

— 論 文 —

駿河湾内外における表層水温・塩分の長期変動*

轡田 邦夫[†]・谷川 雅浩[†]・萩原 快次[‡]・勝間田 高明^{**}

要 旨

静岡県水産試験場実施の過去 40 年間 (1965 年～2004 年) の定線観測資料を用いて、駿河湾内外における表層 (200 m 以浅) 水温・塩分の長期変動特性とその要因を研究した。水温の経年変動には、(1) 湾口から湾外の亜表層で高振幅を有し、1970 年代後半の高温化で特徴づけられる変動と、(2) 湾内表層で振幅が卓越し、1990 年代後半以降高温化する変動がみられる。前者は、黒潮流軸の大王崎からの離岸距離と高相関であり、黒潮流路変動に伴う外洋海況の変動に支配される。塩分にも湾口から湾外の亜表層で卓越する変動が存在し、大蛇行期で代表される紀伊半島沖での黒潮流軸の離岸時には、駿河湾口付近の亜表層において高温・高塩化することが明らかになった。また、湾内表層で卓越する塩分変動も検出され、静岡における降水量変動と半年のラグで高相関をもつことより、その要因として海面を通した淡水フラックスあるいは周辺河川流量変動の重要性が示された。

キーワード：駿河湾，長期変動，上層海況

1. はじめに

駿河湾は、太平洋に向かって南方へ開いた開放性の湾であり、湾口の幅約 55 km、湾口中央部から湾奥部までの直線距離は約 60 km を有し、我が国の最大の内湾である。また、湾奥まで連なる深いトラフがほぼ中央部付近を南北方向に存在し、外洋水の影響を受けやすい形状をしているため、駿河湾内における海況は湾外を流れる黒潮の影響を受けやすいことが知られている (中村, 1982)。一方、背後に富士山を控える急峻な

地形を有する静岡県の南方に位置することに起因する特徴的な気象条件が、湾内の表層海況の変動に少なからず影響を与えることが予想される (稲葉, 1988; 東海大学海洋学部編, 1996)。

こうした特徴をもつ駿河湾における海況変動を対象とした過去の研究として、湾内の流動を対象としたものが挙げられ、駿河湾における循環パターンとして反時計回りと時計回りの流れの場の存在が指摘される。稲葉 (1982) および Inaba (1984) は、自記測定資料を用いて駿河湾内における代表的な循環流のパターンを明らかにするとともに、伊豆半島沖における黒潮の流軸位置との関係から、同海域沖における黒潮流路の離接岸が湾内の循環流に影響を与えることを指摘した。勝間田 (2004) および勝間田他 (1999) は、同海域における測流結果をもとに、急激な外洋水の流入に伴う急激な水温の上昇現象に注目し、これら急潮現象について

* 2006 年 12 月 1 日 受 領； 2007 年 2 月 24 日 受 理
著作権：日本海洋学会，2007

[†] 東海大学海洋学部海洋科学科
〒 424-8610 静岡県静岡市清水区折戸 3-20-1；
主著者 e-mail address：kkutsu@scc.u-tokai.ac.jp

[‡] 静岡県水産試験場漁業開発部
〒 425-0033 静岡県焼津市小川汐入 3690

^{**} 東海大学海洋学部清水教養教育センター
〒 424-8610 静岡県静岡市清水区折戸 3-20-1

黒潮前線波動との関係を詳しく論じた。一方、湾内における生物資源変動の観点からの研究もあり、同湾内におけるプランクトンの分布が湾外水の影響を受けるとする研究(村中, 1976; 中村・村中, 1979)や、駿河湾・遠州灘海域におけるシラス資源の変動と黒潮系水との関係を示した研究もある(船越, 1988)。このように、海洋環境、水産資源など、様々な観点から駿河湾の海況についての研究が行なわれてきた。しかし、駿河湾の海況の変動については、短期間の観測または短周期の変動を扱った研究が多く、経年変動を含む長周期の変動を扱ったものは少なかった。

近年長期間の観測資料が整備されてきたのに基づき、瀬藤・秋山は20年間(1974年~1993年)分の水温資料を用いて、駿河湾の表層水温と同海域南方における黒潮流軸の離岸距離との関係に対する定量的な解析を行なっている。その結果、同湾内の水温と黒潮流軸離岸距離との相関が高いのは大王崎であり、駿河湾に近い御前崎や石廊崎の間では良好な関係を示さないことを指摘した。また彼らは、黒潮が本州南方で離岸する大蛇行流路をとった時期には、駿河湾沖での黒潮流軸が接岸傾向にある、もしくは内測反流と称されている西向流が同湾沖で卓越する結果、暖水が波及して湾内水温の上昇をもたらすことを指摘している。こうした駿河湾内における長期にわたる海況変動の機構を理解することは、海況変動の長期予報に繋がり、重要な意味を持つと考えられる。

駿河湾および同湾南方海域では、静岡県水産試験場によって実施されてきた沿岸定線観測による水温および塩分のデータが過去40年余り蓄積している。本研究では、これら上層海洋における水温・塩分データを用いて、同湾内および湾南方海域における表層~亜表層の海況変動に注目して解析を行なった。駿河湾表層には、沿岸水と称されている河川水の影響を強く受ける水系と、黒潮系外洋水と称されている外洋水が混合する水系が存在する。ここでは、数年もしくはそれより長い時間スケールの長期変動に注目し、それらの水系の変動特性の実態を把握するとともに、その要因に関する考察として、湾南方海域における黒潮流路のほか、海上気象との関係についても研究追求した。

2. データおよび解析方法

2.1. 水温、塩分

研究に用いたデータは、静岡県水産試験場が定期的実施している沿岸定線観測データである。定線観測は毎月初めに、駿河湾内・湾周辺から遠州灘までの35測点において、海面から深度700 mまでの16層を対象とし、1965年以降現在まで、ほぼ毎月1回継続的に実施されている。蓄積した観測データは40年間を越え、本研究が対象とする長期変動の解析に最適な資料である。本研究で使用したデータは、欠測データの関係から海面および8層の基準層(10 m, 20 m, 30 m, 50 m, 75 m, 100 m, 150 m, 200 m)における水温・塩分データであり、測点は駿河湾内および湾周辺のSta. 1からSta. 29 (Fig. 1)である。1990年代前半までは採水観測、それ以降はCTD観測によるため、前者に関しては人為的なミスによる不良値の存在も予想される。そこで、各測点各深度における時系列に対して、欠測値を除いて全期間における平均値および標準偏差 σ を求めた後、 3σ テストを行なった。その結果排除されたデータが1993年~1995年の塩分に存在し、これらを異常値とみなして、2.4節に記述される処理を行なった。その後、連続する3か月以下の欠測値は、線形補間によって補充した。その結果、本研究が対象とする湾外(Sta. 10)、湾口(Sta. 18)および湾奥(Sta. 29)の測点において2~13%存在するすべての欠測値が補充された。

2.2. 黒潮離岸距離

40年間の解析期間中に、黒潮は5度の大蛇行流路を形成していた。特に、1980年以降に生じた大蛇行は黒潮の流軸が駿河湾沖において大きく離岸する特性を持つ(Kawabe, 1985, 1995; 川辺, 2003)。この特性から、黒潮の流路変動の指標として日本南岸の各岬から黒潮流軸までの距離、すなわち黒潮離岸距離(以下、離岸距離)を用いる場合、駿河湾口に位置する御前崎・石廊崎からの離岸距離では1980年以降と以前で解析期間を分けなくてはならない。そこで、大蛇行期には離岸距離が大きくなり、非大蛇行の期間には離岸距離があまり大きく変化せず、なおかつ蛇行の最南下点を表わす最

適な指標として大王崎からの離岸距離を使用した。

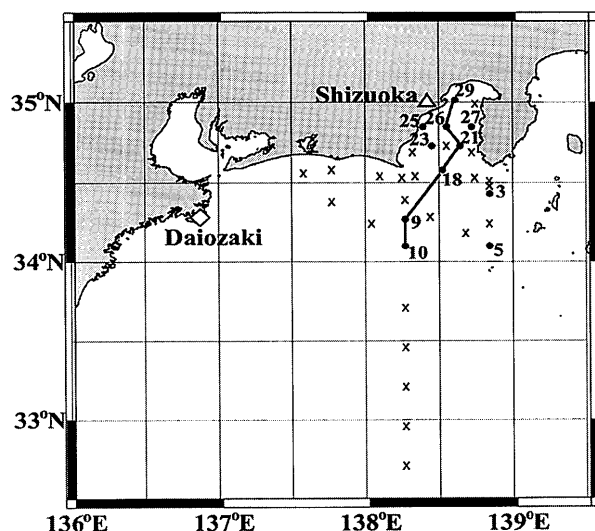


Fig. 1. Map of the study area including Suruga Bay. Locations of the routine hydrographic observations by Shizuoka Prefectural Fisheries Experimental Station are indicated by crosses, together with the numbers of some selected stations. A solid line indicates the position of cross section of mean temperature and salinity fields and their standard deviations. Off-shore distance from Daiozaki is used for indicating the changes of the Kuroshio path south of the study area. Surface meteorological data at Shizuoka are used for analyzing the time series of precipitation.

解析に使用した離岸距離は、海上保安庁海洋情報部発行の海洋速報に記載されている幾つかの地点から「流軸までの距離」の中、大王崎に対する値を使用した (Fig. 1)。ただし、海洋速報は月2回の発行のため、毎月初頭に近い値を用いて月別データとして使用し、欠測の場合は翌月初めのデータを用いて補間した。

< 黒潮大蛇行の期間 >

本研究では経年変動以上の長周期変動に着目するため、黒潮の流路が一年以上継続する「典型的な大蛇行型 (A型)」と「非大蛇行型 (N型)」の二つの流路に大別して検討した。川辺 (2003) は、黒潮の流路変動に伴って日本南岸の潮位が変化する特徴を黒潮の流路を知るための補足データとしてではなく、主たるデータとし

て使うことを提示し、その中で大蛇行と非大蛇行流路に大別する手段として、串本と浦神の潮位差を使用した。紀伊半島南端の串本と浦神の潮位変動は、大蛇行の期間にはほとんど同じであるのに対し、非大蛇行の期間には大きくなる。そのため、串本から浦神を引いた潮位差が非大蛇行に比べて大蛇行期に低い値で小さく、しかも、ほとんど変化しない特徴を持つ。本研究では、この串本と浦神の潮位差が低い値で安定した期間を大蛇行期 (Fig. 2, 斜線内) とし、それ以外の期間を非大蛇行期とした。すなわち解析期間中における黒潮の大蛇行期は1975年～1980年、1982年～1984年、1987年～1988年、1990年、2004年、これ以外の期間を非大蛇行期とした。

2.3. 地上気象資料

降水量は気象庁発行の気象データベースの日平均観測値から月平均値を求め月別データとして用いた。観測点は駿河湾西部に位置する静岡市の地上気象資料を使用した (Fig. 1)。本研究で用いた資料の解析期間は、すべて1965年1月から2004年12月までの40年間である。

2.4. 塩分データの補正

本研究では表層海況の指標として10 m以深のデータを用いた。その理由は、海面 (0 m) での観測がバケツ採水であり、それ以深の観測との手法の相違による系統的な誤差を避けるためである。実際、1990年代前半以降の観測はCTD観測によっており、海面とそれ以深のデータとを同列に扱うことは困難である。こうした観点より、海面データを避けて、表層海況を指標とした。通常、駿河湾内における塩分は夏季に低下し、冬季に上昇する季節変動を呈する。予備的処理において、各深度における季節変動の塩分特性を検討したところ、100 m以深における変動の振幅は0.1程度と非常に小さいのに対して (Fig. 6)、1993年11月～1995年3月における塩分値は100 m以深において通常の10倍に相当する1.0程度と異常に大きい差が検出された (Fig. 3の破線)。この異常な値は、全測点の10 m～200 mにおいて存在したが、海面 (0 m 深) における値には同様

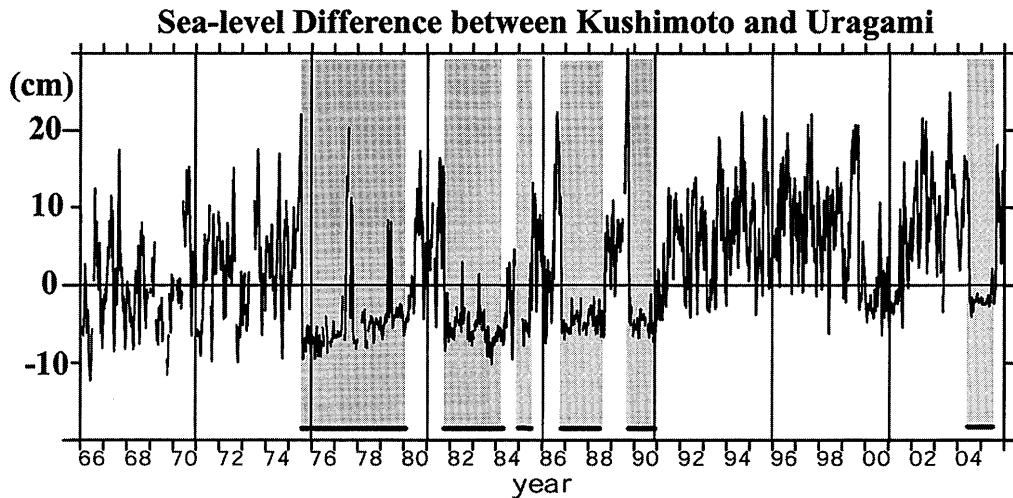


Fig. 2. Time series (15-day running mean) of sea-level difference between Kushimoto and Uragami as an indication of the Kuroshio path south of Japan (referred to <http://cer.ori.u-tokyo.ac.jp/tides/>). Periods in which the Kuroshio took the large meander path are shaded.

な傾向が認められなかった。この要因として、CTDの測器の不調、あるいは電気伝導度から塩分への換算プログラムのミスなどが憶測されるが、時間の経過とともにその原因を追及することは不可能である。本研究では、該当する時期における亜表層の塩分値は以下の方法を用いて、海面塩分のデータから推定する手法を用いて算出した。これは、例えば海面データに系統的誤差が含まれていても、ここで対象とする数年以上の時間スケールの変動には影響を受けないと考えられるからである。

まず、各測点各深度において、上述の異常値を示した期間を除くデータより各月の平年値と標準偏差を求めた。海面における平年偏差が、それ以深でも同傾向を呈するとみなし、その偏差が各深度の標準偏差に比例すると考えた。すなわち、海面塩分の観測値および平年値を $S(0, \text{mon})$ および $\hat{S}(0, \text{mon})$ とし、深度 Z における標準偏差を $SD(Z)$ としたとき、補正式は以下で与えられる。

$$\hat{S}(Z, \text{mon}) + \{S(0, \text{mon}) - \hat{S}(0, \text{mon})\} \times \frac{SD(Z)}{SD(0)} = S_*(Z, \text{mon}) \quad (1)$$

ここで、 S は観測値、 \hat{S} はその平年値、 Z は水深、 mon

は対象とする月、 SD は標準偏差を示す。

上記の方法により、補正前と補正後の測点 10 での塩分の鉛直分布 (Fig. 3; 1994 年 2 月および 8 月の例) では 50 m 以深での季節による顕著な差がない結果となった。(1) による補正を 1993 年 11 月～1995 年 3 月までの 17 か月間分の塩分データについて行ない、以後の時系列解析に用いた。

3. 結果

3.1. 平均場および標準偏差場

まず、湾内における海況の全体像を明らかにするため、全期間のデータを用いて得られた水温・塩分の平均場に注目した。まず、2つの深度 (10 m および 200 m) における水温・塩分の水平分布 (Fig. 4) において、10 m 深で湾東側が高く、湾西側が低い傾向が水温・塩分ともに存在した。この 10 m の水温・塩分分布は、湾奥から湾西部にかけて大河川が集中していること、黒潮系外洋水が湾口東部海域から流入し、湾口西部海域から流出する反時計回りの循環流が形成されやすい特徴を反映している。200 m 水温では湾口周辺で低く、湾奥 (Sta. 29) と湾東・西の沿岸付近 (Sta. 25, Sat. 27) で高かった。200 m 塩分では伊豆半島沖 (Sta. 5) を除

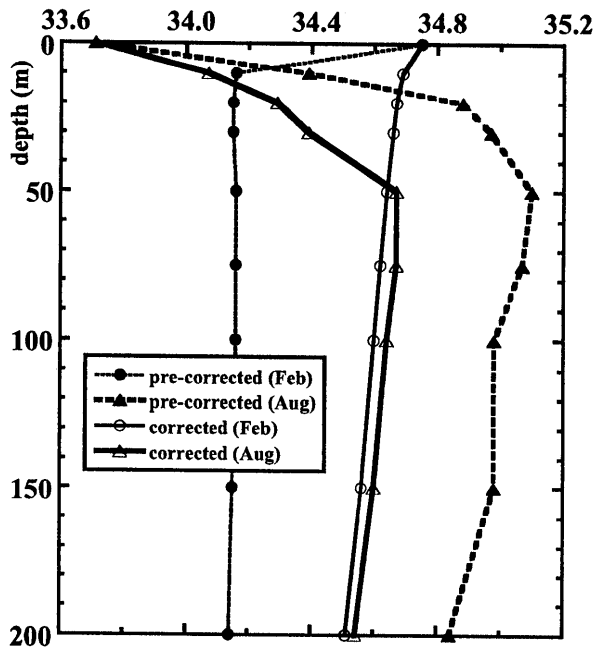


Fig. 3. Vertical profiles of salinity at the station (Sta. 26) in the bay during February (thin line) and August (thick line), 1994. Corrected data are indicated by open circles and triangles, while those pre-corrected are indicated by close circles and triangles. See text for correction procedures for salinity data.

き、湾内外で 34.47~34.49 と 0.02 程度の微弱な差が見られ、海面塩分のような東高西低とは異なる傾向を示していた。

次に、湾奥から湾口を経て湾外へ配置された測線 (Fig. 1 参照) における各深度の平均水温および塩分による鉛直断面図 (Fig. 5) において、水温は鉛直方向には深度とともに減少し、水平方向では湾外方向へ高く、湾奥方向へ低くなる傾向が認められた。一方、塩分は海面付近から 90 m 付近まで増加、それ以深では深度とともに低下していた。水平方向では水温と同様に湾外方向へ高く、湾奥方向へ低くなる傾向が見られたが、湾奥表層での低塩分が顕著であった。

水温の標準偏差場の南北方向の断面 (Fig. 6a) では、海面付近で最高振幅をもち、深度とともに低下した。沖

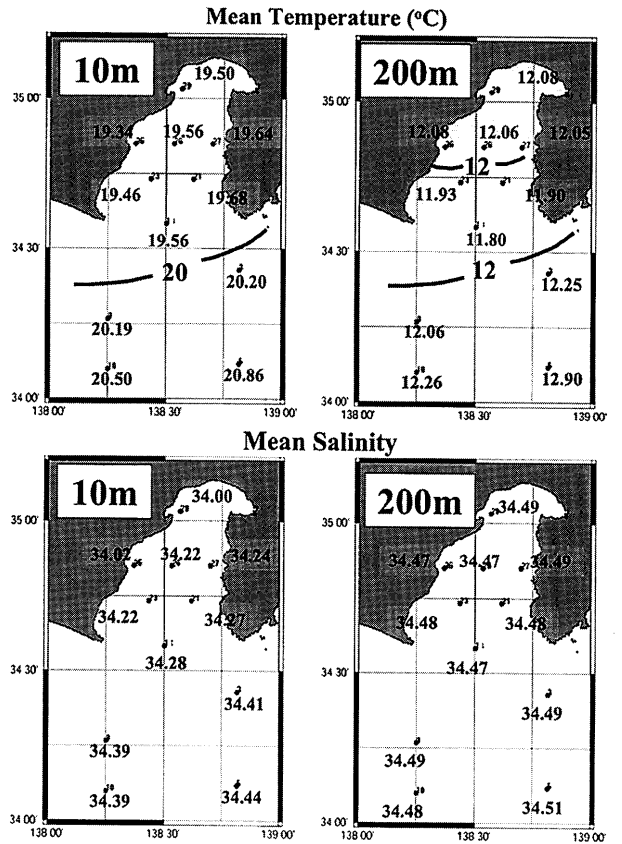


Fig. 4. 4 Distribution of mean fields for temperature (upper) and salinity (lower) at surface (10 m) and subsurface (200 m) layers.

側では、湾奥側に比べて深度方向への低下が小さいため、50 m 以深でも比較的高振幅であった。塩分の標準偏差 (Fig. 6b) は水温と同様に 50 m 以浅で高く、湾奥側の海面付近で特に顕著であった。50 m 以深では湾内と沖側の違いは小さく、200 m までほとんど変化しなかった。水温の標準偏差は、10 m において湾外より湾内の方が高振幅を示し、湾内では季節変動が大きいことを表していた。また、200 m では湾外で最高振幅をとり、湾内では湾奥 (Sta. 29) で高振幅であった。一方、塩分の標準偏差は 10 m 深において水温と同様に湾外より湾内の方が大きく、中でも湾奥、湾西沿岸部で最大となり、沿岸水の影響の大きさを表していた。200 m では湾口および湾外 (St. 10) で高振幅を示した。

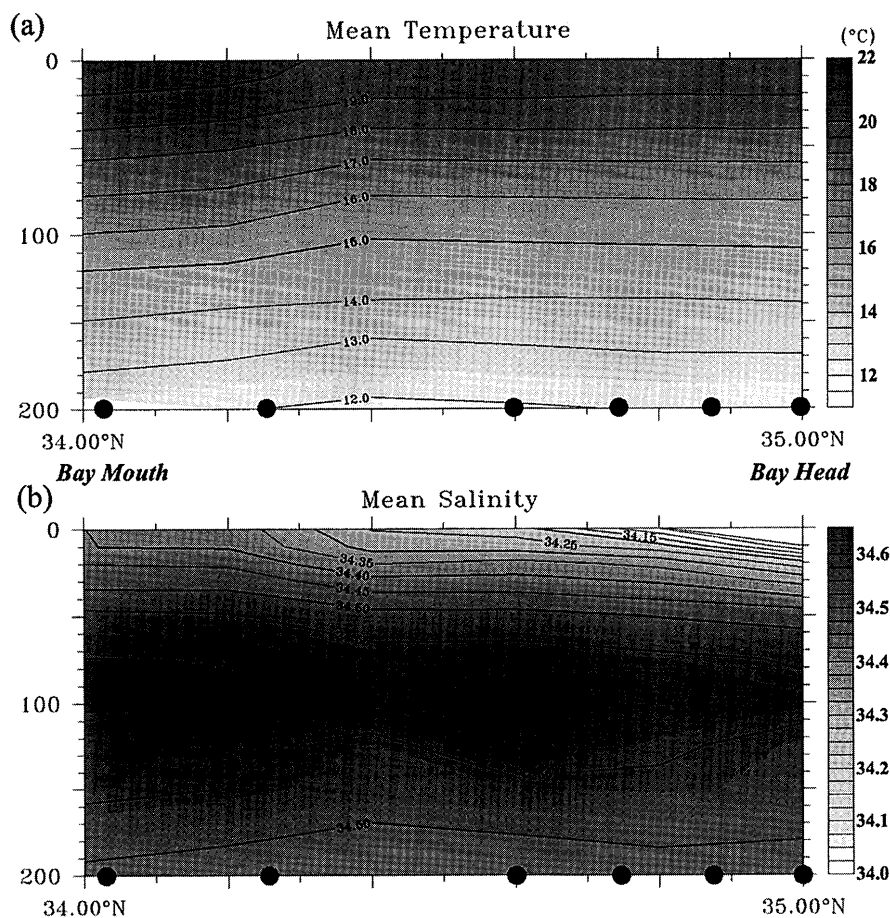


Fig. 5. Cross section of time-averaged (1965~2004) fields for temperature (a) and salinity (b) along the line shown in Fig. 1. Locations of observation stations are indicated by dots at the bottom of figures.

3.2. 時間変動特性

代表的な時系列として、湾外の測点 (Sta. 10) における表層 (10 m) 水温および塩分の時系列に注目すると (Fig. 7), 毎年極大および極小をもつ季節変動が卓越したことが明らかである。水温場では, 8月~9月に見られる夏季の極大が $25^{\circ}\text{C}\sim 29^{\circ}\text{C}$ の範囲で推移するのに対して, 2月~3月に見られる極小は $12^{\circ}\text{C}\sim 19^{\circ}\text{C}$ の範囲で変化する経年変化が顕著であった。一方, 塩分は冬季に極大, 夏季に極小となる水温と対照的な季節変化を呈したが, 冬季の極大が $34.5\sim 34.8$ の範囲で推移したのに対して, 夏季の極小値は $33.2\sim 34.4$ の範囲に達する年々変化が顕著であったことが分かる。こうした水温および塩分の季節変化の振幅の測点間での相違

は大きくなく, 深度とともに減少する傾向が何れの測点でも顕著であった。

これら水温・塩分の周期的変動の検出にスペクトル解析を行なった (Fig. 8)。その結果, 季節変動に相当する1年周期に有意なピークが存在し, そのピーク値は深度と共に減少し, 標準偏差分布の特性と対応していた (Fig. 6)。これより長周期帯に注目すると, 水温・塩分ともに表層 (10 m) では2年~3年の周期帯にスペクトルピークが認められ, 亜表層 (200 m) 水温にも同様な周期帯にピークが存在したが, このピーク値は表層よりも高かった。また, 表層・亜表層水温ともに, 約6年より長周期帯でのエネルギーが高くなるスペクトル特性より10年以上の長期変動の卓越が示唆されるが, そのエネルギーレベルは表層よりも亜表層の方が高い

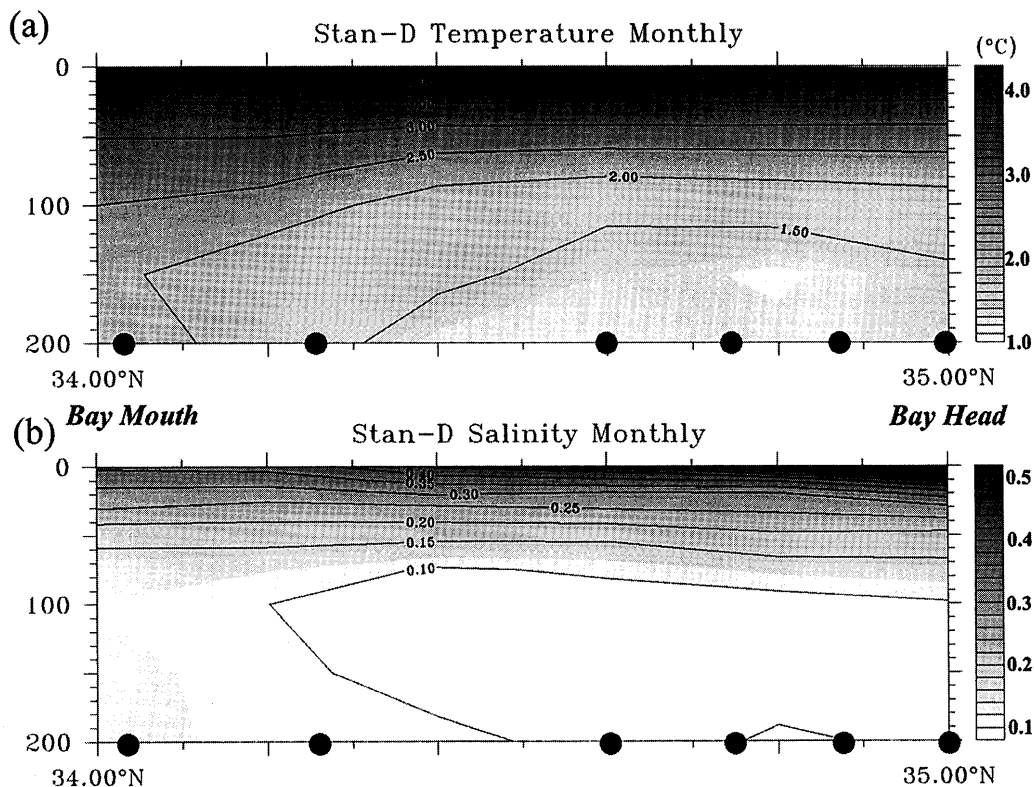


Fig. 6. Cross section of the standard deviations which were calculated by time series of monthly temperature (a) and salinity (b) data. Locations of observation stations are indicated by dots at the bottom of figures.

ことから、海面ではなく外洋海況が起源の変動であると考えられる (Fig. 8a)。

一方、塩分のスペクトルには、湾外・湾内共に亜表層で4年付近に顕著なピークが認められるが、同様な周期帯での表層塩分にはピークが認められない。また、これより長周期を見ると、5年～10年の周期帯において亜表層塩分のエネルギーが極小になるのに対して、表層はピークをもつ対照的なスペクトル特性が認められる (Fig. 8b)。この周期帯におけるエネルギーレベルが湾外よりも湾内測点の方が高いことより、その起源として海面あるいは河川からの淡水フラックスによる要因の存在が示唆される。

3.3. 経年変動

経年変動に注目して解析するために、12か月の移動平均による季節変動以下の短周期変動を除去した時系列を作成した。水温に対する標準偏差場の分布 (Fig. 9a) においては、沖側と湾内で大きく異なり、沖側では50

m～150 m 付近で最高振幅を示す一方、湾内では50 m 以浅で振幅が幾分高くなっている。一方、塩分に対する12か月移動平均の標準偏差場では (Fig. 9b)、移動平均を施していない標準偏差場 (Fig. 6b) とほぼ同様な特徴をもつが、沖側の50 m 以深で幾分振幅が高くなる傾向を示した。すなわち、経年スケールにおける駿河湾内および南方域における変動は、水温に関しては外洋域で高振幅の特性に対して、塩分は表層域で高振幅の特性を示す相違があった。

湾内および湾外を代表するそれぞれ測点 Sta. 29 および Sta. 10 における12か月移動平均時系列においては (Fig. 10)、数年程度の時間間隔で極大・極小が起きる周期的な変動の存在を示唆しており、スペクトルに見られた2年～3年周期の変動と考えられる。これらの時間スケールの変動は深度方向にほぼ同位相で起きること、その振幅は海面から200 m 深の範囲内では顕著な振幅の相違は認められないこと、さらには水温の上昇・下降がほぼ同時に起きていたことが分かる。ま

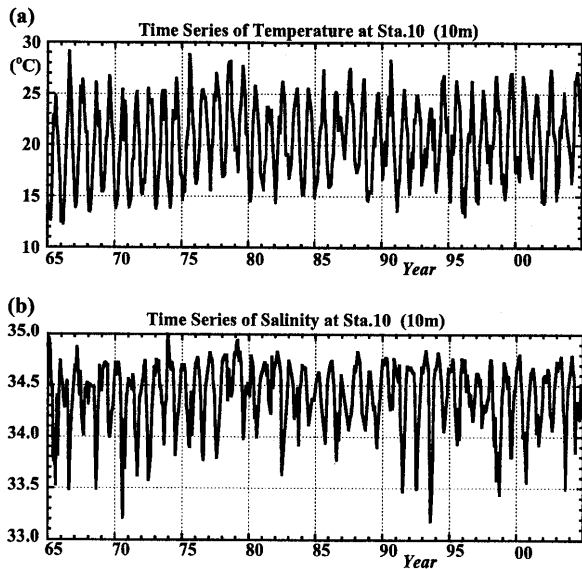


Fig. 7. Time series of monthly data of temperature (a) and salinity (b) in the near-surface layer (10 m) at Sta. 10.

た、湾内の測点に比べて湾外の測点における変動が高振幅であることより、外洋起源の変動要因が示唆される。因みに、瀬藤・秋山(私信)は、駿河湾内における水温の年々変動が同湾南岸における黒潮の流路変動に支配されることを指摘している。ここでは、串本・浦神の水位差によって定義された本州南方の黒潮流路の指標を用いて(Fig. 2)、大蛇行流路の発生の有無との関係を解明するように試みた。Fig. 10の下部に示された大蛇行期に注目すると、水温の上昇がこれらの時期に連動しており、特に湾外水温の顕著な昇温化が大蛇行期に相当していることが明らかである。

塩分の経年変動に対しても、同様に12か月の移動平均した時系列に注目すると(Fig. 11)、水温と同様に、数年程度の周期的な変動が湾内外の測点何れでも存在するが、それらの振幅は深度方向に変化し、表層ほど高振幅になるとともに、湾外より湾内で顕著になる特徴が認められる。この特性は湾内の測点でより明瞭であり、顕著な塩分上昇が1990年代に存在するが、これは黒潮流路が大蛇行にならなかった時期に相当しており、水温変動とは異なる要因の存在が示唆される。

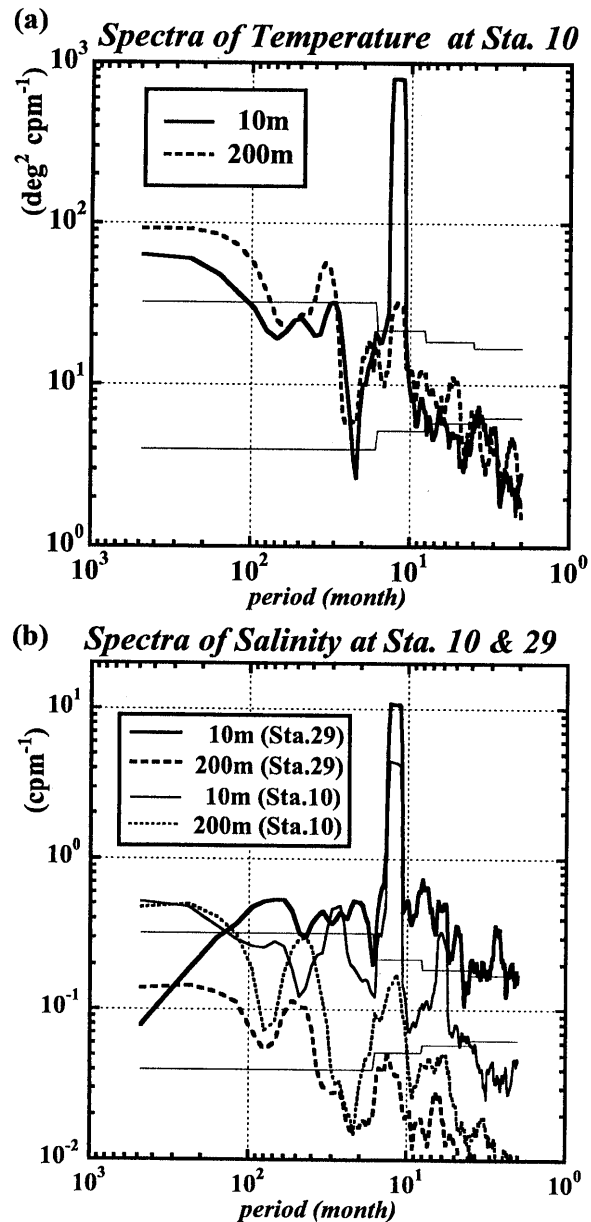


Fig. 8. Spectra of temperature (a) and salinity (b) in the near-surface (10 m) and subsurface (200 m) layers at Sta. 10 and Sta. 29 (only salinity). Horizontal lines depict the 95% significance limits.

4. 考察

4.1. 黒潮流路変動との関係

前節で明らかになった年々変動の要因として、駿河湾南方海域を流れる黒潮の流路変動が過去の研究から

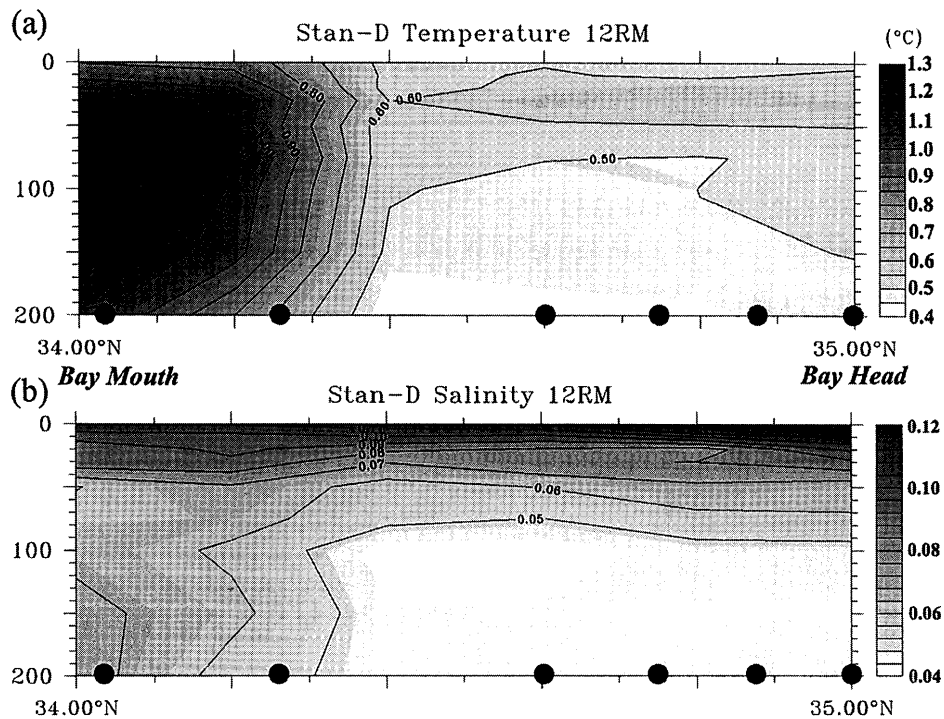


Fig. 9. Cross section of standard deviations which were calculated by 12-month running mean time series of temperature (a) and salinity (b). Locations of observation stations are indicated by dots at the bottom of figures.

指摘されている (勝間田, 2004)。ここにおいて、海上保安庁海洋情報部発行の海洋速報に基づく黒潮流軸の離岸距離の中から大王崎に対する数値を指標として用いた。Fig. 12は、海洋速報に記載された毎月の値より経年変化および長期変動に注目するために、12か月および60か月の移動平均を施した時系列を示している。図の下部に、串本・浦神の水位差に基づく黒潮大蛇行流路の期間が示されており (川辺, 2003)、大蛇行期に対応して離岸距離の増大が確認できる。また注意すべき点として、1969年や1999年末～2001年など大蛇行期に相当しない時期にも離岸距離が増大することである。これらは、本州南方海域において黒潮が安定した大蛇行流路をとる場合の基準に満たさない例とも考えられるが、遠州灘もしくはそれより東方では黒潮が離岸する非大蛇行離岸流路に相当している (川辺, 2003; 吉田他, 2006)。

ここでは、湾内外における水温の長期変動に注目していることから、各測点における水温の5年移動平均

時系列を導出した (Fig. 13)。湾外 (Sta. 10) の10m水温は、1978年前後に極大になった後次第に減少し、1995年前後の極小後は幾分上昇傾向となる。一方、湾内 (Sta. 29) では、湾外とほぼ同様に1978年前後の極大後に低下、1990年前後の極小後は上昇傾向に転じたが、湾外とは異なり、1990年以降の上昇は1978年のピークを上回っていた (Fig. 13a)。1978年のピークは各層で同様に認められるが、その後に極小となる年が200mで湾内・湾外ともに1995年前後に認められた。湾内外は、ほぼ同様な時間スケールをもつ周期的な変動を呈したが、湾外の方が高温のため湾外と湾内の水温差は大きかった。10m深において、この水温差は1975年以降顕著に現れた。一方、200m以深では、1975年～1990年、すなわち黒潮大蛇行期が集中した期間のみ表れ、大蛇行期以外の期間では湾内外の水温差は非常に小さかった (Fig. 13b)。

これら水温の時系列とともに黒潮流軸の大王崎からの離岸距離の時系列 (Fig. 13) に注目すると、湾外の測

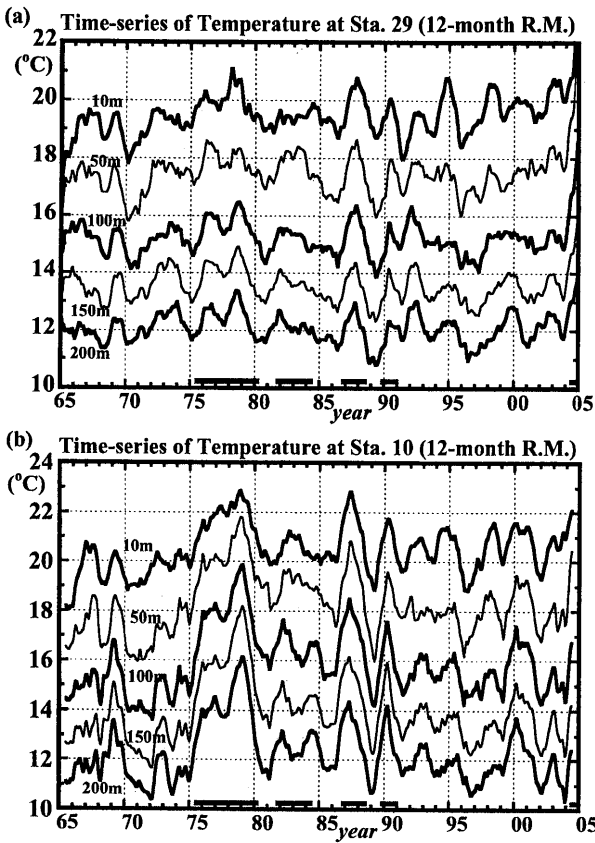


Fig. 10. The 12-month running mean time series of temperature in the layers (10 m, 50 m, 100 m, 150 m and 200 m) at stations inside (Sta. 29) and outside (Sta. 10) of the bay. Horizontal bars at the bottom indicate periods in which the Kuroshio took the large meander path.

点 (Sta. 10) における垂表層 (200 m) 水温と離岸距離との相関が極めて高く (相関係数 = 0.961) (Fig. 13a), 同海域における海況変動が黒潮流路の変動に支配されていることが示唆される。一方, 湾内測点 (Sta. 29) における表層 (10 m) 水温は, 1990 年以前の期間で高い相関を示した (0.913) が, それ以降の期間では黒潮流軸の離岸距離が減少した。これに対して, 湾内水温は上昇傾向を示したため, 全期間での相関は高くなかった (0.518)。以上より, 湾口から湾外における水温の経年変動は, 湾南方海域における黒潮の流路変動に支配されるが, 湾内水温の経年変動には 1990 年代以降の上昇傾向に特徴

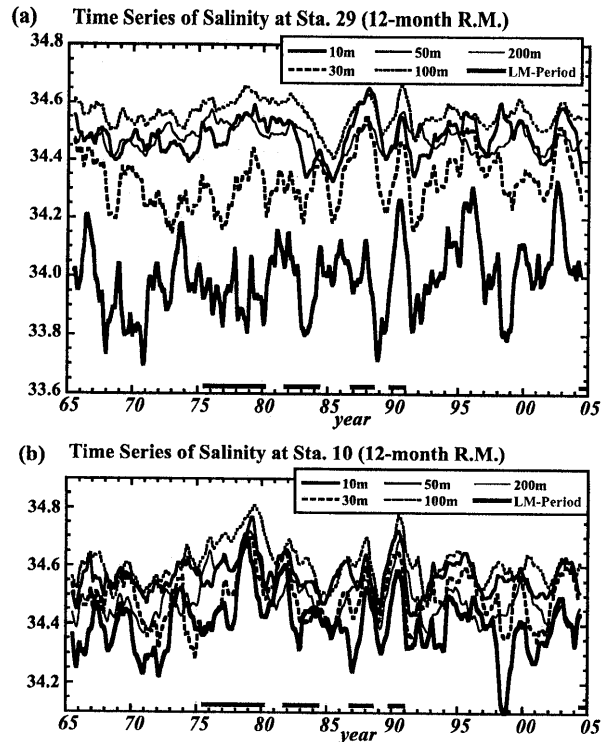


Fig. 11. The same as Fig. 10 except for salinity data.

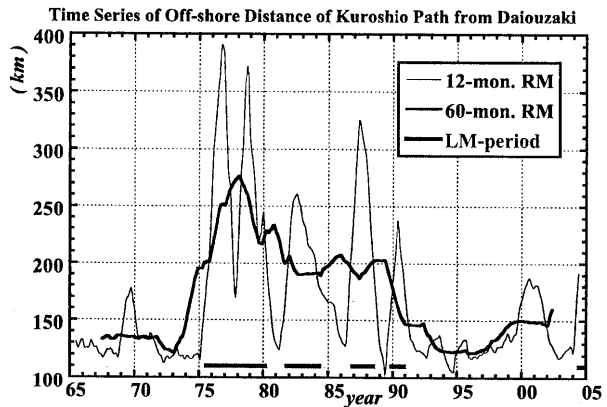


Fig. 12. Time series of off-shore distance of the Kuroshio path from Daiouzaki. The 12-month and 60-month running means are depicted by thin and thick lines, respectively. Horizontal bars at the bottom indicate the periods when the Kuroshio took the large meander path.

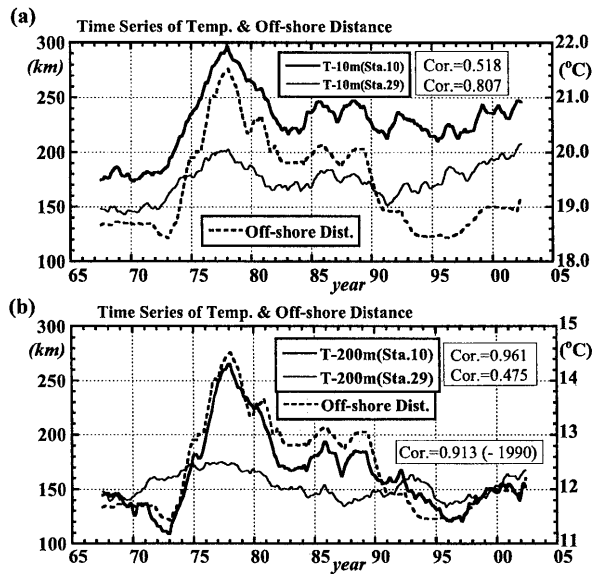


Fig. 13. Time series of temperature (a): in the near-surface layer (10 m) and (b): in the subsurface layer (200 m) at the stations south of bay (Sta. 10: thick solid) and in the bay (Sta. 29: thin solid), together with that of the off-shore distance of the Kuroshio path from Daiozaki (broken line). They are all low-pass filtered by 60-month running means. Values of correlation coefficients between the temperature or salinity and the off-shore distance are also depicted at the upper-right corner.

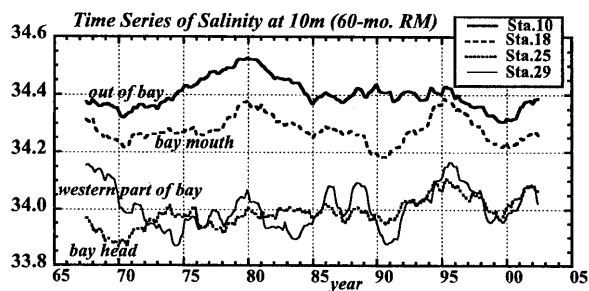


Fig. 14. Time series of salinity in the near-surface layer (10 m) at stations outside of the bay (Sta. 10: thick solid), near the bay mouth (Sta. 18: dashed), and the western part (Sta. 25: dotted) and inside (Sta. 29: thin solid) of the bay. They are all low-pass filtered by 60-month running means.

付けられる黒潮流路以外の要因による変動も存在することが示唆される。

塩分の経年変動は、湾外から湾内の海域を通して表層で高振幅域が広がっていることより (Fig. 9b), 湾外・湾口・湾西部・湾奥を代表する各測点 (Sta. 10, Sta. 18, Sta. 25 および Sta. 29) における 10 m の 60 か月移動平均時系列に注目した (Fig. 14)。図より、表層塩分の長期変動は湾外および湾口域と湾内との間で相違が見られる。すなわち、湾外 (Sta. 10) および湾口 (Sta. 18) では、1970 年代に上昇し、1980 年頃に極大となり、その後低下した。1980 年代半ばからの 10 年間は、湾外ではほぼ定常であるのに対して、湾口では 1990 年頃に極小をもつ変化が認められるが、1990 年代半ば以降は共に 2000 年頃に極小となる同様な変化を示した。これらを同海域における水温と比較すると、1978 年前後に極大、1995 年頃に極小をもつ表層水温変動とは異なることから、湾南方における黒潮流路の変動が要因とは考えにくい。実際、同海域における亜表層の塩分変動との相関も高くはない。

一方、湾内における表層塩分は、1980 年前後の極大が湾外および湾口に比べて顕著ではなく、1995 年前後に最高となる年々変化を呈する。また、1990 年以前の期間では、湾奥 (Sta. 29) での変化が比較的小さいのに対して、湾西部 (Sta. 25) では 1980 年、1986 年、1989 年に極大があるほか、1960 年代から 1970 年代前半において顕著な低下が認められる。

塩分の経年変動は、表層だけでなく湾口から湾外の亜表層でも高振幅を示すことより (Fig. 9b), 湾外測点 (Sta. 10) の亜表層 (200 m) における塩分の 60 か月移動平均時系列にも注目した (Fig. 15)。図より、1978 年前後の顕著な極大に特徴づけられる長期変動は、同海域の亜表層水温変動 (Fig. 13) とよく対応している。そして塩分も、水温と同様に、大王崎からの黒潮流軸の離岸距離との関係において (Fig. 15 の破線)、予想通り高い相関を示し (相関係数 = 0.853), 黒潮の流路変動が要因として重要であることを示唆している。

以上より、湾口から湾外で高振幅となる水温の長期変動は、湾南方海域における黒潮流路の変動に支配され、黒潮流路が離岸、即ち大蛇行期には高温化する傾向にあり、瀬藤・秋山 (私信) による結果に一致した。

これら黒潮の流路変動に支配される水温変動は、湾内にも及ぶことが明らかになった。また、塩分の長期変動にも湾口から湾外において高塩分化する傾向が認められ、黒潮の離岸時には湾口付近の亜表層では高温・高塩化することが明らかになった。一方、表層に卓越する塩分の長期変動は、これらとは異なる要因であることが示唆された。

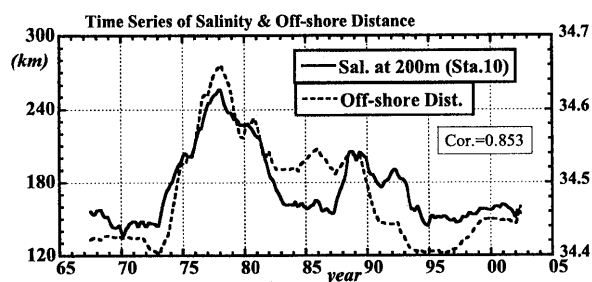


Fig. 15. Time series of salinity in the subsurface layer (200 m) at the station south of bay (Sta. 10) (solid line), together with that of the off-shore distance of the Kuroshio path from Daiozaki (broken line). Both are low-pass filtered by 60-month running means.

4.2. 降水量変動との関係

本節では、黒潮流路変動に支配される変動とは異なる特性をもち、湾内表層で卓越する塩分の長期変動に注目した。表層塩分の変動要因として、第一に付近の河川水の流量変動、第二に海面を通した淡水の供給(降水量)および損失(蒸発)による淡水フラックスの変動が考えられる。実際、湾内西部には安倍川、大井川、天竜川などの一級河川が存在するが、これら河川流量のデータ取得は困難である。また、蒸発量の長期間にわたる時系列の導出は海上気象要素と海面水温の同時観測データの取得が困難である。そこで、ここでは降水量変動のみを対象とし、表層塩分との関係を解析した。

Fig. 16は、静岡における日降水量から導出した月平均降水量の60か月移動平均時系列(実線)と湾内西部における表層塩分の同様な時系列を示している。なお、降水量の座標は大小を反転させている。図より、降水

量は1974年、1981年、1990年、1999年頃に極大、1985年～1986年および1994年～1995年に極小が存在するが、これらと相前後して表層塩分の極小および極大があり、両者の対応が良いことが分かる。両者の間の相関係数は -0.641 (有意性99%;有効自由度=35)であるが、図より降水量変化が幾分先行する傾向があることより、ラグ相関を求めると、半年の位相差(降水量が先行)で最大相関(-0.687)を示す。これより、湾西部における表層塩分の長期変動は、降水量の増減に特徴付けられる淡水フラックス変動に起因することが示唆される。

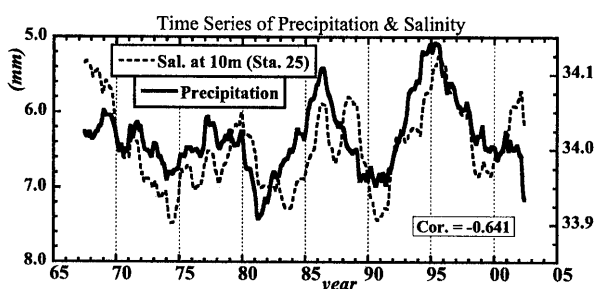


Fig. 16. Time series of precipitation at Shizuoka (solid line) and salinity in the near-surface layer inside of the bay (Sta. 25) (broken line). Both are low-pass filtered by 60-month running means. Values of correlation coefficients between them are also depicted at the lower-right corner.

5. 結論

本研究では、駿河湾内および南方近海における過去40年間の沿岸定線観測データを用いて、表層水温および塩分の長期変動に注目した解析を行なった。その結果、以下のことが明らかになった。

5年以上の時間スケールを対象とした水温の長期変動は、1970年代半ばまでの低温状態から1978年頃を極大とする高温期とその後の下降期で特徴付けられる特性を有し、湾外の亜表層で最高振幅を示した。この水温の長期変動は、湾外では表層から亜表層においてほぼ同位相で推移し、振幅は低下するものの湾内にまで同傾向の変動を呈した。過去の研究に基づき、黒潮

流軸の大王崎からの離岸距離との関係を比較検討した結果、有意な相関が存在することが判明し、同海域における水温の長期変動が黒潮の流路変動に代表される湾南方海域における海況変動に支配されることが明らかになった。また、湾内表層には、1990年代半ば以降の昇温傾向で特徴付けられる変動の卓越も認められたが、これと外洋海況変動との相関は認められなかった。海面熱フラックスの効果などの要因の検討が、今後必要であると考えられる。

塩分の長期変動は、水温と同様に湾口から湾外の垂表層で卓越する変動と、湾内から湾外の表層で卓越する変動に大別される。前者は、1970年代後半の高塩分で特徴づけられ、水温変動と高相関であることより、南方海域における黒潮の流路変動に支配される。すなわち、大蛇行流路で代表される黒潮流軸が大王崎から離岸するときには、湾外から湾口付近における垂表層の水温と塩分はともに上昇する傾向がある。一方、表層で卓越する塩分変動は、湾口～湾外の海域と湾内での特性は異なる。湾口～湾外における変動は、1980年頃の極大で特徴づけられるが、この変動要因については明らかではない。また、湾内表層で卓越する塩分変動に関しては、静岡における降水量に対して約半年の位相差(遅れ)をもって逆相関の関係が存在している。このことより、降水量の増加(減少)が表層塩分の低下(上昇)をもたらすと考えられる。ただし、降水量変動が海面を通じた淡水フラックス量の増減を通じて表層塩分の変動が起きているのか、それとも付近の河川水量の増減を経ているのかは明らかでなく、今後の検討課題である。

本研究では、湾南方における黒潮流路の変化に起因する海況変動の実態を明らかにした。大王崎からの黒潮流軸の離岸距離が増大すると、湾外から湾内での垂表層水温および塩分の上昇が顕著となるが、その一因として、黒潮の離岸時には、沿岸付近を西向きに流れる内側反流の強化に起因する暖水波及現象が、湾内表層に起きることが知られている。このような現象によって、黒潮系水の流入に伴い、湾内外において高温化および高塩化が起きると考えられる。本研究では水温だけでなく、塩分にも同様な現象が存在することを示した。このことは、水系変動の視点での検討の必要性を

示しており、T-Sを含めた水系分析によって明らかにされるであろう。

謝辞

本研究の遂行にあたり、東海大学海洋研究所杉本 隆成教授に貴重なご助言を頂いた。用いた地上気象観測データは、気象業務支援センターより取得した。

References

- 船越 茂雄(1988): 駿河湾・遠州灘のシラス生産機構. 水産海洋研究会報, **52**, 240-243.
- 稲葉 栄生(1982): 駿河湾海況と黒潮流軸との関係. 沿岸海洋研究ノート, **19**, 94-102.
- Inaba, H. (1984): Current variation in the sea near the mouth of Suruga Bay. *J. Oceanogr. Soc. Japan*, **40**, 193-198.
- 稲葉 栄生(1988): 駿河湾の海洋環境. 水産海洋研究会報, **52**, 236-240.
- 勝間田 高明(2004): 駿河湾への外洋水の流入過程. 東海大学大学院博士論文, 110 pp.
- 勝間田 高明・稲葉 栄生・川畑 広紀(1999): 駿河湾口東部に於ける係留式上向き ADCP による流動観測. 東海大学紀要海洋学部, No. 48, 193-207.
- Kawabe, M. (1985): Sea level variations at the Izu islands and typical stable paths of the Kuroshio. *J. Oceanogr. Soc. Japan*, **41**, 397-325.
- Kawabe, M. (1995): Variations of current path, velocity, and volume transport of the Kuroshio in relation with the large meander. *J. Phys. Oceanogr.*, **25**, 3,103-3,117.
- 川辺 正樹(2003): 黒潮の流路と流量の変動に関する研究. 海の研究, **12**, 247-267.
- 村中 文夫(1976): プランクトンの量的分布からみた駿河湾および隣接海域の海域特性. 関東・東海ブロック水産海洋連絡会報, **2**, 15-18.
- 中村 保昭(1982): 水産海洋学的見地からの駿河湾の海洋構造について. 静岡県水産試験場研究報告, **17**, 1-153.
- 中村 保昭・村中 文夫(1979): 駿河湾および遠州灘の海洋構造の変動特性. 水産海洋研究会報, **34**, 128-133.
- 東海大学海洋学部編(1996): 新版駿河湾の自然. 静岡新聞社, 343 pp.
- 吉田 隆・下平 保直・林王 弘道・横内 克巳・秋山 秀樹(2006): 黒潮の流路情報をもとに黒潮大蛇行を判定する基準. 海の研究, **15**, 499-506.

Long-term Variability of Upper Oceanic Condition in Suruga Bay and its Surrounding Area

Kunio Kutsuwada[†], Masahiro Tanikawa[†], Yoshitsugu Hagiwara[‡], Takaaki Katsumata^{**}

Abstract

Observational data along the regular sections in last 40 years (1965~2004) which have been performed by the Shizuoka Prefectural Fisheries Experiment Station were used to analyze long-term variabilities of temperature and salinity fields in the upper ocean layer of Suruga Bay and its surrounding area. Inter-annual variability of the temperature field showed (1) high amplitude in the subsurface layer of areas near the bay mouth and outside of the bay, by characterized as warming in the last half of 1970s, and (2) the amplitude was eminent in the near-surface layer inside of the bay by warming since the last half of 1990s. The former change had high correlation with off-shore distance of the Kuroshio axis from Daiozaki, possibly because it is controlled by open oceanic condition. Similar interannual change was also found in the salinity field of the subsurface layer in the same region, and thus the subsurface temperature and salinity became both higher when the Kuroshio had taken a large meander path. We detected a long-term salinity change which is dominant in the near-surface layer. This had a significant correlation with the lag of a half year with the precipitation change at Shizuoka, by suggesting the importance of freshwater flux through the sea surface or volume flux change from rivers.

Key words: Suruga Bay, Long-term variation, upper ocean layer

(Corresponding author's e-mail address: kkutsu@scc.u-tokai.ac.jp)

(Received 1 December 2006; accepted 24 February 2007)

(Copyright by the Oceanographic Society of Japan, 2007)

[†] Department of Marine Science, School of Marine Science and Technology, Tokai University, 3-20-1, Orido, Shimizu, Shizuoka, Shizuoka 424-8610, Japan

[‡] Shizuoka Prefectural Fisheries Experiment Station 3690, Ogawa-Shioiri, Yaizu, Shizuoka 425-0033, Japan

^{**} The General Education Center, Shimizu, School of Marine Science and Technology, Tokai University, 3-20-1, Orido, Shimizu, Shizuoka, Shizuoka 424-8610, Japan