

西部北太平洋における表層水温と力学的海面高の相関†

寄高博行*

Correlation between Temperature at Surface Layer and Sea Surface Dynamic Height in the Western North Pacific†

Hiroyuki YORITAKA*

Abstract

Correlation between temperature at surface layer (0m, 100m, 200m and 400m depth) and sea surface dynamic height is examined in the western North Pacific and its adjacent seas. Multiple correlation coefficients calculated from available hydrographic data exceed 0.9 in the Japan Sea and at the south of 40N in the Pacific, while correlation is lower in the Okhotsk Sea and at the north of 40N in the Pacific. It is found that variation of sea surface dynamic height is almost explained with variation of temperature at surface layer in the Japan Sea and in the western subtropical gyre of the Pacific. Residuals in sea surface dynamic height estimated with multiple linear regression of temperature at surface layer are 4-5cm at 20-35N, 7cm at 35-40N in the Pacific and 2cm in the Japan Sea. It is shown that sea surface dynamic height could be reliably calculated with multiple linear regression of temperature at surface layer for these regions.

1. はじめに

海面における地衡流を推定するため、海洋観測で得られた水温・塩分プロファイルから比容を計算し、基準面から海面まで積分することによって力学的海面高を算出する力学計算は海流推定の主要な方法として用いられてきた。しかし航走中の観測を可能としたXBT (expendable bathythermograph) の普及以来、海洋内部構造の観測点において塩分プロファイルが得られる比率は低下している。Emery and Wert (1976) は水温プロファイルのみから力学的海面高を算出するため、過去の水温・塩分プロファイルを用いて、太平洋の20S~40Nを緯度・経度10度メッシュに区切り、各メッシュにおいて平均TS曲線を求めることで塩分プロファイルを推定した。

一方、様々な機関に所属する船舶で得られたXBTデータは即時的な流通段階で圧縮され、100m深、200m深等の基準層水温として報告されることが多く、水路部では表面、100m深、200m深、400m深の表層4層の水温をリアルタイム・データベースにおいて管理している。そこで本研究では、過去の水温・塩分プロファイルから表層4層の水温を抽出するとともに、力学的海面高を算出し、両者の相関をとることで表層水温データによる力学的海面高推定の可能性を調べた。

2. データ

水温・塩分プロファイルには、World Ocean Atlas 1994 CD ROM Sets (Levitus, 1994) に収められている全ての各層データ (採水データ及びCTDデータ) に独自の品質管理を施した

† Received 2000 November 8th.; Accepted 2001 January 10th.

* 海洋研究室 Ocean Research Laboratory.

HydroBase (Macdonald et al., 2001) を用いた。HydroBaseの品質管理済みデータから1965年以降、20N~60N、120E~180Eの範囲を切り出し、1000db以深に至る観測点を抽出した。抽出した観測点の分布をFig.1に示す。本州・四国南方黒潮域と三陸沖混合水域のデータ密度が特に大きい。抽出したデータから表面が欠測となっている観測点を除く約14,000点について、表面、100m深、200m深、400m深の表層4層における水温及び1000dbにおける水温・塩分を鉛直方向の線形内挿で、1000db基準の力学的海面高を台形積分で求めた。

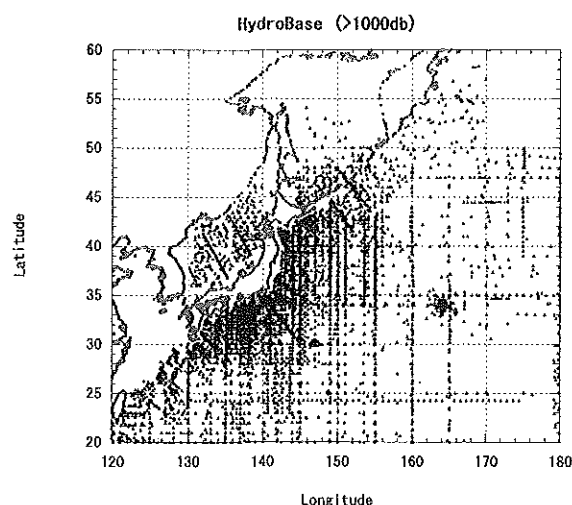


Fig. 1 Hydrographic stations deeper than 1000db quality controlled in HydroBase.

3. 単相関と重相関

(1) 全期間・海域別

表層水温と力学的海面高のペアを太平洋（ベーリング海を含む）、日本海、オホーツク海の3海域に分け、それぞれの海域について表層水温と力学的海面高の相関を調べた。各層の水温に対する力学的海面高の分布をFig.2に示す。太平洋では深くなるほど相関が高くなり、400m深水温で力学的海面高変動の大部分を説明できると推定される。日本海では100m深水温が最も相関が高いと見られ、表層循環の変動に伴う水温躍層の上下は、日本海固有水で占められている400m深には至っていないことが示唆される。オホーツク海においては水温変動と力学的海面高変動の相関は低く、塩分の寄与の大きいことが推定される。Table 1

にそれぞれの海域における表層水温と力学的海面高の単相関係数及び表層4層の水温を用いた場合の重相関係数、重回帰式を用いた場合の残差のrms. (root-mean-square: 平均自乗根) を示す。散布図から推定されるとおり、太平洋では深くなるほど相関係数が大きく、日本海では100m深水温との相関係数が最も大きい。表層4層の水温を全て用いた場合には太平洋、日本海で極めて相関が高いが、オホーツク海では低い値に留まっている。残差のrms.は太平洋で9.4cm、日本海で3.1cm、オホーツク海で4.2cmとなっていた。太平洋での値はEmery and Wert (1976) による20N~40N、180E以西におけるTS曲線からの推定残差1.7~4.5cmよりも大きい。

Table 1 Number of data, single correlation coefficient between sea surface dynamic height and temperature at 0m, 100m, 200m, 400m depth, multiple correlation coefficient and residual in sea surface dynamic height estimated with multiple linear regression of temperature at surface layer for each region.

	n	r000	r100	r200	r400	r	rms(mm)
Pacific	13285	0.73	0.88	0.93	0.97	0.98	9.4
Japan Sea	640	0.59	0.92	0.80	0.55	0.97	3.1
Okhotsk Sea	249	0.05	0.35	0.11	0.30	0.52	4.2

表層水温と力学的海面高の重相関の南北、東西、季節による相違を見るため、緯度、経度、月それぞれに対する残差の分布をFig.3に示す。緯度による変化では、太平洋で30N~40Nにかけて正の残差が、30N以南と40N~50Nでは負の残差が支配的という南北構造が見られる。日本海では顕著な緯度変化は見られず、オホーツク海では48N以北で正の残差に偏っている。経度による変化では、3海域ともに大規模な東西構造は見られない。月による変化では、太平洋で1~6月に正の偏差が、7~12月に負の偏差が支配的という季節変化が見られる。日本海では少し位相がずれ、2~7月に正の偏差が、8~12月に負の偏差が支配的という季節変化が見られる。オホーツク海では夏季~秋季にデータが偏り、季節変化は判別できない。これらの残差の分布から重回帰式の季節、緯度帯による細分化の必要性が示唆される。

Correlation between Temperature at Surface Layer and Sea Surface Dynamic Height in the Western North Pacific

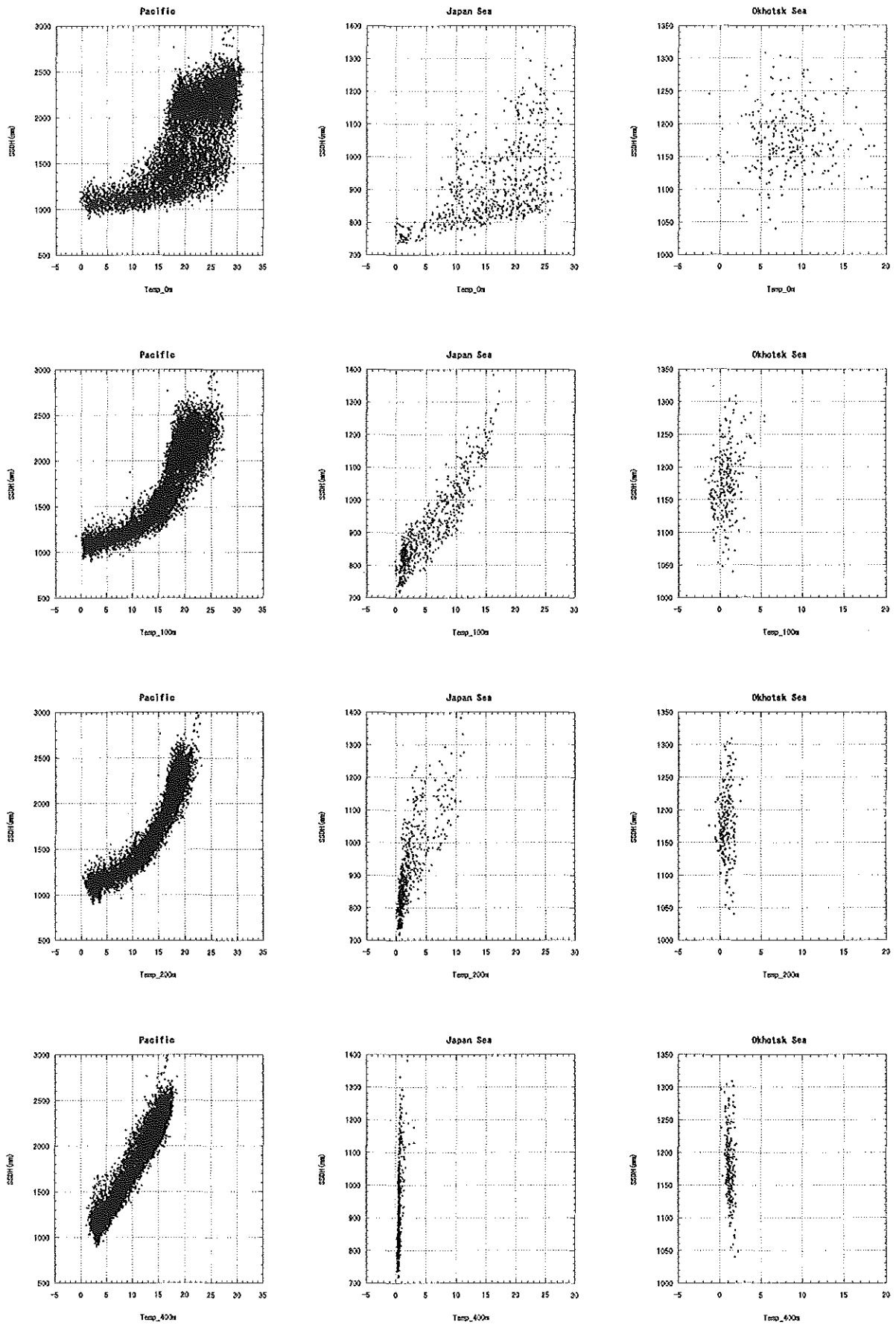


Fig. 2 Relationships between temperature at surface layer (0m, 100m, 200m and 400m depth) and sea surface dynamic height in the Pacific (left panels), the Japan Sea (middle panels) and the Okhotsk Sea (right panels).

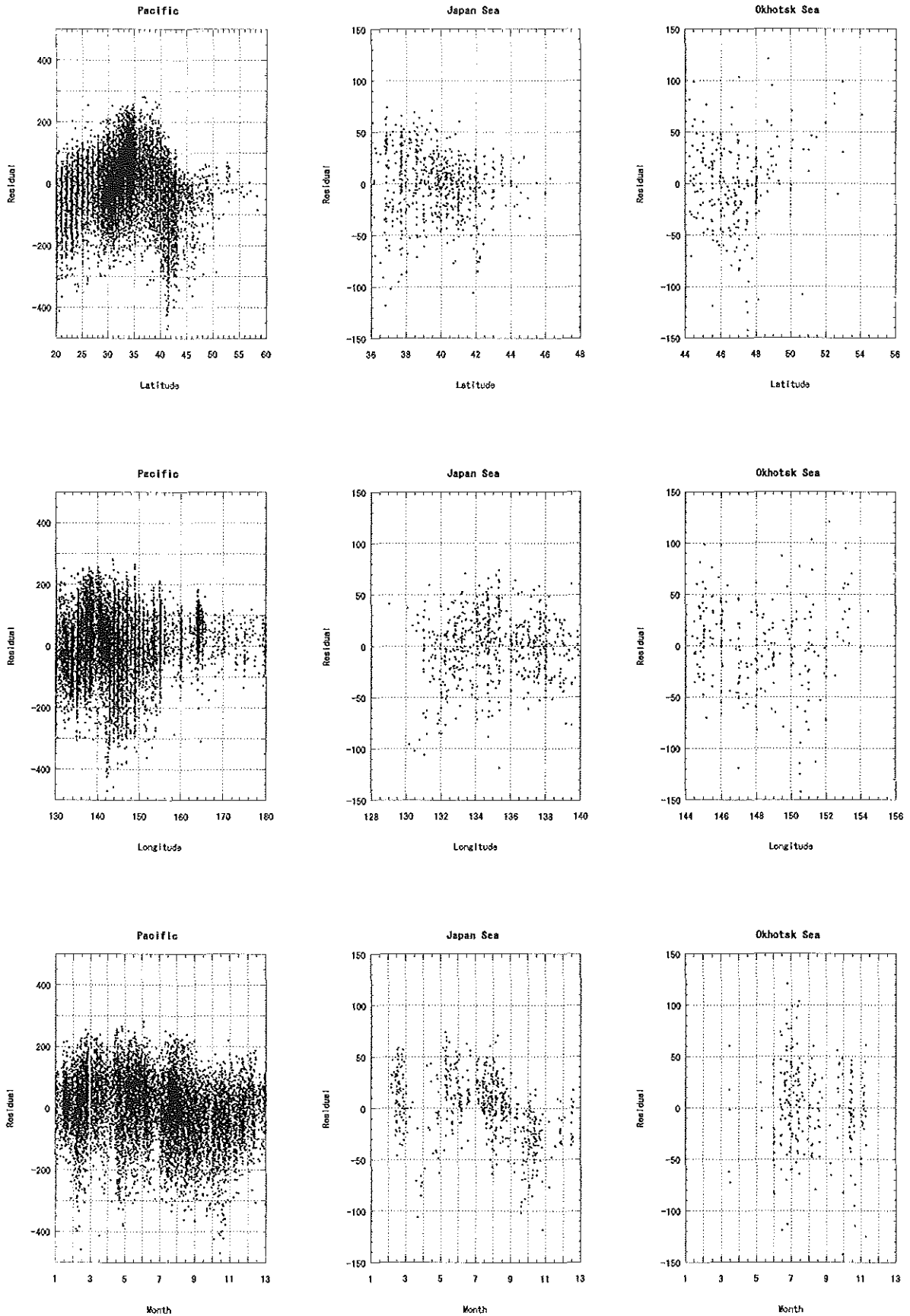


Fig. 3 Distributions of residuals in sea surface dynamic height estimated with multiple linear regression of temperature at surface layer for latitude (upper panels), longitude (middle panels) and month (lower panels) in the Pacific (left panels), the Japan Sea (middle panels) and the Okhotsk Sea (right panels).

Correlation between Temperature at Surface Layer and Sea Surface Dynamic Height in the Western North Pacific

(2) 月・緯度帯別

太平洋, 日本海, オホーツク海の3海域における表層水温と力学的海面高のペアを月別に分け, さらに太平洋については緯度5度毎に分割して相関を調べた. ただし太平洋の45N以北についてはデータ数が少ないため, 一つの緯度帯として取り扱った. また, 分割により異常値の影響が相対的に大きくなるため, 8海域それぞれについて重回帰式による推定残差の標準偏差の4倍を数居値として異常値を削除した上で月別にブロック化し, データ数20以下のブロックは信頼性が落ちるため解析対象から除外した. 月・緯度帯別の表面・100m深水温に対する力学的海面高の単相関をFig.4に示す. 表面水温との単相関は分割した場合でもあまり高くない. 例外として, 日本海の2, 9, 10月という秋季から冬季にかけての期間

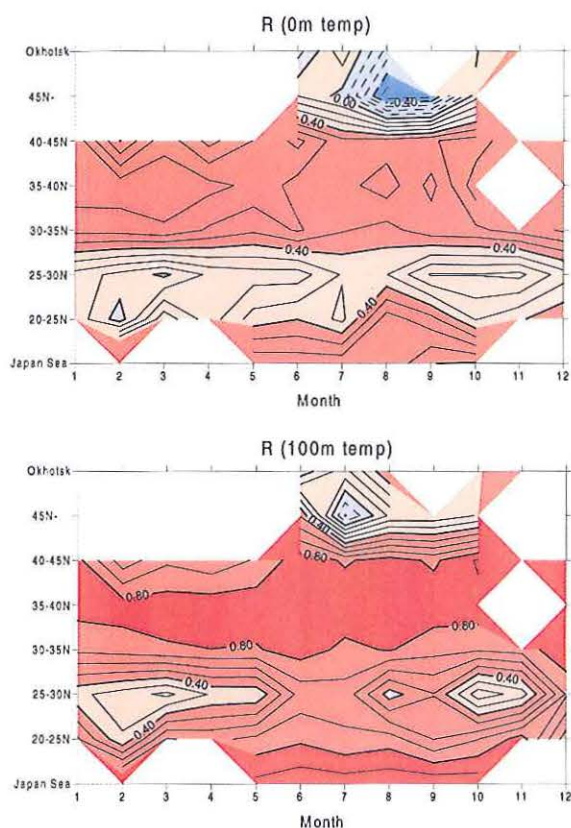


Fig. 4 Single correlation coefficient between sea surface dynamic height and temperature at 0m depth (upper panel), 100m depth (lower panel) for each region and month. Upper limit denotes the Okhotsk Sea, lower limit denotes the Japan Sea in each panels. Correlation coefficient contoured with interval of 0.1.

が相関係数0.8以上とやや高い値を示し, 表面水温による力学的海面高推定の可能性を残している(1, 3, 4, 11, 12月は解析対象外). また, 太平洋45N以北の8, 9月に相関係数-0.5以下という負の相関をとり, 表面水温が塩分変動の受動的指標として力学的海面高と連動していること示す. 100m深水温に対する単相関では, 全期間でも相関の高かった日本海においてさらに大きい0.93~0.98という相関係数を示した. 同様に200m深, 400m深水温に対する力学的海面高の単相関をFig.5に示す. 両層の水温に対する単相関は太平洋の30-35N, 35-40Nで特に高く, 全ての月で相関係数0.9以上を示した. また, この海域では季節躍層変動の影響を受ける200m深水温に対するよりも400m深水温に対する方が全ての月でわずかに相関係数が大きく, 主水温躍層変動の寄与の方が大きいことを示唆する. 逆に太平洋の20-25Nではほとんどの月で200m深水温に対する方が相関係数が大きく, 特に4~8月には相関係数0.9以上を示し, 季節躍層の影響が相対的に大きいことを

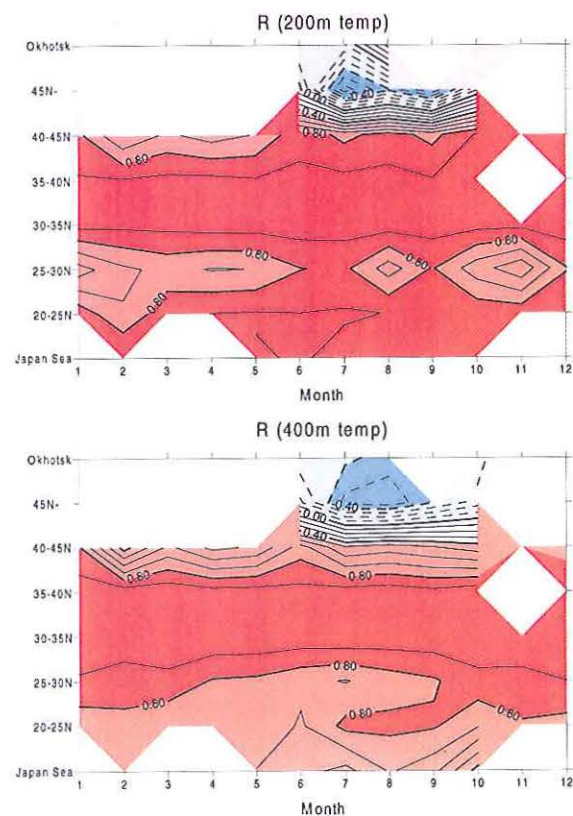


Fig. 5 Same as fig. 4, except for temperature at 200m depth (upper panel), 400m depth (lower panel).

示唆する。間に挟まれた太平洋の25-30Nでは200m深水温と400m深水温の寄与率が季節で異なり、6~9月の夏季には200m深水温に対する方が相関係数が大きい、残る10~5月には400m深水温に対する方が相関が高い。太平洋の45N以北では7~9月の夏季に表面水温と同様に、200m深、400m深水温ともに相関係数0.4以下の負の相関を示していた。

表層4層の水温による重相関係数と重回帰式による残差のrms.の分布をFig.6に示す。重相関係数は太平洋の40N以南と日本海で全ての月に対し0.9以上となっており、力学的海面高変動のほとんどを表層水温変動で説明できることを示す。重回帰式による残差は太平洋35-40Nの混合水域で最も大きく約7cm、日本海で最も小さく約2cm、太平洋の20-35Nでは4~5cmの精度で推定できるこ

とが示された。太平洋の40-45Nでは6~1月に重相関係数0.8以上、中でも10~12月の秋季には重相関係数0.9以上と高い相関を示すが、2~5月には相関が低い。これは力学的海面高変動に対する水温変動の寄与が小さく、かつ水温と塩分の関係が一定ではないことを示す。太平洋の45N以北とオホーツク海も同様に相関が低く、塩分観測の重要性を示している。

4. 適用例

過去の水温・塩分プロファイルを用いて統計的に得られた表層水温と力学的海面高の重回帰式が、スナップショットとして得られる測線に沿った海洋観測結果をどの程度再現できるかを確認するため、黒潮を横切る九州南方の測線と沿岸親潮を横切る北海道南方の測線について、それぞれCTD観測による力学的海面高と表層水温から推定された力学的海面高を比較した。Figure 7に九州南方のCTD観測点を、Fig.8に比較結果を示す。1995年4月の北緯28度40分の測点で実測値と推定値に約14cmという差があるが、3回の観測ともに黒潮を横切る力学的海面高の構造はほぼ再現できた。実測値と推定値の差のrms.は1995年4月で約6cm、1995年11月で約2cm、1996年5月で約3cmと、過去データに対する残差4~5cmに近い値となっていた。Figure 9に北海道南方のCTD観測点を、Fig.10に比較結果を示す。1997年8月の観測時に

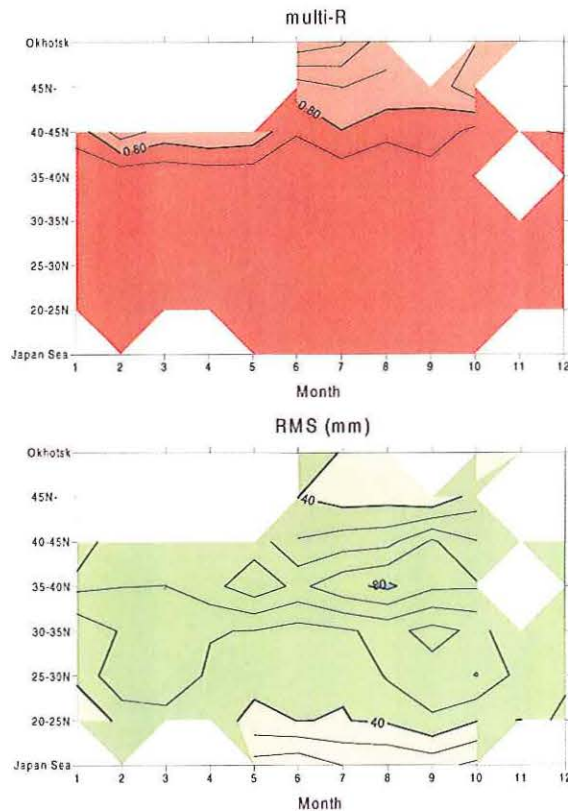


Fig. 6 Multiple correlation coefficient between sea surface dynamic height and temperature at surface layer (upper panel) and residuals in sea surface dynamic height estimated with multiple linear regression of temperature at surface layer (lower panel) for each region and month. Correlation coefficient contoured with interval of 0.1, residuals contoured with interval of 10mm.

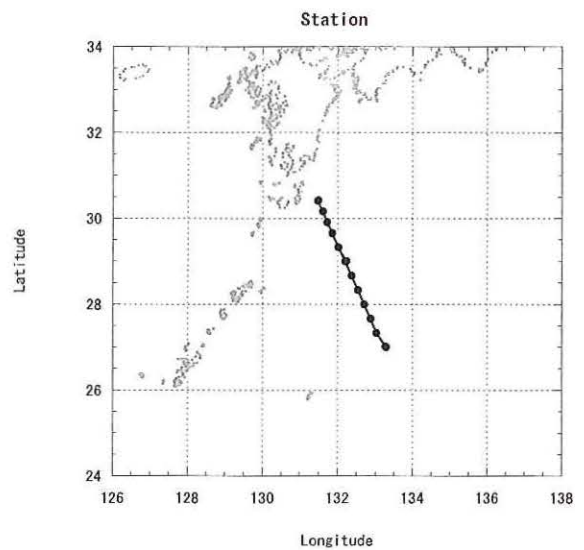


Fig. 7 CTD stations at the south of Kyushu.

Correlation between Temperature at Surface Layer and Sea Surface Dynamic Height in the Western North Pacific

は測線南端が暖水渦に掛かっており、その再現はできているものの、沿岸親潮と見られる沿岸側の境界流は表現できていない。塩分変動の寄与が大きく、かつ水温が塩分の指標となるほど一般的な水

塊分布ではない亜寒帯循環域については表層水温のみから推定した力学的海面高には変動に比して小さくない誤差が含まれ、実測値と推定値の差のrmsは1997年8月で約8cmとなっていた。

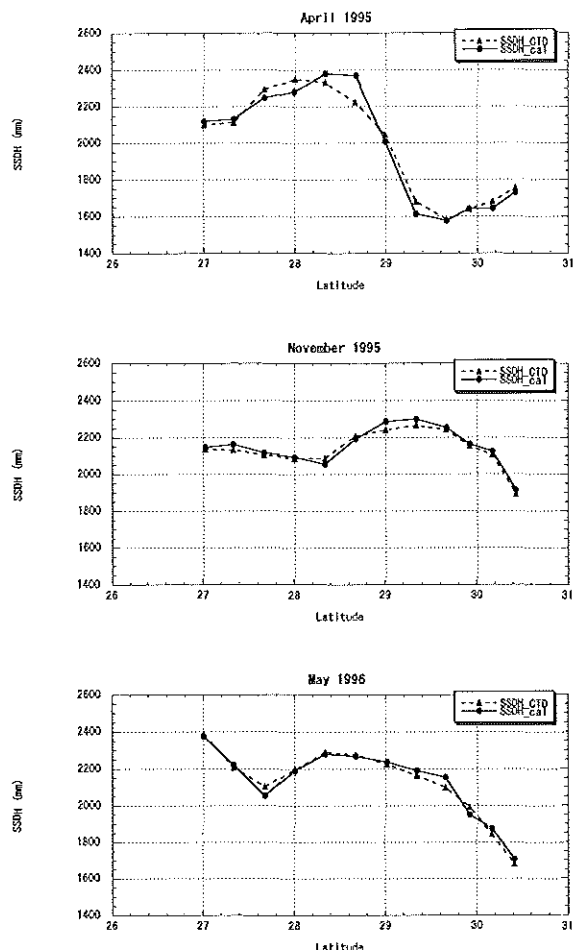


Fig. 8 Distributions of sea surface dynamic height calculated from CTD data (\blacktriangle and dashed line) and estimated with multiple linear regression of temperature at surface layer (\bullet and solid line) for latitude on each cruise at the south of Kyushu.

5. まとめ

過去に測定された水温・塩分プロファイルを用いて、西部北太平洋における離散的な表層水温(0m, 100m, 200m, 400m深)と1000db基準の力学的海面高との重相関を調べた。その結果、太平洋の40N以南と日本海については重相関係数0.9以上と高い相関を示し、表層水温変動のみで力学的海面高変動をほぼ説明できることがわかった。重回帰式による推定残差は太平洋の20-35Nで4~

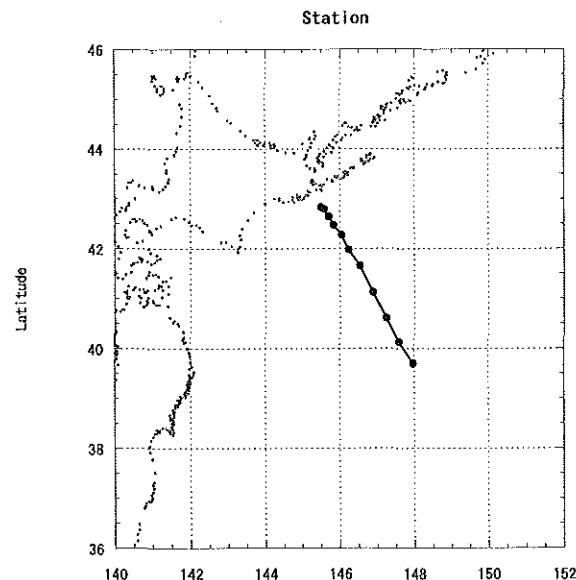


Fig. 9 CTD stations at the south of Hokkaido.

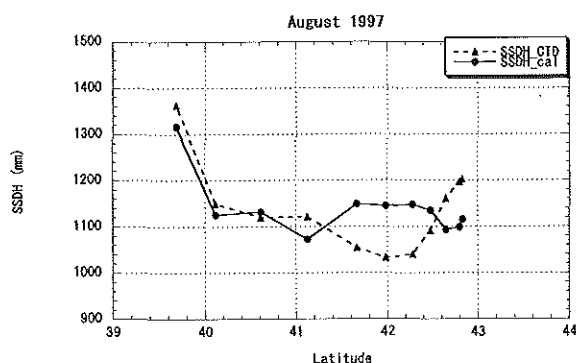


Fig. 10 Same as fig. 8, except for the south of Hokkaido.

5cm, 太平洋の35-40Nで約7cm, 日本海で約2cmとなっていた。太平洋亜熱帯循環域、混合水域における残差4~7cmは、Emery and Wert (1976)が平均TS曲線を用いて推定した同じ海域における力学的海面高の残差1.7~4.5cmよりも大きい。Emery and Wert (1976)が表面から500m深までの水温プロファイルを用いて500m深基準の力学的海面高を推定した結果であるのに対して、表層水温の重回帰式による推定法は中深層に達する密度躍層面の変動を含めることが可能で、より実用的

な手法と考えられる。一方、太平洋の40N以北とオホーツク海における表層水温と力学的海面高の相関は低く、塩分測定の必要性を示していた。

要 約

過去に測定された水温・塩分プロファイルを用いて、西部北太平洋における離散的な表層水温(0m, 100m, 200m, 400m深)と1000db基準の力学的海面高との重相関を調べた。その結果、太平洋の40N以南と日本海については重相関係数0.9以上と高い相関を示し、表層水温変動のみで力学的海面高変動をほぼ説明できることがわかった。一方、太平洋の40N以北とオホーツク海における表層水温と力学的海面高の相関は低かった。重回帰式による推定残差は太平洋の20-35Nで4~5cm, 太平洋の35-40Nで約7cm, 日本海で約2cmとなっており、これらの海域では離散的な表層水温から重回帰式を用いて実用的な精度で力学的海面高を推定できることが示された。

引 用 文 献

- Emery, W. J. and R. T. Wort: Temperature-salinity curves in the Pacific and their application to dynamic height computation, *Journal of Physical Oceanography*, 6, 613-617, (1976).
- Levitus, S.: World Ocean Atlas 1994 CD-ROM Sets, *National Oceanographic Data Center Information Report*, 13, (1994).
- Macdonald, A. M., T. Suga and R. G. Curry: Isopycnally averaged North Pacific climatology, *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 18, 394-420, (2001).