

— 論文 —

潮岬周辺海域の微細海況と串本・浦神間の水面高度分布*

前川 陽一¹⁾**・中村 亨¹⁾・仲里 慧子¹⁾・小池 隆²⁾・竹内 淳一³⁾・永田 豊⁴⁾

要 旨

2009年4月と10月の2回にわたって、勢水丸を潮岬周辺に派遣して、詳細な海況の観測を実施した。串本・浦神の検潮所間の水位差は、しばしば黒潮流路が直進路をとっているか、蛇行路をとっているかの指標として用いられる。従来にない密な観測点を設けることによって、この水位差は串本・浦神の間で緩やかに起こっているのではなく、潮岬の沖、東西約6kmの幅で集中的に生じていること、また、その水位差のほとんどは、僅か150m深までのごく表層の海洋構造によって作り出されたものであることが示された。黒潮本流の流速場を支配している温度躍層以深の水温・塩分構造が直接関係するのではなく、振り分け潮のような現象によって黒潮表層水が紀伊半島南西岸にもたらされるかどうかによって水位差が生じていることをより詳細に示すことができた。

キーワード：潮岬周辺の微細海況、串本・浦神間の水位差、振り分け潮、水位計算基準面、練習船勢水丸

1. はじめに

我々は三重大学大学院生物資源研究科附属練習船勢水丸や和歌山県農林水産総合技術センター水産試験場（以

下においては和歌山水試と略記する）等の観測資料を用いて、紀伊半島南方の微細海況の解析を行ってきた。特に、黒潮が直進路をとり、その強流部が潮岬先端に接するように流れるときには、紀伊半島南西海岸に沿って振り分け潮と呼ばれる東西に分かれる特異な流れが現れることを明らかにし、その特性を検討してきた (Takeuchi *et al.*, 1998, Nagata *et al.*, 1999, Uchida *et al.*, 2000, 中村ら, 2008, 田中ら, 2008)。振り分け潮の発生に伴って、沖合の黒潮表層暖水が潮岬の西方で岸近くまで侵入してくると、潮岬西方の水位が上昇し、串本検潮所の水位を上昇させ、串本・浦神間の水位差が生じることが示された (Nagata *et al.*, 1999)。一方、黒潮が蛇行路をとり、黒潮の強流部が潮岬から十分離れているときは、潮岬東西の沿岸水の交換が容易に起こり、串本・浦神間の水位差は解消される。このことが、距離が15kmに過ぎない串本・浦神の両地点間の水位差が黒潮の流路をモニターする有効な指標になる理由である。

* 2010年12月8日受領；2011年9月17日受理

著作権：日本海洋学会，2011

1) 国立大学法人三重大学大学院生物資源学研究科附属練習船勢水丸

〒514-8507 三重県津市栗真町屋町 1577

2) 国立大学法人三重大学大学院生物資源学研究科

〒514-8507 三重県津市栗真町屋町 1577

3) 和歌山県農林水産総合技術センター水産試験場

〒649-3503 和歌山県東牟婁郡串本町串本 1557-20

4) 財団法人日本水路協会海洋情報研究センター

〒144-0041 東京都大田区羽田空港 1-6-6 第一総合ビル 6F

** 連絡先

国立大学法人三重大学大学院生物資源学研究科附属練習船勢水丸
前川陽一 yoichi@bio.mie-u.ac.jp

大阪港岸壁電話 & Fax 0598-50-1066

沿岸船舶電話 090-3022-8767 同 Fax 090-3022-8768

従来、串本・浦神検潮所の水位差は、旬ないし半月単位の時間スケールの黒潮流路の変動をモニターするのに用いられてきた。しかし、Uchida *et al.*, (2000) は、振り分け潮の強さの変動のような数時間から1週間程度の短期変動にも、水位差が良い指標となりうることを指摘している。更に中村ら(2008)は、潮岬のすぐ沖に発生する幅の狭い西向流を解析し、その発生から消滅に対応して、串本・浦神間の水位差が変動していることを見出すとともに、この2つの現象の間には若干の時間差があることを指摘した。これらの研究結果の要約は小池(2008)に与えられている。中村ら(2008)は、潮岬すぐ沖の流れの変動と串本・浦神間の水位差の変動との間に数日の時間差が生じる場合があるとしているが、串本・浦神間の水位差が、流れに関連した水位差を直接表しているとは言えない。一方、藤田(1997, 2001)は、和歌山水試の観測資料を利用して、串本・浦神間の水位差は、300 m 深を基準として計算されたそれぞれの地点の沖合の海面水位の差にほぼ一致することを示している。しかし、資料の限界から串本・浦神間で水面高度がどのように変化するかについては良くわかっていない。我々は、藤田(1997, 2001)の知見を更に深化するため紀伊半島先端、潮岬周辺の微細海況を従来にない観測点分布を持つ観測を計画した。

黒潮の本州南方の形態を直進路、蛇行路に分類することは、潮岬近傍の海洋特性を論じる場合、必ずしも得策ではない。むしろ、潮岬東西の沿岸水が連続しているか、潮岬によって東西に分離しているかが問題である(Nagata *et al.*, 1999)。我々も従来から、黒潮北縁が潮岬に接近し、ほとんど接する形になっている時を直進路、離れている時を蛇行路と呼んできた。この論文でも、この用語を踏襲し、北縁が潮岬の南に13 km 以下しか離れていない場合を直進路とみなすのが普通である(水産総合研究センター中央水産研究所が主催している長期予報会議)。しかし、この分類は、通常の蛇行路、直進路にほぼ対応するが、蛇行がずっと東方、伊豆半島近辺で見られるときは、むしろ直進路と分類する。

我々は、2009年の4月と10月の2回にわたって勢水丸を潮岬周辺に送り微細海況の観測を行った。これらの観測時、海洋速報によると黒潮は潮岬近傍で直進路をとっていたことを示していたが、衛星による表面水温画像に

よると4月の観測時の直前に潮岬のすぐ沖を黒潮の小蛇行に伴う渦が潮岬沖を通過したようである。串本・浦神間の水位差は比較的小さかった。また、10月の観測時には黒潮の強流帯が潮岬に接する形になっており、串本・浦神間にかかりの水位差が見られた。

2. 観測概要

観測は2009年4月13日から17日および2009年10月19日から23日の2回、三重大学大学院生物資源学研究科附属練習船勢水丸(全長50.9 m, 総トン数318トン, 国際トン数491トン)によって行った。2009年1月30日に竣工した新勢水丸の性能、装備については、前川ら(2011)に詳しい。この論文ではCTD(Sea-Bird社製, SBE-25)と多層式ADCP(RD社製, 最大128層の観測が可能とされるが、測定の実用性を高めるためメーカーの推奨する60層の観測を実行)の計測結果を使用した。

中村ら(2008)の研究結果から、串本・浦神間の水位差は潮岬近傍の狭い範囲で生じていることが考えられるので、Fig. 1に示すように、潮岬を挟んで西方から東方へ、A, B, C……Fと6本の観測線を設定し、各測線の最も岸側の50 m 深を僅か超す所に測点1を、100 m 深に測点2を設けた。しかし、実際の観測では100 m 深までのデータを得るためにやや深めの水深の場所を選んだ。測点3以降は、それから沖に向かって2.5海里(約4.6 km)間隔に測点7まで設けた。全ての測線で、このように選んだ測点3での水深は500 m 深を超えている。各測点の名称は、測線名と測点番号を用いてA1, A2……, B1, B2……のようにした。CTD観測は、測点1では50 m, 測点2では100 m 深より十分深くまで行なうようにした。観測中の漂流等でその位置の海底水深が増大したような場合には、可能な限り海底近くまで観測した。その他の点では500 m 深を超す深さまで行った。ただし、実際には、時間の制約から2009年4月の航海では最も沖合の測点A7, C7, D7での観測を、10月の航海では最も浅い測点A1からF1での観測を行えなかった。各測点の位置は予定から若干ずれる場合もあった。実際の測点分布は観測結果の水平分布図に示している。第6章の議論(Fig. 10)で、10月の観測結果から

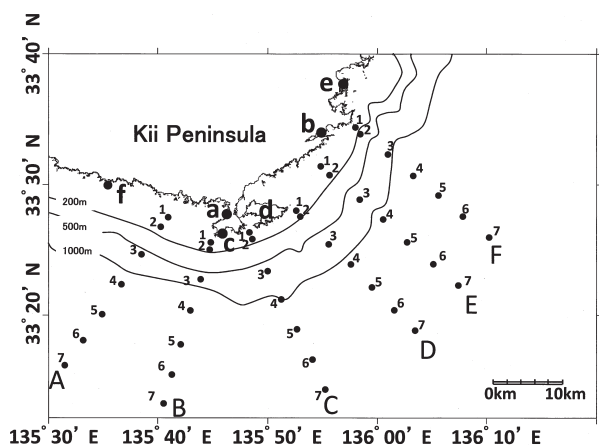


Fig. 1. Standard distribution of observation points. Some observation points were omitted due to limitation of available time. Real distributions in April 2009 and in October 2009 are shown in horizontal distribution maps of temperature, salinity and so on. Line names are indicated with capitals A, B, C, D, E, and F from west to east. Station numbers are indicated with numbers 1 through 7 from coast to offshore. The small alphabets a through f indicate the position of tide gauge stations and positions of town; a: the Kushimoto tide gauge station, b: Uragami tide gauge station, c: Cape Shionomisaki, d: O-shima Island, e: Katsuura, and f: Cape Esuzaki.

測点 2 をつないだ線に沿って 150 m 深基準の海面水位を議論しているが、これは測点 A2 を除いて、観測中の船の東への漂流のため、実際の測定位置の海底水深が増加しており、150 m 深を十分超す水深までの CTD 観測が実行できた。ただし、これらの観測点付近の海底勾配が大きく、測点の位置は予定された位置とほとんど変わらない。

2009 年 4 月、10 月の航路を、それぞれ Fig. 2 の上図、下図に示す。幾つかの測点で観測日時を示し、航走方向の矢印も示してある。4 月の航海では 13 日 15 時松阪を出港し、21 時 12 分大王崎南方に達し、ADCP 観測を開始した。測線 F の観測を終えた時点（14 日 08 時 00 分）で、天候悪化のため勝浦港に避難した。15 日 08 時 27 分に同港を出港し、09 時 50 分測点 E1 から観測を再開した。再び天候悪化の兆しがあったので、測点 E7 から D3 に向かい、D3, D2, D1 での観測を日没前に終了さ

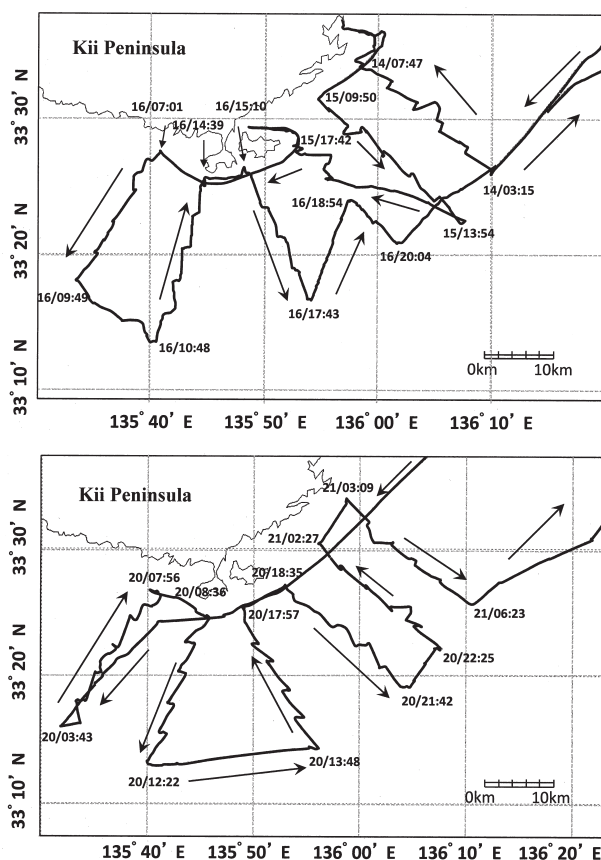


Fig. 2. Cruise tracks of the Training Ship Seisuiamaru: upper figure for April 14–16, 2009 and lower figure for October 20–21, 2009. Arrows attached to ship track indicate navigation direction.

せた。翌 16 日 07 時 01 分から測点 A1 で観測を再開し、測線 A, B, C の観測を行った。測点 C6 の観測終了後、測線 D に移り、前日にできなかった測点 D4, D5, D6 で観測を行った。10 月の航海では 19 日 13 時 21 分に松阪を出港、20 日 03 時 43 分に測点 A7 に着き観測を開始した。この航海では、各測線で最も岸寄りの測点 1 での観測は省略した。最終測点 F7 の観測を 21 日 06 時 52 分終了した。

ADCP については、観測対象海域では 75 kHz を使用し、21.5 m 深から 493.5 m 深まで 8 m 間隔で 60 層の測流を行った。停船時や発進時には複雑な船首方向の変化や船速変化のために測定値が乱れるので（前川ら、2011）、測点に近づいて減速し、船速が 5kn になったときから、観測終了後に航走を再開して、船速が 5kn に

達するまでの測流値は使用しない。

3. 2009年における黒潮の流路の変動

観測を実施した2009年の黒潮の流路特性の変動を、串本・浦神間の水位差 (cm) と潮岬先端から真南に測った黒潮北縁の離岸距離 (km) から、先ず概観する。

Fig. 3 に示す串本・浦神間の水位差の時系列は、気象庁が発表している両検潮所の1時間毎の計測値にタイドキラーフィルター (花輪・三寺, 1985: 連続した241個の値から計算) を掛け潮汐成分を除去したのち、各日正午の値を用いて作成した。ただし、両検潮所の水位基準面を参照し、TPからの値に直してある。

また、黒潮の北縁の位置は、和歌山水試が、NOAA/HRPT受信解析装置、Tera Scanを用いて、直接受信した赤外線画像から読み取ったものを使用した。明瞭な水温コントラストが現れる位置を読みとるが、これは海洋情報部の海洋速報では黒潮流軸から24 km北にあたとされている。衛星画像から、黒潮北縁位置を1日毎に求め、離岸距離の時系列を求めて、Fig. 3の上側に黒丸で示した。1日中雲がかかっている場合等は欠測となるが、欠測期間については、前後の値から線形補間により内挿した (図中白丸)。また、黒潮北縁が潮岬

の先端から3.6 km以内に近づくと衛星画像では判別できないので3.6 kmとしてある。衛星画像による黒潮北縁の決定は、一般に表層の混合が起こる冬期には容易であるが、表面が暖水層に覆われる夏期では困難である。Terra および Aqua 衛星による海色画像が利用できる場合には、これを参考にして夏期の黒潮北縁位置を決めた。

Fig. 3には海上保安庁海洋情報部が提供している黒潮流軸位置を×印で示した。この位置は、黒潮北縁より24 km沖側として定義されているが、Fig. 3では衛星データから決めた北縁位置と重ならないように、速報による流軸位置をそのままの上側に示した。海洋速報の位置は報告日までの各種の海洋情報を用いて決定しているため、1~2日前の黒潮位置を示すことになるが、このことを考慮すれば、両者の変動は非常に良く対応していると言える。

Fig. 3から、2009年4月の観測期間は、黒潮の小蛇行が潮岬を通過した直後にあたり、串本・浦神の水位差が小さい時期であった。先に述べたタイドキラーフィルターをかけた1時間毎の水位差記録を見ると、4月の観測期間を含む4月11日~4月19日にはほぼ5 cmの安定した値を示していた。一方、2009年10月には、14 cm~18 cmの比較的大きな水位差を示していた。ちなみに、藤田 (2001), Nagata *et al.*, (1999) 等では、両

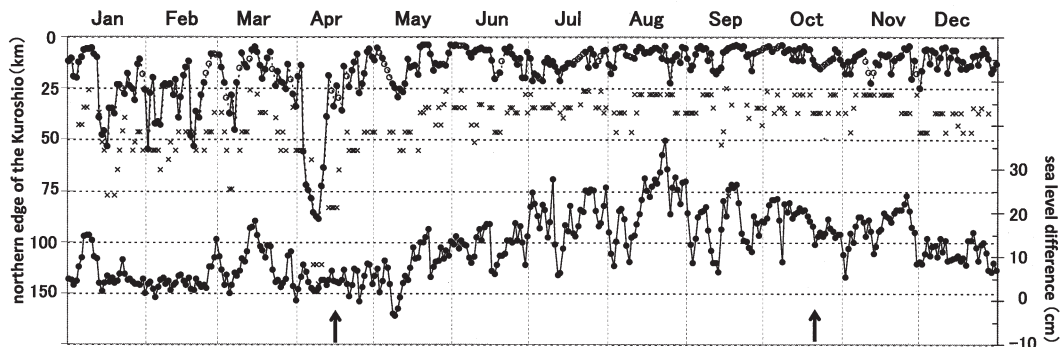


Fig. 3. Variations of separation distance (upper figure in km) of the northern edge of the Kuroshio measured southward from the tip of Cape Shionomisaki and of sea level difference (lower figure in cm) between Kushimoto and Uragami tide gauge stations in 2009. The separation distance is determined from NOAA satellite image of sea surface temperature distribution, and daily values are shown with solid circle. Interpolated values are shown with open circles when satellite information is not available. Variation of the position of current axis of the Kuroshio daily reported by the hydrographic and oceanographic department, Japan Coast Guard is plotted with cross marks in the upper figure. The position of current axis is usually thought to be 24 km southward from the northern edge of the Kuroshio.

検潮所の生の報告値を用いているが、その場合は差が 25 cm 以上の時、直進路をとるとしている（より正確には、両検潮所の水位差が 0 になるのは生の報告値の差が 23.0 cm の時である）。Fig. 3 の下側に示した串本・浦神間の水位差は TP を基準としているから、Fig. 3 に示す値が、両検潮所間の水位差を表している。水位差の値は、1 年を通して串本側が高いことを示しており、2009 年は一般に黒潮は直進路をとる傾向を持っていたように思われる。

また、Fig. 3 に示された水位差はこの年、8 月末をピークとして、5 月末から 11 月中旬にかけて大きくなる傾向が見られる。しかし、離岸距離の変動にはそのような季節的な変動は見られない。しかし、2009 年と同様に、ほとんど 1 年中黒潮が直進路をとっていた 2003 年にも夏期を中心に水位差が大きくなる傾向が見られる。このような季節変動については現在解析中である。

4. 流速場

ADCP によって測られた 21.5 m 層の流速場を 4 月と 10 月について、それぞれ Fig. 4 の上、下に示す。Fig. 3 によれば、黒潮北縁は 4 月の観測時に潮岬の南方 25 km 付近にあった。最も南にある測点 B7 が潮岬先端から 25 km の距離にあることから、黒潮本流域は観測域に含まれていないと考えられる。測線 A, B, C および測線 D の南部における流れは全般的に東向きで、流速は比較的弱い。このことは観測域が黒潮本流域に達していないことと整合性がある。一方、測線 A, B, C, および測線 D の南部と、測線 D の北部および測線 E の流速値には大きな違いが現れ、前者の流速は、後者のそれに比べ顕著に小さい。両者の観測時期が 1 日以上ずれていることを考えると、この差は、時間的な変化を示している可能性が高い。しかし、後に示す水温・塩分の水平分布勾配 (Fig. 5)、500 m 基準の水面高度分布 (Fig. 8) ではこれに対応する構造は見られない。

これに対して 10 月の観測時の流速場 (Fig. 4 下図) では、潮岬のすぐ沖合に接する形で黒潮の強流域が見られ、この強流域の北縁は潮岬先端付近から東に延びていたと考えられる。すなわち、10 月の観測時には典型的な黒潮の接岸状態が現れていたことを示している。

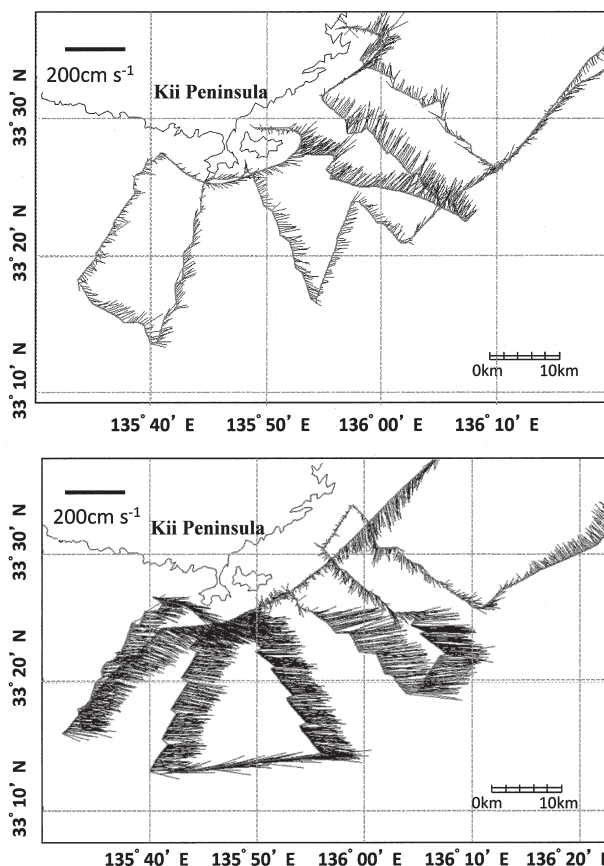


Fig. 4. Current velocity fields at 21.5 m depth on April 14–16, 2009 (Upper figure) and on October 20–21, 2009 measured by ADCP. Scale of current velocity vector is shown at left upper corner of each figure.

ADCP 観測は 493.5 m 深まで行われた。一部には流速方向がある深さで逆転するような複雑な構造が見られるが、全般的には流速場の形状を維持したまま流速値が深さとともに減少している。この減少傾向は 200 m 深付近からより顕著になり、最深層では形状そのものが認めがたくなっていた。

5. 水温・塩分場

紀伊半島沖での黒潮の流軸、流向は、200 m 深の水温平面図の等温線ではほぼ近似できることが経験から知られている（例えば、Nagata *et al.*, 1999, 小池, 2008）。もちろん、このことを非常に微細な海洋構造を論じてい

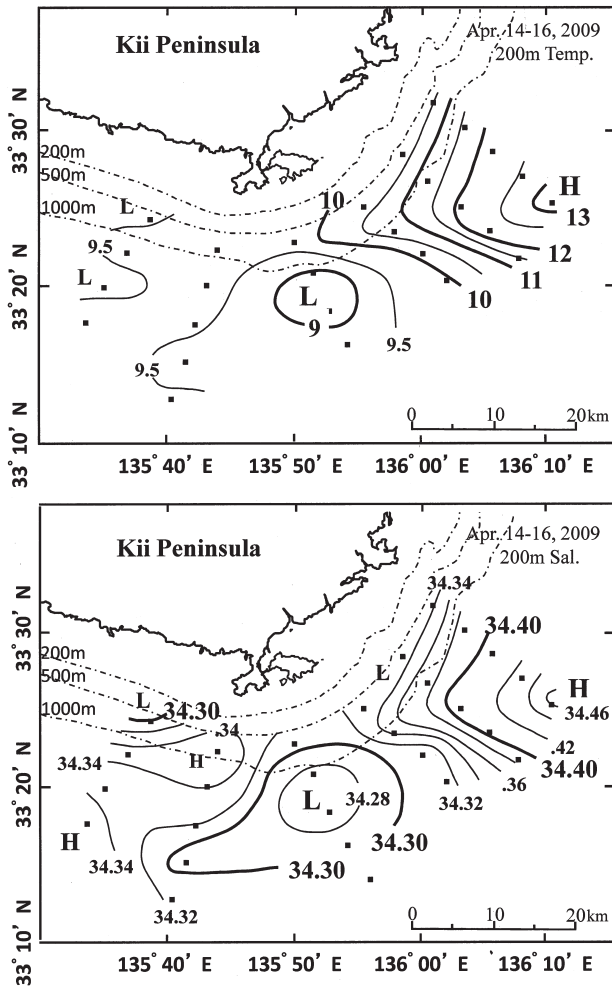


Fig. 5. Horizontal distributions of temperature (upper figure :) and salinity (lower figure) at 200 m depth on April 14–16, 2009. Isotherm is drawn at 0.02 °C interval, and isohaline at 0.02 interval.

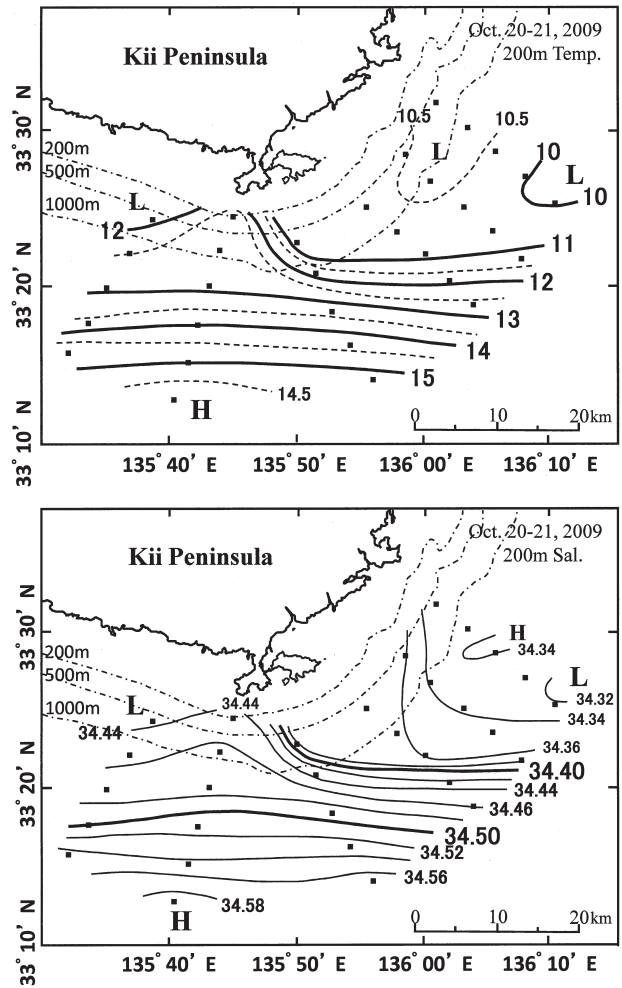


Fig. 6. Same as in Fig. 5 except for on October 20–21, 2009. Isotherm is drawn at 0.5 °C interval, and isohaline at 0.02 interval.

る現在の解析に適用できるかどうかは検討の余地がある。例えば、田中ら (2008) の紀伊半島南西部の解析に現れた事例のように、200 m 深の水温平面図の等温線が紀伊半島南西沿岸にぶつかる形になっていたように、時間変動に富む流れは地衡流的なバランスの下にあるとは限らない。また、200 m よりも浅い水深を選ぶと、水温・塩分場の構造の相互の対応関係がつかない小さなスケールの構造が多く現れる。しかし、黒潮流軸付近のおよその状況を掴むため、ここでは 200 m 深の平面図を用いる。

CTD 観測から得られた 200 m 深の水温および塩分の水平分布を Fig. 5 (4月) および Fig. 6 (10月) に示す。

いずれの図も、上に水温分布 (°C) を、下に塩分分布を示す。また、測線 C に沿った水温・塩分の断面分布を Fig. 7 に示す。上段は 4 月の断面、下段は 10 月の断面である。それぞれについては、左が水温 (°C)、右が塩分である。

4 月の水温の平面分布 (Fig. 5 上) を見ると、測点 C5 で 9°C を切る水温が観測されている。この海域でこのような低水温が 200 m 層に現れることは珍しい。塩分値もこの測点で極小を示している (Fig. 5 下)。Fig. 4 上の流速場はこの付近ではほぼ一樣な東向流になっているが、水温・塩分場はこの測点を中心とした反時計回りの

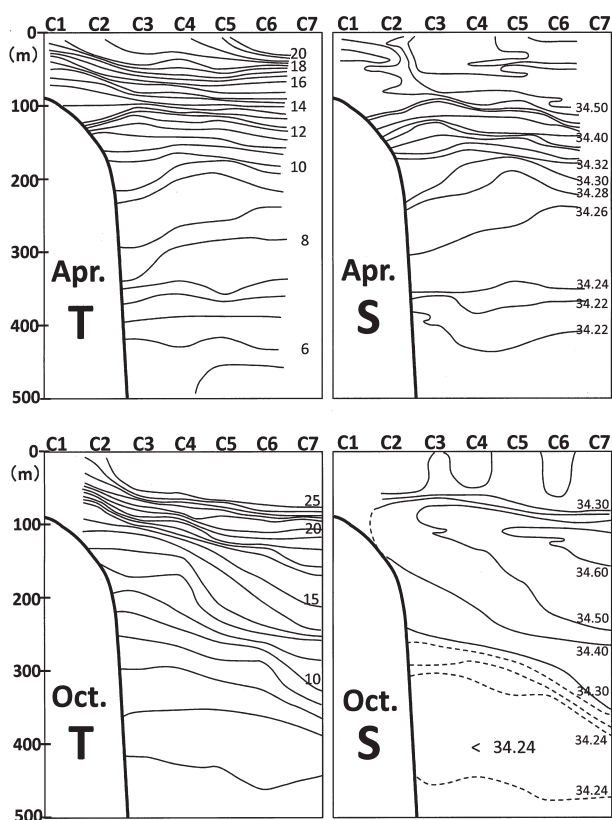


Fig. 7. Cross-sectional distributions of temperature (left figures : °C) and salinity (right figures) along C line on April 14–16, 2009 (upper figures) and on October 20–21, 2009 (lower figures). Isotherm is drawn at 0.5 °C interval in left upper figure, and 1°C in left lower figure. Isohaline is drawn in 0.02 in right upper figure and in 0.1 in right lower figure.

渦の存在を示唆する低温・低塩分域となっている。Fig. 7 上段を見ると、100 m 以浅での水温・塩分の等値線は、岸に向かって浅くなることを除くと、ほとんど相関が見られない。一方、100 m 以深での水温・塩分分布は互いに良く対応している。平面分布に現れた水温・塩分の極小値に対応して、鉛直断面には、測点 C4 近くから C5 にかけての 200 m 深付近を中心に (100 m~250 m)、水温・塩分の等値線に凸の分布が見られる。しかし、このような微細構造を無視し、断面図に現れた等値線の全体の形状から判断すると、この海域での等値線は 200 m 以深では勾配が小さくなり、4 月では 200 m

以深、10 月では 400 m 以深では等値線がほぼ水平ないしは逆向きになっている。

10 月の平面水温分布 (Fig. 6 上) を見ると、33°20'N 以南の 13~15°C の等温線は東西に走っており、直進路の黒潮の流線に対応している。岸寄りの 11~12°C の等温線は潮岬のやや西方で北に膨らんでいる。これはおそらく振り分け潮の振り分け点が潮岬のすぐ西方にあり、黒潮表層暖水が岸向きに侵入しているためと考えられる。ただし、振り分け潮の有無は今回の観測では確認できなかった。測線 A と測線 B の間に、もう 1 本観測線があれば、より明確なことが言えたかもしれない。測線 C に沿った水温・塩分の断面分布 (Fig. 7 下) を見ると、100 m 以浅に高温・低塩分層が存在し、その下方に顕著な塩分極大層が見られる。この極大層より下では水温・塩分の構造は互いに良く対応している。水温の断面構造に注目すると、等温線が岸に向かって浅くなり表層まで続いていることから、黒潮の水温構造が岸まで達していることが分かる。この構造は、Fig. 4 下図の流速ベクトルの分布図や Fig. 6 上図の 200 m 層水温の平面分布と良く対応している。300 m 以深では岸寄りの部分で、等温線がほとんど水平になっていることを指摘しておきたい。

6. 沖合海面水位の分布と串本・浦神間の水位差

藤田 (2001) は、串本・浦神の検潮所のそれぞれに最も近い和歌山水試の沿岸定線観測点 (W25, W31) の水温・塩分分布から、種々の深さを基準面とした力学計算 (日本気象協会発行、海洋観測指針、気象庁編、1990) を行って、海面水位を計算した。こうして求めた 2 点間の水位差を串本・浦神間の水位差と比較することで、基準面を 300 m 深にとれば、串本・浦神間の水位差が説明することができることを示した。ただし、藤田は 300 m 深までの標準層のみの観測資料を用いており、それ以深については言及していない。今回は、藤田 (2001) の結果を参考にし、より鉛直測定密度の高い CTD による観測を行うとともに、最深観測層もより深い 500 m を選んだ。また、潮岬を挟んだ狭い空間での水位差は、より広い串本・浦神間の水位差とは若干の違いがあるという中村ら (2008) の指摘を明確にするため、

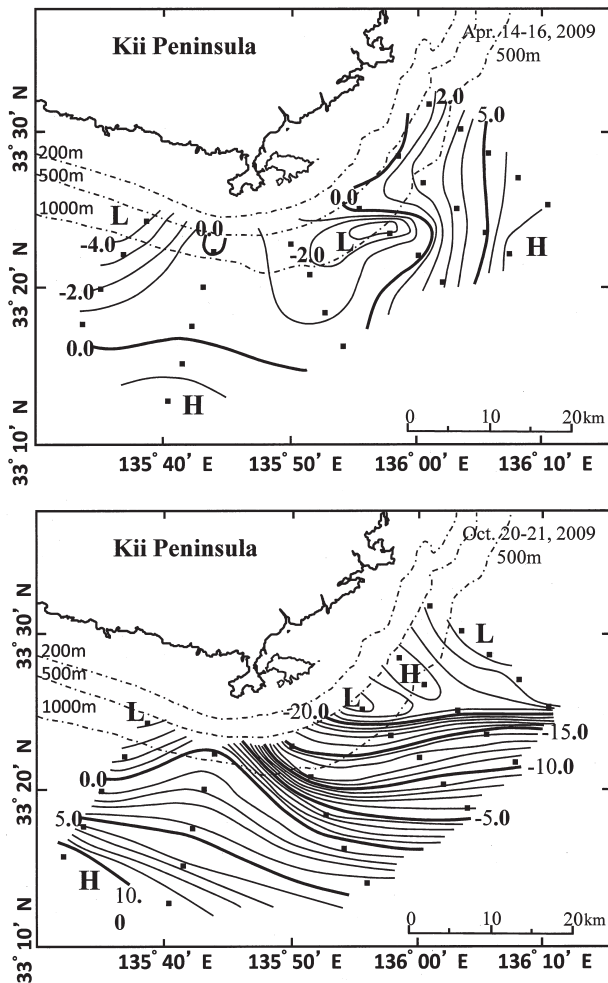


Fig. 8. Distribution of sea level (in cm) height referred to 500 m depth on April 14–16, 2009 (upper figure) and on October 20–21, 2009 (lower figure). The sea level at Sta. B3 is set to be zero and sea level height is shown relatively. The interval of height is drawn in 1 cm.

密度の高い観測点を設定して、潮岬周辺での海面水位の空間分布を求めることを試みた。

藤田 (2001) と同じ手法を用いて、1 m 毎の水温・塩分の測定値から、種々の基準面に対する海面水位を計算した。Fig. 8 (上：2009 年 4 月，下：2009 年 10 月) に 500 m 深を基準とした海面水位分布を示す。海面水位は、潮岬沖合の測点 B3 の海面高度に相対的な高さとして示している。

2009 年 4 月の観測時には、潮岬東方の 33°25'N 以北、

136°00'E 以東の領域で流速場 (Fig. 4 上) に顕著な北上流が見られている。Fig. 8 上の等水位線にもこれに対応して、等水位線が南北に走っているが、潮岬南東に現れた低水位領域のため、やや東よりに存在している。この低水位域は、Fig. 7 上の断面図で、200 m 深を中心に現れる水温・塩分の等値線の岸近くに見られる左下がりの勾配に対応しており、Fig. 5 の 200 m 層の水温 (上)、塩分 (下) の平面分布にも中心の位置が若干ずれている。岸近くの微細海況を論じる場合、水温・塩分場が海面水位場と異なった分布形状を示すことは注目すべきである。

このような海面水位場、温度場、塩分場の相違は、上述の低水位域の東方、潮岬南方の観測域ではより顕著である。この海域では、Fig. 4 で流れが弱く全体として東向流となっていて、海面水位場との間にほとんど相関がない。また、海面水位場は水温場や塩分場ともかなり違っている。海面水位場で、測点 B3 の 1 点で高水位値が出ているが、これはこの測線の岸寄りの測点 B1, B2 で底近くに沿岸水起源と思われる非常に冷たい水が存在していたことと関連しているようである。この点を除くと、海面水位場は潮岬西方で、測線 B に沿って高水位場が岸方向に延びており、黒潮系の水の侵入を示唆している。水温場 (Fig.5 上)、塩分場 (Fig.5 下) にも弱い高温・高塩分の海水の侵入を示唆する分布が見えるが、その等値線の形状は相互に著しく異なっている。

黒潮が接岸して流れていたと考えられる 2009 年 10 月の場合には、500 m 基準の等水位線 (Fig. 8 下) と流速場 (Fig. 4 下) 200 m 層の等温線 (Fig. 6 上) ・等塩分線の形状は相互に非常に似ている。ただし、黒潮が直接及ばない潮岬北東域では、両者の形状にかなりの違いが見られる。また、海面水位、水温、塩分の等値線に見られる北への膨らみに対応するような北上流は認められない。おそらく、強い流れが存在する場合には、その大きな移流効果によって、流速場を除く各量の分布形状が互いに似てくると考えられる。

500 m 深までの観測が行われた測点のうち、最も岸に近い各測線の測点 3 を結んだ線上での水位の変化を調べた。基準水深を 50 m, 100 m, 150 m, 200 m, 300 m, 400 m, 500 m とした場合の、水位変化を Fig. 9 に示す。Fig. 9 上が 2009 年 4 月の場合、下が 2009 年 10 月の場合である。

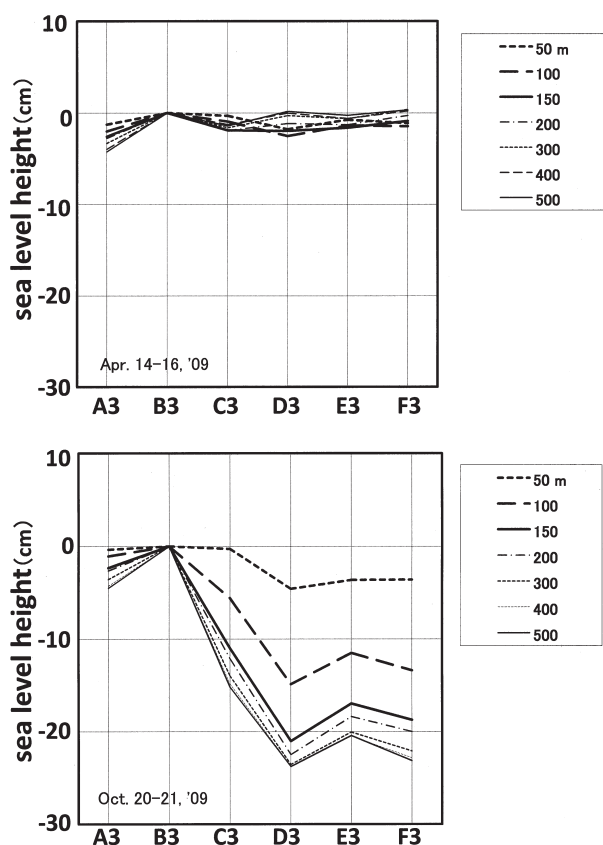


Fig. 9. Distributions of the sea level height along the line connecting Sta. A3, B3, C3, D3, E3, and F3. Sea level heights are calculated for various standard depth: 50 m, 100 m, 150 m, 200 m, 300 m, 400 m, and 500 m. The sea level height at Sta. B3 is set to be zero for each standard depth.

2009年4月の場合 (Fig. 8 上) には、各測線の測点3を結んだ線上での水位変化は小さい。この結果は、検潮記録から求めた観測期間中の串本・浦神間の水位差で串本側が僅か4cm高くなっていたことと矛盾しない。すでに論じてきたように黒潮の強流帯は観測海域よりも南方沖合にあるためと考えられる。基準面の取り方によって、各測点の水位は変化するが、その変化は高々3cm程度である。

2009年10月について、各測線の測点3を結んだ線上での水位の変化 (Fig. 9 下) を見ると、測点B3との水位の差は全ての点で、基準面を深くとるほど大きくなっている。しかし、基準面が300mを超すと増加の割合は小さくなり、基準面400mと500mの場合の水位

はほとんど同じになっている。このことは藤田 (1997, 2001) が、基準面を300m程度に取れば串本・浦神間の水位差を十分説明できるとしたことを補強する結果と言える。東部の測点D3を過ぎると上下に大きく変動するものの、水位はほぼ一定に落ち着く。この水位の値は基準面を500m深に取った場合、-22cm~-23cmである。串本・浦神間の検潮記録から求めた水位差は、10月17日には21cmであり、それから減り始め、観測期間の20~21日の間に約18cm~約14cmまで減少した。中村ら (2008) は、潮岬沖の部分での東西の水位勾配と串本・浦神間の水位差の変化に、数日を越す時間差が生じる可能性を示唆しているので、単純な比較はできないが、測点B3とD3の水位差は、串本・浦神間の水位差を反映していると言えよう。どの深さに基準面をとっても、ほとんどの水位変化は測線Bと測線Dの間、すなわち潮岬から大島沖の部分で起こっていると言える。

Fig. 9 下の変化で更に注目されるのは、基準面を300mよりさらに浅く取っても測点B3とD3の水位差のかなりの部分が説明できることである。実際、500mを基準とした場合に比べて、150m基準でもその88.2%、100mで62.6%が説明できる。黒潮表層の水が岸近く引き込まれることに関係していると考えられる振り分け潮は、水深100m程度の浅海域で認められることを考えると (Takeuchi *et al.*, 1998, Uchida *et al.*, 2000), 串本・浦神間の水位差の変動に非常に浅い表層の現象が関係していることは自然である。

測点A3~F3の線で100mを基準面にとっても、500m基準の場合の62.6%の水位差変化が説明されたことから、更に岸側の測点A2~F2について50m、100m、150m基準の水位差変化を調べた (Fig. 10)。100m基準と150m基準の水位がほぼ一致しているが、大きな水位変化は、14km離れた測点B2とD2の間で起こっている。海岸近くでの水位を正確に求めるためには、海底での圧力を直接測定する必要があるが、100mを基準とした測点B2とD2の水位差13cmは、Uchida *et al.*, (2000) 数cm以下の水位差についても議論することに成功していることを考えると、十分有意な値と考えられる。10月におけるFig. 4の流速場、Fig. 6の水温・塩分場を見ると、黒潮に関連する強流域が、大島の沖 (135°50'E) の位置で、すでに岸から離れている。ま

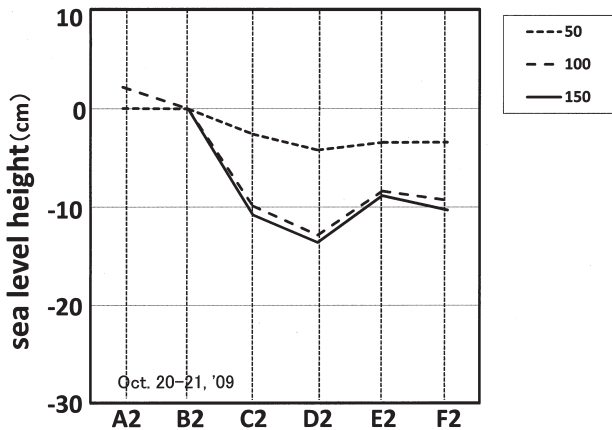


Fig. 10. Distributions of the sea level height along the line connecting Sta. A2, B2, C2, D2, E2, and F2. Sea level heights are calculated for various standard depth: 50 m, 100 m, and 150 m. The sea level height at Sta. B2 is set to be zero for each standard depth.

た、潮岬東部の沿岸水が潮岬と大島間の水道の沖 (135°48'E) まで張り出している。Fig. 10 の水位変化に現れる最低値は測点 C2 より西側にあると考えるのが自然である。したがって、沖側の A3~F3 の測線では B3~D3 の距離 20 km の間に串本・浦神間の水位差に対応する水位変化が起こっており、より岸側の A2~F2 の測線では B2 と C2 の距離の約 6 km の間で生じていることになる。水温・塩分場や、流速場から判断すると、更に岸側では、より狭い部分で起こっていると考えられる。地形条件から見て、串本・浦神間の水位差は、実質的に潮岬の半島の幅約 6 km 程度の狭い範囲で起こっていると考えることができる。

7. おわりに

2009年4月と10月の2回にわたって、勢水丸を潮岬周辺に派遣して、従来に見られないような海況の詳細観測を実施した。その目的は、黒潮の流路が直進路をとっているか、蛇行路をとっているかをモニターするのにしばしば利用されている串本・浦神の検潮所間の水位差が、沖合の海況とどのように関連しているかをこれまで以上に詳細に調べるためである。解析の結果、串本・浦神の水位差は、潮岬の沖、東西約 6 km の部分で生じており、

この水位差のほとんどは、僅か 100 m~150 m のごく表層の海洋構造が関与していることが示された。

謝 辞

この研究に当たり、種々ご指導を頂いた練習船勢水丸の内田誠船長をはじめとして、困難な観測に献身的に従事していただいた勢水丸の乗組員の皆様に心からの感謝の意を表します。

References

- 藤田弘一 (1997): 日本南岸の黒潮流路の変動と串本・浦神の潮位差の関連に関する研究. 三重大学大学院生物資源学研究所博士論文, pp.136.
- 藤田弘一 (2001): 日本南岸の黒潮流路の変動と串本・浦神の潮位差の関連に関する研究. 三重県水産技術センター研究報告, 10, 1-50.
- 花輪公雄・三寺史夫 (1985): 海洋資料における平均値の作成について一日平均値を扱う留意点. 沿岸海洋研究ノート, 23, 79-87.
- 小池隆 (2008): 勢水丸による紀伊半島周辺の沿岸海況と海洋生物に与える黒潮の影響の研究. (学内 COE 研究成果発表シンポジウム). 三重大学大学院生物資源学研究所紀要, 35, 93-134.
- 前川陽一・中村亨・仲里慧子・小池隆・竹内淳一・永田豊 (2011): 潮岬周辺海域の微細構造. 三重大学大学院生物資源学研究所紀要, 37, 45-55.
- Nagata, Y., J. Takeuchi, M. Uchida, Y. Morikawa, and T. Koike (1999): Current nature of the Kuroshio in the vicinity of the Kii Peninsula. *J. Oceanogr.*, 55, 407-416.
- 中村亨・田中綾子・前川陽一・内田誠・小池隆・中地良樹・竹内淳一・永田豊 (2008): 潮岬沖西向流について. *海の研究*, 17, 319-335.
- 日本気象協会 (1990): 海洋観測指針 (気象庁編), pp.429.
- Takeuchi, J., J. Honda, Y. Morikawa, T. Koike, and Y. Nagata (1998): Bifurcation Current along the southeast coast of the Kii Peninsula. *J. Oceanogr.*, 54, 45-52.
- 田中綾子・中村亨・前川陽一・内田誠・小池隆・中地良樹・竹内淳一・石田鉄平・永田豊 (2008): 振り分け潮と紀伊水道内の冷水渦. *海の研究*, 17, 193-204.
- Uchida, M., J. Takeuchi, Y. Morikawa, Y. Maekawa, O. Momose, T. Koike, and Y. Nagata (2000): On the structure and temporal variation of the Bifurcation Current off the Kii Peninsula. *J. Oceanogr.*, 56, 17-30.

Oceanic structure in the vicinity of Cape Shionomisaki and distribution of sea level height

Yoichi Maekawa¹⁾, Toru Nakamura¹⁾, Keiko Nakazato¹⁾, Takashi Koike²⁾,
Junichi Takeuchi³⁾, and Yutaka Nagata⁴⁾

Abstract

By using the training ship Seisuimaru, we observed of detailed oceanic condition in the vicinity of Cape Shionomisaki, the tip of the Kii Peninsula in April, 2009 and in October, 2009. The sea level difference between Kushimoto and Uragami tide stations is used to monitor the flowing path of the Kuroshio, or to identify whether the Kuroshio is taking the straight path or the meandering path. It is shown that this sea level difference occurs in the narrow region of 4~5 km off Cape Shionomisaki, and that the sea level difference is mainly created by the oceanic condition in the thin surface layer above 150 m. This indicates that the structure of the Kuroshio does not influence directly to the sea level difference between Kushimoto and Uragami. The sea level difference indicates whether warm and light Kuroshio Water is brought into shelf region to the west of Cape Shionomisaki or not, and whether the sea level difference between coastal waters to the west and to the east of Cape Shionomisaki.

Key words: Fine oceanic condition in the vicinity of Cape Shionomisaki,
sea level difference between Kushimoto and Uragami,
the Kii Bifurcation Current, reference level for dynamic calculation,
training ship Seisuimaru

(Corresponding author's e-mail address: yoichi@bio.mie-u.ac.jp)

(Received 8 December 2010; accepted 17 September 2011)

(Copyright by the Oceanographic Society of Japan, 2011)

1) Training ship Seisuimaru, Graduate School of Bioresources, Mie University

2) Graduate School of Bioresources, Mie University

3) Fisheries Experimental Station, Wakayama Research Center of Agriculture, Forestry and Fisheries

4) Marine Information Research Center, Japan Hydrographic Association