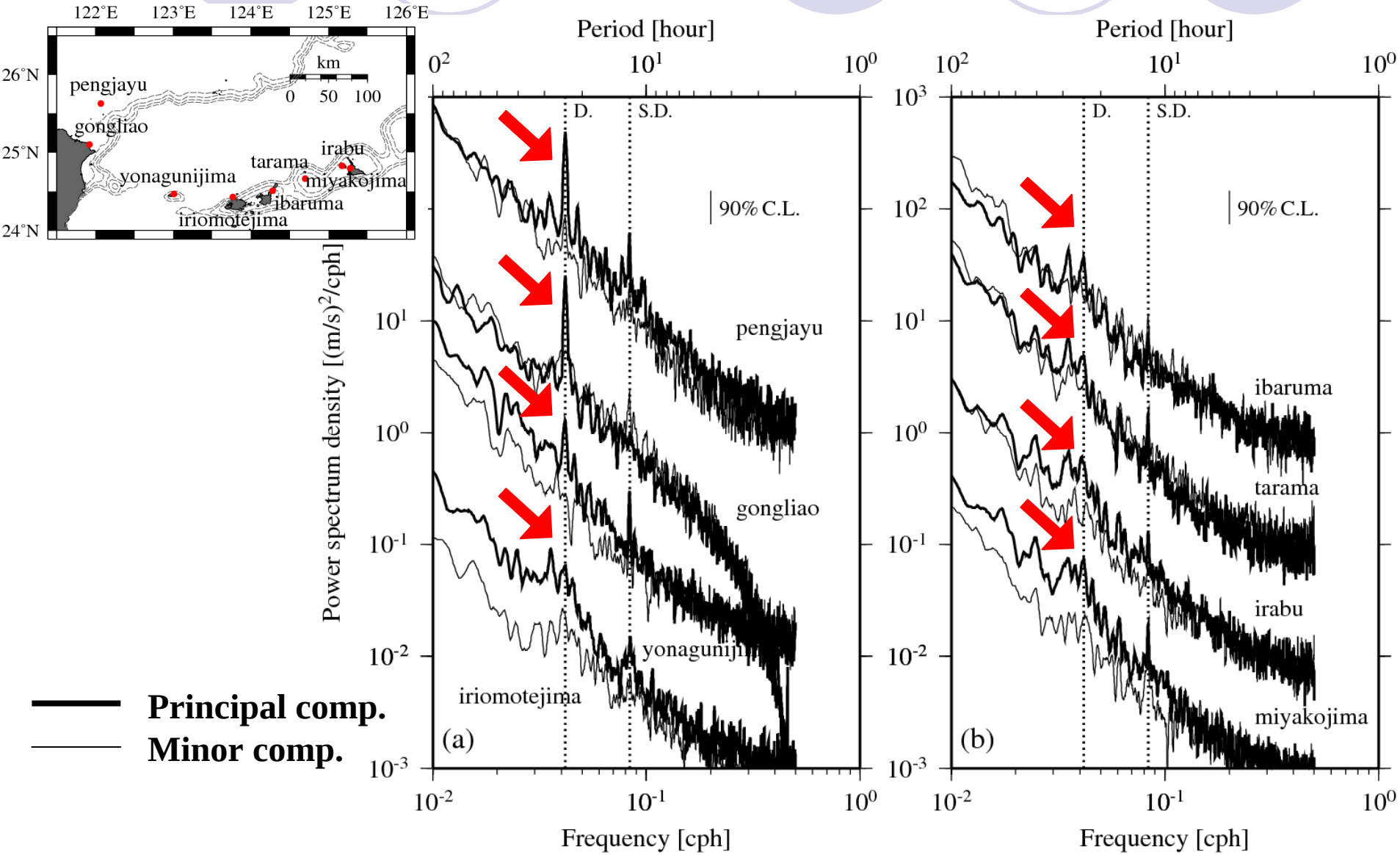
$$h = 3 \text{ m}$$

$$\rho = 1025 \text{ kg/m}^3$$

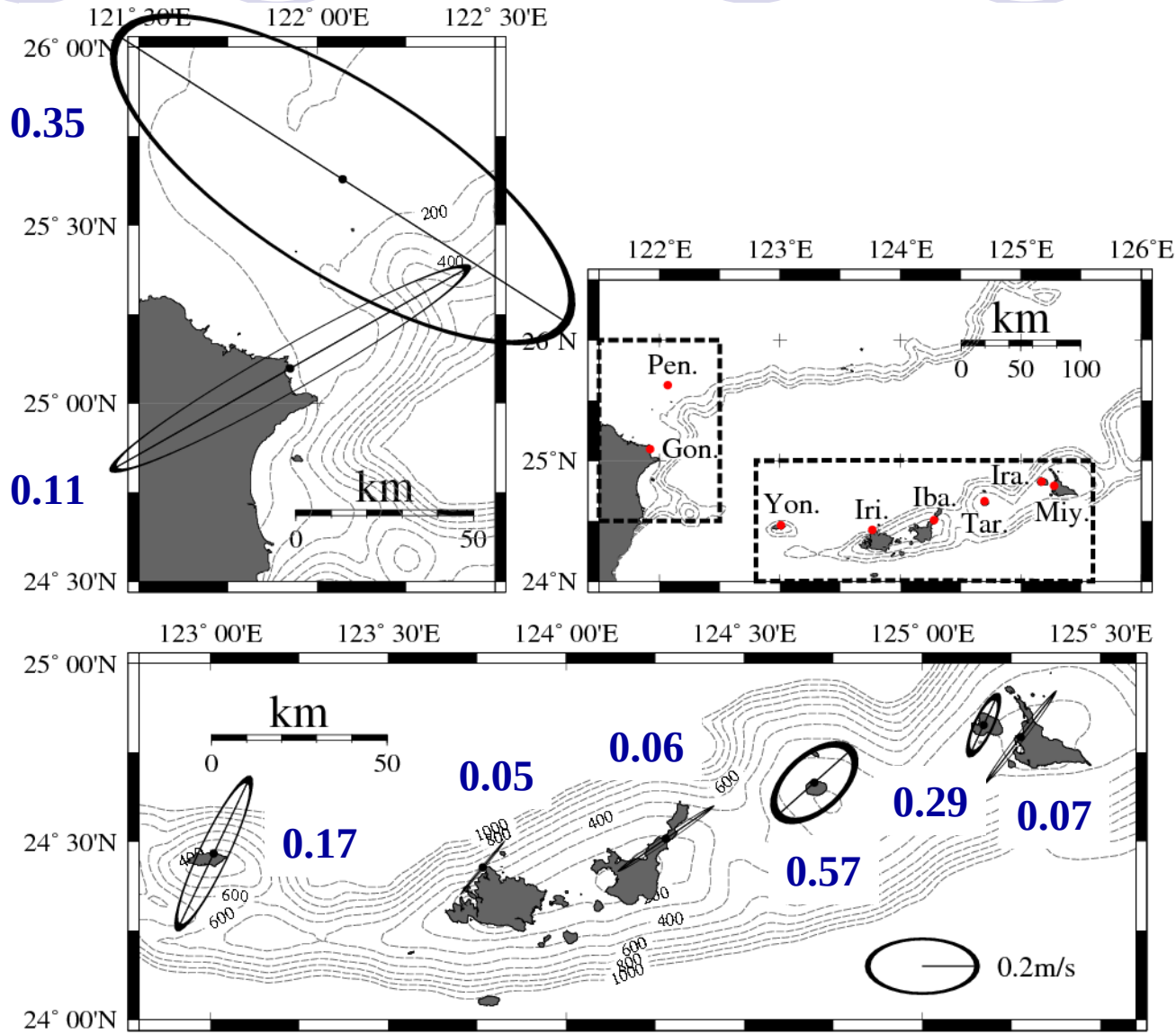
$$\omega = 7.27 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$$



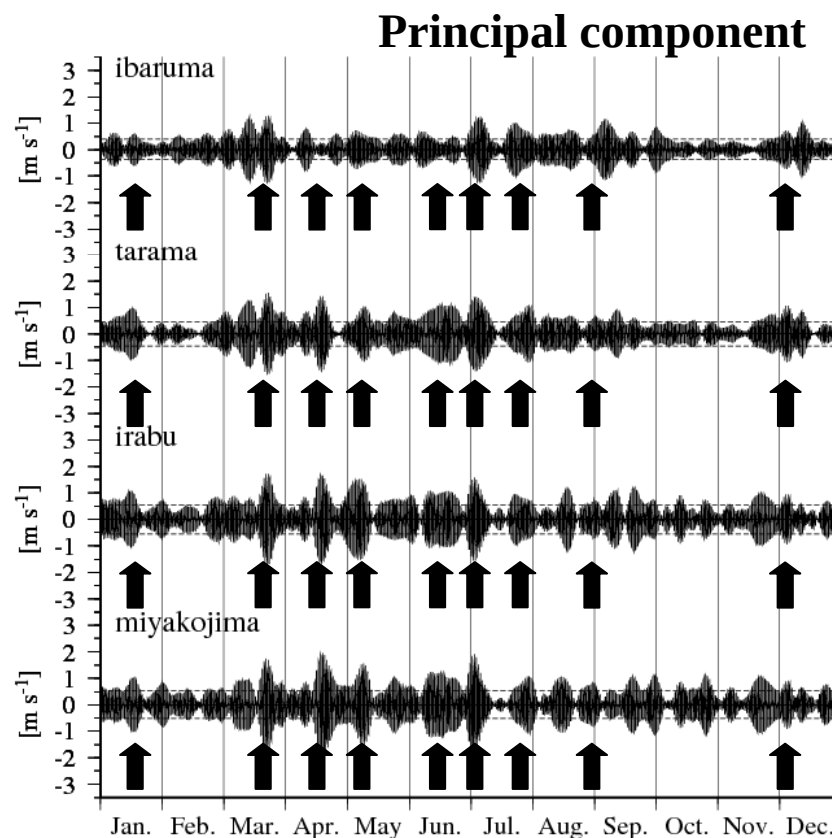
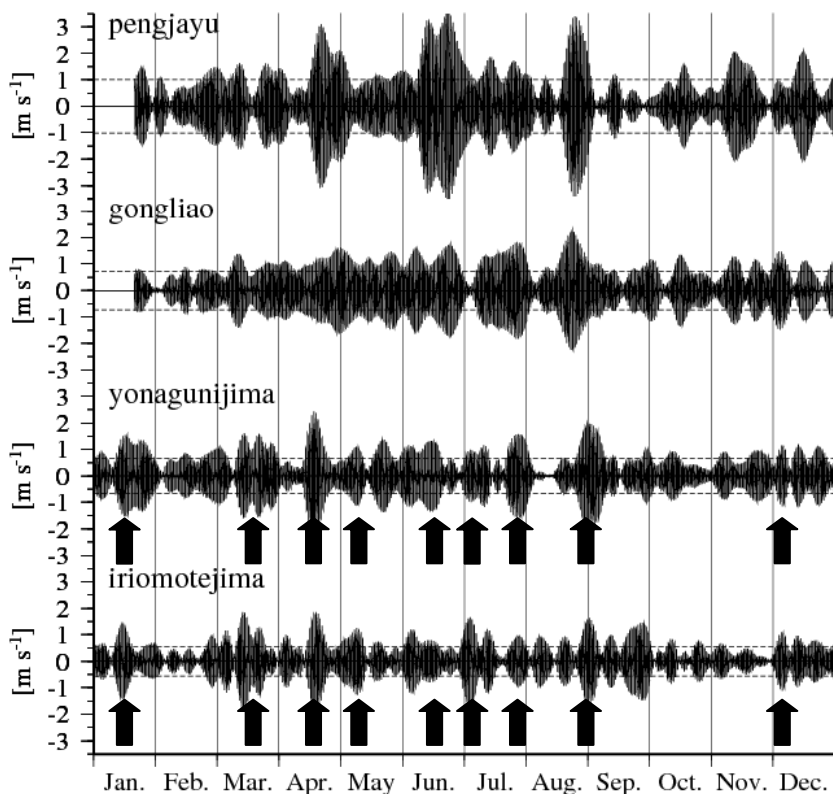
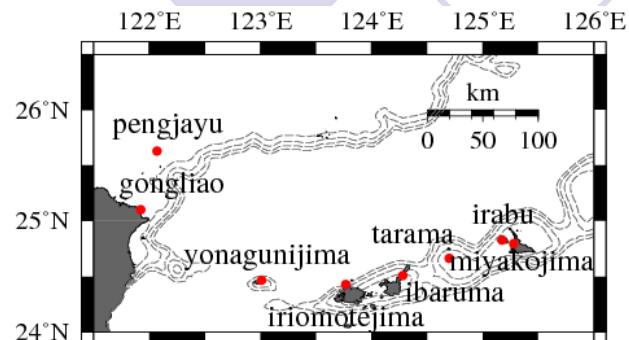
台湾北東部周辺の日周期帯風速変動の 周波数特性



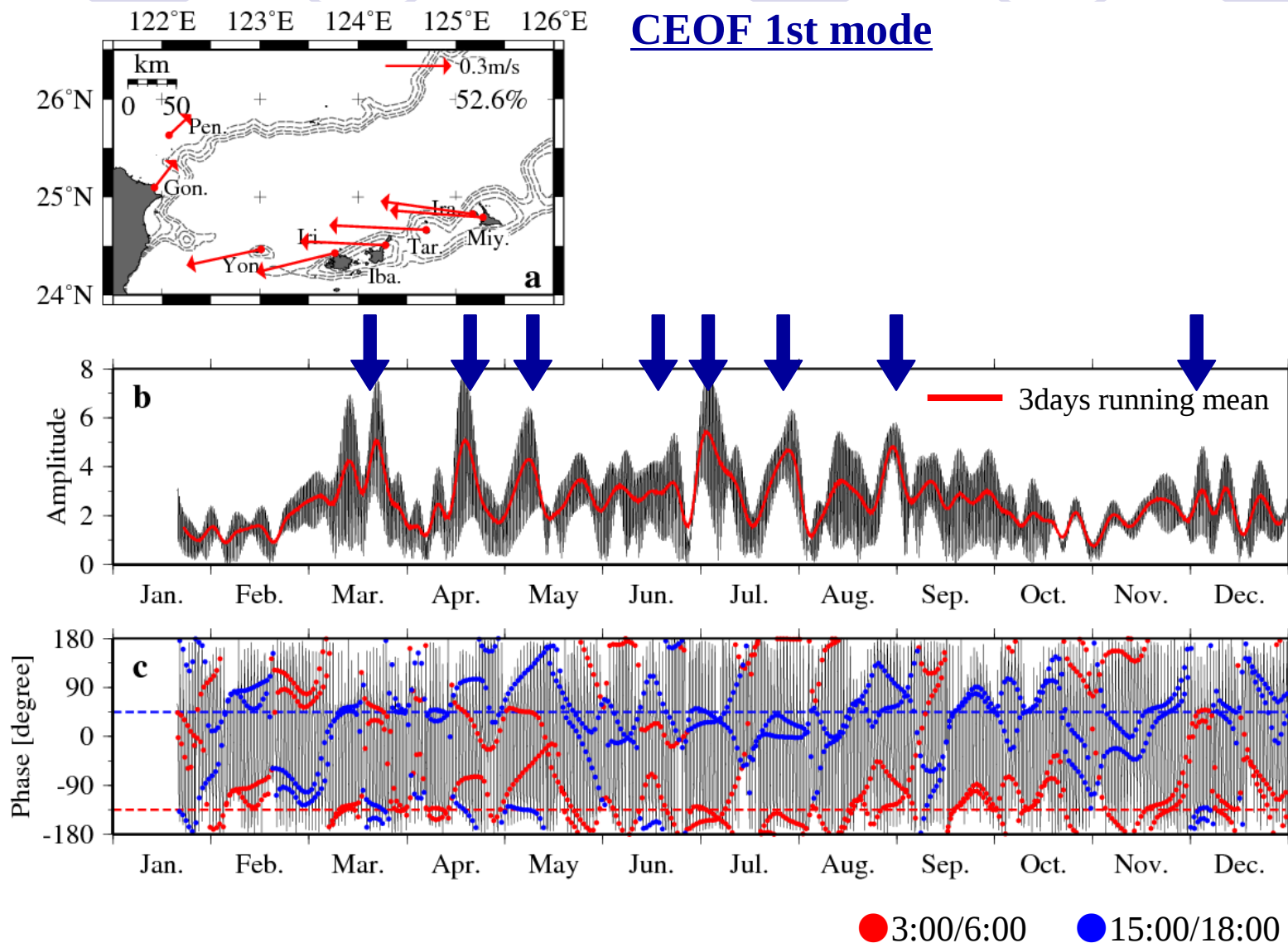
台湾北東部周辺の日周期風速変動の変動特性



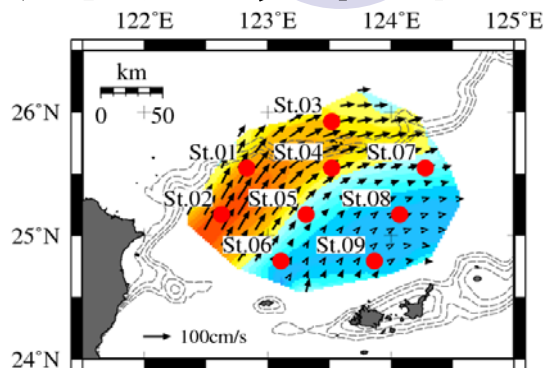
台湾北東部周辺の海陸風の時間変動



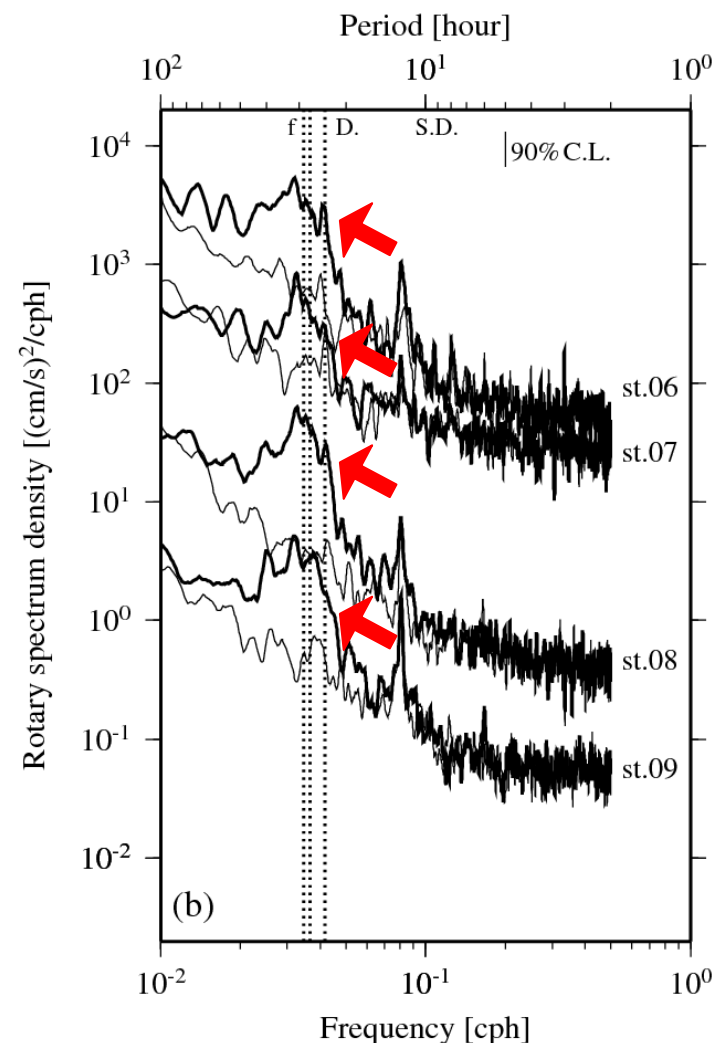
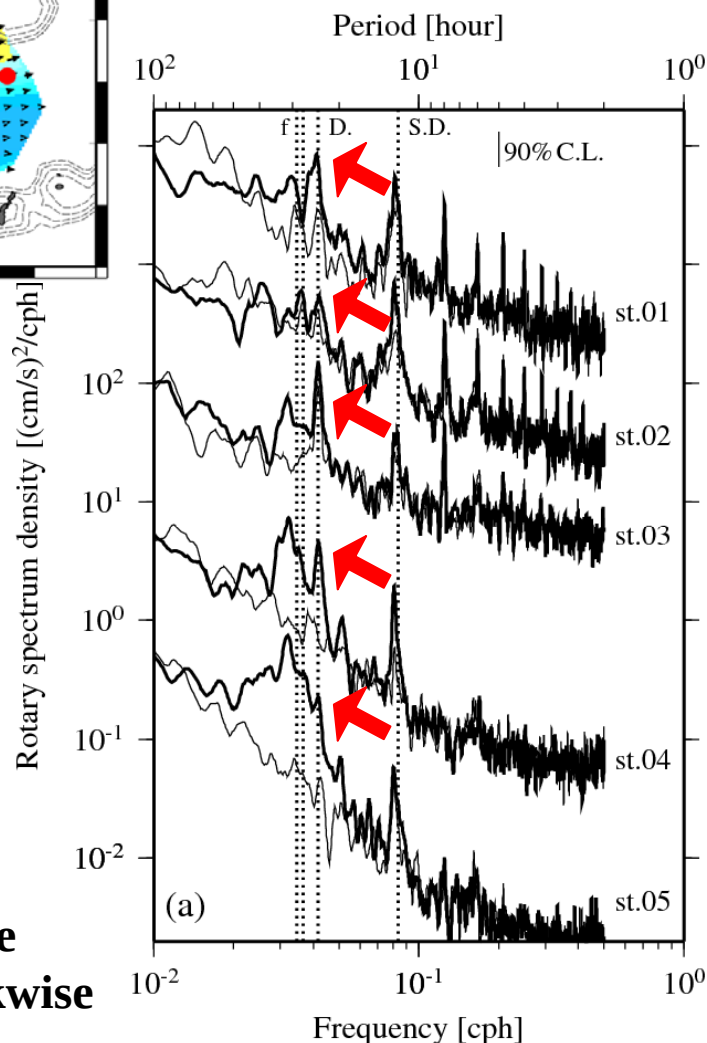
台湾北東部周辺の海陸風の変動特性



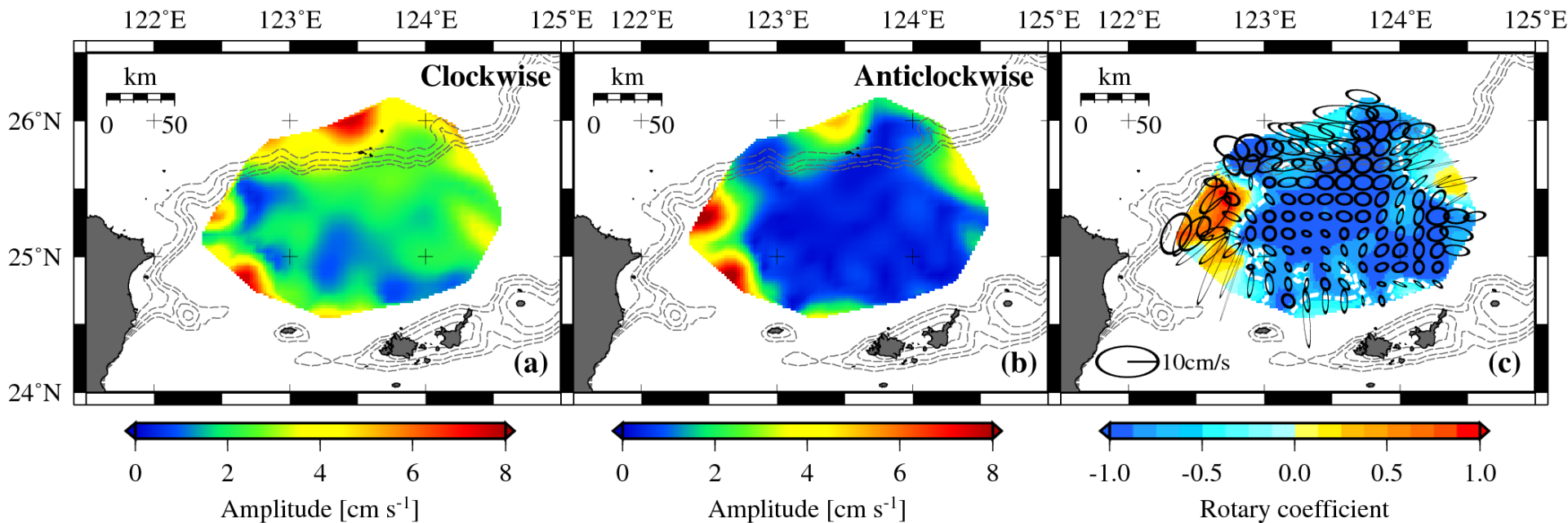
台湾北東部における日周期帯表層流変動の 周波数特性



* 残差流



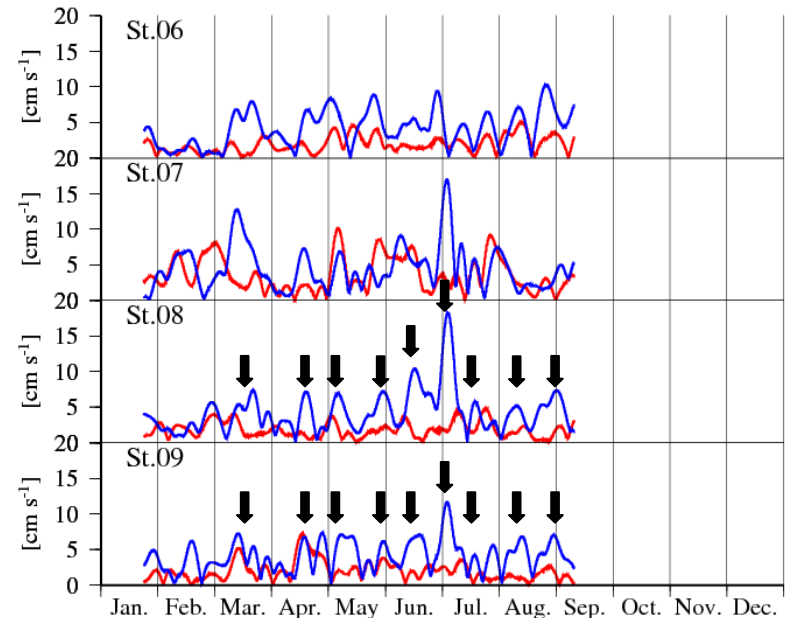
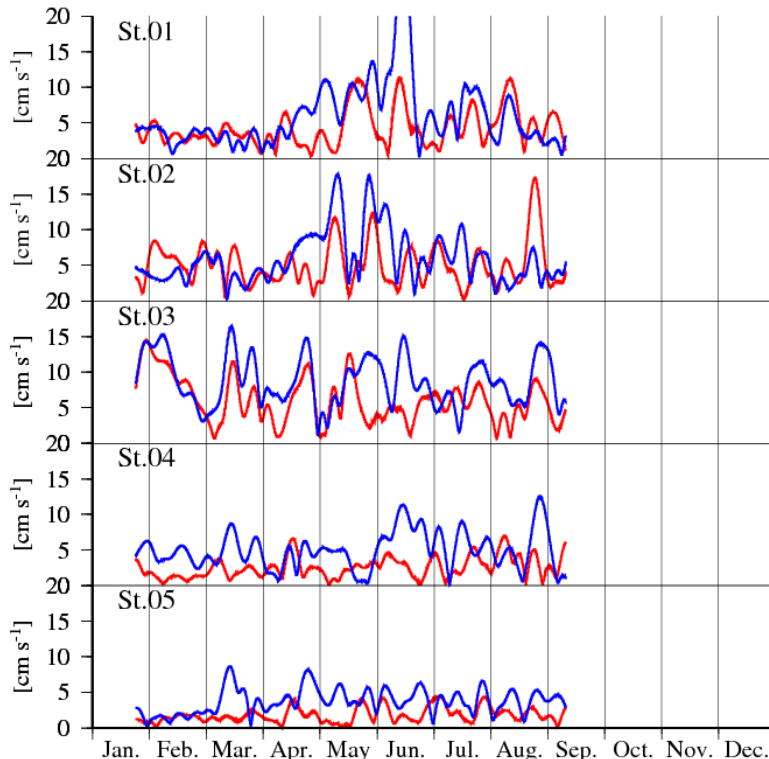
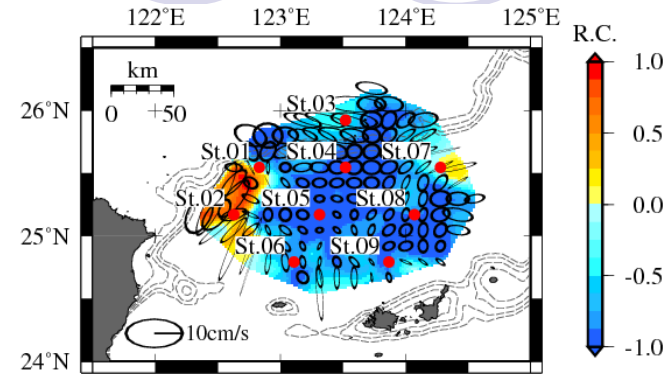
台湾北東部における日周期表層流の変動特性



* 白破線は回転係数が-0.6を示す。

- 黒潮域と測定領域の北東部では、大きな反時計回りの流速変動が顕著。
- 他の領域では、回転係数が-0.6~-1.0の比較的円運動に近い時計回りの流速変動が卓越している。

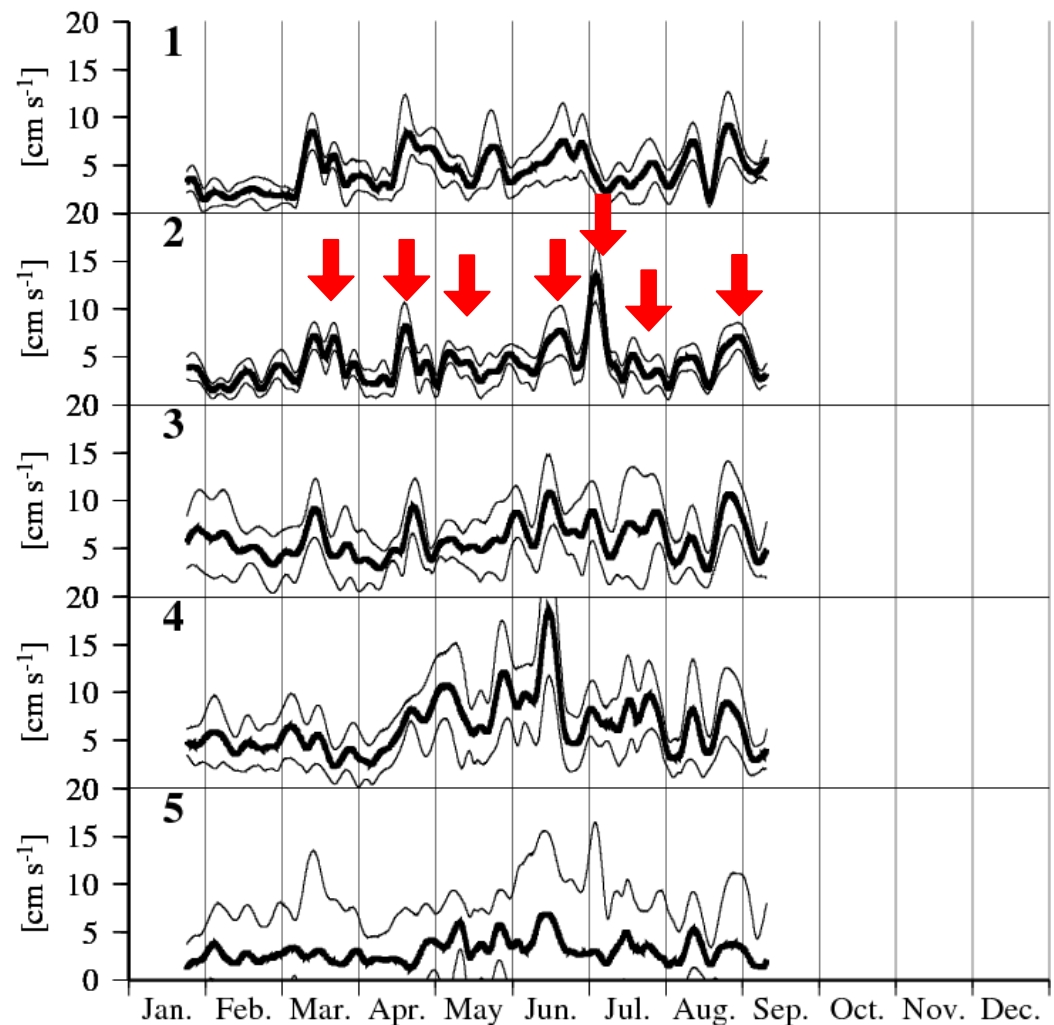
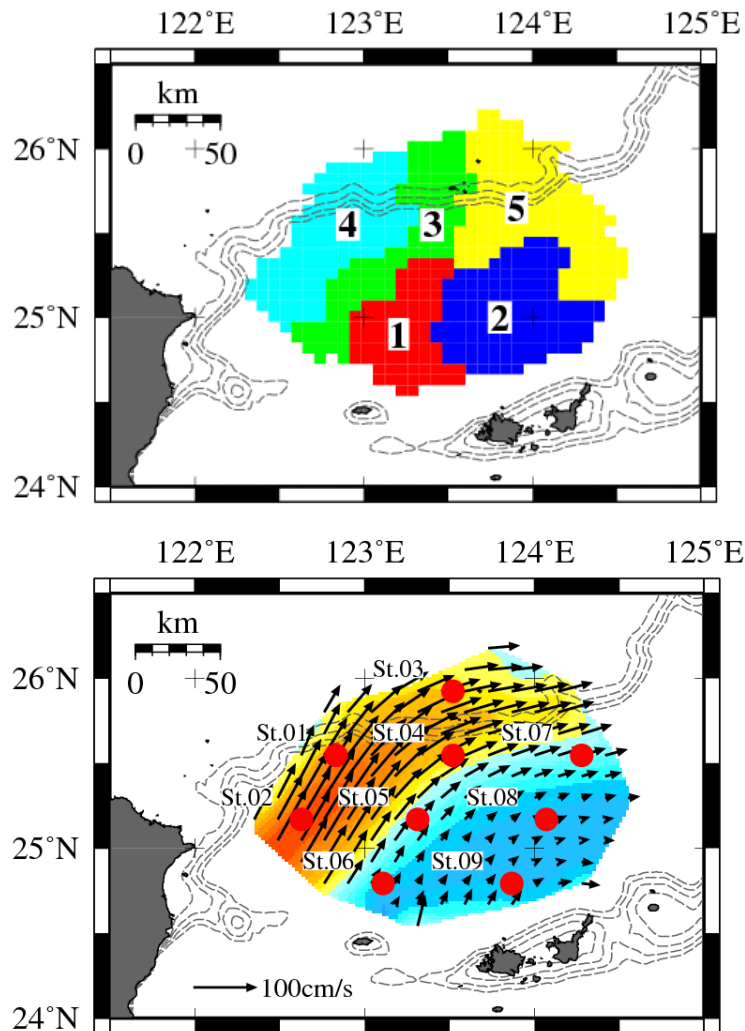
台湾北東部における日周期表層流変動の 時間変動



Clockwise comp.

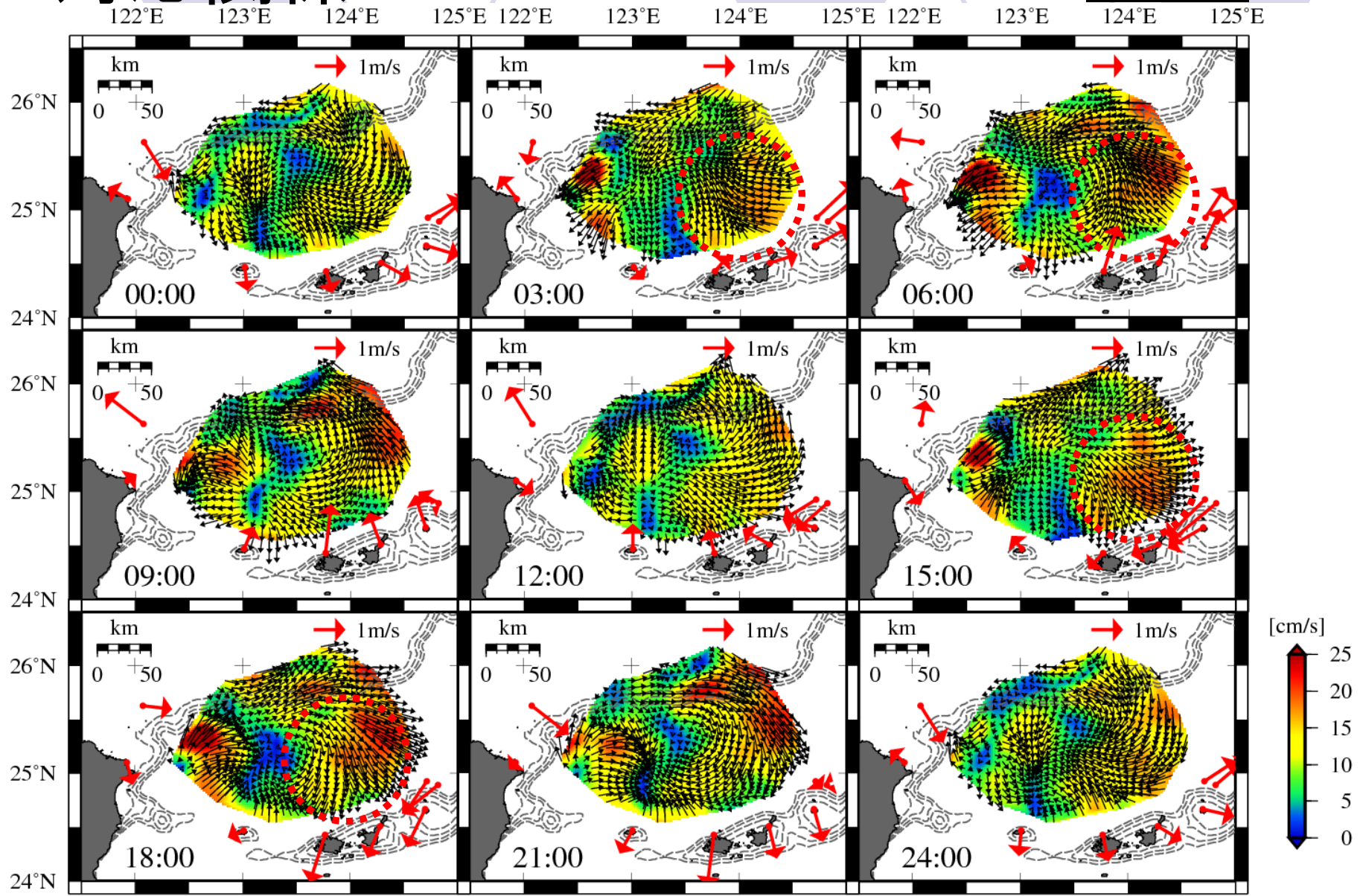
Anticlockwise comp.

台湾北東部における日周期表層流の変動特性

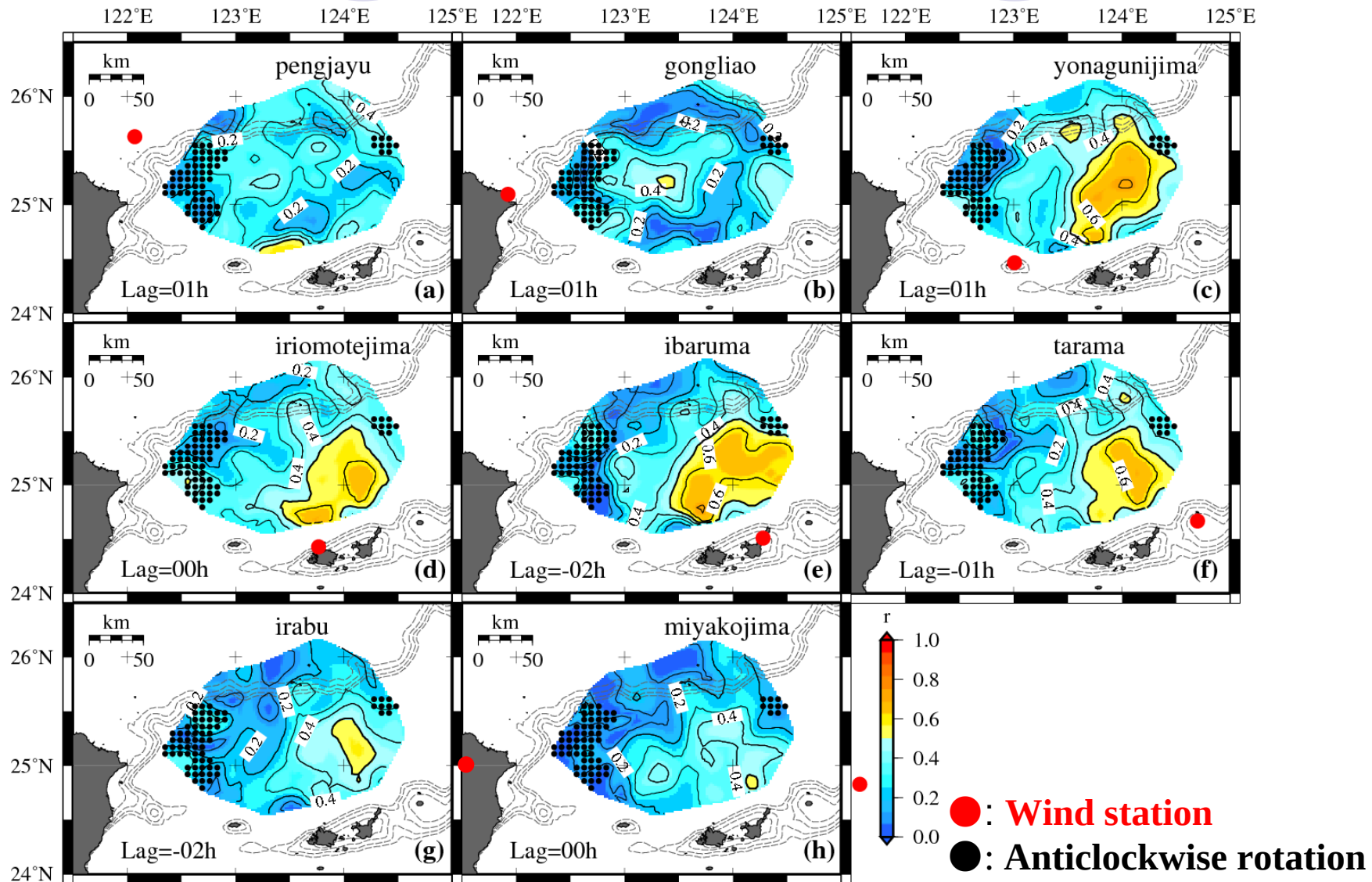


台湾北東部における海陸風と表層流の 対応関係

2002/07/03

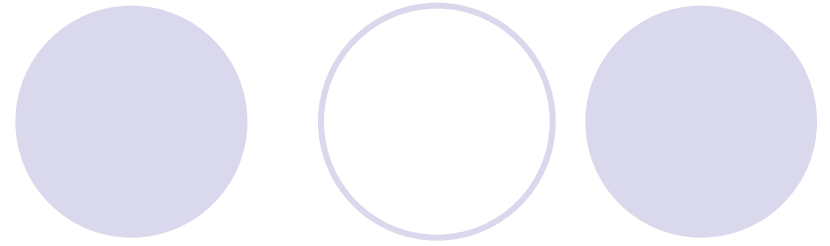
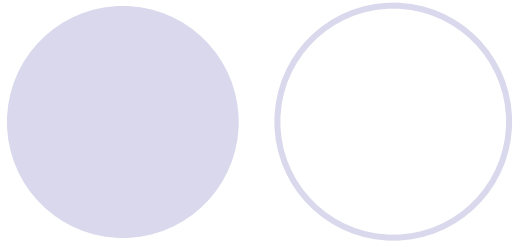


台湾北東部における海陸風と表層流の対応関係



まとめ

1. 台湾北東部周辺の島では、海陸風による日周期の風速変動が存在しており、特に与那国島から宮古島までの領域に生じる海陸風の変動は同期する傾向があった。
2. 台湾北東部では日周期の潮流を除去したにもかかわらず、日周期の表層流変動が存在しており、これらの日周期表層流変動は時計回りに回転する変動が卓越していた。
3. 黒潮域の外側では、日周期の時計回りの表層流変動が同期する傾向があり、これらの表層流変動は与那国島から多良間で生じる海陸風による風速変動と高い相関を示した。
4. これらの結果から、黒潮域の外側の日周期の表層流変動は、与那国島から多良間で生じる海陸風によって形成されたものであり、この海陸風は海岸から100－150km程度に及ぶ空間スケールを持つことが示唆された。



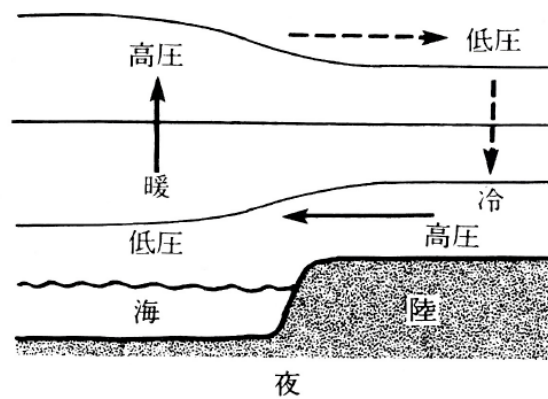
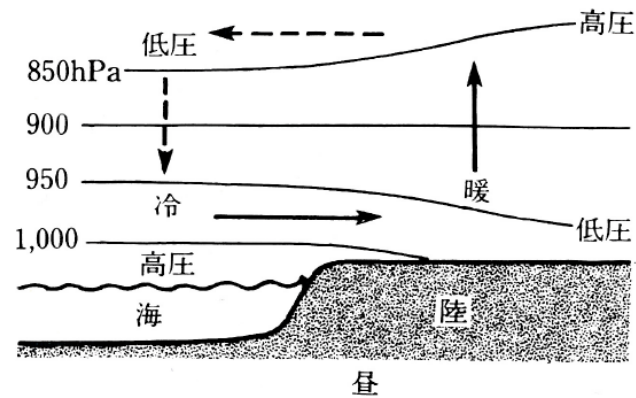
おわり

海陸風

●海陸風の特徴

海風

陸風



(b)海風・陸風時の気圧分布の模式図

図 2-13 海陸風系の形成機構

海面温度 < 陸地温度

海面温度 > 陸地温度

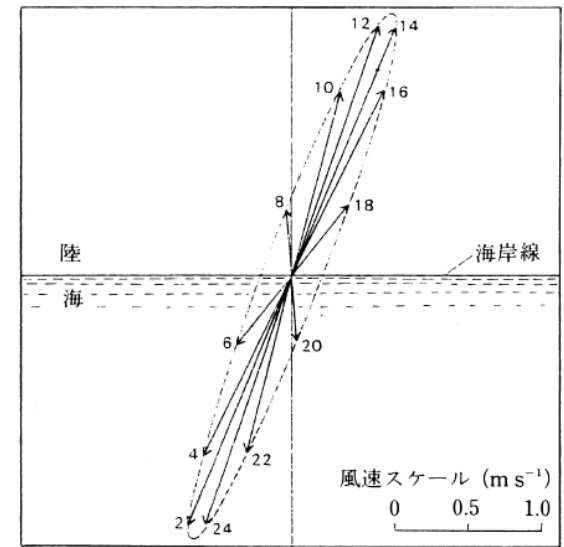


図 2-16 地表付近における海陸風のホドグラフ (Defant, 1951)
風速の目盛は海陸間の最大温度差 2°C に対応するものである。

台湾北東部における海陸風と表層流の対応関係

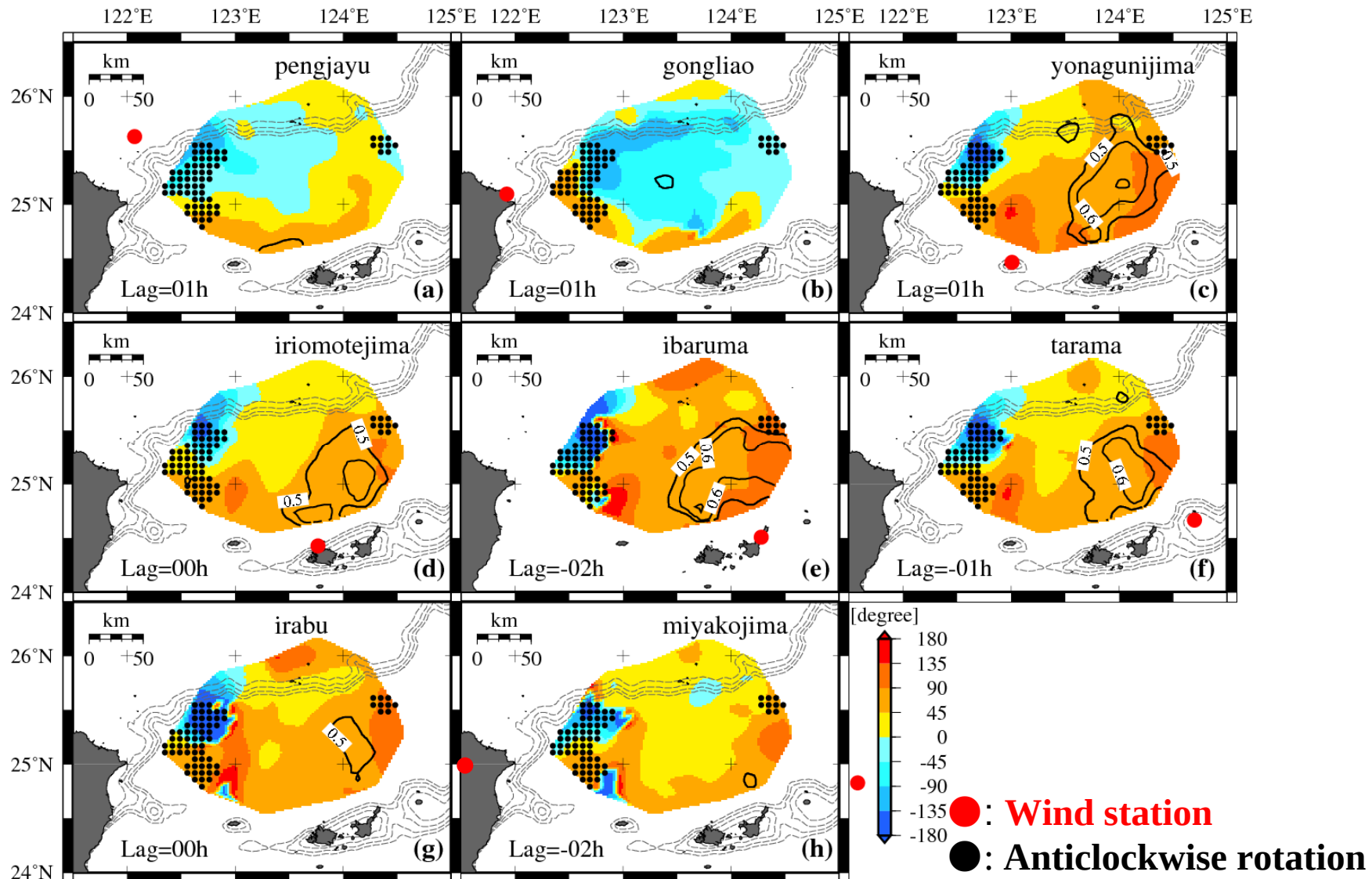




Figure 1 consists of four panels (a, b, c, d) showing wind vectors and sea surface temperature (SST) contours in the North Pacific. The x-axis is Longitude [°E] and the y-axis is Latitude [°N]. A scale bar indicates 5 ms⁻¹ for wind vectors.

- Panel (a) shows the observed SST field.
- Panel (b) shows the SST field with a dashed blue line indicating a specific feature.
- Panel (c) shows the SST field with a dashed blue line indicating a specific feature.
- Panel (d) shows the SST field with a dashed blue line indicating a specific feature.

Figure 5. Pure sea breeze event 3 August 2002: (a) 1200 UTC (0800 LDT), (b) 1600 UTC, (c) 1900 UTC, and (d) 2300 UTC.

HFレーダーによって得られた表層流の誤差

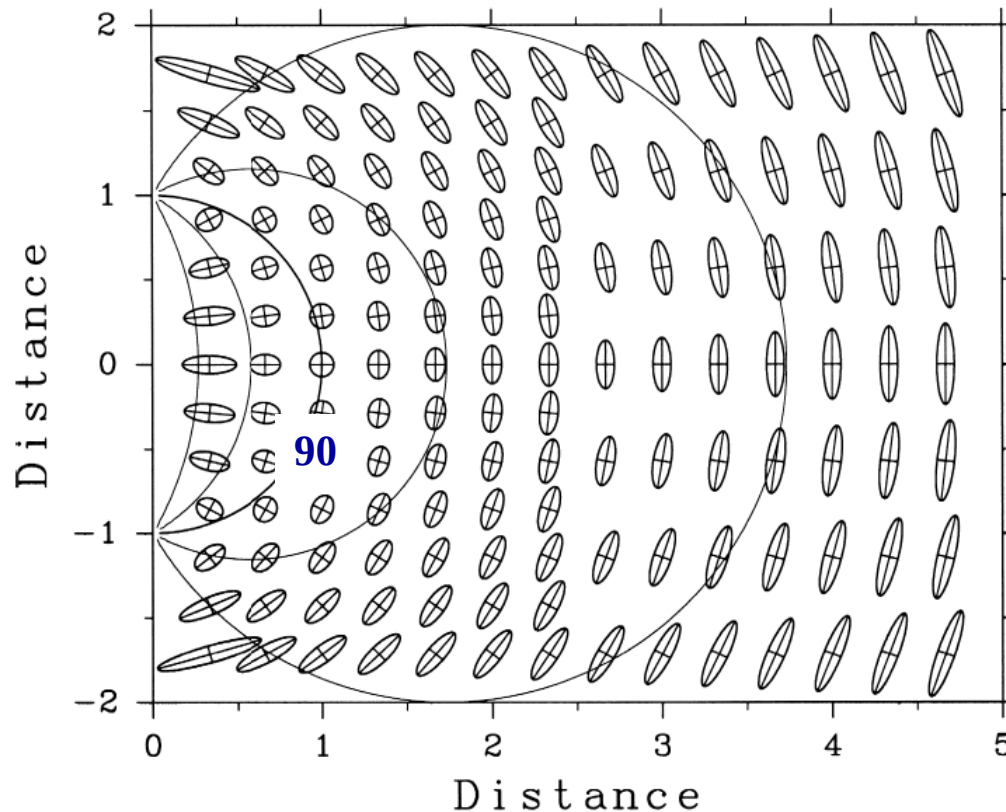
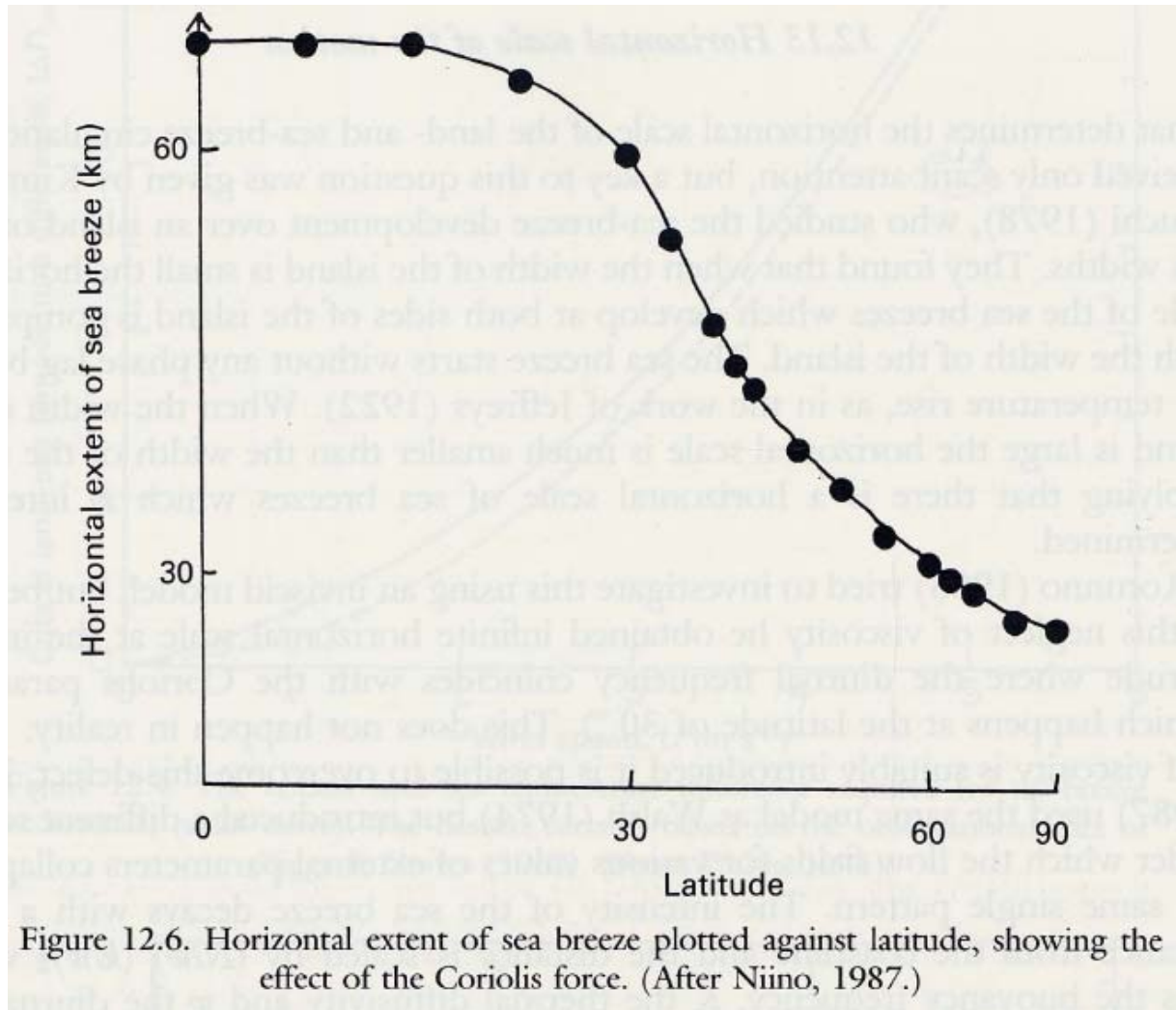


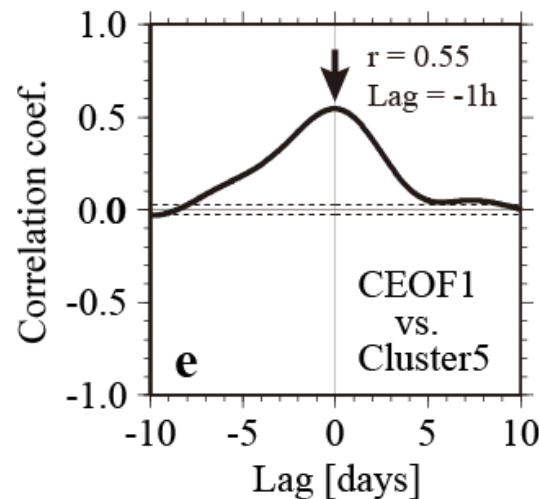
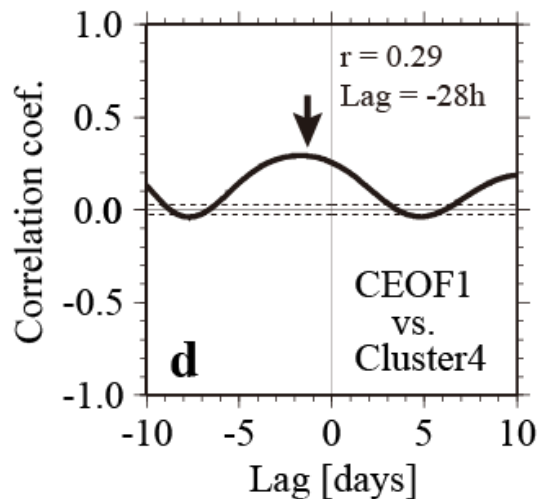
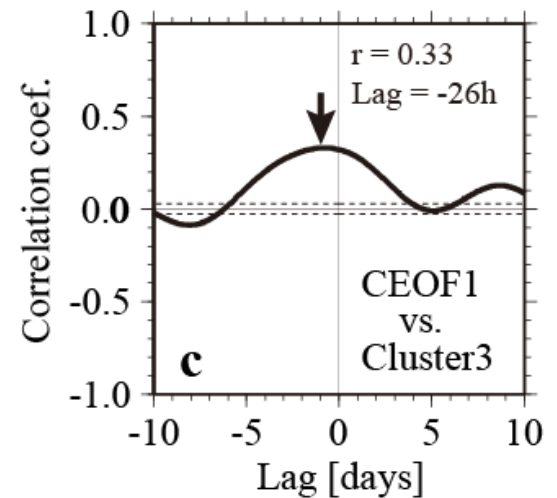
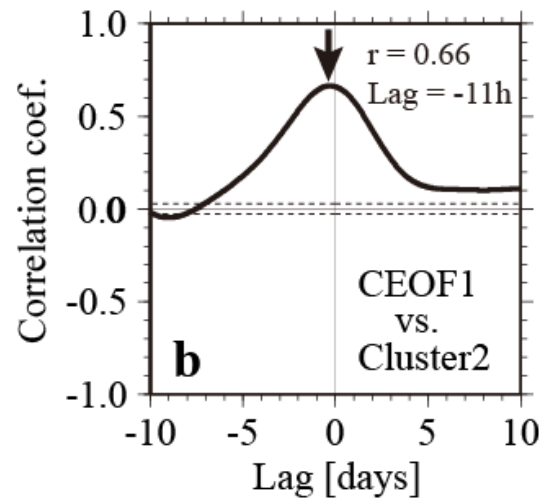
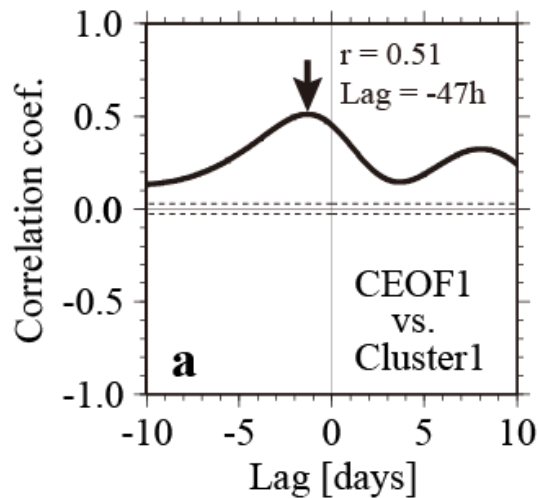
Fig. 3. Spatial change of error ellipse of current vector measurement with contour of the azimuthal difference between the radar beams. Two radars are located at $(0, \pm 1)$. Distance of 0.05 corresponds to velocity of σ_r . Contour interval is 30 deg (thick line: 90 deg).

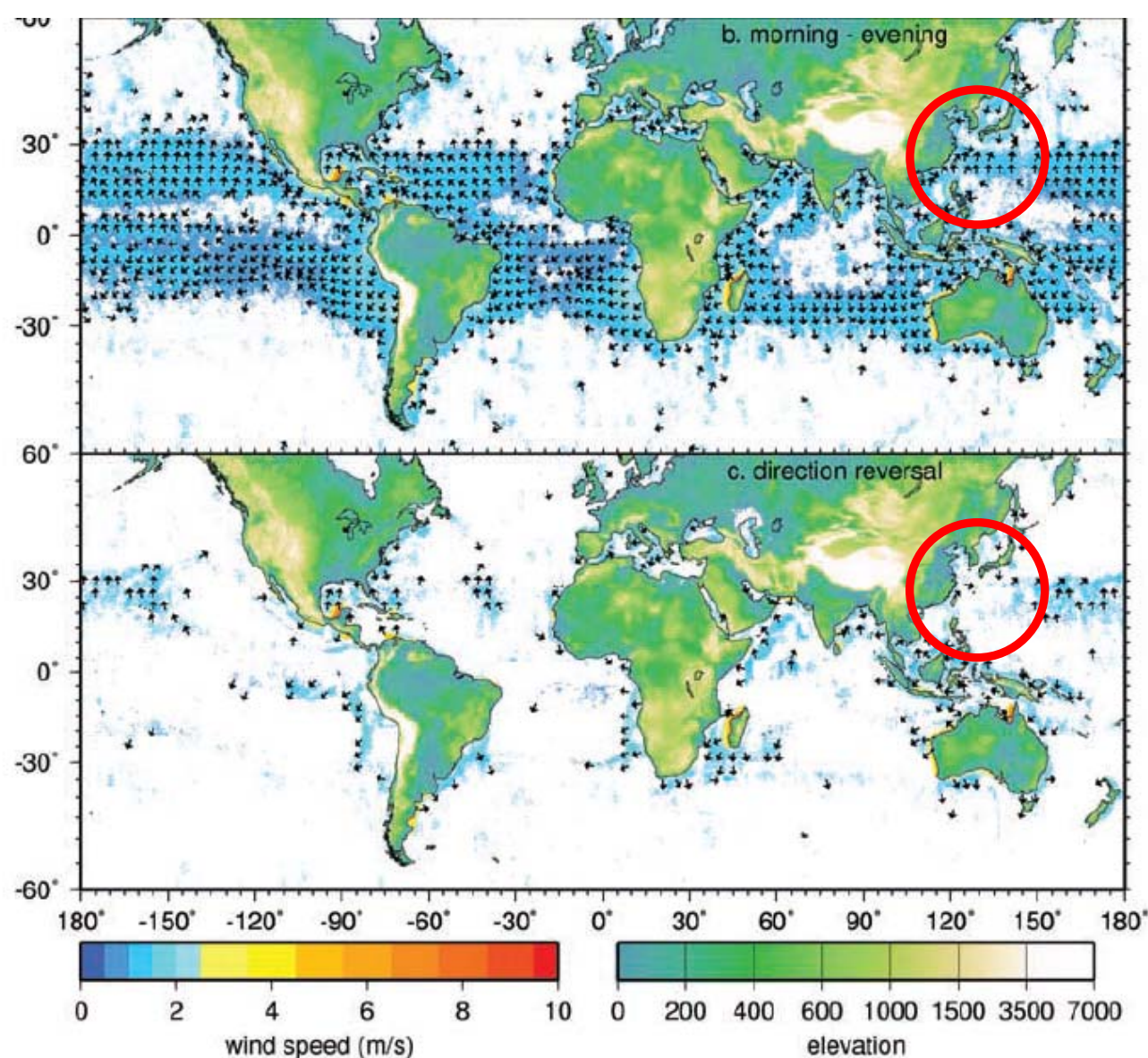
(Nadai et al., 1999)

沿岸域における海陸風の空間スケール



台湾北東部における海陸風と表層流の 対応関係





QuikSCAT

Gille et al. (2003)

Figure 2. Amplitude (color) and direction (vectors) of winds. (a) Average of mean morning and evening winds. (b) Mean morning minus evening winds. (c) As (b), but regions where the flow does not reverse are excluded. Wind velocity differences that are not statistically significant are shown as white. Vectors are plotted at 4 degree intervals, except in (a), where the zonal separation between vectors is 6 degrees. Landmasses are shaded to show elevation above sea level, based on the ETOPO2 data base.

海陸風の変動特性1

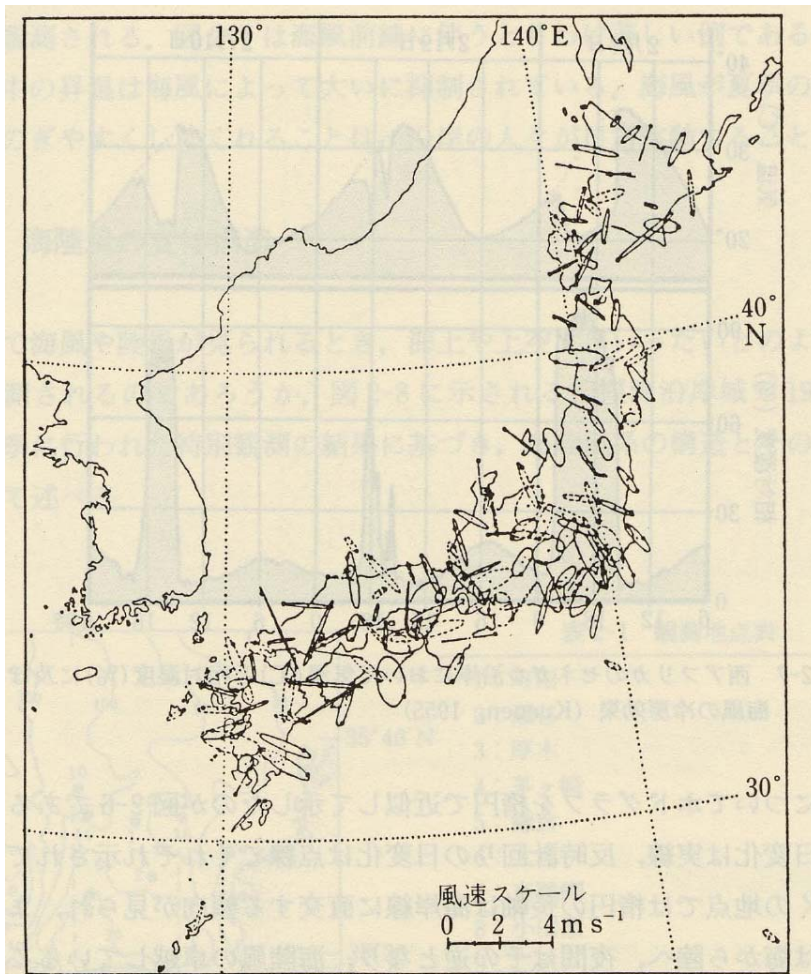
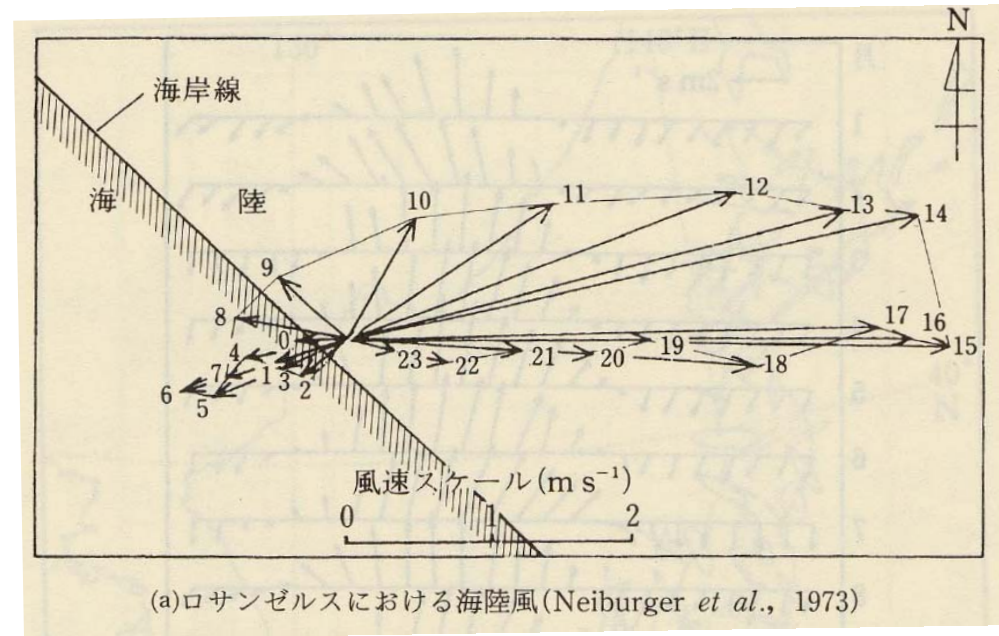


図 2-6 ペクトル平均風の 1 日周期成分の hodograph の日楕円 (森, 1983)



海陸風の変動特性2

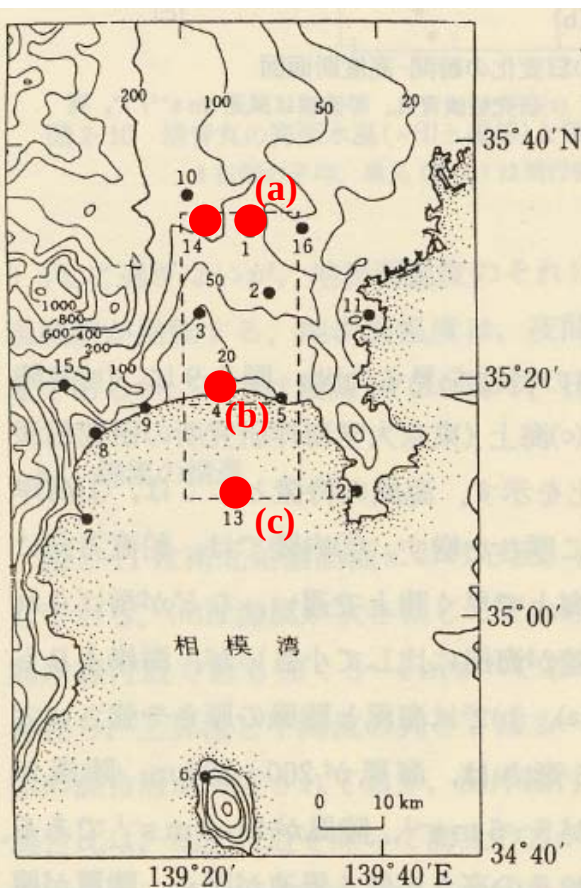


図 2-8 相模湾沿岸域の地形と観測点(黒丸)
観測点の番号は表 2-1 に示す。破線は飛行機観測における飛行航路。山地の等高線は 200 m 間隔。

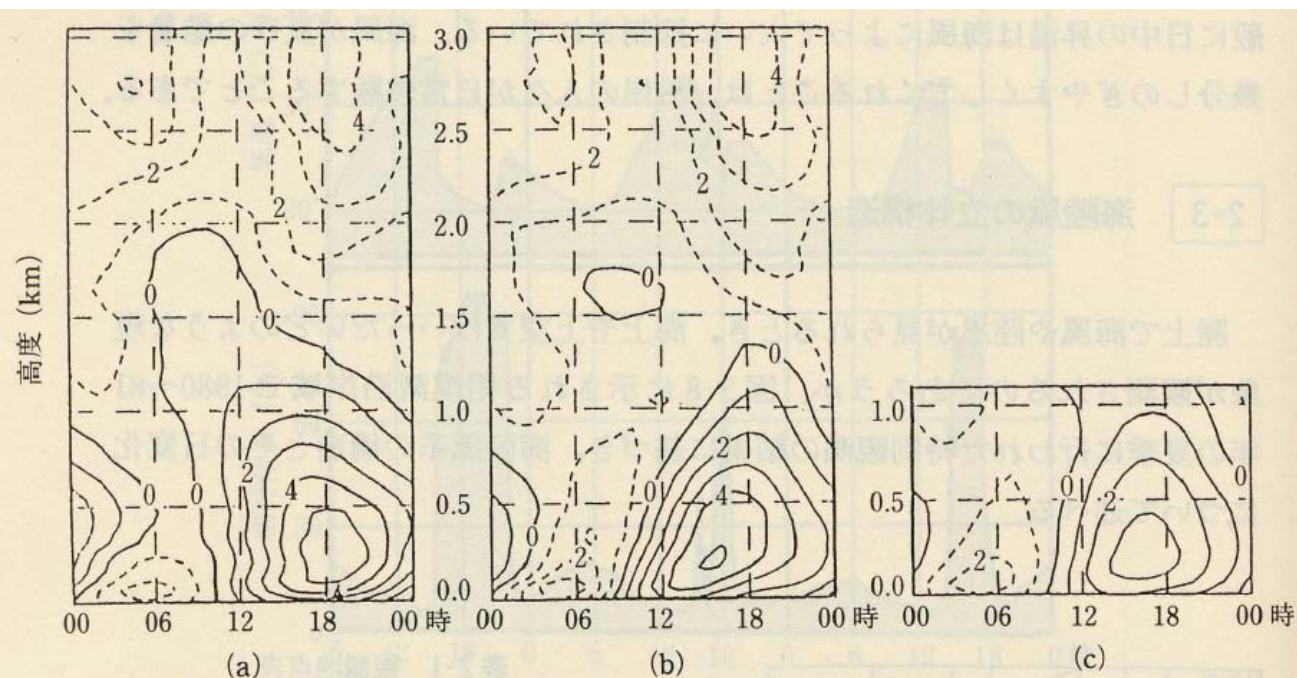
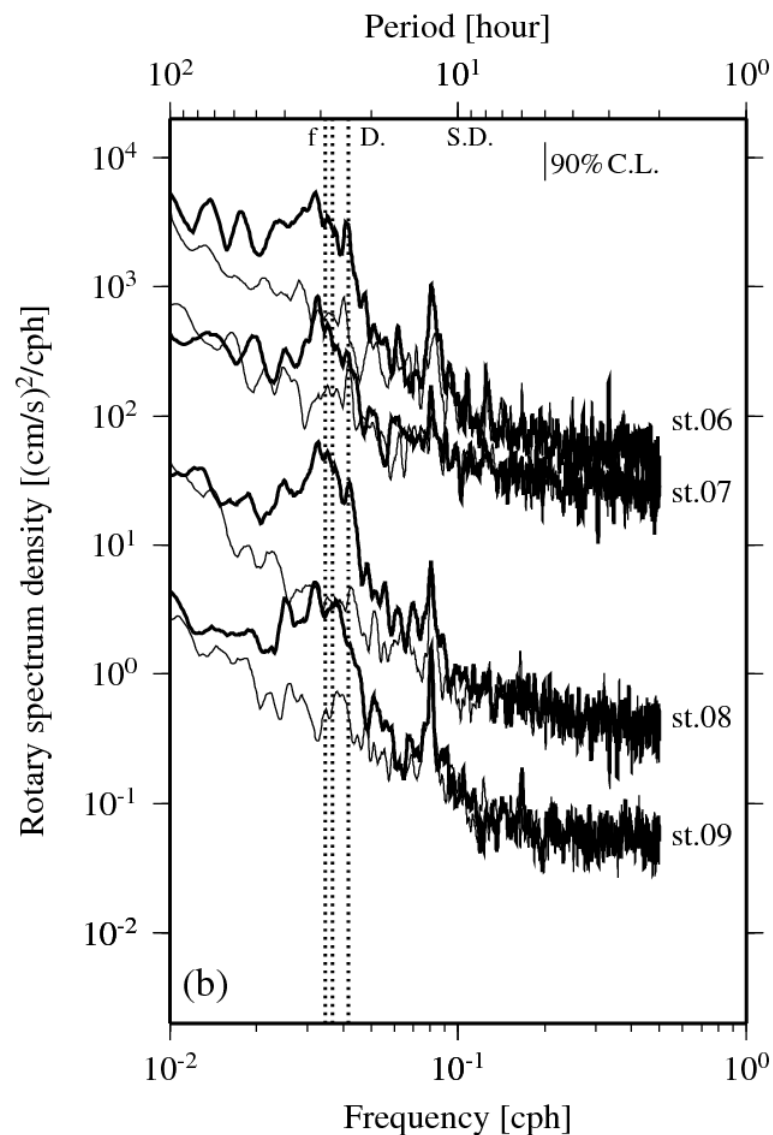
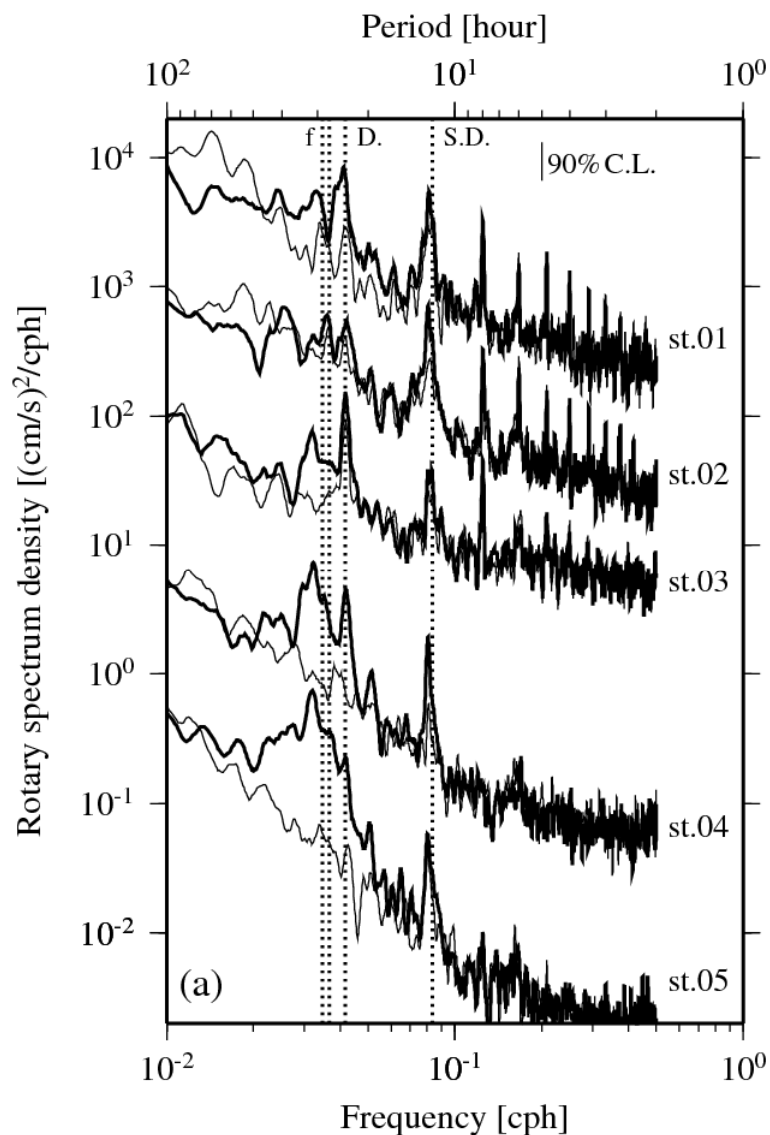


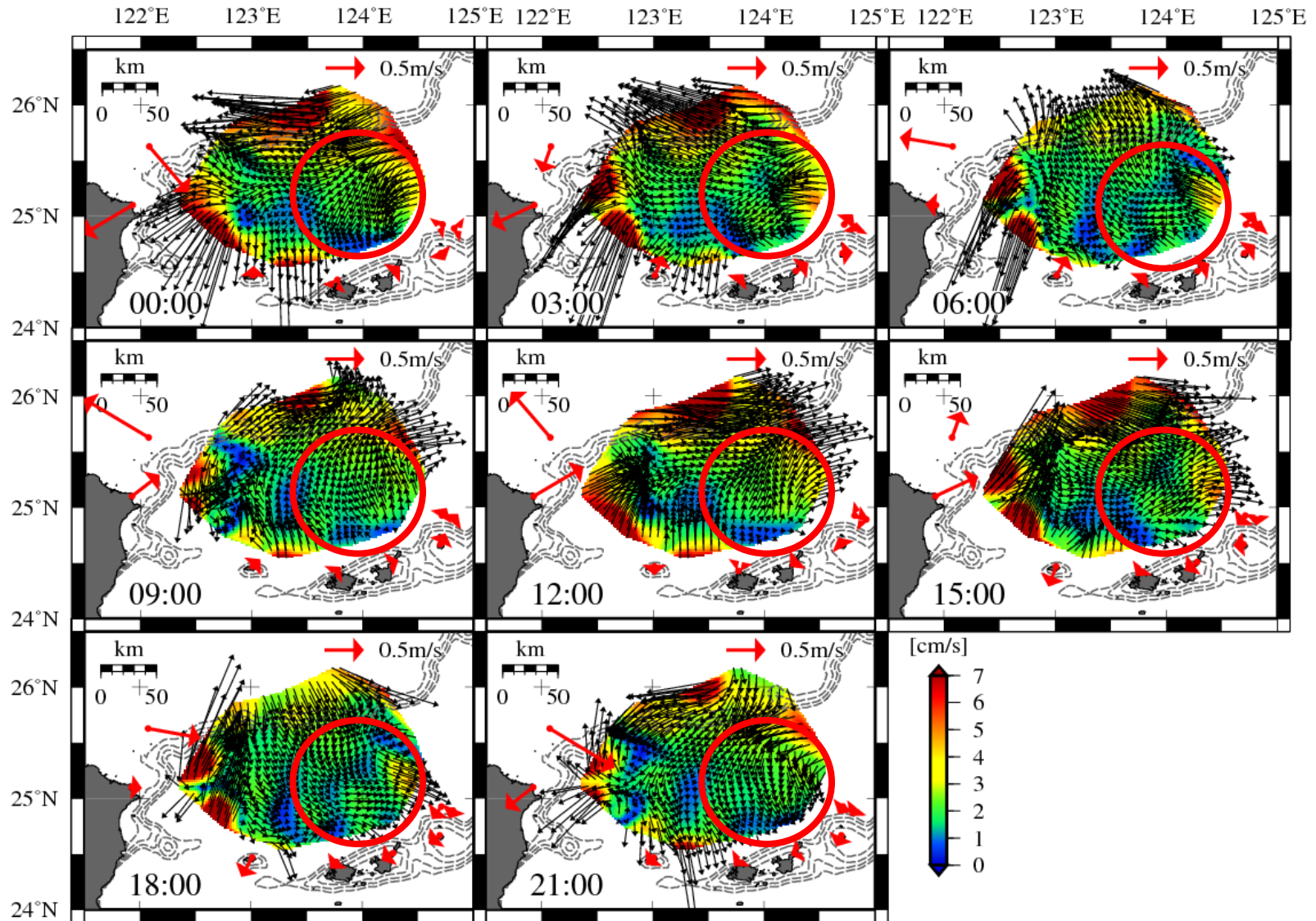
図 2-9 風の南北成分の日変化の時間-高度断面図

(a)町田(1980)と相模原(1981), (b)茅ヶ崎, (c)研究船淡青丸。等値線は風速(m s^{-1})で、実線は南風、破線は北風を表す。

調和分解による潮汐の除去



台湾北東部における海陸風と表層流の 対応関係



複素ラグ相関

$$R(r, \phi; \tau) = re^{i\phi} = \frac{\langle (V_1(t) - \langle V_1(t) \rangle)^* (V_2(t + \tau) - \langle V_2(t + \tau) \rangle) \rangle}{\langle |V_1(t) - \langle V_1(t) \rangle|^2 \rangle^{1/2} \langle |V_2(t) - \langle V_2(t) \rangle|^2 \rangle^{1/2}}$$

ここで、 r 、 ϕ 、 τ はそれぞれ相関係数、偏角、タイムラグを示している。また、 $V_1(t) = u_1(t) + iv_1(t)$ 、 $V_2(t) = u_2(t) + iv_2(t)$ はそれぞれ風速ベクトル、表層流ベクトル、*; 複素共役、 $\langle \rangle$; 平均値を示している。