

高解像度データを用いた北西太平洋における 海上風と海面水温場の関係に関する研究

森本直樹^{*1}・轡田邦夫^{*2}・笠原 実^{*3}

Study on Relationship between Surface Wind and Sea Surface Temperature Fields in the Northwestern Pacific using High Resolution Data

Naoki MORIMOTO, Kunio KUTSUWADA and Minoru KASAHARA

Abstract

Surface wind/wind-stress gridded data with high-spatial resolution are constructed by satellite scatterometer data and used to investigate whether there is a new type of relationships between surface wind and sea surface temperature fields in the northwestern Pacific region. The new data set of wind/wind-stress has spatial resolution of $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ grid, which is higher than that of the previous one ($1^\circ \times 1^\circ$) to detect detailed spatial features in the Kuroshio region south of Japan.

Results reveal that in the 12-month averaged (March 2003 to February 2004) field, areas of positive wind-stress curl and strong wind speed are found near the Kuroshio path south of Japan, and they have significantly high correlation with sea surface temperature anomaly (SSTA) field. These suggest a new type of ocean-atmosphere interaction mechanism that the ocean plays an active role rather than a passive one considered previously. Similar comparisons made for different time-averaged fields exhibit no evident relationships between the wind-stress curl or wind speed and SSTA.

1. はじめに

海上風により海洋に運動量が与えられ、海洋表層における海水を駆動させる。黒潮などの海洋循環系は海上風による海面応力に起因し、駆動される流量は風成大循環理論 (Sverdrup, 1947) に基づき、海面応力の回転鉛直成分 (以降 curl τ と記す) によって推定される。従って、正確な海流流量の推定には精度・解像度共に高い海上風データが必要である。これまで、海上風データは船舶やブイによって観測されてきた。船舶観測は航路沿いに集中し、ブイ測点は太平洋赤道域に集中しているため、どちらも空間的に不均一である。しかし、1990年代初めより人工衛星による海上風観測が実用化された。特に、米国 National Aeronautics and Space Administration (NASA) によ

て打ち上げられた衛星 Quik Scatterometer (QSCAT) は、搭載する SeaWinds マイクロ波散乱計により1999年7月以降現在まで、全球海洋上における高時空間解像度の海上風データを提供する。

全球洋上を対象とした衛星散乱計のみの海上風データを用い、荷重平均法 (Kutsuwada, 1998; Kubota et al., 2002) によって格子化された海上風及び海面応力格子データセットは、衛星データを使用した海面熱フラックス各成分と合わせて、Japanese Ocean Flux data sets with Use of Remote-sensing Observation (J-OFURO) として位置づけられている。我々はこれら海上風データに対する信頼度検証のために、現場観測であるブイデータを用いた精度検証を継続的に実施し、その結果、J-OFURO 海上風データ (以後 QSCAT-JO と略す) は QSCAT 海上風データを用いて格子化された Jet Propulsion Laboratory (JPL)

2005年9月14日受理

*1 東海大学大学院海洋学研究科海洋科学専攻 (Graduate School of Marine Science and Technology, Tokai University)

*2 東海大学海洋学部海洋科学科 (Department of Marine Science, School of Marine Science and Technology, Tokai University)

*3 セントラル コンピュータ サービス株式会社 (Central Computer Services Co., Ltd.)

により配信される level3 データ, Institut Francais de Recherche Pour l'Exploitation de la Mer (IFREMER) が作成・配信している日平均データに比し最良の精度であることを明らかにした (笠原ほか, 2003)。

最近, これら高解像度の衛星散乱計プロダクトから得られる海上風データより, 新たな大気-海洋相互作用機構の解明に向けた解析が成されるようになった。従来, 大気-海洋相互作用は海上風変動による海洋への作用, 例えば中緯度帯では偏西風の卓越によって, 海洋から潜熱が放出され海面が冷やされること, また海面応力が低気圧性の回転場を有するとき, エクマンポンピングを通じて亜表層から表層へと海水が輸送されること, その結果, 海上風場と海面水温場との間には負の相関があることなどが知られている。

一方, Chelton et al. (2004) による最近の研究では, 北西大西洋西岸境界流域において, QSCAT に基づく高解像度海面応力データによる1999年8月から2003年7月の4年平均のエクマンポンピングの場において, 各格子点で東西方向に 30° , 南北方向に 10° の海域移動平均した場を引くことによって大規模変動が除去された場を導出し, 帯状に存在する正の領域が湾流流路に相当する海面水温場の高温域に対応付けられることが指摘されている。また Xie (2004) は, 2001年4月~6月の3ヶ月平均場において, 日本沿岸の黒潮流路で海面水温場の高温域と風速場に正の相関関係があることを指摘した。これらの研究では, 西岸境界流域において海面水温が高い海域で大気鉛直混合が卓越し, 大気鉛直シアが弱まるため下層での風速が加速され, 反対に海面水温の低い海域では大気の成層効果が高まり, 下層風速が弱められるというメカニズムを通して, 海洋変動が大気の運動に影響をあたえるという能動的役割を果たすことを示唆するものである。これは従来大気変動が海洋を支配するという海洋が受動的役割を果たすという視点とは反対の考え方であることから, 注目を浴びている。

Chelton et al. (2004) では, 北大西洋西岸域での解析が主に行なわれたが, 本研究では太平洋の西岸境界流に相当する黒潮が存在する北西太平洋海域において, 同様に海洋から大気への作用が見られるのかに焦点を当て, 海上風速及び海面応力の回転 (curl) 場と海面水温場との関係に注目した解析を行った。海上風の詳細な分布を検出するため, 従来の QSCAT-JO 海上風データよりも高解像度のデータを作成し, 解析に用いた。

2. 使用データ

2.1 海上風データ

(1) QSCAT/SeaWinds

衛星 QSCAT は, NASA により1999年6月に米国カリフォルニア州にて打ち上げられ, 搭載された SeaWinds

マイクロ波散乱計により, 1日で全球の海水を除いた90%以上の海域を観測することが可能である。また SeaWinds の公証測定精度は風速 $3\text{--}20\text{m/s}$ のとき $\pm 2\text{m/s}$ (RMS) である。本研究において, 米国カリフォルニア工科大学 JPL 内の The Physical Oceanography Distributed Active Archive Center (PO-DAAC) によって処理された 10m 高度に補正され, 約 25km ごとの衛星軌道に沿った観測値である Level 2B データを, 海面応力格子データ作成の際に使用した。

(2) 現場観測データ

現場観測データとして TAO/TRITON ブイ, NDBC ブイ, KEO ブイを使用した。TAO/TRITON ブイは主に赤道海域に展開され, 米国海洋大気庁 (National Oceanic and Atmospheric Administration: NOAA) の太平洋海洋環境研究所 (Pacific Marine Environmental Laboratory: PMEL) と海洋研究開発機構 (Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology) によって管理されている。NDBC ブイは主に米国の沿岸に分布し, 米国データブイセンター (National Data Buoy Center: NDBC) によりデータが配信されている。

Kuroshio Extension Observatory (KEO) ブイは2004年6月に東経 144.5° , 北緯 33.3° の測点設置され北西太平洋中緯度海域における貴重なブイデータを提供する。本研究では NOAA/PMEL により提供される Hourly データを使用した。なお, データの存在期間は2004年6月16日以降現在までである。

本研究におけるブイデータは, 大気安定度を考慮した Liu et al. (1979) に基づく通称 LKB-3 の方法によって中立状態, 海面上 10m 高度における風速値に換算している。

2.2 海面水温データについて

東北大学大気海洋センターによって提供される Merged Sea Surface Temperature (Merged SST) データを使用した。これは衛星赤外観測データとマイクロ波放射計データを客観的な手法で融合した雲無し条件下で, 東経 $116^\circ\sim 166^\circ$, 北緯 $13^\circ\sim 63^\circ$ の海域における高空間解像度 (0.05° 格子) を有する水温データである。データの存在期間は2003年3月以降現在までである。

一般的な西岸境界流の幅に相当する 100km より格子間隔の粗いデータセットを使用した場合, 海面水温を用いて黒潮流路を特定することが困難である。このため QSCAT-JO に比べデータの存在期間が短いものの, 0.05° 格子という高空間解像度であることを重視し, 詳細な水温分布の検出を目的として本研究ではこのデータを用いた。

3. データ処理方法

3.1 格子データの作成方法

衛星散乱計データは衛星直下での海域を観測するため,

データが衛星軌道に集中する結果、データ密度の空間分布は必然的に不均一となる。そのため単純に平均操作を行なって格子データを作成すると、衛星軌道に起因するデータ数の偏在が不可避であり、エリアジング等を生む可能性がある。こうした問題を避けるため、以下の式で表される荷重平均法 (Kutsuwada, 1998) を用いて海上風および海面応力格子データを作成している。

$$\begin{aligned} \text{時間方向: } E(t) &= \exp\left(\frac{-t^2}{288}\right) & |t| \leq 36 \text{ (h)} \\ E(t) &= 0 & |t| > 36 \text{ (h)} \\ \text{空間方向: } W(r) &= \frac{(R^2 - r^2)^4}{(R^2 + r^2)^4} & r \leq R \end{aligned}$$

ここで E および W はそれぞれ時間・空間の荷重、 t は各日の正午を基準とした QSCAT の観測時刻との時間差、 R は影響半径、 r は格子点からの距離である。

3.2 海面応力および $\text{curl}\tau$ の導出

QSCAT Level 2b データより、バルク法を用いて海面応力を計算した。バルク法では 10m 高度補正值を用い、10分間平均値を入力する。衛星散乱計データは瞬間値であるが、10分平均値とみなして以下の式で表される。

$$\vec{\tau}_y = \rho C_D W \vec{W}_y \quad \vec{\tau}_x = \rho C_D W \vec{W}_x \quad \tau = \rho C_D W^2$$

ここで W は海上風のスカラー成分、 W_x および W_y はそれぞれ海上風ベクトルの東西・南北成分、 ρ は大気密度で太平洋での平均気圧・気温より算出された緯度・月に依存する値を用いた。また C_D は抵抗係数であり、大気安定度を中立と仮定した場合の Large and Pond (1981) による以下の値を使用した。

$$\begin{aligned} C_D &= 1.4 \times 10^{-3} & (0 < W < 10 \text{ m/s}) \\ &= (0.49 + 0.065 W) \times 10^{-3} & (10 < W < 26 \text{ m/s}) \\ &= 2.18 \times 10^{-3} & (W < 26 \text{ m/s}) \end{aligned}$$

$\text{curl}\tau$ の算出は、格子化された海面応力データより、下記の式によって表される。

$$\text{curl}\tau|_z = \frac{1}{R \cos \phi} \frac{\partial \tau_\phi}{\partial \lambda} - \frac{1}{R} \frac{\partial \tau_\lambda}{\partial \phi}$$

ここで、 τ_ϕ 、 τ_λ はそれぞれ海面応力の経度・緯度方向の成分、 R は地球の半径、 λ および ϕ は経度および緯度を表す。

3.3 QSCAT-JO0.5° 格子データ作成

従来の QSCAT-JO は格子間隔が 1° 格子のデータであったが、特に日本南岸の黒潮流域における $\text{curl}\tau$ 場の空間的特性をより詳細に見ることを目的に、0.5° 格子のデータを作成した。データ作成に関して、時間荷重は基準日の正午から ±36h、空間荷重は QSCAT-JO1° 格子データの 2 分の 1 に相当する東西・南北それぞれ 150km・75km の基準測点を中心とした影響半径より日平均データを算出した。JPL は QSCAT データの沿岸から約 100km 以内における観測精度が低下すると報告しているが、本研究では QSCAT-JP の沿岸域の精度について議論しないため、陸部のみ欠測として扱っている。

3.4 QSCAT-JO0.5° 格子データの検証

衛星散乱計での観測は間接的であるため、その精度を検証する必要がある。従来の QSCAT-JO1° 格子データについては武田 (2002) により精度検証が行なわれており、

Table 1. Statistical values (correlation coefficient, mean difference and root-mean-square (RMS) difference) for the zonal and meridional components of wind stress between the KEO buoy and Qscat (J-OFURO) 0.5° product.

<i>vs KEO</i>		<i>Corr. Coeff</i>	<i>Mean. Diff (N/m²)</i>	<i>RMSD (N/m²)</i>
Zonal Wind Stress	32N144W	0.87	0.014	0.03
Meridional Wind Stress		0.80	0.003	0.02
<i>vs NDBC</i>		<i>Corr. Coeff</i>	<i>Mean. Diff (N/m²)</i>	<i>RMSD (N/m²)</i>
Zonal Wind Stress	43N130W	0.95	0.002	0.015
Meridional Wind Stress		0.97	−0.013	0.022
Zonal Wind Stress	46N131W	0.98	0.004	0.011
Meridional Wind Stress		0.98	−0.006	0.018
<i>vs TAO/TRITON</i>		<i>Corr. Coeff</i>	<i>Mean. Diff (N/m²)</i>	<i>RMSD (N/m²)</i>
Zonal Wind Stress	0 180W	0.97	0.004	0.006
Meridional Wind Stress		0.92	−0.001	0.015
Zonal Wind Stress	8N170W	0.93	−0.005	0.013
Meridional Wind Stress		0.92	0.000	0.010

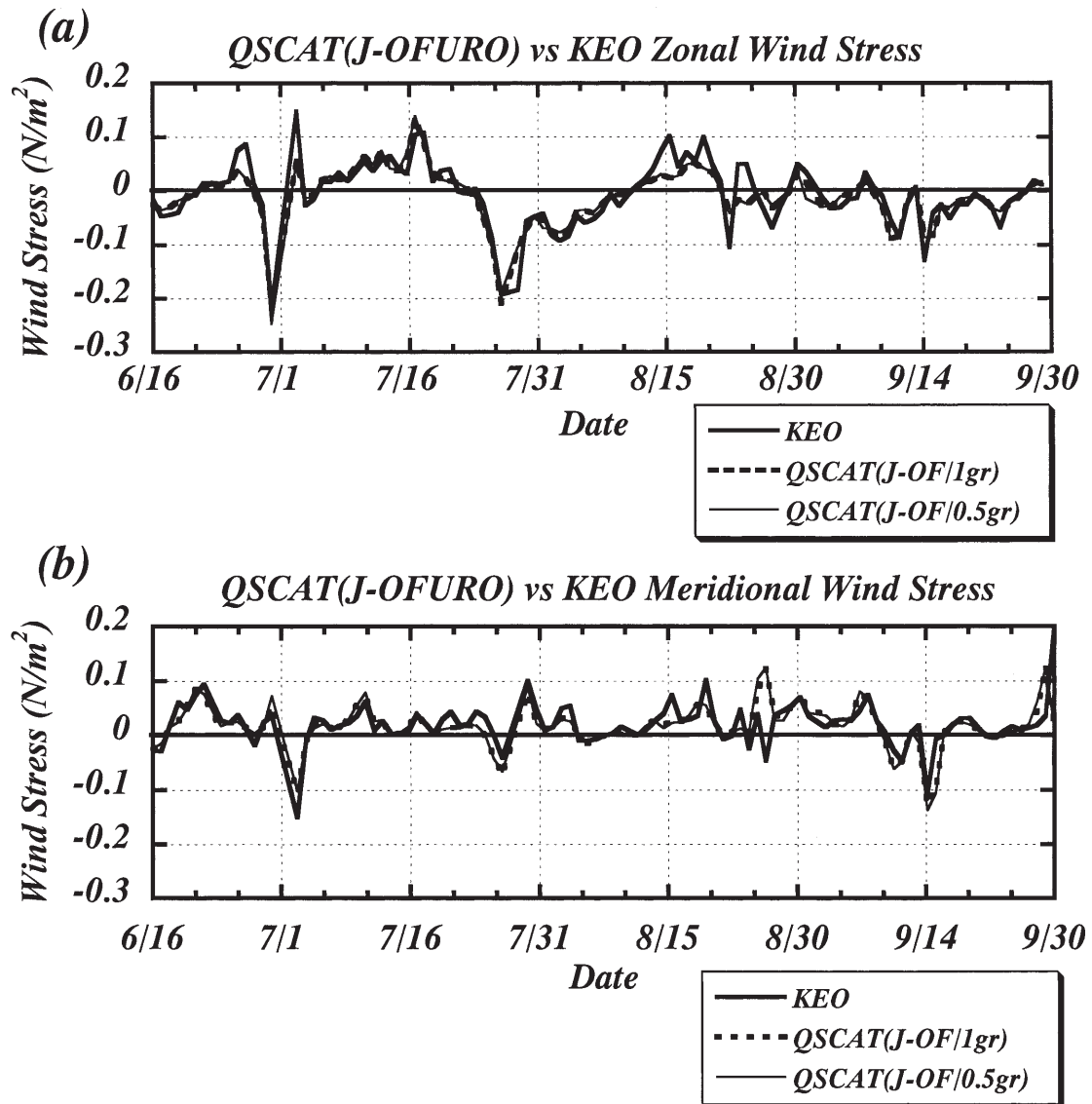


Figure 1. Time series of the zonal(a) and meridional(b) components of wind stress. Thick solid, broken and thin solid lines depict values by the KEO buoy, Qscat 1-degree and Qscat 0.5-degree products, respectively.

主に赤道域に分布するブイデータと比較して RMS 差が $\pm 1 \text{ m s}^{-1}$ 以内と、非常に高精度のデータであることが示されている。同様に QSCAT-JO0.5° 格子データについても NDBC, TAO/TRITON ブイを用いて精度検証された(笠原ほか, 2003)。また北西太平洋に2003年から新たに KEO ブイが設置された。同海域での精度を確認するため、KEO ブイ Hourly データを1日平均したものを真値として比較を行った。ただし、KEO ブイは現在提供されている Hourly データの個数が少ないため、存在するデータ期間に依存する精度を持つデータである。このため、今回の検証ではブイデータが極端に少ない、或いは特定の時刻に集中している日は欠測とした。

各ブイを真値とする QSCAT-JO0.5° 格子データの東

西・南北海面応力の相関係数、平均差、RMS 差の一例を Table 1 に記す。QSCAT-JO0.5° 格子データの精度は、TAO/TRITON, NDBC ブイとの比較結果により QSCAT-JO1° 格子データとほぼ同等の高い精度を持つことが確認された。また KEO ブイとの比較結果は、他のブイと比べて RMS 差が大きくなるものの、変動場は良く表されているため、本研究においては、より空間解像度の高い QSCAT-JO0.5° 格子データを使用して $\text{curl} \tau$ 場の解析を行なった。

4. 結果および考察

2003年3月～2004年2月の1年間における平均海面水温場 (Fig. 2a) を見ると、北向きへ次第に低下する南北方

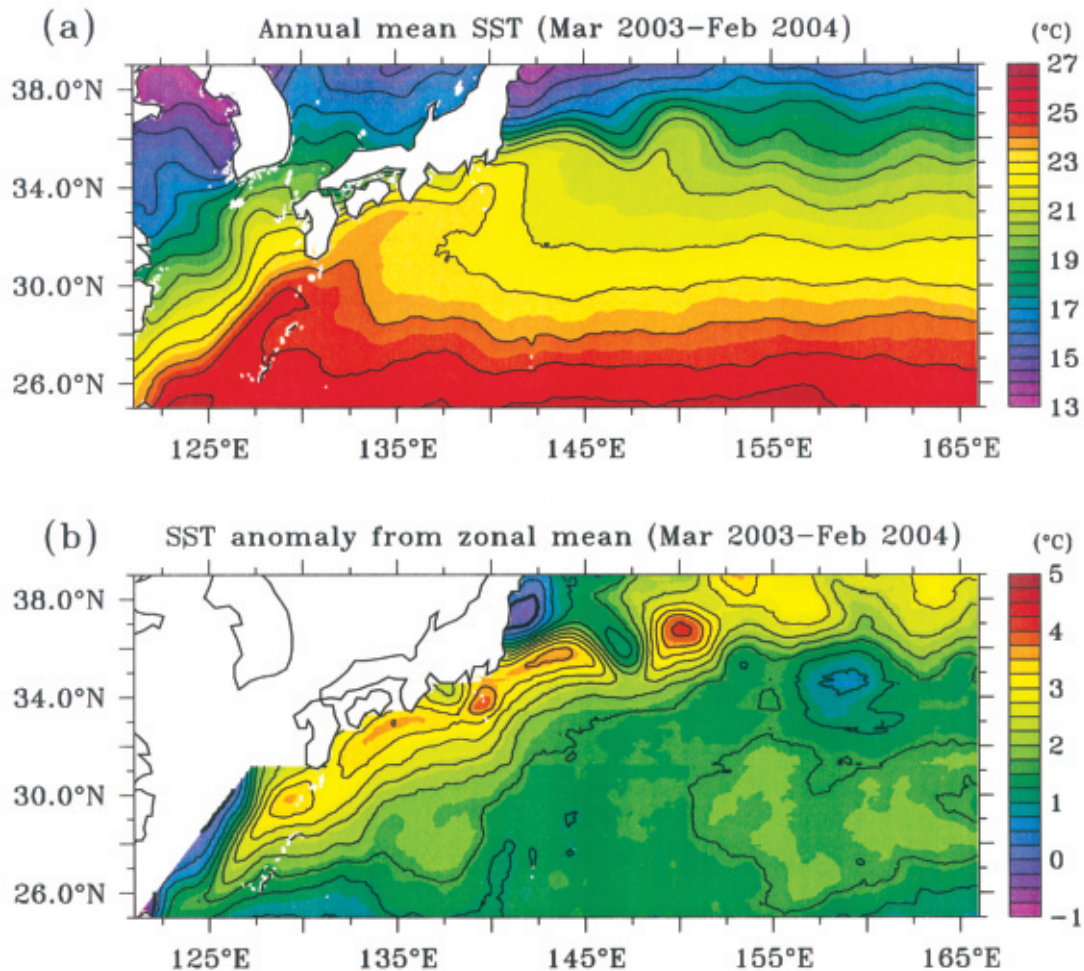


Figure 2. Distributions of 12-month average (March 2003 to February 2004) field(a) and SST anomalies in which zonal means are removed(b). These are derived by the Merged SST (sea surface temperature) data set.

向の水温勾配が支配的に見られる。これは、海面を通した熱フラックスによる加熱・冷却効果に起因していると考えられ、本研究で注目する海上風に関する空間特性とは無縁と考えられる。そこで、日本南方における黒潮流路に相当する海面水温場高温域を抽出することを念頭におき、東シナ海および日本海を除く121°E～166°Eの海域において、各緯度における緯度平均値からの偏差を求めた。その1年平均場 (Fig. 2b) を見ると、日本南方における黒潮流路沿いに高水温偏差域が顕著に見られる。これと $\text{curl}\tau$ 場との間の空間的な関係をより明確にするために、同一図中にカラー (水温偏差) と等値線 ($\text{curl}\tau$) によってそれぞれの分布をプロットした結果 (Fig. 3a), 高温域に対応する黒潮流路上において正の $\text{curl}\tau$ をもつ海域が明瞭に認められた。Chelton et al. (2004) は、1999年7月～2003年8月の期間において、各格子点で東西方向に30°, 南北方向に10°の海域移動平均値を引くことによって総観規模スケールを抽出したエクマンポンピング (中緯度海域では $\text{curl}\tau$

とほぼ同等) の場を同時期における海面水温場と比較し、正の $\text{curl}\tau$ をもつ海域が高水温域に対応することを指摘した。本研究は、ほぼ同様な対応関係が日本南方の黒潮海域にも見られることを示している。さらに水温の高温域との間に統計的な対応があるのかを検証するため、 $\text{curl}\tau$ と水温偏差場に対してそれぞれ標準偏差で規格化した後、散布図 (Fig. 4a) を作成した。また両者の関係に海域依存性が存在するのかを確かめるため、海面水温場の高温域が日本沿岸から離れる145°Eを境に東西に分けてプロットし、両者の間の相関関係にも注目した。その結果、明確な海域依存性は確認できなかったが、有意な正の相関があることが確認された (Table 2)。

次に、Xie (2004) によって指摘されているスカラー風速と海面水温場との関係についても検証するため、風速の12ヶ月平均場 (Fig. 3b) との対応を見た。その結果、高水温域において相対的に風速が強まる傾向が見られるといった対応関係が認められた。各格子点間での相関より求め

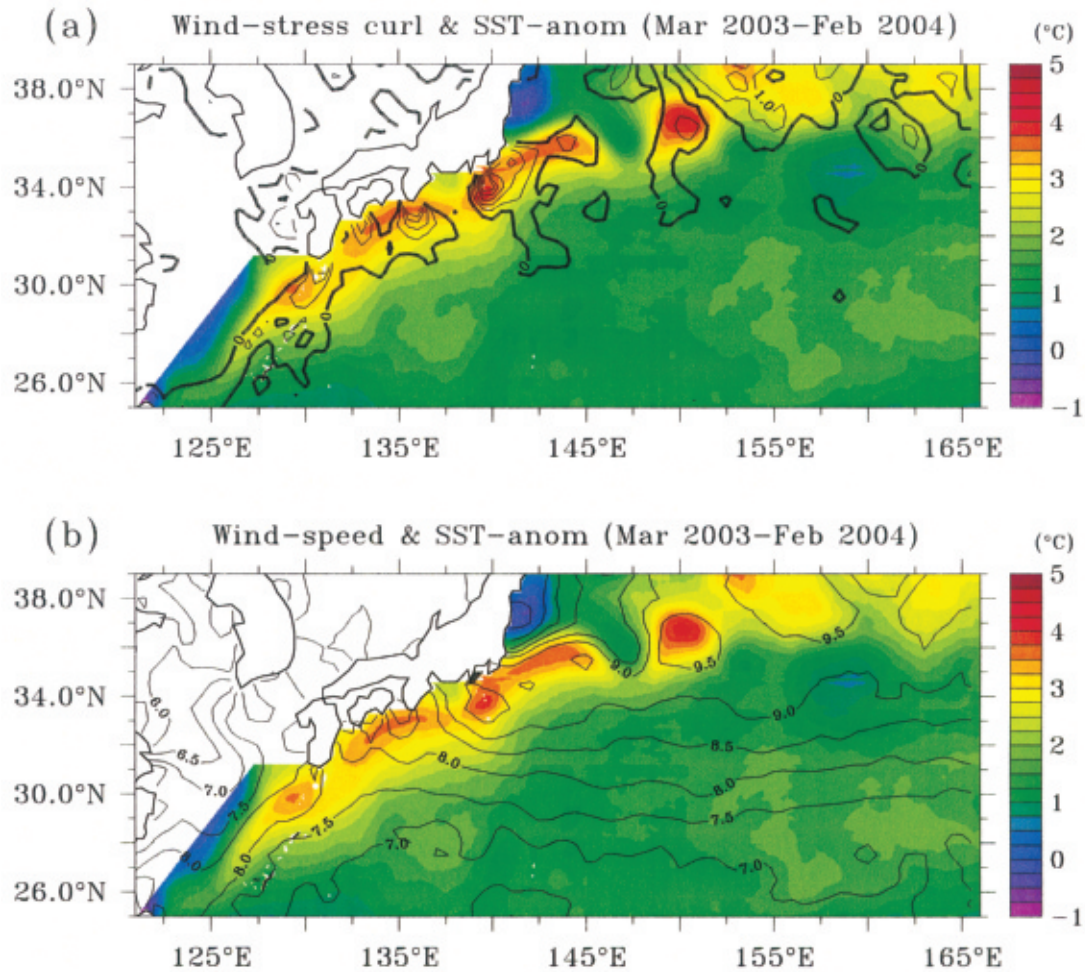


Figure 3. Distributions of 12-month average (March 2003 to February 2004) fields. Wind-stress curl(a) and wind speed(b) are indicated by contours, and SST anomalies in which zonal means are removed are depicted by colors.

た統計値では、Table 2に見られるように正相関を示しているが、散布図 (Fig. 4b) を見ると145°E 以東の海域は以西の海域に比べて、高風速域で正相関が見られるが、水温偏差0°C 付近で無相関の格子点が Fig. 6a に比べて多く見られた。これより、海面水温場との対応関係において、風速場は curl τ 場に比し、強い海域依存性を持つことが示唆

Table 2. Correlation coefficients between wind stress curl and wind speed fields and sea surface temperature anomaly field. They are calculated for 3-month averages and yearly average.

	Wind-stress curl	Scalar Wind
3-5	0.35	0.15
6-8	0.52	0.55
9-11	0.17	0.75
12-2	0.40	0.13
yearly	0.54	0.39

される。

上記では、12ヶ月平均場における curl τ 場および風速場と、水温偏差場との間に共に対応関係が見られることが示唆された。これらの関係に季節依存性があるのかをみるため、それぞれ3ヶ月ごとの平均場を作成し、同様な各格子点間での相関を求めた。その結果、curl τ および風速場では、2003年3月以降の3ヶ月平均場のすべてにおいて、水温偏差場との間に正の相関関係が認められた (Table 2)。しかしその時期的な特徴は、curl τ と風速場に対して同様には検出されなかった。特に9～11月の平均場において、curl τ (Fig. 5a) には正の分布が145°E 以西で黒潮流路に沿って広く見られるが、散布図 (Fig. 6a) で見るとその相関は高いとは言えない。逆に風速場 (Fig. 5b) では、12ヶ月平均場と類似した分布が見られ、散布図 (Fig. 6b) を見ても高い正相関を示した。また、12月～2月の平均場では、curl τ 場 (Fig. 7a) に日本沿岸に帯状の正の領域が見られ、散布図 (Fig. 8a) を見ても高い正相関を示

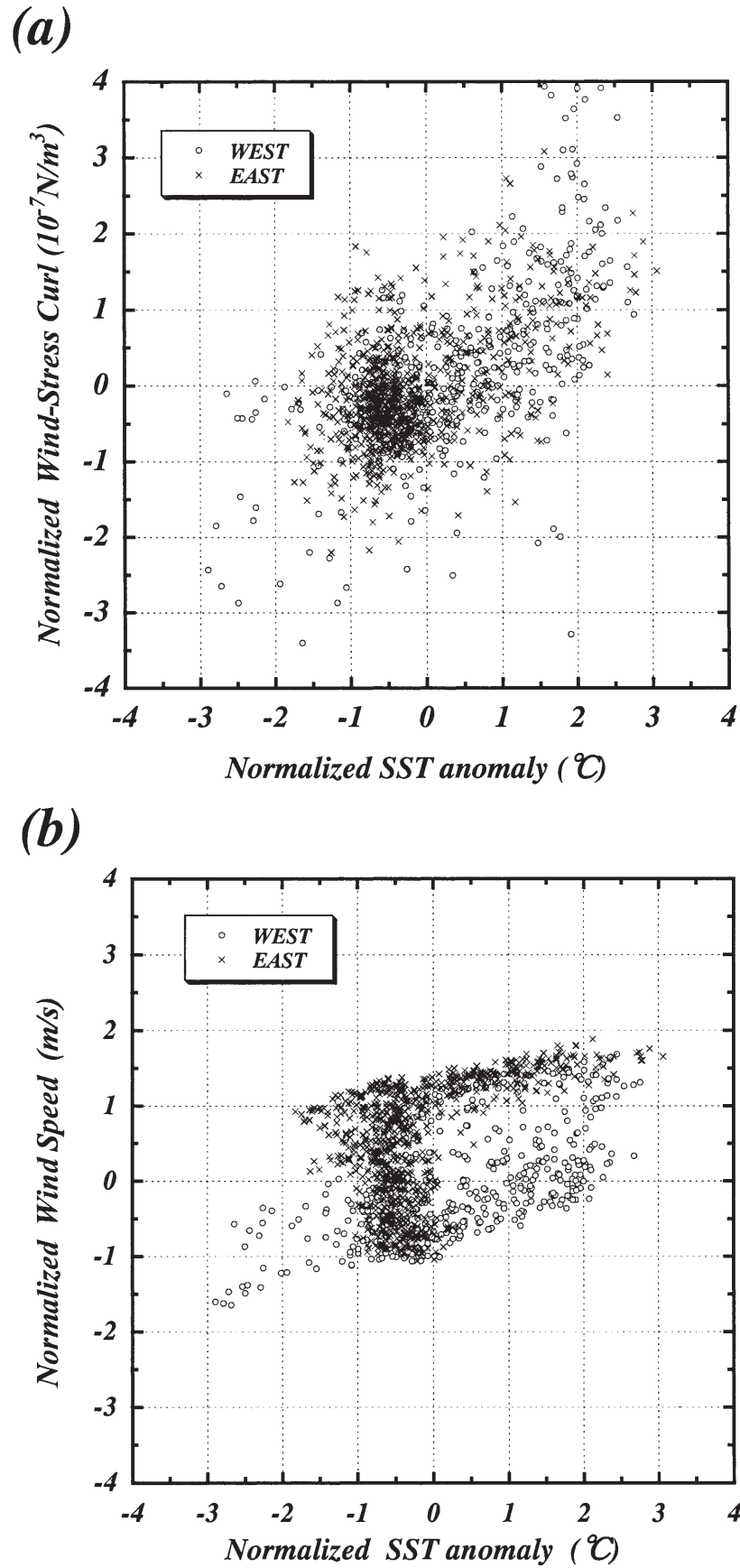


Figure 4. Scatter diagrams between SST anomaly and wind-stress curl(a) and between SST anomaly and wind speed(b) in 12-month average (March 2003 to February 2004) fields. The values in areas west of 145°E and east of 145°E are marked by open circles and crosses, respectively.

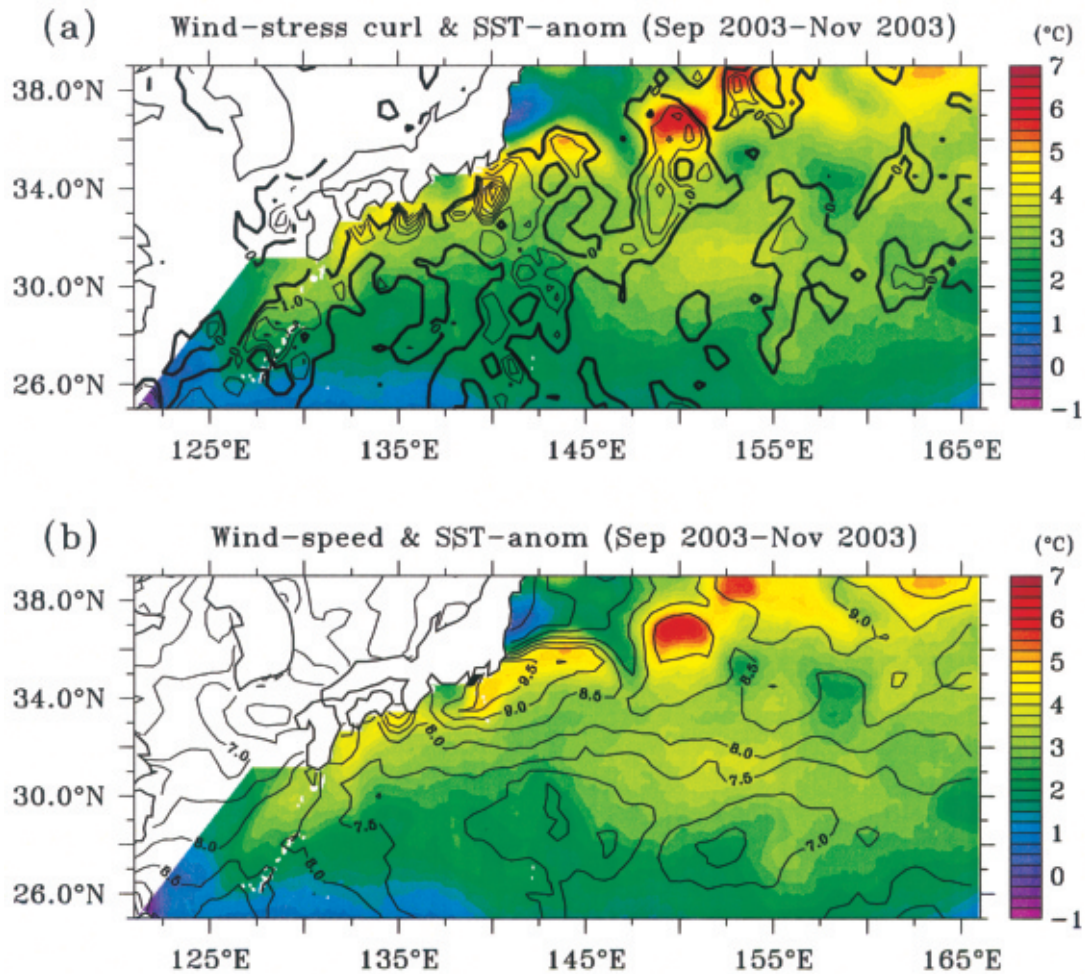


Figure 5. The same as Fig. 3 except for 3-month average (September to November 2003) fields.

しているが、風速場 (Fig. 7b) では12ヶ月平均場と類似した特性が見られる一方、散布図 (Fig. 8b) を見ると正相関を示す海域が存在するものの無相関の海域も少なくない。

以上の結果より、海面水温偏差の高い海域においては、下層大気中における低気圧性の運動が誘起され、大気の鉛直混合が活発化するため上層から下層への運動量輸送が強化される。その結果、海面風速が強まるという海洋から大気へ向けた作用の存在が示唆される。また12ヶ月平均場と3ヶ月平均場において、風速場と水温偏差場との間に見られた相関関係より、curl τ 場よりも風速場のほうが海域依存性を強くもつことが示唆されたが、その傾向には必ずしも明確な特徴を検出することは出来なかった。

Xie (2004) では日本南岸の黒潮流路に相当する比較的狭い海域を対象として、3ヶ月平均の風速場と水温場との間の対応関係を示している。それに対して本研究の解析では、より広い海域を対象としたが、Fig. 6b に示した12ヶ月

月平均場での散布図において、特に偏西風帯に相当する高風速をもつ一部の海域で正の相関関係が認められる。これは従来考えられてきた大気から海洋へ作用する機構と、最近新たに指摘された海洋から大気へ作用する機構が、時期や海域に依存して存在することを示唆する。これら海域依存性の存在は、本研究で高解像度データセットを重視したことより明らかになったと言える。今後、衛星散乱計による高解像度データを継続的に作成していくことによって、大気-海洋相互作用機構に関する全貌の解明が期待される。

謝 辞

本研究において使用したデータは米国カリフォルニア工科大学ジェット推進研究所、東北大学新世代海面水温開発グループ、米国国立データブイセンター、米国海洋大気庁太平洋海洋研究所により提供されたものです。データ作成お

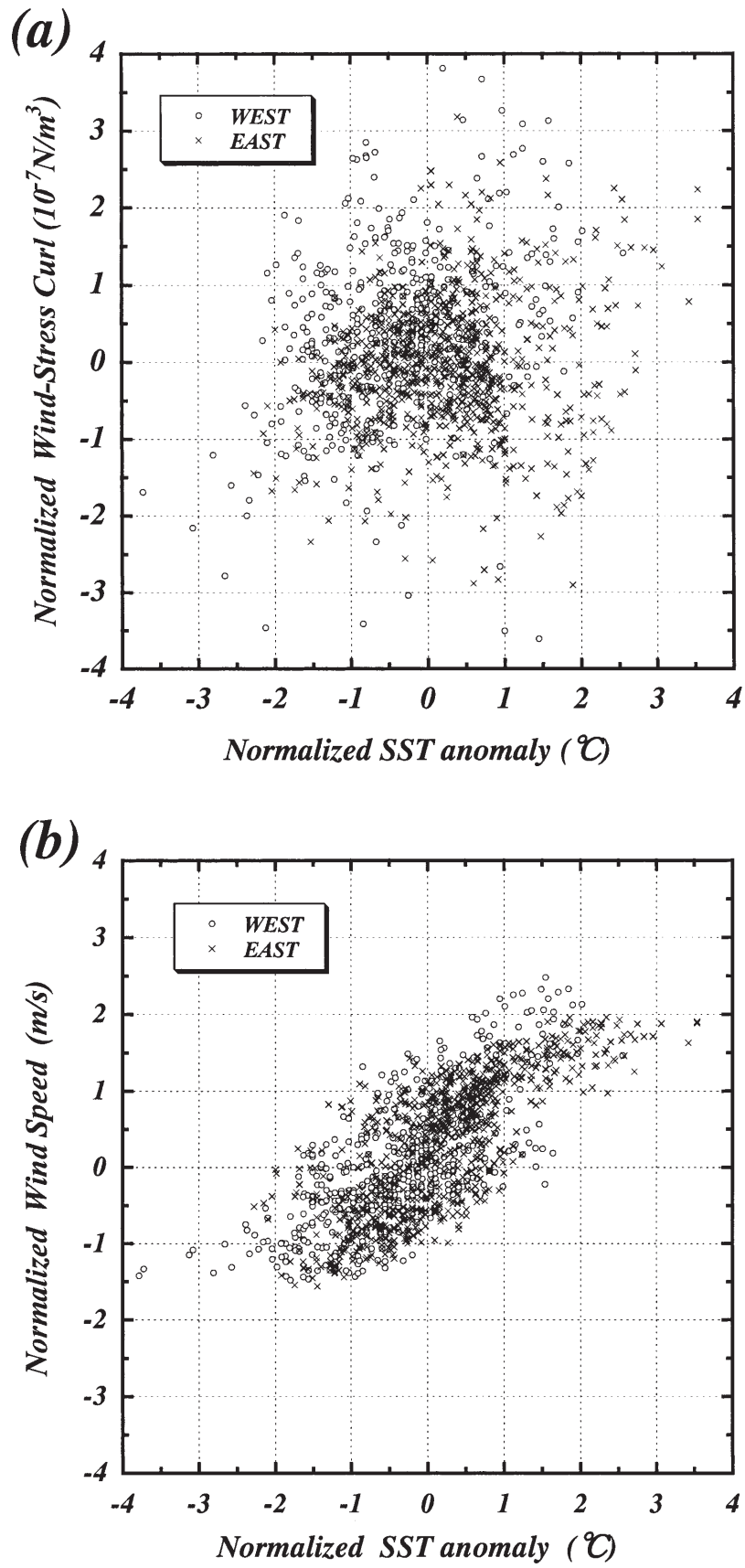


Figure 6. The same as Fig. 4 except for 3-month average (September to November 2003) fields.

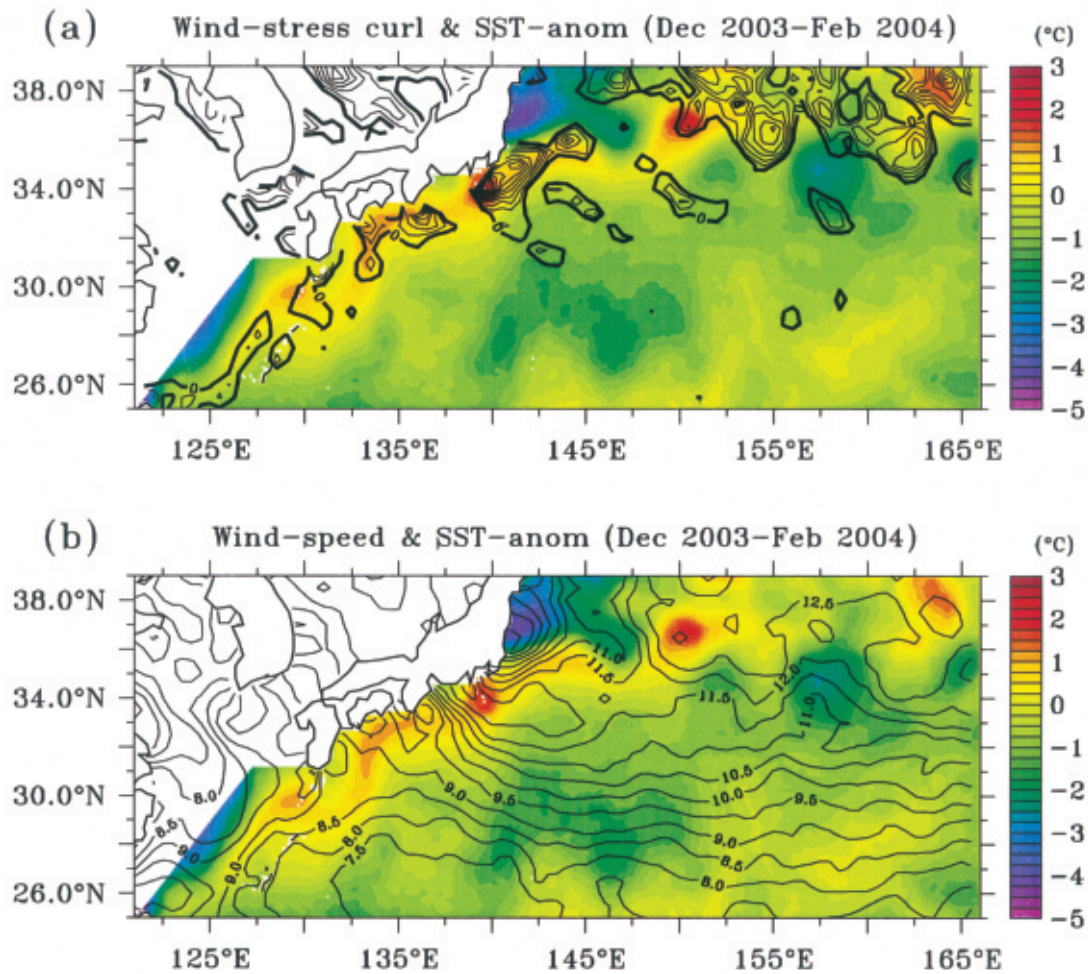


Figure 7. The same as Fig. 3 except for 3-month average (December 2003 to February 2004) fields.

よび入手に協力していただいた方々に厚く御礼申し上げます。

本研究は、宇宙開発事業団委託研究「北太平洋・インド洋上における海上風・海面応力の時空間変動とその海洋学への応用」および文部科学省地球共生プロジェクト「先端的四次元大気海洋陸域結合データ同化システムの開発と高精度気候変動予測に必要な初期値化・再解析統合データセットの構築（代表者：淡路敏之 京都大学教授）の援助を受けて実施されました。

参考文献

- Chelton, D.B., M.G. Schlax, M.H. Freilich and R.F. Milliff, 2004: Satellite measurements reveal persistent small-scale features in ocean winds, *Science*, **303**, 978-983.
- 笠原 実・轡田邦夫・青木邦弘・武田 諭 (2003): 衛星散乱計データを用いた全球洋上における海上風/海面応力格子ブ

ラダクトの作成及び精度検証, 東海大学紀要海洋学部, **1** (1), 79-92.

- Kubota, M., N. Iwasaka, S. Kizu, M. Konda, and K. Kutsuwada (2002): Japanese Ocean Flux Data Sets with Use of Remote Sensing Observations (J-OFURO), *J. Oceanogr.*, **58**, 213-225.
- Kutsuwada, K. (1998): Impact of wind/wind stress field in the North Pacific constructed by ADEOS/NSCAT data, *J. Oceanogr.*, **54**, 443-456.
- Large, W.G. and S. Pond (1981): Sensible and latent heat flux measurements over the ocean, *J. Phys. Oceanogr.*, **12**, 464-482.
- Liu, W.T., K.B. Katsaros and J.A. Businger (1979): Bulk parameterization of the air-sea exchange of heat and water vapor including the molecular constraints at the interface, *J. Atmos. Sci.*, **36**, 1722-1735.
- Sverdrup, H.U., 1947: Wind-driven currents in a baroclinic ocean with application to the equatorial currents of the

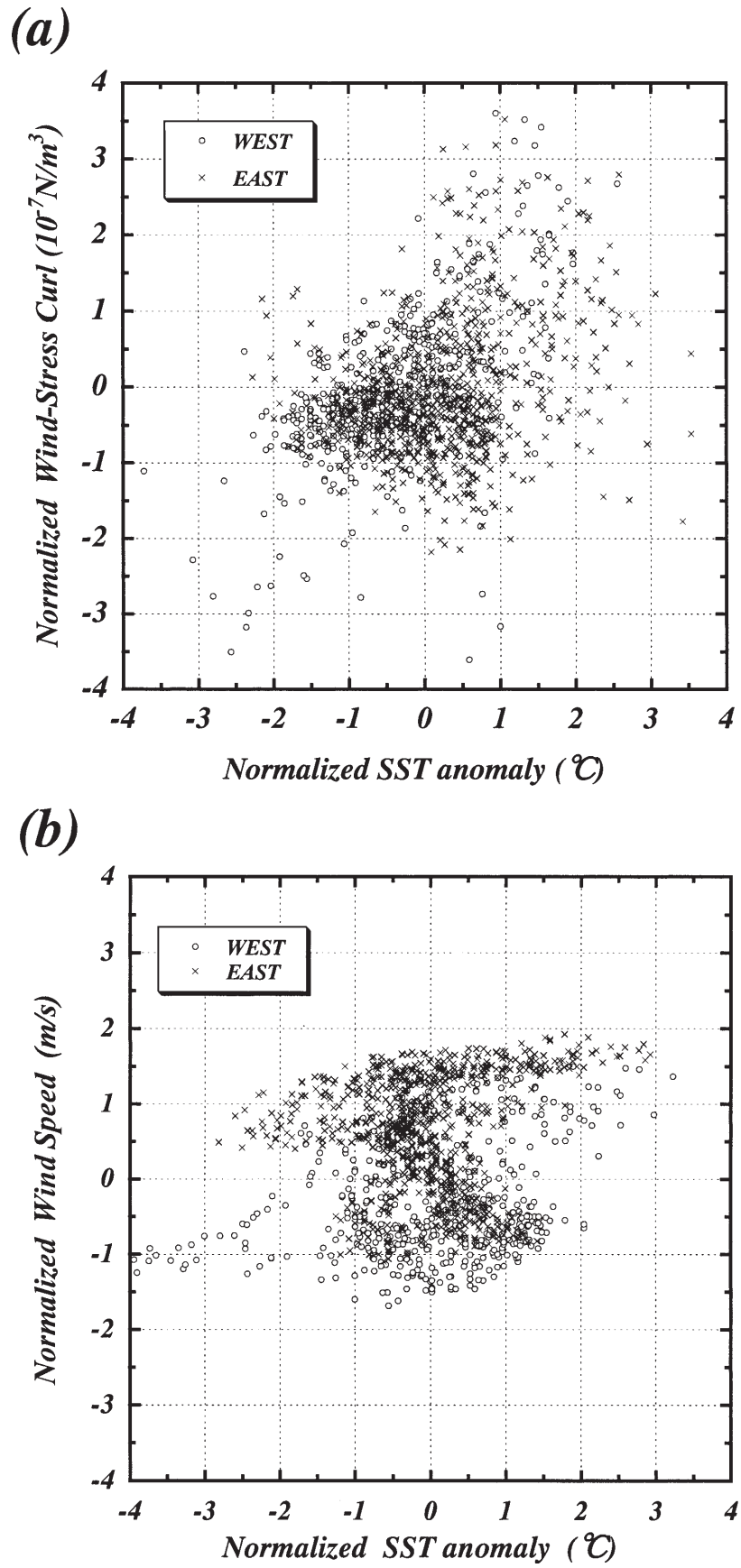


Figure 8. The same as Fig. 4 except for 3-month average (December 2003 to February 2004) fields.

- eastern Pacific, *Proc. Natl. Acad. Sci.*, **33**, 318-326.
- 武田 諭 (2002): プイデータを用いた衛星散乱計による海上風プロダクトの精度検証, 2002年度卒業論文, 東海大学海洋学部海洋科学科, 72pp.
- Xie, S.-P., 2004: Satellite observations of cool ocean-atmosphere interaction, *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **196**, 195-208.
- Wunsch, C., 1998: The work done by the wind on the oceanic general circulation, *J. Phys. Oceanogr.*, **28**, 2332-2340.

要 旨

人工衛星散乱計データより高空間解像度の海上風／海面応力格子データを作成し、北西太平洋海域における新たな大気－海洋相互作用機構に注目した解析を行った。新しい海上風／海面応力のデータセットは、日本南方の黒潮流域付近における詳細な特性を検出するために、従来（1°格子）より高い空間解像度（0.5°格子）を有する。

解析の結果、12ヶ月平均場（2003年3月～2004年2月）において、日本南方の黒潮域に相当する流路上付近に正の海面応力の回転鉛直成分（ $\text{curl}\tau$ ）および高風速場が認められた。風速および $\text{curl}\tau$ と水温偏差の相関を求めると、有意な正の相関を示した。これらより、水温偏差の高い海域で正の $\text{curl}\tau$ 、即ち下層大気中における低気圧性運動が励起され、鉛直混合が強化された結果、上層から下層への運動量輸送により海上風が強化されるという、海洋から大気への新たな大気－海洋相互作用機構の存在が示唆される。同様な比較解析が異なる時間平均場に対して成されたが、 $\text{curl}\tau$ もしくは風速場と海面水温偏差との間に明確な関係は見られなかった。