

潮岬灯台直下の潮波と黒潮

中村 亨¹⁾・竹内淳一²⁾・中地良樹³⁾・前川陽一¹⁾・仲里慧子¹⁾・小池 隆⁴⁾・永田 豊⁵⁾

White-capped breakers observed just off the lighthouse of Cape Shionomisaki and the Kuroshio

Toru NAKAMURA¹⁾, Junichi TAKEUCHI²⁾, Yoshiki NAKAJI³⁾, Yoichi MAEKAWA¹⁾,
Keiko NAKAZATO¹⁾, Takashi KOIKE⁴⁾, and Yutaka NAGATA⁵⁾

Abstract : We observed regularly the white-capped breakers which are produced by strong current in the sea just off the lighthouse of Cape Shionomisaki. The white-capped breakers are classified into seventeen ranks from -8 through $+8$. Correlations of the ranks of white-capped breaker with several quantities such as the east-west component of current speed observed with ADCP at a fixed point, the sea level difference between Kushimoto and Uragami tide gauge stations, and the separation distance of the northern edge of the Kuroshio measured southwards from the tip of Cape Shionomisaki. The separation distance was determined from the position of the temperature front seen in satellite images. These correlations are very significant, and the observation of white-capped breaker is shown to be very useful to know oceanic conditions in the vicinity of Cape Shionomisaki. We defined that white-capped breakers are clearly seen above rank 4. This means that significant currents would exist in the sea just off the lighthouse at least for ranks above rank 4 through rank 8. If we define the northern edge of the Kuroshio with the northern limit of eastward current zone of the Kuroshio, the separation distance of the northern edge of the Kuroshio should be zero for these cases. It is hard to believe that currents are geostrophic in shallow waters just near coast. The current would be flowing under the balance between sea surface gradient and friction due to existence of coast or sea bottom. MAEKAWA *et al.* (2011) showed that the distribution of sea surface height in the sea just near the tip of the Cape Shionomisaki is produced by the temperature and salinity structures in shallow water less than 300 m, and that the sea level difference between Kushimoto and Uragami is produced by the surface Kuroshio water which had been brought into near coast region off the southwestern coast of the Kii Peninsula. The east-west sea level gradient produced just off Cape Shionomisaki would create an eastward current just along the coast. Besides, significant ranks (7 and 8) of white-capped breakers can be seen relatively often in summer season. This would be related to the seasonal variation of the sea level difference between Kushimoto and Uragami discussed by NAKAMURA *et al.* (2012).

Keywords : *White-capped breakers off Cape Shionomisaki, Rank of white-capped breakers, ADCP observation, Sea level difference between Kushimoto and Uragami tide gauge stations, Separation distance of the northern edge of Kuroshio*

-
- 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) 元和歌山県農林水産総合技術センター水産試験場
〒649-3502 和歌山県東牟婁郡串本町潮岬 2754-3
(自宅)
 - 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) 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
- 5) (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 第一総合ビル 6F

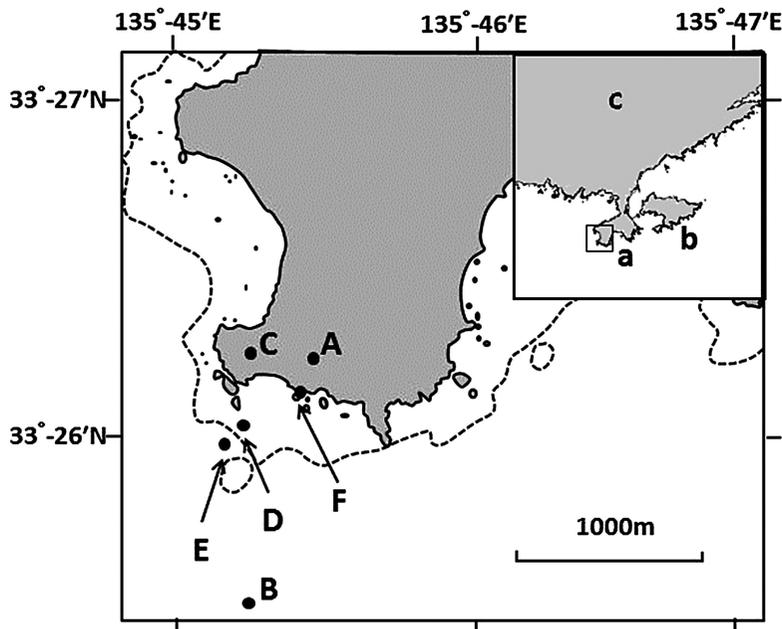


Fig. 1. Map of the area in the vicinity of observation area. A: observation point, B: the position of the direct current measurement, C: Shionomisaki lighthouse, D: Ohkura Island, E: Kometsubu rock and F: Kuroshima Fishing Port. The map shown in upper right corner shows the position of the main map relative to Cape Shionomisaki; a indicates Cape Shionomisaki, b Ohshima Island and c Kii Peninsula. Area shown in main map is shown by a square near letter a.

1. はじめに

黒潮は直進路をとっている時、その北縁が、ほぼ潮岬に接する形で流れている。潮岬の先端近くの沖合には、浅瀬が存在しており、小さな島や岩礁が多数存在している。黒潮接岸時には、強い東向流が岸のすぐ近くにも現れ、この浅瀬や島にぶつかる形で白波が立つ。これを地元では潮波と呼んでいる。沿岸漁業者（一本釣り、ひき縄漁師）あるいは磯釣り愛好者の中には、漁場の海況を知る手段として、潮岬灯台からやや東の地点で、この潮波の状況を観察している人たちがいる。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記する）では、これらの人々が観察している地点を、固定観測点として選び、1994年1月から、毎日午前9時前後に、定期的な潮波の目視観測を始めた。この情報が、漁海況予報などの事業に役立つことが確かめられたので、1996年1月から潮波の日々の状況から潮波階級を設定し記録することとした。本論文では、1996年1月から2010年12月までの15年間の資料を用いて、観測結果とやや沖合に設定したADCP観測点での測流結果と対比して、潮波階級の有意

性を確かめる。また、潮波階級と黒潮の潮岬沖の離岸距離との関係や、串本・浦神の検潮所間の水位差との関係を調べる。中村ら（2012）は黒潮が一年を通して直進路をとっている年には、串本・浦神間水位差に明確な季節変化が見られることを指摘しているが、同様の季節変化が潮波階級にも現れるかどうかを検討したので、その結果を報告する。

2. 潮波の目視観測と、潮波の階級、および使用した他の観測資料

2.1 潮波の観測経過と潮波階級の決め方

潮岬の灯台の東方約350mの高台の崖上道路上に設定された目視観測点と、その周辺の海域を含む地図をFig. 1に示す。地図には潮岬灯台から真南に延びる小島や岩礁列が示されており、代表的な大倉島や米粒岩の位置を示してある。目視観測点から撮られた潮波の写真の一例（2009年8月27日午前10時26分撮影）をFig. 2に示す。この写真で一隻の船が写っている船着き場は黒島漁港である。潮波が観察された海域は、Fig. 1に見られるように、潮岬南方の崖の下にあたり、潮

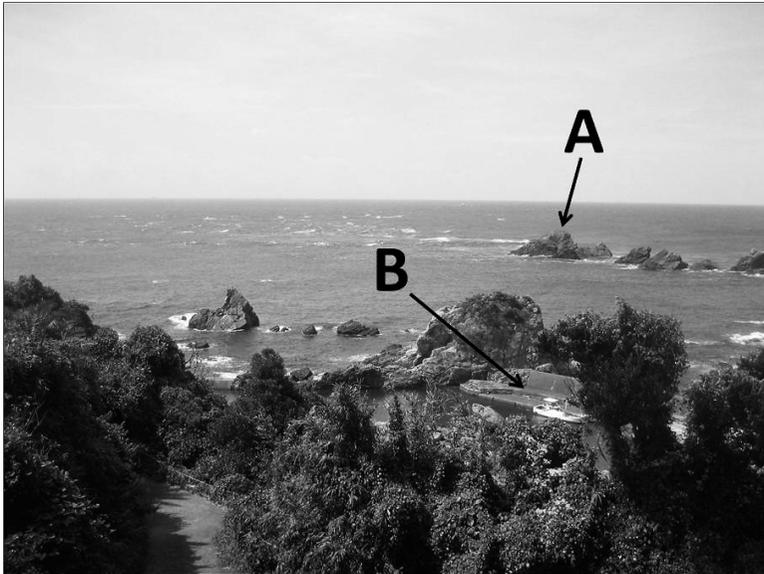


Fig. 2. An example of white-capped breaker created by strong current. This picture shows a state of white-capped breaker of rank 8. A : Ohkura Island, B: Kuroshima Fishing Port. Kometsubu rock is hidden by Ohkura Island.

岬灯台直下といえる所である。潮波階級は、潮波が全く認められない場合を0とした。小島や岩礁列の海域が、碎波やそれによって発生した泡によって白く見える場所が広範囲に広がっている場合を潮波階級8あるいは-8とする。Fig. 2の写真に写されているような場合が階級8に当たる。そうして誰が見ても潮波が存在していることが分かる程度の状態を潮波階級4と定義した。目視観測に熟練してくると、さらに詳しい分類が可能となるが、0と4、4と8の間にそれぞれ3つの階級を設けたが、階級の定め方には、人によって±1程度の違いは生じ得るだろう。なお、黒潮と同じ東向流の場合を+、中村ら(2008)が論じたような西向流の場合には-を付して表現している。東向流・西向流の区別は、泡列の延びる方向で判定できる。特に、東向流の場合には、写真(Fig. 2)大倉島と呼ばれる小島の陰になっているが、米粒岩で生じた泡列が大倉島の向こう側から、視野に出て来る様子から容易に判定できる。西向流の場合は観測例が少ないこともあり、判定は若干難しいが、馴れてくると判定が出来るようになる。ただし、-5以下の階級は観測期間中にはあらわれなかった。

観測の時間は、種々の事情で一定させることが出来なかったが、午前7時過ぎから午前11時までの間に行っている。解析した1996年1月から

2010年12月までの15年間の各年の潮波階級観測数をTable 1のA欄(括弧内は欠測数)に示す。2004までは勤務の都合等から欠測が多く、最初の1996年には最大25日の欠測があるが、2004年頃までの年間欠測数は10日程度である。しかし、欠測の日が特に決まった季節に偏る傾向は無い。2005以降は、この資料の有効性が強く認識されるようになったこともあり、欠測は、年に6日以下になっている。潮波階級別の潮波階級の観測数はTable 2のA欄に示してあるが、階級-3、-4の観測数は非常に少ない。

黒潮は直進路をとっている時、その北縁が、ほぼ潮岬に接する形で流れている。潮岬の先端近くの沖合には、浅瀬が存在しており、小さな島や岩礁が多数存在している。黒潮接岸時には、強い東向流が岸のすぐ近くにも現れ、この浅瀬や島にぶつかる形で白波が立つ。これを地元では潮波と呼んでいる。沿岸漁業者(一本釣り、ひき縄漁師)あるいは磯釣り愛好者の中には、漁場の海況を知る手段として、潮岬灯台からやや東の地点で、この潮波の状況を観察している人たちがいる。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記する)では、これらの人々が観察している地点を、固定観測点として選び、1994年1月から、毎日午前9時前後に、定期的な潮波の目視観測を始めた。この情報が、漁海況

Table 1. Number of observation of white-capped breaker created by current (column A) and that of ADCP observation (column B) in each year. Numbers in brackets in column A indicate the numbers of days without observation.

Year	A	B
1996	341 (25)	28
1997	353 (12)	43
1998	357 (8)	46
1999	360 (5)	50
2000	360 (6)	52
2001	357 (8)	47
2002	356 (9)	49
2003	358 (7)	39
2004	353 (13)	36
2005	364 (1)	34
2006	359 (6)	35
2007	363 (2)	36
2008	365 (1)	36
2009	362 (3)	41
2010	364 (1)	34
Total	5,372 (107)	606

予報などの事業に役立つことが確かめられたので、1996年1月から潮波の日々の状況から潮波階級を設定し記録することとした。本論文では、1996年1月から2010年12月までの15年間の資料を用いて、観測結果とやや沖合に設定したADCP観測点での測流結果と対比して、潮波階級の有意性を確かめる。また、潮波階級と黒潮の潮岬沖の離岸距離との関係や、串本・浦神の検潮所間の水位差との関係を調べる。中村ら(2012)は黒潮が一年を通して直進路をとっている年には、串本・浦神間水位差に明確な季節変化が見られることを指摘しているが、同様の季節変化が潮波階級にも現れるかどうかを検討したので、その結果を報告する。

2.2 ADCPによる定位置での流速測定

Fig. 1に示されたADCP観測点は、潮波目視観測と対比するために設けたADCPの観測点である。和歌山水試の観測船「わかやま」あるいは「きのくに」が、この付近を通過するときに測流を行っている地点である。和歌山水試の調査船は、浅海・沿岸・沖合定線観測等の往復時に、この目視海域を通過することが多い。通常、串本を午前

Table 2. Number of observation of white-capped breaker (column A) and that of ADCP observation (column B) for each rank of white-capped breaker.

Rank	A	B
Rank-4	8	0
Rank-3	0	0
Rank-2	72	11
Rank-1	123	18
Rank 0	1,238	116
Rank+1	594	57
Rank+2	564	52
Rank+3	415	49
Rank+4	1,007	147
Rank+5	512	50
Rank+6	567	74
Rank+7	145	17
Rank+8	127	15
Total	5,372	606

9時に出港し10時頃にADCP観測点(北緯33度25.7分, 東経135度45.3分)の1km以内を通過する。このとき「わかやま」では水深5mの流速を、「きのくに」では水深10mの流速を、ADCPによって測り記録している。「きのくに」は1996年11月から、「わかやま」に代わって観測を開始しているが、ここではこの両者の観測結果を海表面近くの実測流速値とみなして使用する。なお、この論文では、測流値から東西成分を求めて、その値を用いている。調査船は、串本への帰航時にもADCP観測点の近くを16時から18時の間で通過することがあるが、潮波観測が午前中に行われていることから、同時性を考えてその資料としては用いていない。

ADCP観測の年別の回数はTable 1のB欄に示してある。観測は、1996年以降では、年間28回から52回行われていて、観測回数は全部で606回である。潮波階級別に利用できる流れの直接測定回数は、Table 2のB欄に示してある。測流回数は、潮波階級が負の場合と、階級7, 8に対しては、極めて少なくなっている。

2.3 串本・浦神の海面水位と水位差

串本、浦神それぞれの水位はあらかじめTP(東京湾中等潮位)上に換算した後、タイドキラー・フィルター(花輪・三寺, 1985)をほどこしたデータから、毎日の正午の値を選び出してその日の代

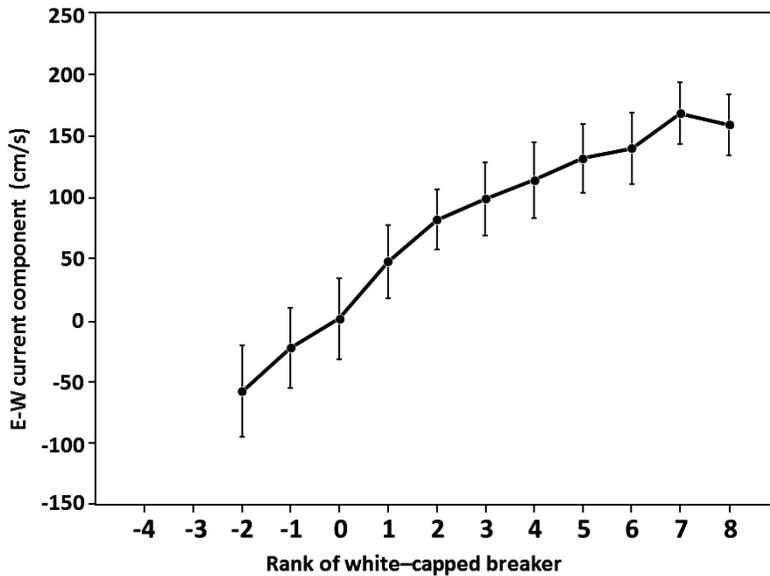


Fig. 3. Correlation between current speed measured at B shown in Fig. 1 and observed rank of white-capped breaker. Vertical bars indicate variability range ($m + \sigma$, $m - \sigma$).

表値として使用している。水位の気圧補正は近傍の気象観測点である潮岬測候所の海面気圧データを使った。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。

2.4 黒潮北縁の離岸距離

本論文で使用している黒潮北縁の離岸距離は、和歌山水試が NOAA/HRPT 受信解析装置 (TeraScan) を用いて、その映像に現れる水温フロントの位置を、潮岬先端から南方に測った距離として定義している。衛星の画像の分解能は 1.1 km 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取ることが可能であり、ここでは 0.1 km 単位で決めた値を用いている。ただし、陸と海とのコントラストが大きいこともあり、北縁が 3.7 km (2 海里) 以下に近づくとその位置の決定が難しくなる。海岸線と北縁の見分けがつかない場合には、便宜上離岸距離を 3.7 km として解析を行った。極沿岸近くの潮波現象を解析するため、公称の分解能以下のデータまで扱っているため、その正当性は結果から逆に判断する必要がある。

なお、黒潮北縁の定義自体が曖昧であることに注意する必要がある。例えば海洋情報部が発行している海洋速報によると、「黒潮の流軸は、流路

の中で最も流速が速い海域 (強流帯) を示し、黒潮北縁から概ね 13 海里に位置します」と説明されている。この定義によると、離岸距離が 24 km 以下になると北縁は陸上に来ることになってしまう。また、顕著な潮波が観測される場合は離岸距離は 0 とするべきかもしれない。この問題についても解析結果から考察を加える。

3. ADCP 実測値と潮波階級

3.1 ADCP 実測値と潮波階級の相関

横軸に潮波階級をとり、縦軸に流速の東西成分をとって、相関を示したのが Fig. 3 である。各潮波階級について、流速成分の平均値 (cm/s) と標準偏差 (σ) を求め、平均値を黒丸で、 $m + \sigma$ と $m - \sigma$ までの範囲を縦線で示してある。データ数が少ないこともあり、標準偏差も大きいですが、両者の間には明確な相関関係が認められ、潮波階級の観測結果が、潮岬すぐ沖の流れの東西成分に良い指標を与えていることが分かる。

潮波階級の増加に伴う測流値の増加の勾配が、潮波階級 2 以下と場合に比べて、3 以上では緩やかになっており、階級 8 に対する測流値は 7 に対するものよりむしろ小さくなっている。これは、ある程度以上の流速を超すと、見かけ上の白波の立ち方の度合いが余り変化しなくなることを示唆している。

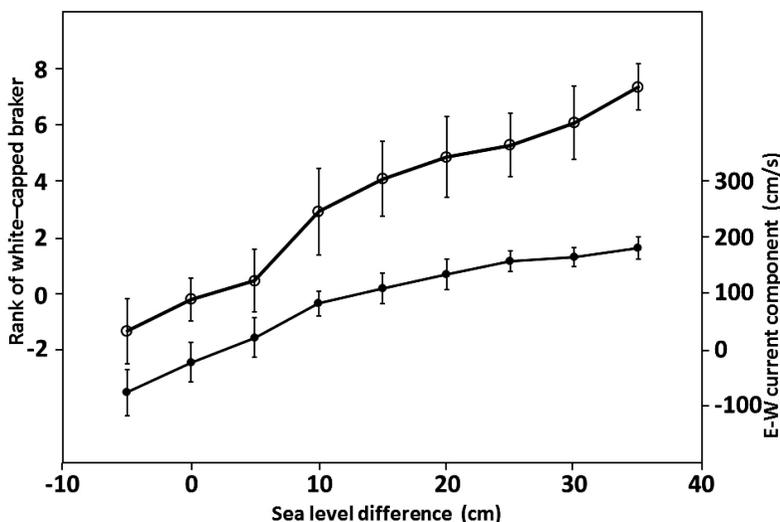


Fig. 4. Correlations between rank of white-capped breaker and sea level difference between Kushimoto and Uragami tide-gauge stations (white circle) and between east-west current components measured by ADCP (black circle). Vertical bars indicate variability range ($m + \sigma$, $m - \sigma$).

なお、潮波階級は-4まで観測されているが、残念ながら-3以下の場合の ADCP 観測は行われていない。

3.2 串本・浦神間水位差を媒介とした潮波階級と ADCP 実測値の比較

ADCP 実測値が利用できるデータ (606 個) を用い、串本・浦神間の水位差を、 $-2.5 \sim 2.5$ cm, $2.5 \sim 7.5$ cm という具合に 5.0 cm 間隔で分割し (ただし上端の数値に当たるものはその範囲に含める)、それぞれの範囲に含まれる潮波階級および ADCP 実測値のそれぞれの平均値を (白丸) と (黒丸) で示したものが Fig. 4 である。また、それぞれの値に付した縦線は分散値の大きさを示している。この図を見ると潮波階級も ADCP 実測値も、串本・浦神間水位差とよい相関を示しており、対応関係も細部を除くとほぼ同じである。この図では階級 8 に対する水位差は、階級 7 に対する水位差よりも明らかに大きくなっている。

3.3 潮波階級の分解精度

前節で論じたように潮波階級については、前述のように-8から+8までの17の階級を設定したが、潮波の立ち方については、観測者の個人差によって、同じ状況でも階級の決め方に若干の差が生じ得る。また、同一人でも天候条件による視程の違いや、風あるいは波浪条件によって差異が生

じ得る。また、観測時間や観測場所についても両者の間に若干のずれがある。したがって、ここで用いている細かい階級分けが意味を持つかどうか検討する必要がある。

ADCP による実測値の利用できる 606 個のデータを用いて、各階級がどのような測流値に対応しているかを見てみよう。階級が-3以下の潮波が観測された時には、いずれの場合にも ADCP 観測が行われていないので、階級-2から階級8までの11の階級のそれぞれに対して、どのような流速値が得られているかの頻度分布を示したものが Fig. 5 である。統計をとった流速値の幅は 10 cm/s 毎にとっており、例えば -5 cm/s から 5 cm/s (上端の値はこの範囲に含める) に現れる測定数の合計を 0 cm/s の位置にプロットしてある。流速値幅を小さく取ったためにデータ数が少なく分布形が離散的になったり、凹凸のある形を取ったりしているがそれぞれの階級に対して、それぞれ1つの山形の分布が得られている。その分布範囲は階級-2から階級2までは、階級の増加にともない高速度側に明瞭に移っていく。階級2から上については、この移動の度合いはかなり減少するものの、階級2から8の範囲でも明確に認められる。したがって、ここで採用した潮波階級の設定は、十分意味を持っていると思われる。ただし、隣り合った階級間の分布型の重なり方は、特に階級の大きい部分で、大きくなっており、こ

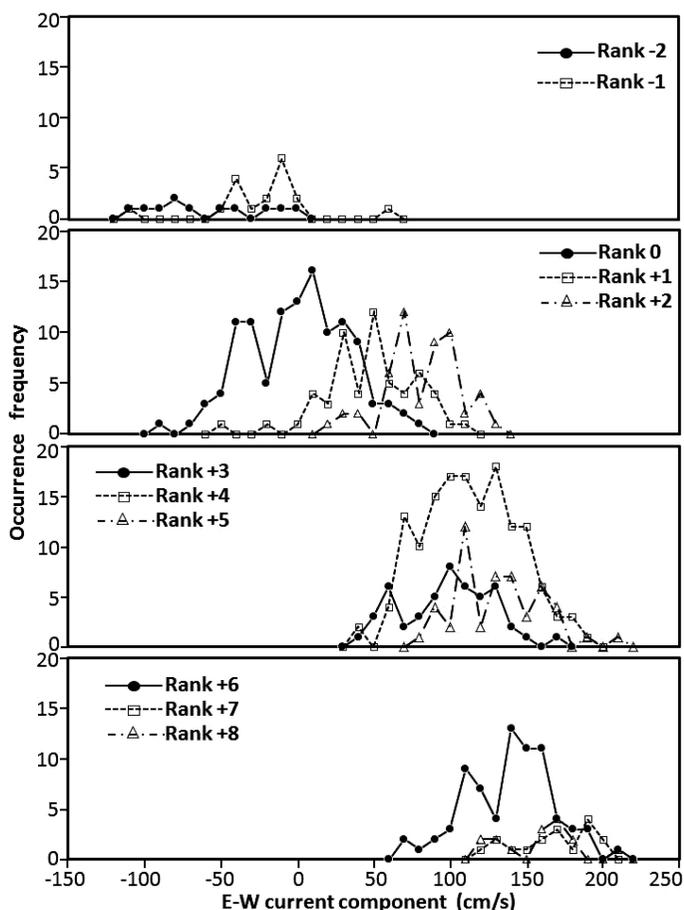


Fig. 5. Occurrence frequencies of east-west current components measured by ADCP for rank -2 through rank 8 of white-capped breaker. Occurrence frequencies are given for each segment of 10 cm/s which is centered at -150 cm/s, -140 cm/s, -130 cm/s, and so on. The frequency at upper end of each segment is included to that segment.

の部分では±1ないし±2程度、測定条件によつてずれが生じている可能性は大きい。結果の解釈に当たっては、このことを十分考慮に入れる必要がある。

また、ここでは示さないが、潮波階級を解析した5,372個の全データについて、横軸に測流値の代わりに串本・浦神間の水位差をとって、同様の図を作成して検討した。分布はいずれの階級についても一つの山を持つ形になり、潮波階級の増大に伴う水位差の増大傾向は階級0から階級8にいたるまで認められる。

階級が負の場合、すなわち西向流の場合については、中村ら(2008)が詳しい解析を行っているが、西向流には、黒潮北縁が潮岬に近づいた状態

で、北縁と岸の間の非常に狭い部分に生じる狭い西向流と、黒潮北縁が岸から離れた蛇行路を取っている時に、岸近くに現れる幅の広い西向流があることが指摘されている。現在扱っているデータでは、このような西向流の特性を知る手段がないし、出現頻度も非常に少ないので、以下の議論では階級-3以下の階級については触れないことにする。

4. 潮波階級と串本・浦神間の水位差、黒潮離岸距離との関係

4.1 潮波階級と串本・浦神間の水位差

串本・浦神の検潮所間の海面水位の差が、本州南岸の黒潮流路が直進路をとるか、蛇行路をとる

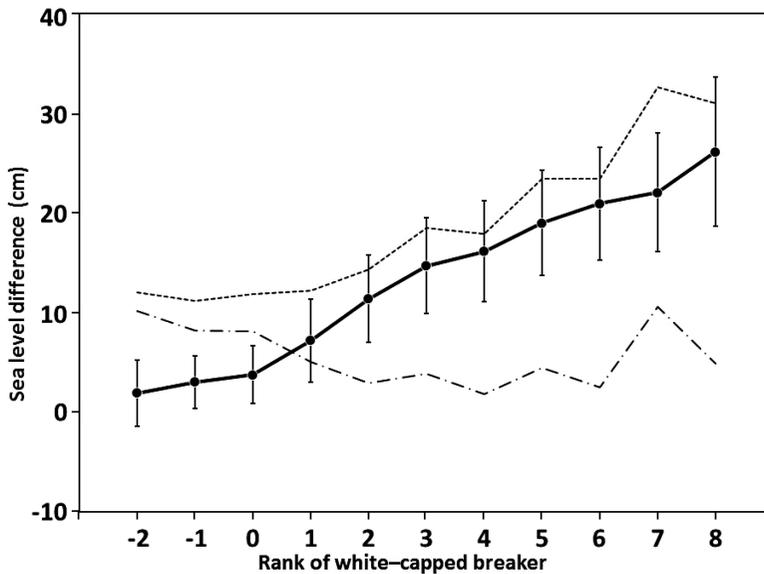


Fig. 6. Relation between sea level difference between Kushimoto and Uragami tide gauge stations and rank of white-capped breaker (black circles). Vertical bars indicate variability range ($m + \sigma$, $m - \sigma$). Sea level heights at Kushimoto and Uragami tide gauge stations measured from TP are shown with dashed line and dash and dotted line, respectively. The scales of these lines are common with that of the sea level difference.

かの指標として有効であることは良く知られている（例えば、藤田，2001）。これに関連して、われわれは紀伊半島南西岸に現れる振り分け潮が重要な働きをしていることを明らかにしてきた（TAKEUCHI *et al.*, 1998, NAGATA *et al.*, 1999, UCHIDA *et al.*, 2000）。また、前川ら（2011）は、黒潮の流路の指標となる水位差は、実質的には潮岬を挟む東西約 6 km の部分で生じていることを示すとともに、潮岬周辺の海況特性を決定する重要な要素は、潮岬先端から黒潮北縁がどれだけ離れているかの黒潮離岸距離であることを指摘した。この論文で論じている潮岬すぐ沖に発生する潮波の立ち方が、串本・浦神間の水位差や、黒潮離岸距離とどのように関わっているかを見ることにしよう。

潮波観測が利用できる全データを用いて、潮波階級ごとに対応する串本・浦神間水位差を選び出して、その平均を太い実線でつないだ黒丸で示したものが Fig. 6 である。また、図には、データの分散を ($m + \sigma$, $m - \sigma$) の縦の線分で示してある。水位差の値は、階級 -2 から 0 の時の水位差 0 に近い値から、右上がりに階級数の増加にしたがって増加している。階級 8 にあたる 20 数 cm の水位差はほぼ典型的な直進路に対応する値であ

る。（ただし、分散値は全般に大きく統計的な信頼度は限定される。これは、黒潮が直進路をとっている場合にも、潮岬東西の沿岸水の交換が時折生じ得る（例えば、NAGATA *et al.*, 1999）ことに関連していると考えられる。）

Fig. 6 には TP（東京湾中等潮位）からの偏差として現した串本の水位を点線で、浦神の水位を一点破線で示してある。（図を見易くするため、分散の値は省略しているが、分散の値は、この場合にも全般に大きい。）一般に串本・浦神の水位が共に増大または減少するような変動がしばしば見られることもあり、分散値は水位差に比べて 3 倍に近い値をとる。この図から、串本・浦神間の水位差を生み出す主な要因は串本側の水位の変動にあることが分かる。しかし、浦神側の水位変動も若干寄与することにも留意する必要がある。

4.2 潮波階級と黒潮離岸距離

全データを用いて、潮波階級ごとに対応する黒潮離岸距離の平均値を示したのが Fig. 7 である。また、データの分散を ($m + \sigma$, $m - \sigma$) の縦の線分で示してある。階級 0 以下では離岸距離の平均値が 40 km 以上の値をとっており、これらの階級に対して、通常黒潮は典型的な蛇行路をとっ

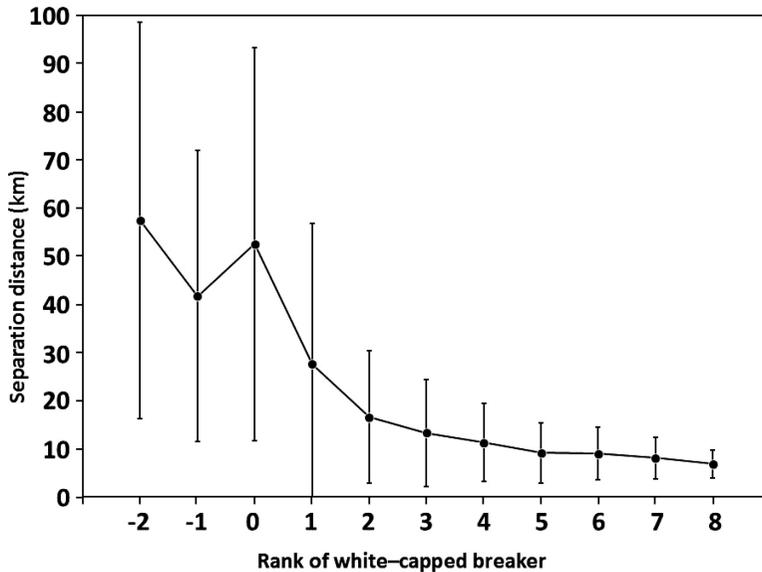


Fig. 7. Relation between separation distance of the northern edge of the Kuroshio measured southward from the tip of Cape Shionomisaki and rank of white-capped breaker. Vertical bars indicate variability range ($m + \sigma$, $m - \sigma$).

ていることが示されている。階級0の離岸距離は約50 kmであり、これは、蛇行路と直進路の境目である（例えば藤田，2001）。

階級1から階級8まで、階級が進むにつれ離岸距離が単調に減少していく。これは、黒潮北縁が潮岬先端に近づけば近づくほど、潮岬直下の東向流の速度が増し、激しく潮波が立つことを示している。以前の論文（前川ら，2011，中村ら，2012）で、典型的な直進路を離岸距離15 km以下として論じているが、Fig. 7で平均的な離岸距離が階級3以上で、この15 km以下の値を取り、その値が階級3から階級8まで明らかに減少傾向を示すことは注目される。ここで用いた衛星画像から決めた離岸距離は、最小値を3.7 kmと設定しているから、この減少傾向は、より小さな離岸距離が読み取れていれば、より顕著に示されていたと考えられる。潮波階級4以上が、誰が見ても潮波が存在していることが分かる状態として定義した。潮波階級とやや沖合のADCP観測点（岸から約1 km沖）での流速値の間の相関が良いこと（Fig. 3）から考えると、潮波の観測場所の東西流はより沖合まで広がっていると考えられる。もし潮波を立てている流れが黒潮の流れそのものであるならば、階級4以上では黒潮の流れは潮岬灯台直下の岸まで及んでいることになる。したがっ

て、黒潮強流帯の北限を黒潮北縁と定義するならば、潮波階級4以上の状態では黒潮北縁の離岸距離は0となるはずである。衛星画像からみた温度フロントが厳密に黒潮北縁のどのような構造に対応しているのかについては、今後の研究に待つ以外はないが、このことは多くの示唆を与えるものである。

分散の大きさも階級1以下で大きな値を示しているが、これはこの時、黒潮が蛇行路をとっており、陸岸の束縛を受けなくなることから、流路の変動が大きくなることを示していると考えられる。階級1から階級8に向かうと、Fig. 6に示されたように串本・浦神間の水位差が大きくなり、黒潮は直進路をとるようになる。Fig. 7で、分散の値が階級の増加とともに小さくなっていく傾向が見られるが、これは、より典型的な直進路をとるようになるにつれ、流路の変動性が抑えられることを示している。

5. 潮波階級に現れる季節変化

中村ら（2012）は黒潮離岸距離が小さく、安定した直進路（離岸距離15 km以下）が一年を通して維持される場合に、串本・浦神間の水位差に明確な季節変化が現れることを指摘し、その原因を黒潮表層水の季節変化に求めている。すなわち、

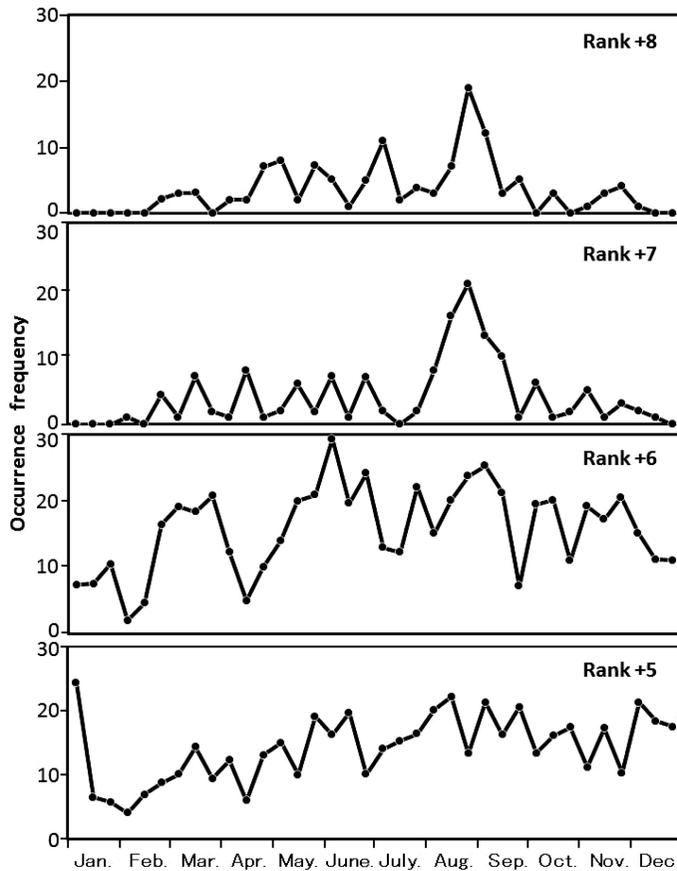


Fig. 8. Seasonal variations of occurrence frequencies for ranks from 5 through 8 (from top to bottom) for each ten days. See manuscript for details.

季節変化する黒潮表層水が振り分け潮に伴って潮岬西方に侵入して、串本検潮所沖の水位を高めると考えている。そうであるならば、顕著な潮波が観測される階級4以上の潮波の立ち方にも季節変化が現れても不思議ではない。

潮波階級5から8について、各階級に対して解析した15年間の旬毎の観測回数を示したのがFig. 8である。ここでの旬は、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。観測数に関しては、それぞれの旬の日数の違いを補正するため、例えば、11日で定義された旬では、10日間で定義さ

れた旬に比べ、15年間で15日観測日数が多くなって、観測日数が165日となる。ただし、欠測日があると観測日数はそれだけ減るので、165日から欠測日数を減じた数で頻度を割り、それに欠測のない10日間からなる旬の日数150を掛けて日数の差を補正してある（ただし、この補正はほとんど結果に影響していない）。

Fig. 8において、階級5あるいは階級6については、相互に変動のパターンが異なると共に、季節変化らしいものは現れない。しかし、階級7と8については、共に8月下旬に大きなピークが現れると共に、12月中旬から2月中旬にかけて、観測数がほとんどゼロの値を示し、季節変化と思われる形状が認められる。中村ら（2012）が、1994年から2010年までの17年間について、黒潮離岸距離が15 kmの場合だけを選び出し、各

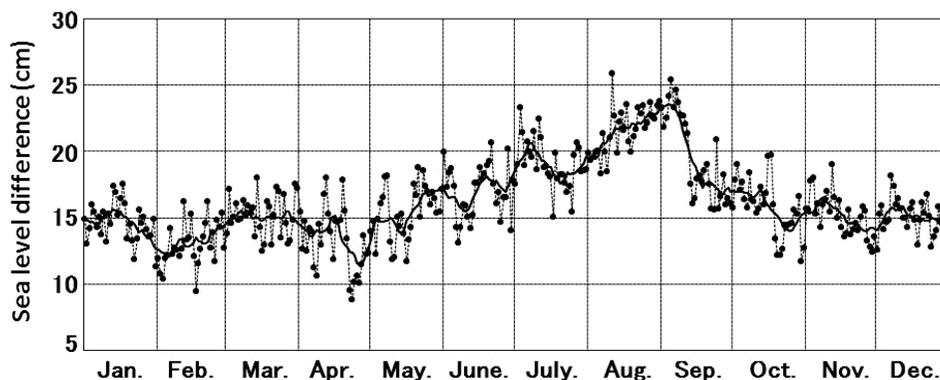


Fig. 9. Seasonal variation of sea level difference (thin curve) between Kushimoto and Uragami tide gauge stations averaged for the period from 1994 through 2010. The data are used only when the separation distance of the Kuroshio is less than 15 km off Cape Shionomisaki. The thick curve indicates 11 days running mean (NAKAMURA *et al.*, 2012).

日について平均を取った串本・浦神間の水位差の季節変化を求めた。この図を Fig. 9 に再録しておくが、Fig. 8 の階級 7 および階級 8 のカーブは、全体として Fig. 9 のカーブに非常によく似ている。ここで得られた結果は、中村ら (2012) の結果を支持しているものと考えられる。

直接、潮波観測に参加した和歌山水試の担当者は、「夏季には潮波が立ちやすい」という感触を持っている。Fig. 8 の階級 7 および階級 8 の出現頻度に、8 月下旬を中心として大きな鋭いピークが現れている。目視観測者の注目が典型的な強い潮波に注がれていると仮定すれば、このピークの存在が、上記のような観測者の感触が得られた理由を与えていると思われる。

6. おわりに

潮岬灯台直下の潮波の立ち方を観察することによって、潮岬近くの海況情報が得られるとされてきた。この論文では、潮波階級という形で潮波の立ち方を定量化し、それとやや沖合の ADCP 観測点で測られた流れの東西流成分とを比較することにより、相互の相関が高いことから、潮波階級の設定の合理性を明らかにした。また、潮波階級と串本・浦神の両検潮所間の水位差や、衛星画像から求めた潮岬南方の黒潮北縁の離岸距離との相関が高いことを示し、潮波観測が潮岬周辺の海況を理解する良い指標のなることを示した。

衛星画像から求められた水温フロントの位置を基にして黒潮の離岸距離を議論してきたが、水温フロントが黒潮北縁のどのような構造に対応しているかは、今後の研究課題である。しかし、潮岬

灯台直下の潮波の立ち方から見る限り、黒潮北縁を強い東向流域の北縁とし定義するならば、その離岸距離が完全に 0 となる場合が少なくない。沖合の黒潮の定常的な流れは、地衡流の特性を示し、その流れの構造は主温度躍層以深の水温・塩分構造に支配されていることは良く知られている。前川ら (2011) は潮岬周辺の海面高度分布を決定しているのは、高々 300 m 以浅の水温・塩分構造であることを示した。そうして、黒潮直進時に串本・浦神間の水位差を生み出す主要な原因は、紀伊半島南西海岸にもたらされた比較的高温・低密度の黒潮表層水によって、串本側の水位上昇させられることにあることを示した。中村ら (2008) は潮岬すぐ沖に時々現れる強い西向流を解析し、それを作り出す原因を、浦神側の水位が串本側の水位よりも著しく上昇することによって生じる潮岬沖の東西の水位勾配に求めた。この論文で対象としている潮波の立つ潮岬直下の流れを考える場合にも、潮岬を挟んでの東西の水位差 (串本側が高い) にその成因を求めるのが自然であろう。岸に接した浅海の流れについては、河川の流れのように水位勾配と岸あるいは海底による摩擦力が釣り合ったバランスで流れていることが考えられる。この岸近くに生じた流れが、沖合の地衡流バランスの基に流れる黒潮の強流帯の流れとどのようなつながるのか、その形態、メカニズムについては今後さらに研究する必要がある。

顕著な潮波 (階級 7 および 8) の生起頻度には、顕著な季節変動が見られた。その変動の形状は、中村ら (2012) が黒潮直進時のデータのみから得た串本・浦神間の水位差の季節変化の特性に類似

していることも1つの大きな結論である。

前川ら(2011, 2012)は、従来行われたことのない高密度の観測点分布を設定し、潮岬周辺の微細海況の観測研究を行っている。しかし、ここで論じたような岸近くの現象や、黒潮北縁の構造を明らかにするには、さらに密度の高い観測点分布を持った観測を実施する必要がある。また、岸沿いの水位差についても、潮岬を挟んだ水位差を直接測定する必要がある。現在の串本検潮所は潮岬の陸繋部の西側にあるが、細かい議論にはもう一方の浦神検潮所は潮岬から離れ過ぎている。黒潮の流路のモニターや、潮岬周辺の微細海況を議論するためには、例えば、潮岬陸繋部の東側、串本港側にも検潮所を設けることが必要である。

謝辞

この研究にあたり有益な助言をいただき、励ましをいただいた勢水丸の内田誠船長に対して、心からの感謝の意を表します。

引用文献

- 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.
- 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.
- 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.
- 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応—. うみ, 50, 37-50.
- 中村亨・前川陽一・仲里慧子・小池隆・中地良樹・竹内淳一・永田豊(2012):串本・浦神間水位差に現れる季節的変化. うみ, 50, 73-80.
- 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.
- 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7月8日

受理:平成24年9月27日