

— 論文 —

潮岬沖西向流について *

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^{‡‡}

要 旨

潮岬沖合で、黒潮強流帯の北側に西向きの流れが観測されることがある。黒潮の小蛇行に伴って発生する渦に起因すると考えられる事例が少なくないが、黒潮の小蛇行とは関係なく潮岬に接近した黒潮と陸岸の間に、狭い西向流が観測されることもある。狭い西向流の流速値は 100 cm s^{-1} に達する。この流れは串本・浦神の間に生じた数 cm の水位差によって代表される潮岬東西の海面水位差で励起されたものと考えられ、この流れの継続時間は数日程度である。三重大学練習船「勢水丸」と和歌山水試の漁業調査船「きのくに」によって、2005年8月に、この特異な流れの典型的な例の発生から消滅までの経緯を観測することができたので、その結果を報告する。串本・浦神間の水位差の変動は、黒潮の大蛇行をモニターするのに用いられるが、ここで論じた短周期の現象の変動にも良く対応していることは注目される。また、黒潮小蛇行の潮岬沖通過にともなって発生した幅の広い西向流についても、1998年6月の事例を中心に解析した結果を報告する。

キーワード：潮岬沖西向流，黒潮直進路，串本・浦神間水位差，振り分け潮

1. はじめに

本州南方の黒潮の流路には、大きく蛇行して流れる場合と、陸岸にほぼ平行して直進する場合があることは良く知られている。黒潮大蛇行の発生は西方から伝搬してきた蛇行が潮岬沖を通過した後、急速に発達することによって起こる (例えば、吉田, 1960; Shoji, 1972)。

このように、本州から南方に突き出た紀伊半島の先端部は、直進路を取った時の黒潮の強流帯が潮岬に接する形となることがあり、本州南方の黒潮の特性に大きな影響をあたえると共に、潮岬周辺に特異な海況を作り出す。

特異な海況の一例は、紀伊半島南西海岸沖に現れる振り分け潮と呼ばれる流れの出現である。この流れについては、和歌山県農林水産総合技術センター水産試験場 (以下では和歌山水試と略称する) や三重大学大学院生物資源学研究所 (以下では三重大学と略称する) の研究者によって研究されてきているが、彼らによって明らかにされた事柄は、

1. 黒潮が直進路を取り、黒潮強流帯が潮岬に接する形で流れているとき、紀伊半島南西海岸沖陸棚域に振り分け潮が現れる (Takeuchi *et al.*, 1998)。

* 2007年9月11日受領；2008年4月8日受理

著作権：日本海洋学会，2008

[†] 三重大学大学院生物資源学研究所附属練習船勢水丸

〒514-8507 三重県津市栗真町屋町 1577

主著者 e-mail address : nakamura@bio.mie-u.ac.jp

[‡] 三重大学大学院生物資源学研究所

〒514-8507 三重県津市栗真町屋町 1577

^{**} 西牟婁振興局総務水産グループ

〒649-8580 和歌山県田辺市朝日ヶ丘 23-1

^{††} (財) 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

^{‡‡} 日本水路協会，海洋情報研究センター

〒104-0061 東京都中央区築地 5-3-3 築地浜離宮ビル 8F

2. 振り分け潮の東側の東流部は黒潮の強流そのものである (Uchida *et al.*, 2000)。
3. 振り分け潮は安定した流れで、少なくとも数日程度の持続性を持つ (Uchida *et al.*, 2000)。
4. 振り分け潮の出現に伴い、黒潮系暖水が南西海岸の岸近くに侵入してきて、潮岬西方の海岸の水位を上昇させる (Nagata *et al.*, 1999)。

と要約できる。

潮岬の付け根の西岸にある串本の検潮所と潮岬東方の浦神の検潮所との間の水位差が、黒潮が蛇行路を取っているか、直進路を取っているかをモニターするのにしばしば用いられる。すなわち、直進路のとき串本の水位が浦神の水位よりも高く、蛇行路の時は両者の水位がほぼ同じである (例えば、Kawabe, 1980; 藤田, 1997; Nagata *et al.*, 1999 (Fig. 11 参照))。これは、直進路の時、上記 4 の黒潮水の南西海岸への侵入により串本側の水位の上昇が起されることによって、串本・浦神間に水位差が発生すること、一方、蛇行時には黒潮の流路が潮岬の南方に遠く離れるために、潮岬東西の沿岸水の交換が容易に起こり、両地点間の水位差が生じないことによる。また、直進時の水位差の値は短周期の大きな変動を示すことを、Kawabe (1980) が指摘しているが、Nagata *et al.* (1999) の結論は、東西の沿岸水が分離されている直進時にも、潮岬東西の沿岸水の一時的な交換が生じることがあることを示唆するものであり、以下に論じる狭い西向流は、そのような海水交換の機構の一つを与えるものである。

両地点間の水位差に直接関係するのは、潮岬東西の沿岸水の差異あるいは海水交換であるから、黒潮流路の直進・蛇行の流路パターンというよりは、潮岬沖での黒潮の離岸距離が直接的に関わっていると言える。このことは、黒潮の流路パターンと対比する際、通常旬あるいは半月以上の変動に有効であることに反映している。一方、Uchida *et al.* (2000) は、串本・浦神の潮位差の変動は、数時間から数日程度の時間スケールの変動を示す振り分け潮のような現象にも、有意な指標を与えることを示唆している。このことは、紀伊半島先端付近の空間的スケールの小さな海況に関しては、かなり短い時間スケールの変動にも、串本・浦神の潮位差が有効な指標を与え得ることを示している。

竹内 (2005) は、潮岬のすぐ沖 (水深約 100 m のところ) での流速の東西成分と串本・浦神の水位差の間に良い相関があることを報告している (Fig. 1)。図中の黒点は典型的な振り分け潮の生じていた場合を示しており、振り分け潮は水位差が顕著に大きい場合、すなわち黒潮直進時にのみ生じていることが分かる。この図で面白いのは、両者の相関関係が、流速が負、すなわち西向きの流れに対しても見られることである。しかも、西向流は、水位差が 25 cm 以下 (竹内は水位の報告値をそのまま使用しており、両検潮所の潮位観測基準面 (Datum Line) の差をもとに補正すると、23 cm が 0 水位差にあたる)、すなわち浦神側の水位が串本側よりも高い傾向にある時に生じることを示している。しかし、この西向流に関しては、ほとんど論じられていない。この論文では、この西向流に焦点を合わせた解析結果を報告する。

2. 使用したデータ

潮岬周辺海域において、三重大学練習船「勢水丸」と和歌山水試漁業調査船「きのくに」が 1998 年 6 月と 2005 年 8 月の 2 回にわたって共同して詳細な海況観測を実施した。1998 年の場合には三重県水産技術センターの調査船「あさま丸」が熊野灘において、海上保安庁巡視船「せつ」が紀伊水道において同時期に観測を行った。これらの観測から ADCP の測流データと、CTD, XBT による水温データを解析に使用した。

和歌山水試では 1988 年 10 月から ADCP を導入しているが、1996 年 10 月までの資料については記録形式や整理・保存状態に問題があるため、この期間については観測定点ごとに記録されているデータを使用した。潮岬から南に延びる沖合定線上の定点は、潮岬沖 2, 5, 10, 15, 20 マイル (以下 10 マイルごと黒潮流軸まで) に設けられている。この観測定点のデータは、和歌山水試の発行する漁況海況予報事業結果報告書を通して公表されている。1996 年 11 月以降のデータについては、定点データの他に、ADCP の連続記録を解析に用いた。また、沖合定線の観測資料の他に、従来から振り分け潮の解析に用いられてきた紀伊半島沖の約 100 m の等深線に沿った観測資料についても、適宜解析に使用し

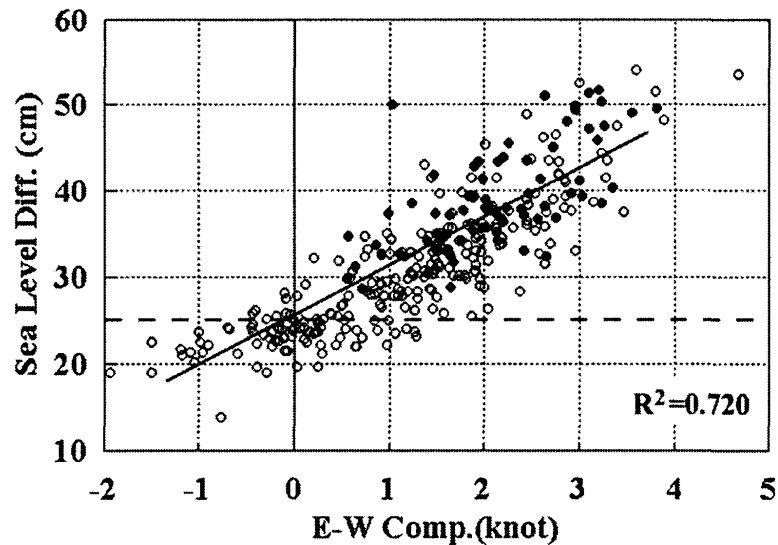


Fig. 1. Correlation between daily averaged values of the sea level difference between Kushimoto and Urugami tidal stations and the eastward components of the current velocity in the vicinity of Cape Shionomisaki. Closed circles indicate the presence of the Kii Bifurcation Current (after Takeuchi *et al.*, 1998). The sea level difference given in this figure is based on sea level values of two stations that were reported by the Japan Meteorological Agency. The value of 23 cm for the sea level difference corresponds to the difference between the datum lines for the two tides stations. For drawing other figures in this paper, corrections for the difference of datum line between two tide stations have been made by using datum line data given by JODC in 2000.

た。なお、和歌山水試の沖合定線で、潮岬沖から南に延びる測線の ADCP 観測は、通常観測線を 1 日程度の間往復するように行われる。海洋観測は多くの場合南行する往路で実施される。定点の ADCP 測流値は停船直前に観測されたものである。通常、復路は ADCP 観測のみが行われている。竹内 (2005) が Fig. 1 を作成するにあたっては、日平均の水位差と対応させて、定点流速は往路のデータが用いられている。しかし、連続記録が得られている場合の流速分布のパターン分けは往路・復路それぞれについて検討した。往路・復路で流速パターンが大きく変化することがあり、往路・復路の一方のみに西向流が認められることもあった。

串本と浦神の検潮所における水位の資料は、2002 年以降のものは気象庁のホームページ上に 1 時間ごとのデータが公表されている。また、過去の歴史的データは日本海洋データセンター (JODC) がそのホームペー

ジに公表している。ここでは潮汐の影響を除くため、全て 1 時間ごとの値の 25 時間の移動平均を計算して使用した。さらに必要な場合は、潮岬測候所の気圧データで、水位の気圧補正を行った。ただし、串本・浦神の両地点とも、最も近い測候所は潮岬であり、この補正は水位差の値には影響を与えない。2000 年の JODC 資料に準拠して、水位データを東京湾平均海面からの高さに換算したものをを用いた。

3. 西向流と串本・浦神の水位差の相関

ADCP による測流の連続記録が利用できる 1996 年 11 月以降の過去の資料から、潮岬沖に西向流が認められる事例を選びだし、西向流流速と串本・浦神の水位差との間の相関を見たものが Fig. 2 である。この図は、竹内 (2005) の図 (Fig. 1) に対応するものであるが、水

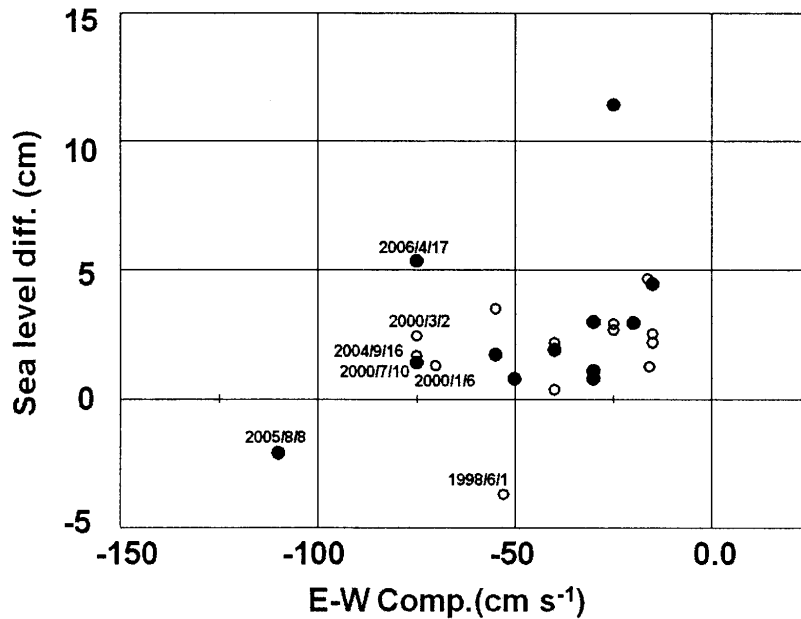


Fig. 2. Correlation between the eastward components of the current velocity and the sea level difference between Kushimoto and Uragami. Closed circles indicate that current is narrow with a conspicuous maximum, and open circles indicate that current is broad. The numerals attached to data points indicate the date of observation (see the text).

位差は補正して、竹内の場合の 23 cm を 0 にとっている。また、Fig. 2 では西向流の生じた場合 (流速値がマイナスの場合) だけを示してある。西向流の流速は、西向流の幅が広く沖合まで連続して続いている場合は、潮岬南 2 マイルでの流速値を選んでいる (白丸で示す)。しかし、西向流の北縁が 2 マイルより沖に現れる場合や、西向流の幅が狭く 2 マイル地点では東向流となっている場合で、はっきりした流速の最大値が 2 マイル地点以外のところに現れる場合は、西向流の最大値をとって示してある (黒丸で示す)。水位差は 25 時間移動平均値を用い、西向流が観測された時刻の値を用いている。これに対して、竹内 (2005) では測流点を潮岬のすぐ沖 (水深約 100 m のところ) に選んでおり、水位差については日平均を使っているのので、データ点の分布形状に若干の差が生じている。

Fig. 2 でも、西向流の流速と串本・浦神間水位差の間に良い相関が認められる。しかし、2 例を除いて、水

位差が正の値 (主として 0~5 cm の範囲) に西向流が現れており、浦神側の水位が、串本側のそれよりも高いとは限らない。両検潮所の基準面の値に誤差があるとは考え難いし、西向流が水位の低い方から高い方へ流れることも考え難い。海岸にある串本・浦神検潮所の水位差が必ずしも、沖合の潮岬東西の水位差を正確に示していないと考えるべきかもしれない。今後さらに検討する必要があると考えている。

この図で、明らかに浦神側の水位が高かった 2 例、最高の流速値を示した 2005 年 8 月 8 日の事例と最大の負の水位差を示した 1998 年 6 月 1 日の事例を中心に検討することにする。前者は西向流の幅が狭い例であり、後者は幅が非常に広い例にあたる。幸いなことに、この 2 例の発生時に、それぞれ「勢水丸」と「きのくに」による潮岬周辺海域の共同観測が行われた。

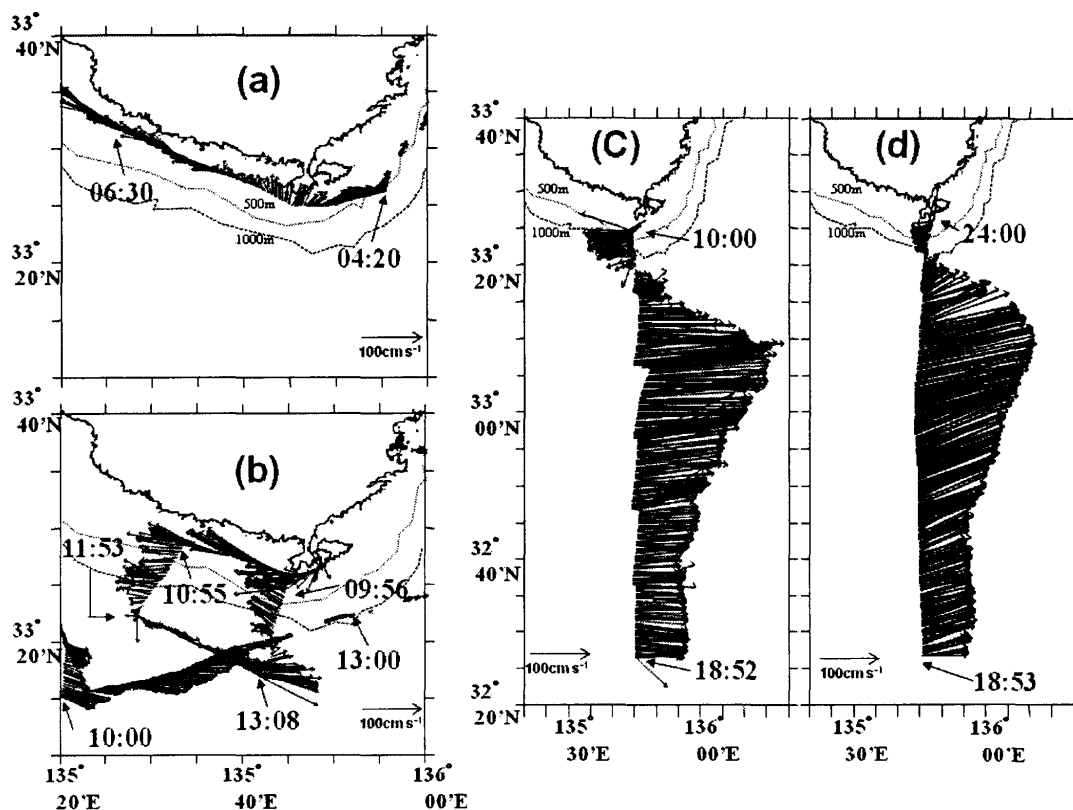


Fig. 3. Current fields observed by R/V Seisui-maru and R/V Kinokuni in vicinity of the Cape Shionomisaki: (a) the current pattern at 5 m depth on 5 August 2005, (b) that at 5 m depth along the ENE line (during 10:00–13:00 on 5 August) and at 14 m depth along the rectangular line on 5 August, (c) that along N–S line at 70 m depth on 9 August and (d) that along S–N line at 70 m depth on 9 August. Numerals attached to the lines with arrows indicate the time of the observation. The velocity scale is given in a corner of each figure. Isobaths of 500 m and 1,000 m are shown in each figure.

4. 狭い潮岬沖西向流, 2005年8月8日の事例を中心に

4.1. 2005年8月に観測された潮岬沖西向流の水平流速分布とその時間変化

2005年8月7日の早朝から8月9日の深夜にかけて、三重大学「勢水丸」と和歌山水試「きのくに」が潮岬周辺で ADCP 観測を行った。8月7日の4:20頃から7:00頃までの間に「勢水丸」はほぼ100mの等深線に沿うように潮岬の東方から、潮岬を越え、紀伊半島南海岸沖を通って市江崎の西方まで ADCP による測流観測を行った。得られた5m深の流速の分布を Fig. 3aに

示す。この観測は振り分け潮の西流部分の動向を調べる目的で計画されたもので、振り分け潮が発生していることを確かめるため実施されたものである(田中ら, 2008)。この流速図では、振り分け潮の分岐点は、潮岬に近い位置にあるが、流れの振り分けが明確に見られ、振り分け潮が発生していたとみなせよう。振り分け点が通常より東寄りであるが、振り分け点が潮岬より東方に現れる事例は今までに観測されておらず、この場合は振り分け潮の形態が消滅しかかっていたと考えられる。この時の潮岬すぐ沖での流速の東西成分は殆どゼロであり、以下に述べる西向流が生じる直前の様子を捉えたものであろう。

明るる日の8日には、「勢水丸」は松阪港への帰路に

あり、Fig. 3b の図の左端から、東北東に向かう測線に沿って 10:00 から 13:00 過ぎまで、ADCP 観測を行っている。ちょうどこの時間帯に、「きのくに」は潮岬や東方から ADCP 観測を開始している。潮岬沖を越えて、100 m 等深線沿い西北西に向かい、10:55 に南海岸の中央近くで進路を沖向きに変え、11:53 に再び進路を東南東に変えている。そうして、黒潮の強流帯に入ったのを確かめてから、13:08 に岸向きの航路を取っている。全体として口の字型の航路沿いに測流したことになる。この両船によって得られた流速分布を、「勢水丸」の場合には 5 m 深、「きのくに」の場合には 14 m 深について同じく Fig. 3b に示してある。両船の航路の交差点付近における測流値は時間変動を反映してか若干の違いは認められるものの、黒潮強流帯の北縁の位置も良く対応しており、全体として両船の測流値はほぼ同時に取られたものと見なすことができる。僅か 1 日程度の期間に紀伊半島南西海岸沖の海況は大きく変化しており、振り分け潮は消滅して、その流れは海岸全体で西北西に向かっていった。この状態は上り潮に対応する (Takeuchi *et al.*, 1998)。この強い西向流は潮岬のすぐ沖から存在しており、殆ど岸に接する形になっている。Fig. 3b に見られるように、このときの黒潮の強流帯の北縁は、かなり岸近くにあり、西向流との間に大きな水平シアが生じている。

「きのくに」は翌 9 日には、沖合定線の観測に入り、10:00 前に潮岬すぐ沖から南行し、途中海洋観測を実施しながら、18:52 には北緯 32 度 25 分の位置に達している。その後反転して、深夜には潮岬すぐ沖に達している。この往路と復路に得られた ADCP による測流結果を 70 m 深について、それぞれ Fig. 3c および Fig. 3d に示す。往路の時点での潮岬すぐ沖の海況は、8 日の状況とほぼ同じであり、潮岬に接する形で幅の狭い西向流が存在しており、その沖の黒潮強流帯との間に、大きな流れのシアが見られる。復路の流速分布は、往路のものに良く似ているが、潮岬沖の西向流の速さがかなり弱まっていることが見て取れる。ここで、70 m 深を選んだのは、浅い深度では流速の分布がやや乱れた様相を示すためである。次節で論じるように、流れは極めて順圧的であり深さによる流速変化は小さいが、深さとともに若干流速が大きくなる傾向を示している。

この潮岬沖西向流は、後に述べる串本・浦神間の潮位差の変化から類推すると、11 日にはほぼ消滅するか、非常に弱くなったと考えられる。したがって少なくとも 2005 年 8 月の事例では、継続時間は約 3 日程度でしかなかったことになる。このような短い時間スケールの現象の消長を観測し得たのは幸運であった。

また、Fig. 3 に示した各図には、500 m と 1,000 m の等深線を記入してある。この典型的な狭い潮岬沖西向流の強流部は、ほぼこの二つの等深線に挟まれた場所に現れている。このことを確認するためには、解析例を増やして更に検討すべきであるが、1,000 m の等深線は、ほぼ陸棚斜面の外縁に対応している。紀伊半島南西海岸沖に見られる振り分け潮が陸棚上に現れるのとは対照的であり、狭い潮岬沖西向流は陸棚斜面上の現象と見なせると考えている。

4.2. 狭い潮岬沖西向流の鉛直構造

2005 年 8 月 9 日の往路の流速分布を、14 m 深、30 m 深、70 m 深、102 m 深について Fig. 4 に示す。また復路の流速分布を同様に Fig. 5 に示す。Fig. 4 の往路の分布を見ると、14 m 深では流速の分布形状が乱れており、流速も他の深度に比べて小さい。30 m 以深では流速の大きさはそれほど変わらないが、流れの幅が深さと共に、若干広がっている。Fig. 5 の復路では、西向流が弱まり出した状態にあったと考えられるが、やはり深さと共に流速値が増加し、分布形状が整っていく傾向が見られる。しかし、この深度による変化は、狭い潮岬沖西向流の消滅現象が、表層から始まり次第に下層に及ぶと解釈できるかも知れない。いずれにせよ、この西向流は、表層を除くと、極めて順圧的な構造をしていると言える。ADCP では海底近くの測流値は得られないが、少なくとも陸棚斜面域では流れが海底近くまで及んでいることを示唆している。

ここで示したのは、2005 年 8 月の事例であるが、ここで述べた鉛直構造は、他の狭い潮岬沖西向流でも同様に見られる特性である。

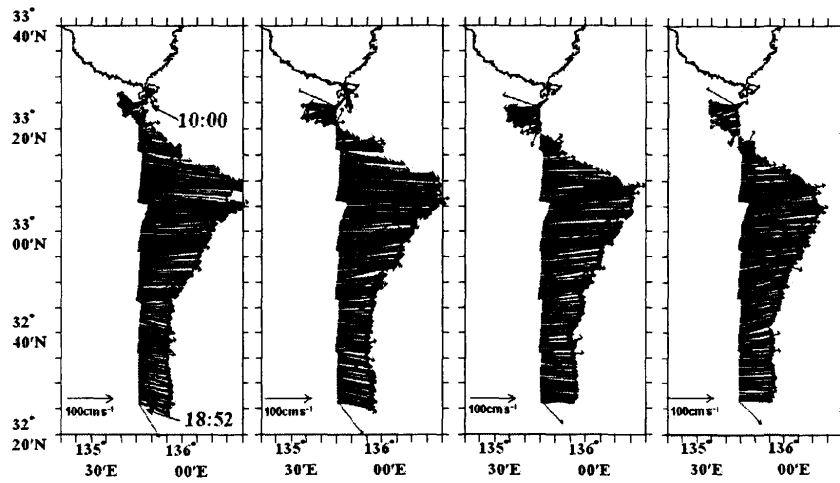


Fig. 4. Current distributions at 14 m, 30 m, 70 m and 102 m depths (from left to right) on the southward cruise on 9 August 2005.

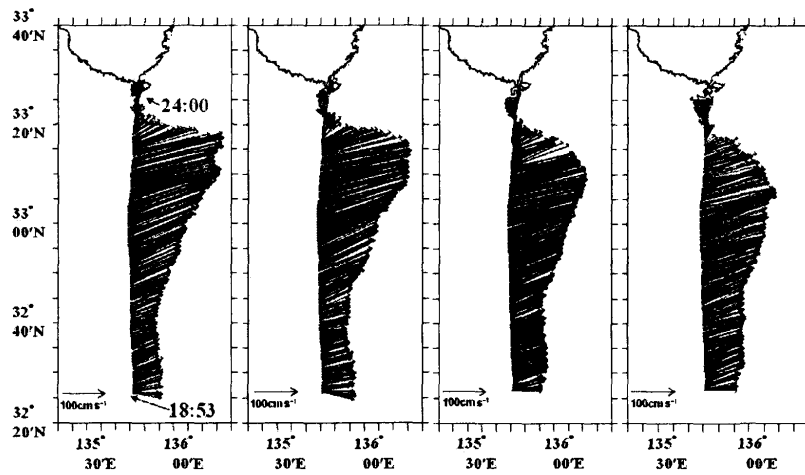


Fig. 5. Same as in Fig. 4 except for the northward cruise.

4.3. 2005年8月の串本・浦神の水位変動

潮岬沖西向流の岸近くの流速は、Fig. 2 に示したように、串本・浦神間の日平均水位差と非常によく相関

を示す。Fig. 6 に、8月4日から8月11日の期間の串本・浦神間の水位差の時間変化を一時間ごとの測定値と25時間の移動平均について示す。図中に示された a,

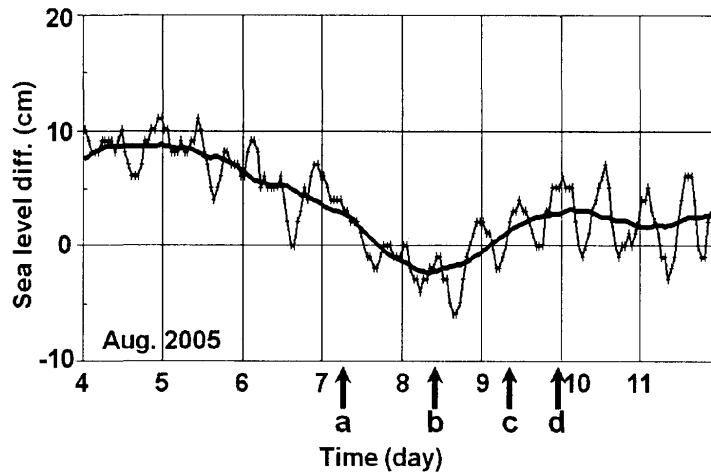


Fig. 6. Temporal variations of the sea level difference between Kushimoto and Uragami in the period from 4 August to 11 August 2005. Thin line with +marks indicates hourly data while thick line shows 25 hour running means. Arrows with small alphabets, a, b, c, d, indicate the times of current measurements, shown in Fig. 3 (a), (b), (c) and (d), respectively.

b, c, d の矢印は、「勢水丸」および「きのくに」による4回の観測 (Fig. 3 の a, b, c, d に対応) の時刻を示している。a の場合は潮岬沖真南で観測が行われた時刻, b, c, d では水平分布で最大の西向流が観測された時刻にそれぞれ対応する。

25時間移動平均の水位差の変動を見ると、水位差は8月5日の深夜頃から減少を始め、1回目の観測 (Fig. 3a) が行われた直後の8月7日の17:00頃に水位差0 cmのレベルを割り込んでいる。移動平均水位差は、8月8日8:00頃に最低値約-2 cmを示した。その後は増加に転じ、8月9日の2:00頃0 cmに戻り、その後は正の値を維持している。この変化は流速場の変動に良く対応している。8月9日の復路23:45の観測時でも西向流が存在していたから、流速場変動の位相は水位差の位相に比べて遅れている。

4回の観測時の水位差と、観測された流速値の東西成分を対応させたものが、Fig. 7aである。流速変動の遅れを見るために、対応させる水位差を1時間前、2時間前と1時間ずつ前にずらしていった場合の相関係数の変化を調べたが、相関係数は6時間前の水位差と対応

させたときが最大となる。流速の東西成分変動は、この事例では水位差変動に約6時間遅れている。Fig. 7bに6時間ずらせた場合の相関関係を示してある。

Fig. 7bには回帰直線を引いてあるが、流速成分が 0.0 cm s^{-1} となるのは水位差が0.0 cmの場合ではなく、串本側が約3.5 cm高い場合に起こっている。前章のFig. 2に示された特性がここでも明らかに見られる。さらに検討をする必要があるが、串本側が約3.5 cm高い状態が、潮岬東西の沖合水位差が0.0 cmである場合に対応しているのではないかと考えている。しかし、このように西向流速と串本・浦神間水位差が良い相関を示し、流速変動の位相が遅れていることは、水位差が西向流を起す原因となっていることを示唆している。また、このことは、前に述べたように順圧的な性質を示したことで矛盾しない。流速が陸棚の海底近くまで達していれば海底摩擦の影響を受けている筈で、この西向流が水位差による水平圧力傾度と海底または陸岸による摩擦力とのバランスの下で流れている可能性が高い。

Fig. 8に2005年8月4日から8月11日までの期間

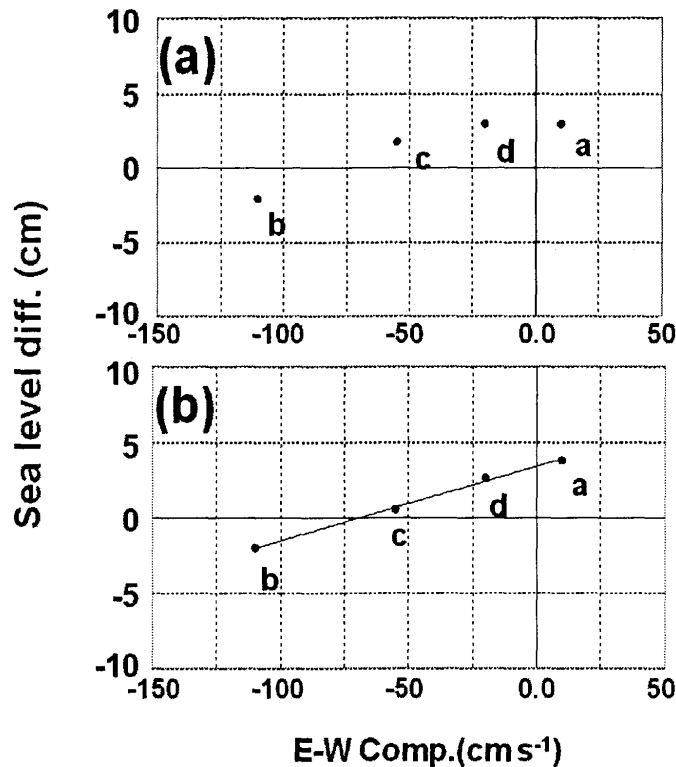


Fig. 7. Two cases of correlation between the eastward components of the current velocity and the sea level difference between Kushimoto and Uragami : (a) zero time lag, and (b) 6 hour time lag (the sea level difference precedes the velocity). The regression line of the data points is shown for the case (b). The small alphabets a, b, c, and d correspond to velocity fields shown in Fig. 3 (a), (b), (c) and (d), respectively.

について、尾鷲から室戸岬にいたる八つの検潮所の25時間の移動平均水位の変化を示す(それぞれの検潮所の位置は Fig. 9を参照されたい)。周辺の検潮所と比べて串本における水位変化だけが、8月8日を中心にして顕著なV字型の水位低下を示している。浦神側でも、注目している期間に若干の水位上昇が認められるものの、この時の串本・浦神間の水位差の極小を生じさせた原因は串本側にあったと考えるべきであろう。串本検潮所近くにある串本海中公園の海中展望塔の海底近くに設置されている水温計に、時折、短周期の水温低下現象が認められる。このことから考えると、串本検潮所のすぐ沖合に冷水が侵入してくることは、必ずしも珍しいことではないようである。しかし、その冷水の起源を考察するに足る観測資料は皆無である。

4.4. 狭い西向流の他の事例

2005年8月に観測されたような顕著な狭い潮岬沖西向流は他には見いだせなかった。ただ、Fig. 2に示した2000年7月10日と、2006年4月17日の事例は、西向流の最大流速が約 75 cm s^{-1} あり、分布形状から狭い西向流と見なせるのではないかと考えている。この二つの事例について、前後1週間程度の期間について、串本・浦神間の水位差と、両地点の水位の変動を示したものが、それぞれ Fig. 10aと Fig. 10bである。面白いことに、いずれの場合にも、2日ないし3日前に、水位差にV字型の水位差の減少パターンが現れている。2006年4月の事例は、われわれの解析期間中で、 50 cm s^{-1} 以上の西向流が現れた場合で唯一水位差が 5.0 cm より大きくなっていた例である。もしも、2005年8月

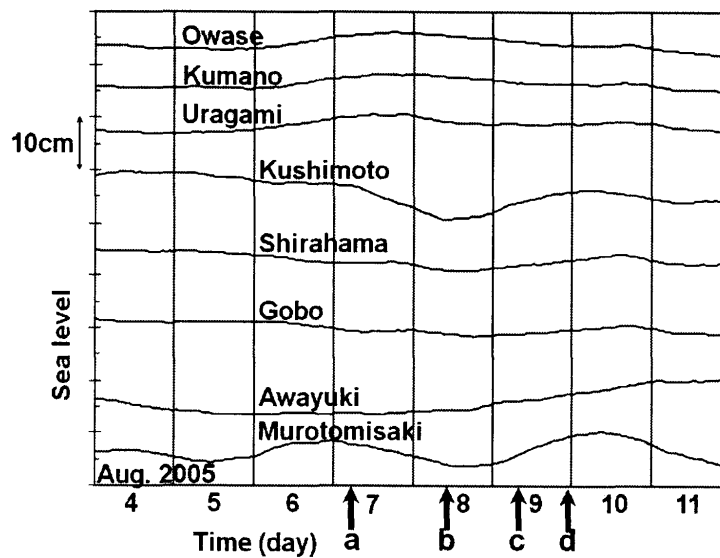


Fig. 8. Temporal variations of the sea levels at Owase, Kumano, Uragami, Kushimoto, Shirahama, Gobo, Awayuki, and Murotomisaki tide stations (from top to bottom) in the period from 4 August to 11 August 2005. Running average for 25 hours has been applied. See Fig. 9 for the locations of the tide stations. Correction of atmospheric pressure has been made. Scale of the sea level is given at the upper-left corner of the figure. The small alphabets a, b, c, and d with arrow indicates the time of velocity measurement.

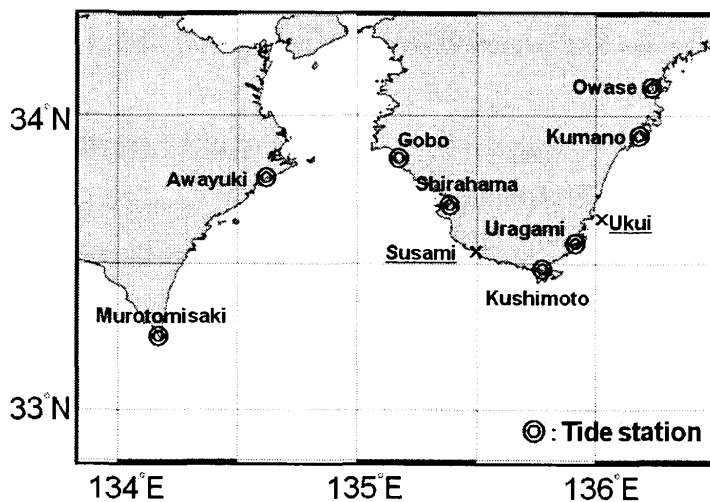


Fig. 9. Locations of the tide stations (©) shown in Fig. 8, and the positions where the set-net was lost and found in May, 1966 (×).

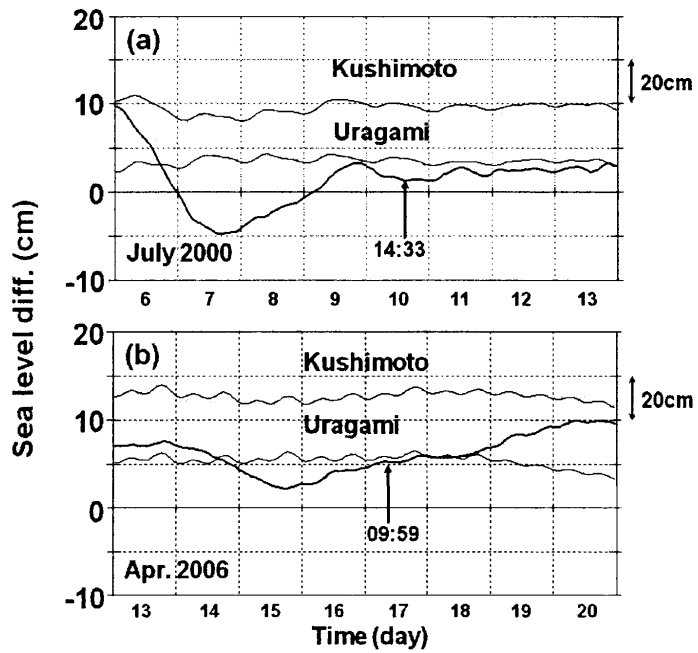


Fig. 10. Temporal variations of sea levels at Kusimoto and Uragami (thin lines attached with Station names) and sea level difference between Kushimoto and Uragami (thick line): (a) for the period from July 6 to July 13, 2000, and (b) for the period from April 13 to April 20, 2006. Sea levels are shown at arbitrary position, but their magnitude is given on the right side. Vertical arrow indicates the observation times of the maximum westward velocity, and attached numeral indicates the time.

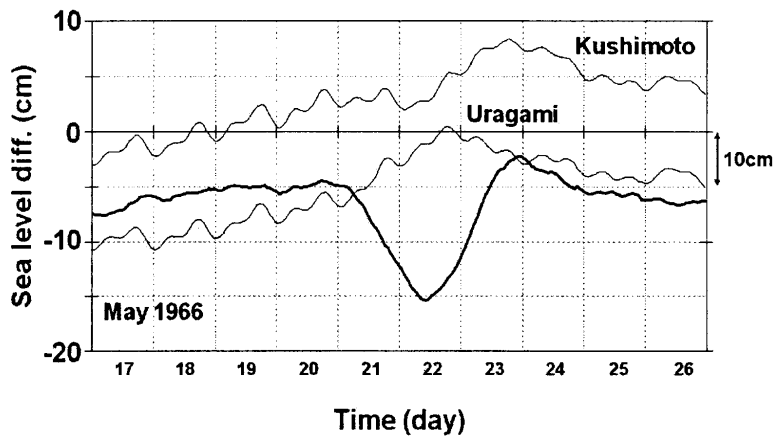


Fig. 11. Same as in Fig. 10 except for the period from May 17 to May 26, 1966. Current observation is not available for this case.

の事例で見たように、水位差と流速に位相差があるとして、数時間前の水位差と対応させるならば、水位差は5 cmを切ることになる。しかし、数時間程度の位相差を仮定しただけでは、2000年7月の事例は説明できない。2005年8月の事例解析から求めた位相差の6時間は、そのままこれらの事例に適用できないようで、もっと大きな位相差が起こることもあるのではないかと考えている。この点を明らかにするにはより多くの事例解析を行う必要がある。

他に、ADCPによる流速場は利用できないが、顕著な狭い潮岬沖西向流が生じたと考えられる例が一つある。潮岬東方の宇久井(位置はFig. 9に示す)において、1966年5月21~22日にかけて起こった激しい暴風によって定置網が流失した。当初、流失した定置網は熊野灘から伊豆方面を漂流していると予想されたが、和歌山水試の当時の調査船「きい」によって5月23日昼頃に発見されたのは、潮岬より西方のすさみ(位置はFig. 9に示す)の沖磯の三ツ石であった。この同じ時期に潮岬の沖合で大島運輸の客船「ふじ」が舵の故障のため航行不能となり、西方に漂流したことが報告されている。これらの事故前後の串本・浦神間の水位差の変動を1966年5月17日から5月26日の期間について、串本、浦神の水位の変動と共にFig. 11に示す。この時も3日程度の時間スケールであるが、5月22日を中心にV字型の水位減少パターンを示しており、水位差は-16 cmにまで低下している。おそらくこの水位差によって、潮岬沖に狭い顕著な西向流が生じたものと解釈すべきであろう。串本・浦神の水位の変動を見ると、この時の水位差を生じた原因は、2005年8月の場合と異なり、主として浦神側に原因があったと考えられる。

5. 広い潮岬沖西向流, 1998年6月1日の事例を中心に

5.1. 1998年6月1日の事例

Fig. 2において水位差が負で最大の値(約-4 cm)を示した1998年6月1日の事例を検討してみよう。比較的大きな黒潮の蛇行が、この時期に潮岬沖を西から東

へ移動しつつあることが衛星資料から予測されていたので、和歌山水試の「きのくに」は、沿岸定線観測に引き続いて潮岬近傍の海域で6月4~5日の期間に、この蛇行の観測を試みた。この時期に合わせて、三重大学は「勢水丸」をこの海域に6月2~4日の期間に派遣して、共同観測が行われた。また、この近接海域で、三重県水産技術センターの「あさま丸」(6月1~4日)、海上保安庁巡視船の「せつつ」(6月1~3日)の観測資料が利用できる。これらの観測の測線分布をFig. 12aに示す。また、ADCP測流で得られた表層流速分布(「勢水丸」および「きのくに」は5 m深、「あさま丸」および「せつつ」は10 m深)をFig. 12bに、200 m深と100 m深の水温分布をそれぞれFig. 12cとFig. 12dに示す。

流速分布は、潮岬沖の黒潮の北側に大きな反時計回り渦が存在していることを示しており、黒潮の蛇行が潮岬沖を通過しようとしている様子がうかがえる。流速分布では、熊野灘において「勢水丸」の観測時と「あさま丸」の観測時で、流速の大きさが大きく違っている。このことより、熊野灘沖の流速場はかなり時間変動したと考えられる。しかし、水温については、両観測の結果にほとんど食い違いが無い。この海域で、近似的に平均的な流線を示すとされている200 mの等温線(Fig. 12c)は、黒潮の流れが北向きに熊野灘へ侵入していることを示す。これに対して、その分布がトレーサー的な役割を帯びる100 m深の水温(Fig. 12d)では、18°Cの等温線に若干のくびれを生じており、浦神のすぐ沖に暖水がもたらされている。これが浦神検潮所沖の水位上昇に関与していると考えられる。200 mの等温線では流速場(Fig. 12b)に現れている潮岬沖西向流に対応するような構造が見られない。しかし、100 m深の水温場には、西向流によって潮岬南方で暖水が西方に運ばれたことを示すような暖水の張り出しが潮岬を越して南西海岸に及んでいる様子が見られる。ADCPによる流速場、200 m深と100 m深水温場の様相の違いが生じた機構については、今後検討を進める必要があると考える。しかし、少なくとも小蛇行に伴う反時計回りの渦の構造が、100 m以深に及んでいないこと、流れが定常的なものとは見なし難いこと等を示唆しているものと考えられる。

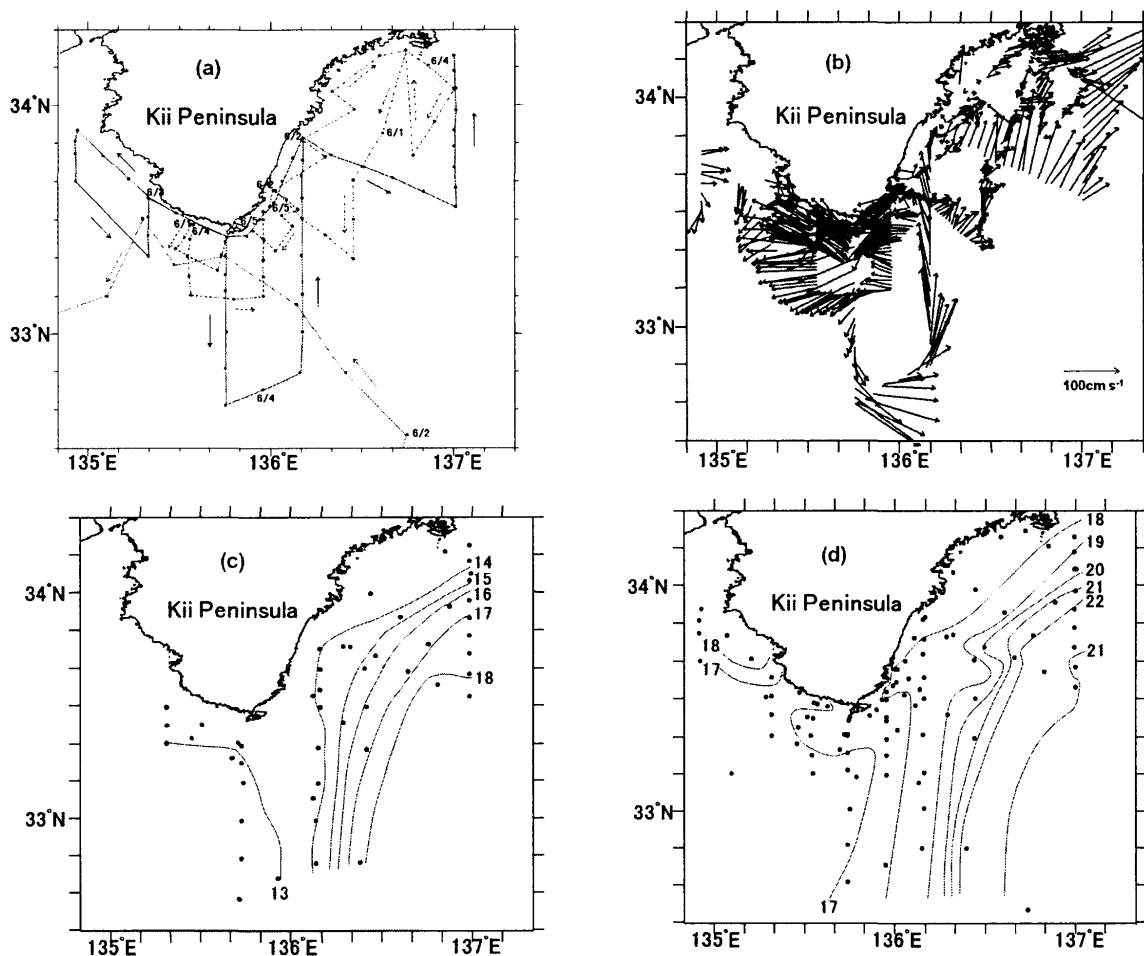


Fig. 12. a) Observation lines for the cruises of R/V Seisui-maru (bold full line), R/V Kinokuni (bold dashed line), R/V Asama-maru (thin dotted and dashed line), and Patrol Ship Settu (thin dotted line). Observation points of temperature are shown with dots. Arrows attached to observation lines indicate cruise direction. Numerals attached indicate month/day in 1998. b) Current distribution measured by ADCP. Scale of velocity vector is indicated in the figure. c) Temperature distribution at 200 m depth. Observation points are shown with dots. Numerals attached to isotherms indicate temperature in °C. d) Temperature distribution at 100 m depth. Observation points are shown with dots. Numerals attached to isotherms indicate temperature in °C

串本・浦神間水位差の25時間移動平均値の変動、および串本・浦神それぞれの水位の変動を1998年5月1日から7月31日までの期間についてFig. 13に示す。5月24日に水位差に大きな正のピークが現れた後、水位差は急速に低下し5月30日には0 cm以下となり、6月10日まで負の値を示している。水位差はその後上昇し、7月初旬には15 cmの水準まで回復した。Fig. 13には、

串本と浦神の水位変動もそれぞれ示してある。水位差の低下した期間、両地点で共に水位が上昇しているが、上昇の度合は浦神の水位の方が串本のそれより著しい。この現象は、Fig. 12cで見られるように、蛇行に伴う渦によって、黒潮系暖水が沿岸近くに侵入してきたことで解釈できるが、浦神側での水位上昇が著しいのは、黒潮本流が熊野灘で沿岸に接近して流れたためである

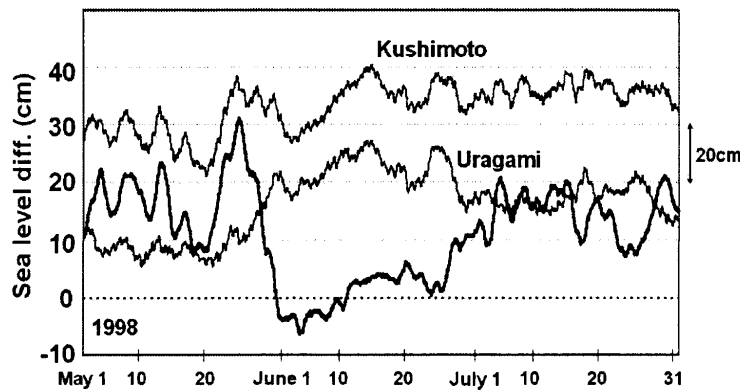


Fig. 13. Temporal variation of the sea level difference between Kushimoto and Uragami (thick line), and those of sea levels at Kushimoto (upper thin line) and Uragami (lower thin line). The scale of the sea levels is given on the right side. Running average for 25 hours has been applied.

う。水位差が 0 cm 以下に下がった期間は 10 日間以上であり、10 cm 以下に下がった期間は 1 か月以上にわたっている。

この事例では、串本・浦神間の水位差が負の値を示すとき、明らかに浦神側の水位が串本側の水位よりも高くなっている。この水位差の発生は、2005 年 8 月の狭い潮岬沖西向流の場合に局所的な海況変動に伴われたのとは異なり、かなり大規模な海況変動(黒潮の蛇行現象と熊野灘への黒潮の侵入)に伴って生じたものと考えられる。時間スケールが長かったこと、直接観測資料が限られていたことのため、水位変動と流速場変動の位相差を論じることはできないが、両者は同位相ないしは、水位変動がやや先行したのではないかと考えている。

5.2. 他の広い潮岬沖西向流の事例

幅が広くて、 75 cm s^{-1} 程度の流速をもつ顕著な西向流が見られた事例は、Fig. 2 に示されたように、解析期間中に 2000 年 1 月 6 日、2000 年 3 月 2 日、2004 年 9 月 16 日の 3 回ある。これらの事例の水平流速分布を、それぞれ Fig. 14a, b, c に示す。2000 年 1 月 6 日の場合は広い西向流が岸近傍まで見られる。しかし、

2000 年 3 月 2 日の場合には、岸近くで東向流の存在を示す。2004 年 9 月 16 日の場合には岸近くで流速が急速に減少し、岸ではほとんど 0.0 cm s^{-1} となっている。岸近くまで西向流が見られた 2000 年 1 月 6 日の場合には、串本・浦神間の水位差の変動に 1998 年 6 月の事例 (Fig. 13) に似た変動パターンが現れている。これに対して、岸近くで東向流が見られた場合や、流速値が 0.0 cm s^{-1} に近くなった 2 例では、串本・浦神の水位差の変動に、これに似たパターンは現れていない。これらの場合には、西向流が存在しても、小蛇行に伴う渦の影響が岸にまで及んでいなかったためであろう。

6. おわりに

潮岬沖で、黒潮の流路の北側に西向流が、小蛇行の通過時等に発生することは従来から知られていたが、その性質を論議した論文はなかった。この論文では、発生する西向流に少なくとも二つのパターン、小蛇行の通過時に現れる幅の広い西向流と、潮岬沖の陸棚斜面上に現れる幅の狭い西向流とがあることを示した。ともに観測された事例は少ないが、両者の典型的な場合について密度の高い観測を得ることが出来た。これらの

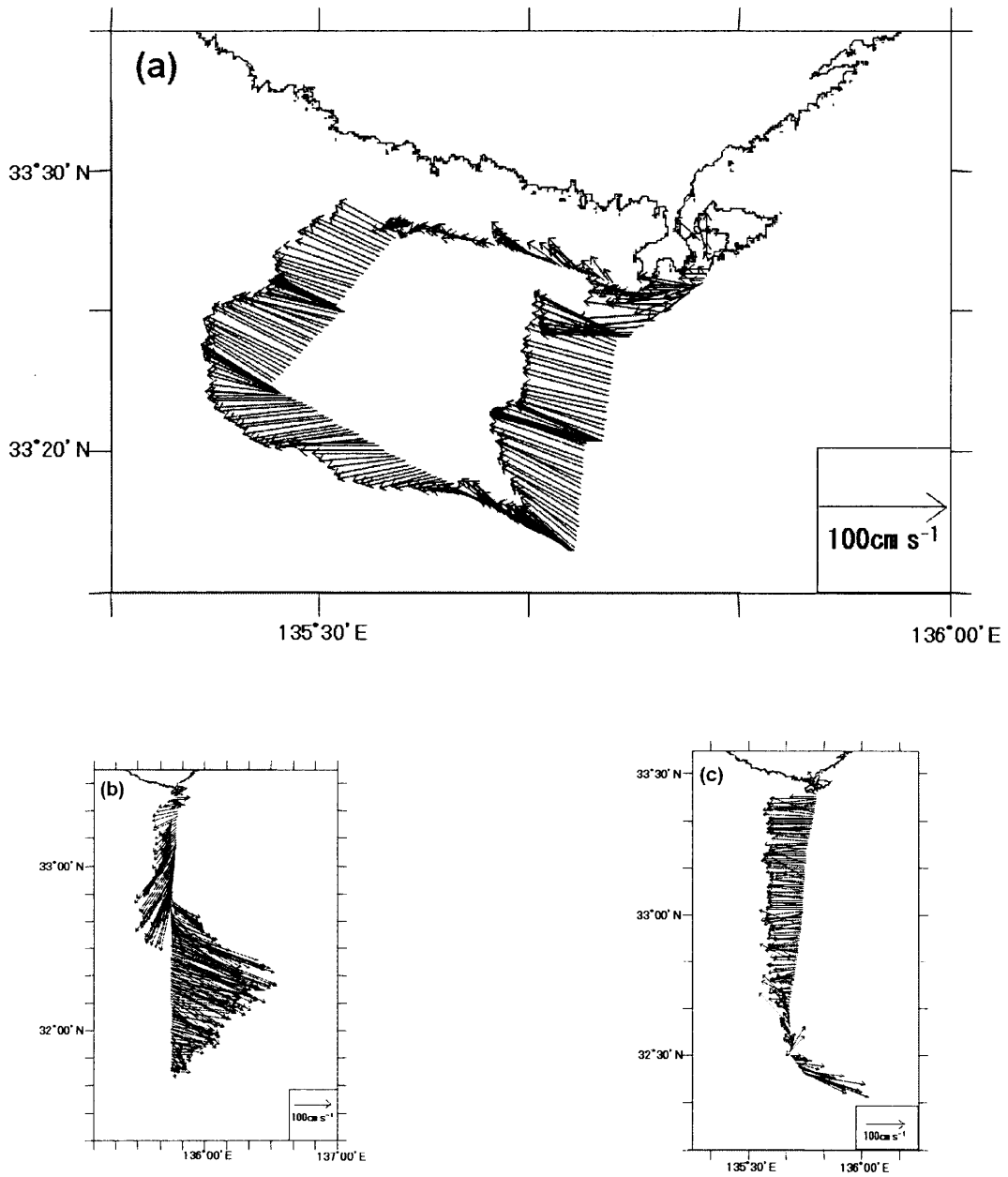


Fig. 14. Current distributions : (a) at 10 m depth on January 6, 2000, (b) at 10 m on March 2, 2000 and (c) at 14 m depth on September 16, 2004.

西向流が発生する時点では、浦神の水位が、串本の水位よりも相対的に高い傾向があることが示された。狭い潮岬沖西向流については、流速変動と串本・浦神間の水位差の変動との間に位相関係のずれが生じ、水位

差の位相が先行する。しかし、その位相差は事例ごとに異なるようである。狭い潮岬沖西向流は、3日程度の短い時間スケールを持つ。その流れは主として陸棚斜面上に局限されるように思われ、流れは順圧的で海底

まで達しているように思われる。これらの性質は、狭い潮岬沖西向流が潮岬を挟む東西の海域間の水位差によって励起されていることを示唆していると考えられる。ただし、流速 0 の状態が串本・浦神間の水位差 0 に対応しておらず、串本・浦神間の水位差約 3.5 cm を境に、西流と東流がそれぞれ現れる。原因については更に検討を加える必要があるが、串本・浦神間の水位差が、潮岬沖の東西の水位差に正確に対応しないのではないかと考えている。

もう一つの西向流、広い潮岬沖西向流は、黒潮の北側に生じた蛇行に伴う渦に起因したものと考えられ、時間スケールも 1 か月程度と長い。しかし、この場合も串本・浦神間の水位差の変動に伴って、西向流の消長が対応していると考えられる。おそらくこの場合は、沖合の反時計回りの渦によって、潮岬東方により水温の高い水が侵入することによって、浦神側の水位が串本に比べ相対的に高められることが水位差の生じる原因であろう。この 2 種の潮岬沖西向流は、異なった機構で生じていると考えられるのに、水位差と西向流流速の関係が、狭い潮岬沖西向流の場合と同様なことは興味深い。いずれにせよ、わずか数 cm の両地点間の水位差が、西向流の特性をモニターするために使用できる可能性のあることは非常に興味あるところである。

今後とも、潮岬周辺の海況と黒潮の流れ、串本・浦神間の水位差の関係について、機会を捉えて実測的な研究を続けたいと考えている。

References

- 藤田 弘一 (1997): 日本南岸の黒潮流路の変動と串本・浦神の潮位差との関連に関する研究. 三重大学大学院生物資源学研究科博士論文, pp.136.
- Kawabe, M. (1980): Sea level variation along the south coast of Japan and the large meander in the Kuroshio. *J. Oceanogr. Soc. Japan*, **36**, 97–104.
- Nagata, Y., T. Takeuchi, M. Uchida, I. Ishikura, Y. Morikawa, and T. Koike (1999): Current nature of the Kuroshio in the vicinity of the Kii Peninsula. *J. Oceanogr.*, **55**, 407–416.
- Shoji, D. (1972): The variation of the Kuroshio south of Japan, p. 217–234. In *Kuroshio - Its Physical Aspects*. Ed. H. Stommel and Y. Yoshida, Univ. Tokyo Press.
- Takeuchi, J., N. Honda, Y. Morikawa, T. Koike and Y. Nagata (1998): Bifurcation current along the southeast coast of the Kii Peninsula. *J. Oceanogr.*, **54**, 45–52.
- 竹内 淳一 (2005): 紀伊半島周辺の海洋構造と変動および漁業への影響. 和歌山県農林水産総合技術センター特別研究報告, **8**, pp. 123.
- 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 structure and temporal variation of bifurcation current off the Kii Peninsula. *J. Oceanogr.*, **56**, 17–30.
- 吉田 昭三 (1960): 遠州灘沖の冷水塊. *科学朝日*, **7**, 100–104.

On the Westward Current off Cape Shionomisaki

Toru Nakamura *, Ayako Tanaka *, Youichi Maekawa *, Makoto Uchida *,
Takashi Koike †, Yoshiki Nakaji ‡, Junichi Takeuchi §,
and Yutaka Nagata ¶

Abstract

Westward currents are sometimes observed between the Kuroshio Current and Cape Shionomisaki. Many of them are associated with cyclonic eddies which are generated along the northern edge of the Kuroshio Current. But in some cases, the strong and narrow westward current can be observed without the presence of cyclonic eddies, if the Kuroshio Current draws very close to Cape Shionomisaki. The speed of such narrow westward current is high and sometimes reaches 100 cm s^{-1} . The narrow westward current off Cape Shionomisaki appears to be generated by the sea level difference between the coastal waters to the east and to the west of Cape Shionomisaki. In August 2005, we succeeded in observing the lifetime of the narrow westward current off Cape Shionomisaki from its generation stage to decay stage by R/V Seisui-maru of the Mie University and R/V Kinokuni of the Wakayama Fisheries Experimental Station. The evolution of the current was found to correspond to the variation of the sea level difference between Kushimoto and Uragami Tide Stations. A typical example of the broad westward currents is also analyzed by using the data obtained by these vessels in June 1998.

Key words: off Cape Shionomisaki, Kuroshio, sea level difference,
Kii Bifurcation Current

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

(Received 11 September 2007; accepted 8 April 2008)

(Copyright by the Oceanographic Society of Japan, 2008)

* Training ship Seisui Maru, Graduate School of Bioresources, Mie University

† Graduate School of Bioresources, Mie University

‡ Wakayama Prefectural Nishimuro Promotions Bureau

§ Fisheries Experimental Station, Wakayama Research Center of Agriculture, Forestry and Fisheries

¶ Marine Information Research Center, Japan Hydrographic Association