

豊後水道における高栄養底層水の陸棚湧昇

橋本 俊也^{*1}・松田 治^{*1}・武岡 英隆^{*2}
山本 民次^{*1}・横関 恵介^{*1}

広島大学生物生産学部, 東広島市 739

1995年11月9日 受付

要 旨 豊後水道において陸棚斜面水が陸棚域底層に湧昇している現象が観測された。この湧昇水は高栄養であった。この湧昇水の直上にクロロフィル *a* 濃度の高い水塊が観測され、陸棚湧昇が本海域中・底層の植物プランクトン生産に対する栄養塩供給源となっていることが示唆された。また、この湧昇水は潮流により移動しているが、速吸瀬戸までは達していないことが推測された。しかしながら、黒潮流軸の変化などの影響により、湧昇水の先端が速吸瀬戸まで達していることが予想された。

キーワード：豊後水道, 栄養塩, 陸棚, 湧昇

はじめに

豊後水道は瀬戸内海と太平洋の境界に位置している。豊後水道においては、夏季には速吸瀬戸南部に潮汐フロントが形成され(柳・大庭, 1985), 沿岸水と陸棚水の境界となっている。また、陸棚縁付近には、夏季を除いて陸棚フロントが形成され(柳ら, 1987) 陸棚水と斜面水の境界となっている。さらに、夏季の豊後水道においては、太平洋からの黒潮系暖水塊の侵入現象である急潮が間欠的に発生し、本海域の海況に大きな影響を与えることが知られている(TAKEOKA and YOSHIMURA, 1988)。このように豊後水道は沿岸域と外洋域の物質交換にとって重要な場となっている。

近年、東シナ海において大陸棚斜面付近の底層から高栄養の冷水が侵入する現象が注目され(渡辺, 1993; ITO *et al.*, 1994), また豊後水道においても陸棚域の底層に低温の陸棚斜面水が湧昇している現象が報告されている(柳ら, 1987)。陸棚斜面水は高栄養であり(Ito *et al.*, 1994), 河川からの栄養塩供給の少ない豊後水道では、この底層水の湧昇が海域の生物生産を支えている重要な栄養塩供給機構になっていると考えられる。しかしながら、この現象は底層で起こっているために観測が困難であり、その実態や原因はよく分かっていない。今回、広島大学生物生産学部附属練習船豊潮丸(320t)を用いて、豊後水道の観測を行い、陸棚斜面水の湧昇と潮流による移動について考察したのでここに報告する。

方 法

観測は豊潮丸によって1994年6月7日から6月8日にFig. 1に示すStns. A1~A11で行った。6月7日には全測点において透明度, CTD (SBE 9/11, Sea-Bird Electronics Inc.)による水温, 塩分,

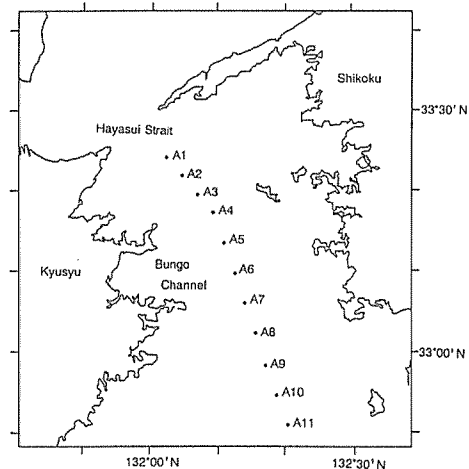


Fig. 1. Location of sampling stations in the Bungo Channel.

^{*1} 広島大学生物生産学部, 東広島市 739

^{*2} 愛媛大学工学部, 松山市 790

密度および海中蛍光強度(Sea-Tech Fluorometer, Sea Tech Inc.)の鉛直分布を測定した。さらにバンドン採水器による各層(0, 10, 20, 50, 海底上2m)採水を行い、直ちに船上において溶存態無機リン(DIP)およびケイ酸態ケイ素(Si)の分析を行った。6月8日にはStns. A6~A9において透明度の測定とCTDによる観測を行った。また、航行中はドップラー流速計(JNL-615, 日本無線)により60m深度の対地流向流速を測定した。なお、海中蛍光強度は6月7日にStns. A1~A11の0mと10mから採取した海水中のクロロフィル *a* (chl. *a*) 濃度を用いてchl. *a*濃度に換算した。また、DIPとSiはモリブデンブルー法(日本海洋学会, 1990), chl. *a*は吸光法(STRICKLAND and PARSONS, 1972)により定量した。

結果と考察

水温、塩分、密度、DIP、Si、chl. *a*の6月7日に得られた鉛直断面分布をFig. 2に示す。塩分の鉛直方向の変化はほとんど見られず、水平方向の変化は速吸瀬戸から外洋に向けて高くなる傾向にあった。速吸瀬戸側のStn. A1の塩分は33.8、外洋側のStn. 11の塩分は34.6とこの海域の塩分差は0.8と非常に小さく、密度の分布はほとんど水温分布により決定されていた。これらの鉛直断面分布からStn. A3より速吸瀬戸側では鉛直混合が卓越しており、Stn. A4より外洋側では成層が卓越している傾向がみられた。Stns. A5~A7の底層では密度の24.5の等値線が隆起しており湧昇現象が観測された。DIPの鉛直断面分布をみると、陸棚域では $0.2 \mu\text{g at l}^{-1}$ 以下の低い値であった。また、Stn.

A7以南では $0.3 \mu\text{g at l}^{-1}$ 以上の高い値であった。このDIPの $0.3 \mu\text{g at l}^{-1}$ の等値線と水温 19°C の等値線を比較すると、ほぼ同じ位置にある。同様にSiの鉛直断面分布をみると、Stn. A6以南の底層で $10 \mu\text{g at l}^{-1}$ 以上の値であり、Siの $10 \mu\text{g at l}^{-1}$ の等値線と水温 19°C の等値線がほぼ同じ位置にある。ここではこの水温 19°C 以下の水塊を高栄養底層水とする。さらに、DIPで $0.2 \mu\text{g at l}^{-1}$ 、Siで $8 \mu\text{g at l}^{-1}$ 以上の水塊に注目すると、より大規模な湧昇現象がみられた。さらに、この水塊はchl. *a*濃度 $1.0 \mu\text{g l}^{-1}$ 以上の水塊の位置に対応している。この水塊近傍の透明度は20.0~24.0mであり、有光層深度を透明度の約3倍とすれば、ここでの有光層は底層まで達していると考えられ

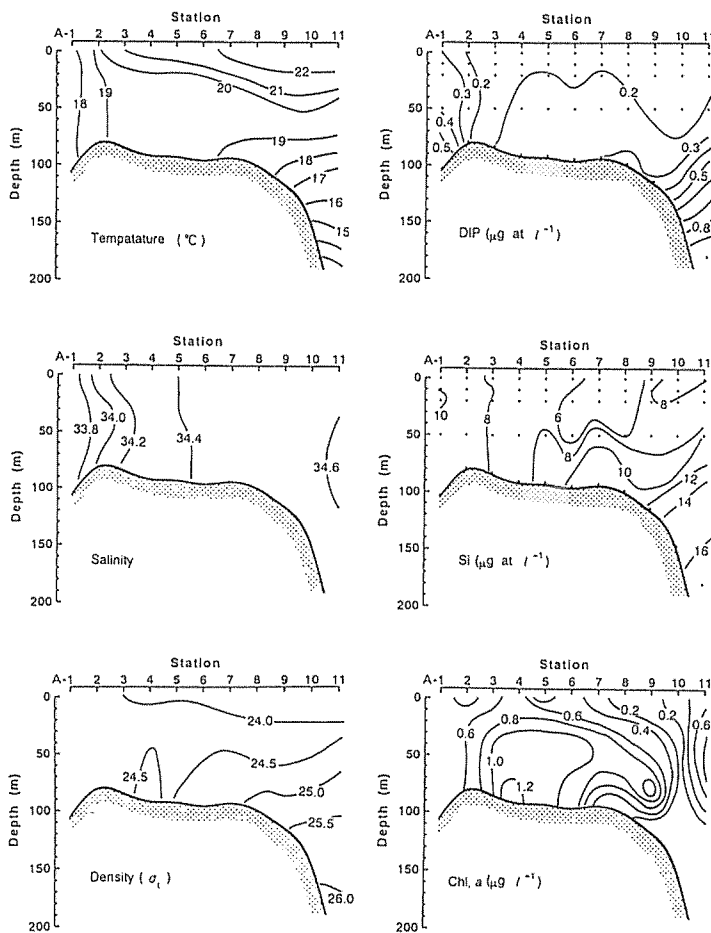


Fig. 2. Vertical distributions of temperature, salinity, density (σ_t), DIP, Si and chl. *a* in the Bungo Channel on 7 June, 1994.

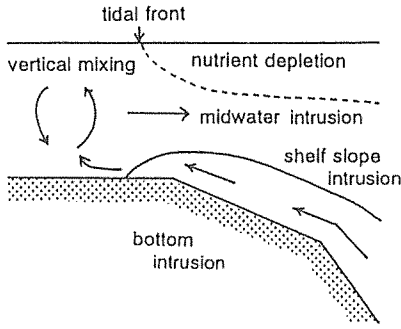


Fig. 3. Schematic presentation on the mechanism of nutrient supply by combination with shelf slope upwelling and tidal front (revised MATSUDA *et al.*, 1995).

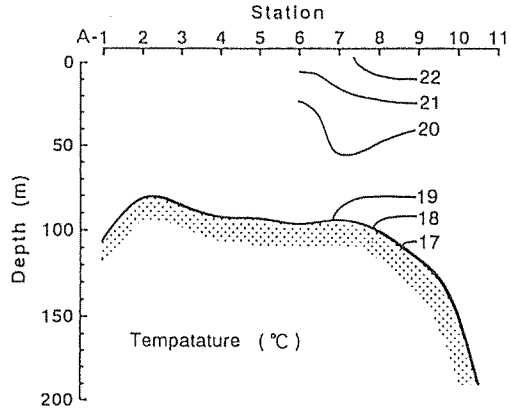


Fig. 4. Vertical distribution of temperature in the Bungo Channel on 8 June, 1994.

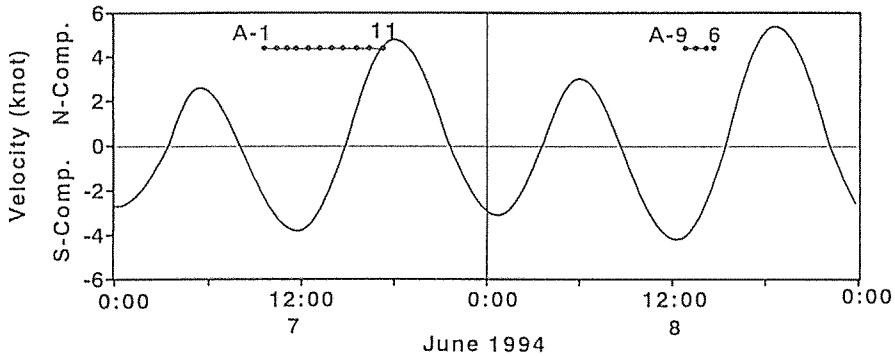


Fig. 5. Variation in predictive tidal current at the Hayasui Strait (Hydrographic Department Japan, 1994) during the present observation.

る。これらのことから豊後水道の陸棚域では高栄養底層水が湧昇し拡散することにより十分な栄養塩が供給され、かつ適度な光条件が得られることにより植物プランクトンの増殖が活発なっていると考えられる。また、Stn. A9の水深70m近傍にもchl. *a*濃度 $1.0 \mu\text{g l}^{-1}$ 以上の水塊がみられる。この水塊の位置は高栄養底層水の直上である。Stn. A9の透明度は24.0mであり有光層を透明度の約3倍とすれば、このchl. *a*高濃度水塊の存在する水深も有光層内にあるといえる。これらのことから、このchl. *a*高濃度水塊は高栄養底層水を供給源とした植物プランクトンの増殖に起因しているものと考えられる。このように高栄養底層水は豊後水道における中・底層での植物プランクトンの生産に対する栄養塩供給源になっているものと考えられる。

沿岸域への栄養塩供給機構として松田ら(1995)は、高栄養の陸棚水が潮汐フロントの混合域底層まで達し、その鉛直混合により上・中層の植物プランクトンに栄養塩を供給するという陸棚フロントと潮汐フロントの結合による栄養塩供給機構を提案している(Fig. 3)。豊後水道においても高栄養底層水が速吸瀬戸近傍の混合域まで達していれば、このような栄養塩供給機構がこの海域の生物生産に対して重要な役割を果たしているといえる。そこで高栄養底層水の移動について考察してみる。6月8日の水温の鉛直分布をFig. 4に示す。前日の6月7日にはStn. A6近くまで達していた高栄養底層水の前端は6月8日ではStn. A7までしか達していない。この分布の違いは両日の観測の潮時の違いによるものと考えられる。6月7日、8日の速吸瀬戸における予報潮流(海上保安庁, 1994)と各測点の観測時刻をFig. 5に示す。両日も高栄養底層水の前端が観測されたStn. A7の観測時刻は南流最強時から転流時に向かう時刻である。ここで、Stn. A7付近の底層の潮流を、位相は速吸瀬戸と同位相とし、流速は各日のStn. A7の水深60mで観測された流速の南北成分流速と同時刻の速吸瀬戸の予報潮流の流速との比率から求め、転流時からの高栄養底層水の潮汐による移動距離

を計算した。その結果、転流時からの移動距離は6月7日では南に3.5マイル、6月8日では南に4.9マイルとなり、6月7日に比べ6月8日には高栄養底層水は1.4マイル南に移動していたと予想された。これは観測結果の高栄養底層水先端位置の違いとおおよそ一致しており、高栄養底層水は潮流により移動しているものと考えられる。これをふまえて、同様の方法により北流最強時(6月7日18時00分)の高栄養底層水の先端位置を計算してみた。その結果、北流最強時においても高栄養底層水はStn. A7より北に約10マイル、すなわち豊後水道中央部のStn. A5近くまでしか達していないと予想された。最も潮流の速い大潮時(6月9日)の潮流流速は6月7日の約1.1倍であるため、高栄養底層水の先端の予想位置は6月7日とほとんど大差がないものと考えられる。このように高栄養底層水は潮流による移動では速吸瀬戸の混合域まで達することはないと考えられる。しかしながら、豊後水道における底層水の湧昇は陸棚斜面上を流れる海流すなわち黒潮の流速と流路に大きく影響を受けている(柳ら, 1987)。そのため黒潮流軸の変化などの外洋側の物理的要因の変動により高栄養底層水が混合域まで到達し、先に述べたような陸棚フロントと潮汐フロントの結合による栄養塩供給機構が豊後水道の生物生産に対して重要な役割を果たしている可能性も考えられる。

おわりに

本報告では、豊後水道における高栄養底層水の湧昇と潮汐による移動の実態をある程度明らかにした。今後は、観測結果を蓄積し高栄養底層水の分布と黒潮流軸などの他の要因との関係を明らかにしていくことが重要である。

最後に、観測に御協力いただいた郷秋雄船長をはじめとする豊潮丸乗組員の方々と水圏環境学研究室の皆様様に深く感謝する。

引用文献

- ITO, T., KANEKO, A., TSUBOTA, H., and GOHDA, N., 1994, The Characteristic Distribution of Silica over the East China Sea Shelf Slope. *J. Oceanogr. Soc. Japan*, **50**: 465-477.
- 松田 治・山本民次・橋本俊也, 1995, 沿岸フロントと栄養塩の供給機構. 沿岸海洋研究, **33**: 9-18.
- 日本海洋学会, 1990, 海洋観測指針(気象庁編). 417pp.
- STRICKLAND, J. D. H. and PARSONS, T. R., 1972, A Practical Handbook of Seawater Analysis, 2nd ed. *Fish. Res. Bd. Canada*, **167**: 311pp.
- TAKEOKA, H. and YOSHIMURA, T. 1988, The Kyucho in Uwajima Bay. *J. Oceanogr. Soc. Japan*, **44**: 6-16.
- 渡辺康憲, 1993, 東シナ海の栄養塩分布. 海と空, **69**: 181-190.
- 柳哲雄・大庭哲哉, 1985, 豊後水道のTidal Front. 沿岸研究ノート, **23**: 19-25.
- 柳哲雄・額田恭史・清水浩輔・江田憲彰, 1987, 豊後水道の陸棚フロント(I) - その構造と移動 -. 愛媛大学工学部紀要, **11**: 225-232.

Shelf Slope Upwelling of High Nutrient Bottom Water in the Bungo Channel

Toshiya HASHIMOTO^{*1}, Osamu MATSUDA^{*1}, Hidetaka TAKEOKA^{*2},
Tamiji YAMAMOTO^{*1}, and Keisuke YOKOZEKI^{*1}

Hiroshima University, Higashi-Hiroshima 739, Japan.

The upwelling of shelf slope water onto the shelf of the Bungo Channel was observed. The shelf slope water contained high concentrations of nutrients. The high chlorophyll *a* concentration was also observed at and around the tip of the upwelling water. These results indicate that the nutrient rich shelf slope water would accelerate the phytoplankton growth on the shelf of the Bungo Channel. It was assumed that the tip of the upwelling water could not reach to the Hayasui Strait by tidal excursion but was expected to be achieved by the force accompanied by the fluctuation of offshore Kuroshio current.

Key Word : Bungo Channel, nutrients, shelf, upwelling

^{*1} Faculty of Applied Biological Science, Hiroshima University, Higashi-Hiroshima 739, Japan.

^{*2} Faculty of Engineering, Ehime University, Matsuyama 790, Japan.