

## 串本・浦神間水位差に現れる季節的变化

中村 亨<sup>1)</sup>・前川陽一<sup>1)</sup>・仲里慧子<sup>1)</sup>・小池 隆<sup>2)</sup>・竹内淳一<sup>3)</sup>・永田 豊<sup>4)</sup>

### Seasonal variation of the sea level difference between Kushimoto and Uragami tide-gauge stations

Toru NAKAMURA<sup>1)</sup>, Yoichi MAEKAWA<sup>1)</sup>, Keiko NAKAZATO<sup>1)</sup>, Takashi KOIKE<sup>2)</sup>,  
Junichi TAKEUCHI<sup>3)</sup>, and Yutaka NAGATA<sup>4)</sup>

**Abstract** : Sea level difference between Kushimoto and Uragami tide-gauge stations has been used as an indicator of flow pattern in the sea south of Japan: the difference is small when the Kuroshio has meandering path and is large when it has straight path. The difference exhibits seasonal variation, and it becomes large in the summer season in the years when the Kuroshio takes straight path throughout year as in 2003 and in 2009. We analyzed the sea level data of Kushimoto and Uragami tide-gauge stations for 17 years from 1994 through 2010. It is shown that the Kuroshio takes straight path when the separation distance of the northern edge of the Kuroshio is smaller than 15km from the tip of Cape Shionomisaki. The sea level difference data were selected only for the time that the separation distance is smaller than 15km, and the average sea level for 17 years are calculated. Significant seasonal variation can be seen in the averaged sea level difference curve. However, the seasonal variation is not so clear in comparison with cases in 2003 and 2009. The sea level changes at Kushimoto and Uragami tide-gauge stations were investigated for the years of 2003 and 2009. Both of the sea levels tend to rise in summer time, but the magnitude of the rise at Kushimoto is considerably larger than that at Uragami. MAEKAWA *et al.* (2011) showed that the water off the Kushimoto tide-gauge station is originated to the surface water of the current zone of the Kuroshio, when the Kuroshio takes straight pass. Thus, the main cause of seasonal variation of the sea level difference would be sought for seasonal warming of the surface water of the Kuroshio area. The water would be brought from upstream (southern) area of the Kuroshio, and would be heated much more than surface water in Kumano-nada in summer season.

**Keywords** : *Sea level difference between Kushimoto and Uragami, seasonal variation, intrusion of the Kuroshio Water off the southwest coast of Kii Peninsula, water off Kumano-nada*

- 
- 1) 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) 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) 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 第一綜合ビル 6F
  - 1) Training ship Seisuimaru, Graduate School of Bioresources, Mie University.  
1577 Kurimamachiya-cho, Tsu, Mie, 514-8507 Japan.
  - 2) Graduate School of Bioresources, Mie University.  
1577 Kurimamachiya-cho, Tsu, Mie, 514-8507 Japan.
  - 3) Fisheries Experimental Station, Wakayama Research Center of Agriculture, Forestry and Fisheries.  
1577-20 Kushimoto Kushimoto-Chou, Higashimurogun, Wakayama, 649-3503 Japan.
  - 4) Marine Information Research Center, Japan Hydrographic Association  
Dai-ichi Sougou Bldg., 1-6-6 Haneda-Kuukou, Ota, Tokyo, 144-0041 Japan.

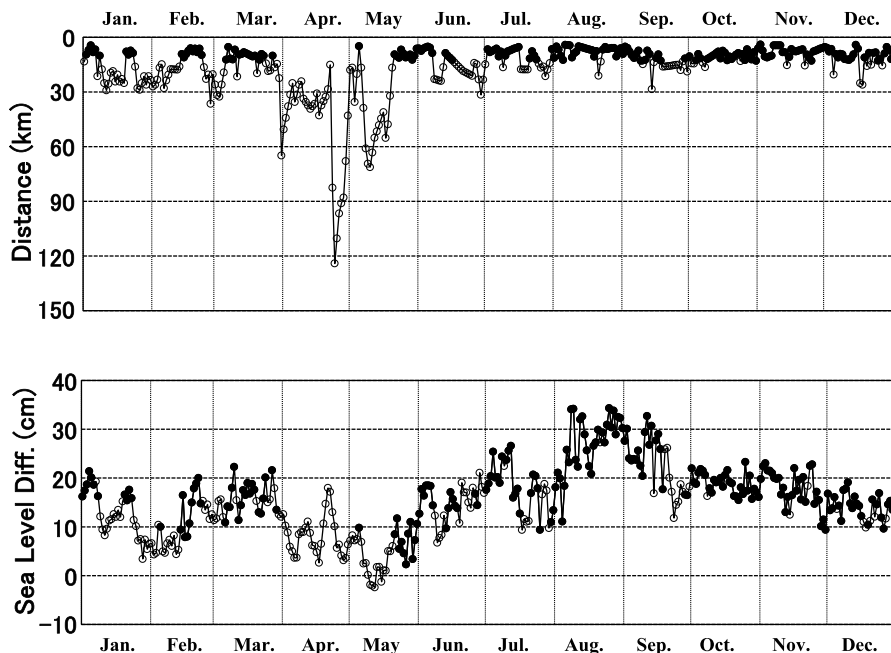


Fig. 1 The distance (upper figure in km) between the northern edge of the Kuroshio and the tip of Cape Shionomisaki, and the sea level difference (lower figure in cm) between Kushimoto and Uragami tide gauge stations in 2003. The sea level differences are shown with solid circles when the separation distance is shorter than 15km, and with open circles when the separation distance is longer than 15km.

## 1. はじめに

われわれは、紀伊半島南西海岸に見られる振り分け潮をはじめとして、紀伊半島の先端付近の微細海況の解析を行ってきた (TAKEUCHI *et al.*, 1998, NAGATA *et al.*, 1999, UCHIDA *et al.*, 2000, 中村ら, 2008, 田中ら, 2008, 前川ら, 2011, 2012)。その中で、前川ら (2011) は、串本・浦神検潮所間の水位差に季節変化があり、水位差が夏期に大きくなる可能性があることを指摘している。このような傾向は 2003 年や 2009 年など年間を通して黒潮が直進路を維持している年に明確に現れる。しかし、顕著な季節変化が見られない年も少なくない。和歌山県農林水産総合技術センター (以後和歌山水試と略記) では、潮岬灯台近くに目視観測点を設けて、毎日午前 9 時前後に、沖合数百 m の海面を観測し、潮波の立ち方の目視観測を行っており、漁海況情報の一つとして活用している。目視観測者は夏期に潮波が大きくなり、黒潮の接岸流が強くなる傾向があると指摘している (このことは、別に検討する予定である)。

前川ら (2011) は、黒潮流路の指標となる串本・浦神の水位差は、潮岬半島沖の東西わずか数 km の部分で生じていることを指摘すると共に、水位差を生じさせているのは、300m 以浅の海洋構造

であることを示した (このことは藤田 (2001) が指摘しているが、その詳細な水平分布を提示したのは初めてである)。このような表層の構造は、黒潮強流帯域においても、明確な季節変動を示しており、振り分け潮に伴って紀伊半島南西岸にもたらされる黒潮系水の特性も季節変化を示すであろう。振り分け潮の発生そのものは、福田ら (2002) が数値試シミュレーションで再現に成功しているが、このような表層構造や微細海況構造に関しては、観測による資料の収集が、現在でも必要とされる。本論文では、1994 年から 2010 年までの 17 年間の資料を解析するとともに、顕著な季節変化を示す 2003 年および 2009 年の資料を解析し、この季節変化の特性を検討する。

## 2. 串本・浦神間水位差の季節変化

### 2-1 年々の季節変化

前川ら (2011) は串本・浦神間水位差の季節変化について、その Fig. 2 に 2009 年の変化を示している。しかし、黒潮流路の変遷もあり、前述したような典型的な変化が毎年見られるとは限らない。ここでは、2009 年と同様に明確な季節変化が見られた 2003 年について、串本・浦神間水位差の変化を Fig. 1 の下段に示す。図の上段に衛

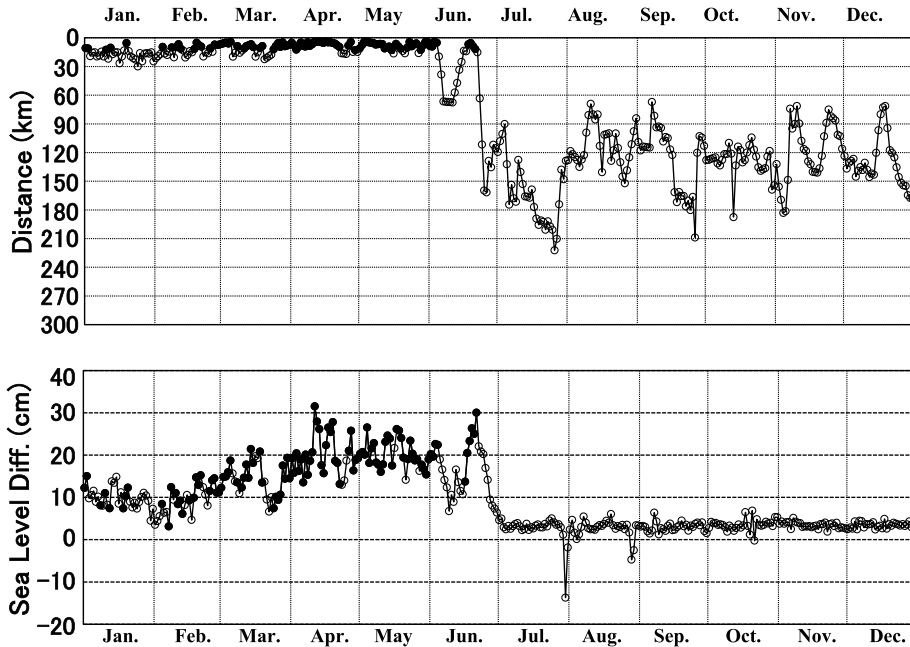


Fig. 2 Same as in Fig.1 except for in 2004.

星資料から求めた黒潮北縁の潮岬先端からの距離（以下では簡単のため黒潮離岸距離と呼ぶ）の変化を示してある。これは、和歌山水試が NOAA/HRPT 受信解析装置（TeraScan）を用いて直接受信している。衛星の画像の分解能は、1.1km 程度とされているが、実際の画像からはより細かく黒潮北縁の離岸距離を読みとることが可能であり、ここでは 0.1km 単位で決めた値を用いている。ただし、陸と海のコントラストが大きいこともあり、黒潮北縁が潮岬先端から約 3.7km 以内に近づくと北縁位置の決定は難しくなり、この場合は黒潮離岸距離を 3.7km とした。また、海洋保安庁海洋情報部が発行している海洋速報では黒潮流軸の位置が記載されており、これは黒潮北縁より 24km 沖側とされている。しかし、流軸位置が 24km より岸寄りに示されている場合があり、この定義に従えば、北縁の位置は陸上にあることになる。海洋速報の情報を参考にしているが、衛星資料を基にした北縁位置を本論文で論じている。水位差については串本・浦神のそれぞれの観測値を東京湾中等潮位（TP）上に換算した後、その差をとり、水位差 0 が、両水位が同レベルに対応するように表記している。

前川ら（2011）が示した 2009 年と同様に、2003 年は年間を通して黒潮は安定した直進路をとっており、水位差が夏期に高くなるという季節変化が、明瞭に現れている。参考のため Fig. 2

に 2004 年の水位差の変化を同様に黒潮離岸距離と共に示すが、この年は、黒潮の流路が 7 月に潮岬から離れて、それ以後は典型的な蛇行路をとるようになった年である。7 月以降の水位差は 5cm 以下の安定した値をとるようになるとともに、季節変化は全く見られなくなった。Fig. 1 および Fig. 2 では、黒潮離岸距離が潮岬先端から 15km 以内の場合を黒丸で、15km 以上の場合を示してあるが、これらの図から 15km 以内の場合のみをとると、黒潮が蛇行路をとっている場合のデータをほぼ除くことができることがわかる。なお、ここでも黒潮の直進路、蛇行路という表現を便宜上用いているが、少なくとも潮岬近傍の海況に影響するのは、日本南岸沖の全体的な流路特性ではなく、黒潮北縁が潮岬からどれだけ離れているかの離岸距離である。離岸距離は、潮岬の東西の沿岸水が一体的なものであるか、両者が分離されているかを決定する要因である。

Fig. 2 に見られるように黒潮が蛇行路をとり、黒潮北縁の位置が潮岬先端から遠く離れると、串本・浦神間の水位差は非常に小さくなる。以下に 1994 年から 2010 年までの 17 年間の資料の解析を行うが、このように短い期間の解析においては、その期間内で蛇行路をとっていた頻度の高い月の水位差の平均値は小さくなり、直進路をとっていた頻度の高い月の水位差の平均値は大きくなる。われわれの解析期間において、蛇行路をとってい

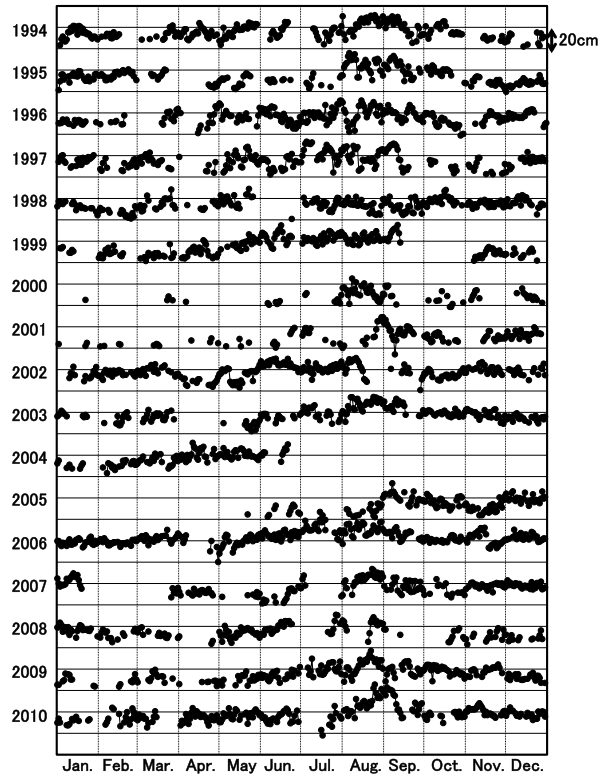


Fig. 3 The sea level difference between Kushimoto and Uragami when the separation distance of the northern edge of the Kuroshio is less than 15km from the tip of Shionomisaki from 1994 to 2010.

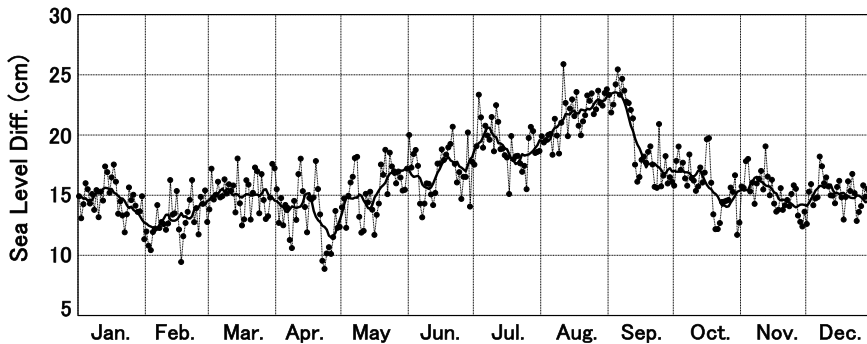


Fig. 4 Same as in Fig. 3 except for the daily average for the 17 years. The thick curve indicates 11 days running mean.

た頻度は、2~4月の期間が、他の月に比べてかなり大きく、2~4月の水位差は見掛け上小さくなってしまふ。そこで、以下の解析では、黒潮離岸距離が15km以内の場合のみを選んで行うことにする。

黒潮離岸距離が15km以内の場合のみを選び出して、1994年から2010年までの17年間のそれぞれの年の水位差の変化を示したのがFig. 3で

ある。ただし、ここでは、見やすくするため閏年については12月31日のデータを除いてある。この図を見ると、季節変化がほとんど見られない年もあるが、全体的に見て8~9月頃を中心として水位差が大きくなっている傾向が認められる。黒潮離岸距離15km以下の場合のみの各日付についての平均値を示したのがFig. 4である。直進路のデータのみを用いているから、水位差は年間を

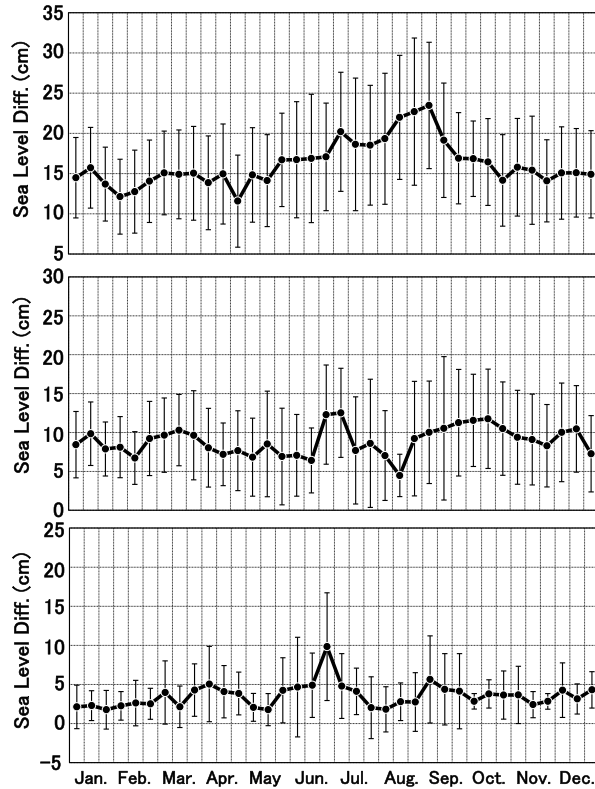


Fig. 5 Variation of the sea level difference averaged for each ten days: (upper figure) for the case that the separation distance of the northern edge of the Kuroshio is less than 15km from the tip of Shionomisaki, (middle figure) for the case the separation distance is from 15km through 30km, (lower figure) for the case the separation distance is larger than 30.1km. The vertical lines attached to data points indicate error bars.

通して正の値を示している（正の値は串本側の水位が浦神側の水位よりも高いことを表す）。解析期間が短いため1日毎の平均値の曲線には細かい振動が現れる。11日間の移動平均をとった曲線も Fig. 4 に示してあるが、この移動平均によって、細かい振動はほぼ除かれている。いずれにせよ、8～9月頃を中心として水位差が大きくなる季節変化は平均値の曲線に明確に現れている。11日間の移動平均をとることによって、スムーズな曲線が得られたことから、以下の検討では、1日毎の平均ではなく、その11日間の移動平均値、または旬平均値を基に議論することにする。

## 2-2 旬平均水位差の季節変動と黒潮離岸距離

旬平均を求めるに当たり、大の月では、1～10日を上旬、11～20日を中旬、21～31日を下旬と定義し、2月を除く小の月では、これに対して下旬を21～30日と定義した。2月については1～10日を上旬とするのは変わらないが、11～19日を

中旬とし、20日から28日、あるいは29日までを下旬と定義した。この定義に従って、串本・浦神間の水位差の旬平均を計算して示したのが Fig. 5 である。1994年から2010年までの17年間のデータから、黒潮離岸距離を15.0km以内（上図）、15.1～30.0km（中図）、30.1km以上（下図）の3つの場合について示した。ただし、解析期間についてのデータ数は、3つの場合について、互いにかなり違っており、15.0km以内の生起日数が57.3%、15.1～30.0kmのそれが23.4%、30.1km以上のそれが19.3%である。

Fig. 5 には各計算値に対して標準偏差 $\sigma$ を縦棒で示してあるが、Fig. 3に見られるように年々変動が大きいため、標準偏差の値はかなり大きくなっている。これらの平均値の曲線を見ると、15.0km以内の場合にのみ、9月頃をピークとして、夏期に水位差が大きくなる季節変化を認めることができる。この結果は、夏期に水位差が大きくなる現象は、黒潮が直進路をとり、潮岬の東西



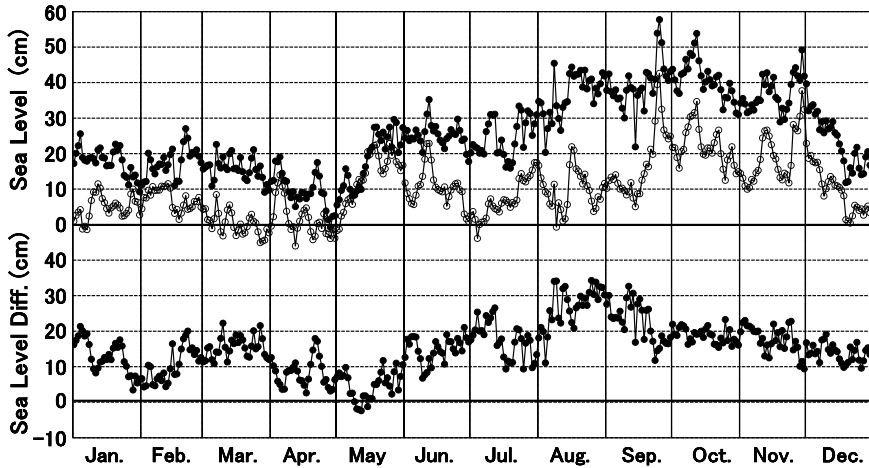


Fig. 6 Variations of the sea level at Kushimoto (solid circle) and at Uragami (open circle) are shown in upper figure in 2003. Sea level difference between two stations is shown in lower figure.

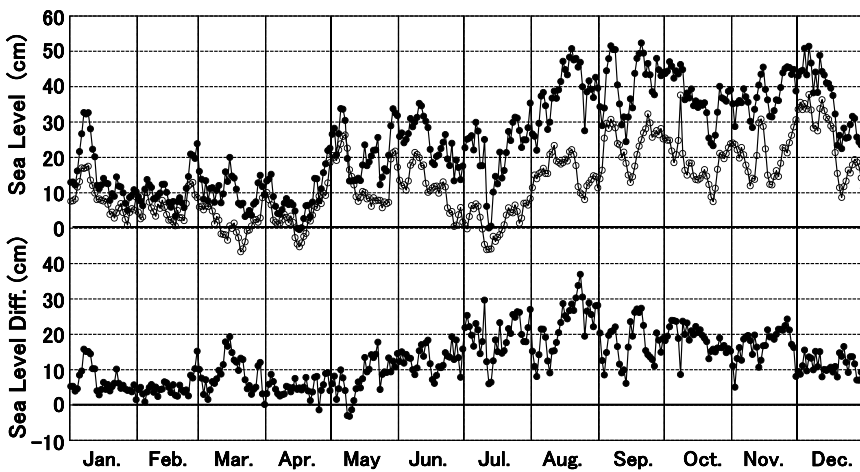


Fig. 7 Same as in Fig 6 except for in 2009.

の沿岸水が分離された場合のみ、水位差に季節変動が現れることを示唆している。より明確な結論を得るには、解析期間をより長くとり、データ数を増す必要があるが、過去に解析期間を延ばすことは、衛星データを含め、データの取得や、利用できるデータの精度等に問題がある。この論文では、明確な季節変化が見られた2003年と2009年の場合を検討することによって、季節変化の生じる原因を考えることにする。

### 3. 2003年及び2009年に見られた串本、浦神のそれぞれの水位の季節変化

2003年と2009年の串本および浦神の水位の変化をFig. 6及びFig. 7にそれぞれ示す。これら

の値は、東京湾中等潮位 (TP) からの変位として表し、1時間間隔の水位データに tide 除きフィルター (花輪・三寺, 1985) を施した後、毎正午の値を抜き出して示したものである。また、これらの図の下段には両検潮所間の水位差を再掲してある。

2003年、2009年共に、串本・浦神の両地点で、夏期の水位が上昇する傾向を示す。これは大気からの加熱による表層水温の上昇に伴う現象として解釈されよう。しかし、夏期の水位上昇は、串本の上昇量が浦神のそれよりもはるかに大きく、それによって両地点間の水位差が形作られていることがわかる。

従って、水位差の季節変化を起こす主要因は、

串本側に求めざるを得ない。黒潮離岸距離が15km以内であるときは、通常黒潮は直進路をとっており、振り分け潮の発生に伴い黒潮流域の表層水が紀伊半島南西岸に侵入してくる時である。主温度躍層より下の黒潮水が顕著な季節変化を示さないが、主温度躍層以浅の黒潮表層水の水温は季節変化を起こし、大気からの加熱により夏期上昇する。紀伊半島南西岸に侵入してくる黒潮表層水の水温が夏期には上昇し軽くなり、串本側の水位の夏期の上昇を起こすことは当然のことと考えられる。もちろん、正確な上昇量を求めるには塩分の変化も論ずる必要がある。

Fig. 6およびFig. 7に見られるように、浦神の水位も若干夏期に上昇する。南方から運ばれてくる黒潮表層水の夏期の水温上昇は、浦神沖の沿岸水よりも大きいことは十分考えられる。しかし、潮岬西方で振り分け潮に伴って沿岸域に侵入してくる水が、黒潮のどの部分の水であるかが明らかにされていない以上、定量的な検討は出来ない。われわれは、水の動きを明確にするため、水塊分析や種々のトレーサー解析を進めているが十分に成功するに至っていない。前川ら(2012)は、溶存酸素の鉛直プロファイルの微細構造に注目した解析を試みて、潮岬東方の黒潮流域の中に熊野灘沖の沿岸水が黒潮流域に取り込まれ、運び去られることを示唆している。もしそれが正しければ、浦神沖の沿岸水が常に更新されていて、そのため季節変化が抑制される可能性がある。このような沿岸水の更新は、黒潮が長期にわたって直進路を維持している場合、効果的であろう。今まで、われわれは、振り分け潮の関連で潮岬西方の海況について詳細な検討を進めてきた。しかし、串本・浦神間の水位差の季節変化のような問題を論じるためには、熊野灘沖の海況特性についても詳細な検討を行う必要がある。

#### 4. おわりに

串本・浦神間の水位差が夏期に増大するという季節変化が現れることは、黒潮直進時に紀伊半島南西岸に振り分け潮が現われさらに、その南西海岸に侵入する黒潮水は、黒潮域の表層の水であるとする前川ら(2011)の推論を支持するものである。しかし、ここで論じてきたように、この水位差の季節変化を起こす主要因は、紀伊半島南西岸に侵入する黒潮表層水の季節変化であるが、熊野灘側の沿岸水の季節変化が、この水位差の減少に寄与していることも忘れてはならない。振り分け潮の発生についても、今後解明すべき問題が山積している。福田ら(2002)は、数値実験で振り分け潮の発生を再現することに成功しているが、こ

れは、南西沿岸域にもたらされる水が表層水に限られ、振り分け潮の発生が水深100m程度の位置で起こっているような、微細な構造を説明するものではない。前川ら(2011)が論じているように、振り分け潮の発生に結びつくような水平水温・塩分場の等値線の岸向きの膨らみが観測されているものの、ADCPによって観測された流速場にはその部分で岸に向かう流れは見出せない。振り分け潮の発生メカニズムは、まだ十分に解明されていない。これを明らかにするには、黒潮流域のどこの水が、どのような経路に沿って沿岸域にもたらせられるのかを正確に知ることが必要である。

#### 謝辞

本研究を進めるにあたり、種々のご助言、ご支援を頂きました勢水丸の内田誠船長に心からの感謝の意を表します。

#### 参考文献

- 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.
- 福田久・郭新宇・山形俊男(2002)：紀南分岐流(振り分け潮)の数値モデル研究。海の研究, 11, 513-527.
- 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一。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海況と串本・浦神間の水面高度分布。海の研究, 20, 167-177.
- 前川陽一・中村亨・仲里慧子・小池隆・竹内淳一・永田豊(2012)：鉛直微細構造の特性をトレーサーにする海況解析の試み—潮岬周辺微細海況への適用一。(印刷中), La mer.
- 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.
- 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

受付：平成 24 年 1 月 6 日

受理：平成 24 年 3 月 27 日