

備讃瀬戸に流入する河川水の広がりとのり漁場への栄養塩供給

高木秀蔵^{1†}, 難波洋平², 藤沢節茂³, 渡辺康憲⁴, 藤原建紀⁵

River-water spread in Bisan Strait with reference to nutrient supply to nori (*Porphyra*) farms

Shuzo TAKAGI^{1†}, Youhei NANBA², Tokishige FUJISAWA³,
Yasunori WATANABE⁴ and Tateki FUJIWARA⁵

Culture production of nori (*Porphyra*) in the central part of Bisan Strait in the Seto Inland Sea is decreasing recently. The decrease is mainly due to the discoloration of nori caused by deficiency of dissolved inorganic nitrogen (DIN). We conducted two field observations to investigate the transport process of river water and accompanying DIN supply from rivers to the central part of Bisan Strait. River-water was flowing out to the sea only during ebb tide; the discharge reached its maximum at low tide. The emitted riverine water mass was transported westward by the flood current in the sea, and the river water on the estuary zone was pushed back into the river during flood tide. As the river discharges increased, spread of the river plume became wider whereas movement of riverine water mass did not change. In winter, nori cultivation season, the lower-salinity water was containing higher DIN concentration. These results suggest that nori cultured in this area was intermittently supplied with DIN from rivers. When the river discharge increases, the DIN supply increases.

Key words: Bisan Strait, river water, nori (*Porphyra*), nutrient supply

はじめに

瀬戸内海の中央部に位置する備讃瀬戸では、沿岸海域の広い範囲で浮き流し方式のノリの養殖が行われている。近年、ノリ養殖漁期の海域の溶存態無機窒素 (DIN) 不足によるノリの色落ち問題が頻発し、大きな被害が発生している。ノリの色落ちとは、本来黒色であるノリが栄養不足により薄茶色になる現象を指し、色落ちしたノリの製品価値は著しく低い。

瀬戸内海の DIN 濃度を決定する要因としては、河川から供給される DIN 量の変化、外洋からの DIN 供給量の変動、競合する植物プランクトンによる取り込みなどが考えられるが (多田ほか, 2010)、備讃瀬戸では河川から供給される DIN 量の影響を強く受けることが知られている。藤澤・難波 (2004) は、備讃瀬戸に流入する吉井川、旭川、高梁川の 6 月から 11 月までの河川流量の合計値とその年の冬の備讃瀬戸の DIN 量の間には正の相関があることを示している。星野ほか (2006) は、ノリ漁期中の降水量とその年の香川県のノリ生産量の間には相関があることを、松岡ほか (2005) は、河川水の流入によって低塩分となっている場所の栄養塩濃度は高いことを示している。また、経験的に、降雨の後には河川からの出水により色落ちしたノリの色調が回復することが知られている。このような状況の中、岡山県ではノリの色落ち対策として、吉井川上流の苦田ダムからの放流量を通常より増やし、河川流量を増加させた (岩本・難波, 2009)。

生物生産や水質環境に大きな影響を与えることから、沿岸域における河川ブルームの広がりについては、我が国周辺でも数多くの研究が行われている。有明海では、山口・速水 (2009) が、定期調査の結果から出水期間の長短によって同海域の河川ブルームの範囲が変化することを示し、鈴

2011年8月13日受付, 2012年9月21日受理

¹ 岡山県農林水産総合センター水産研究所

Okayama Prefectural Technology Center for Agriculture, Forestry and Fisheries, Research Institute for Fisheries Science, Setouchi, Okayama 701-4303, Japan

² 岡山県漁業協同組合連合会

Okayama Federation of Fisheries Cooperative Associations, Minami, Okayama, Okayama 702-8024, Japan

³ 香川県水産試験場

Kagawa Prefectural Fisheries Experimental Station, Takamatsu, Kagawa 761-0111, Japan

⁴ 独立行政法人水産総合研究センター北海道区水産研究所

Hokkaido National Fisheries Research Institute, Kushiro, Hokkaido 085-0802, Japan

⁵ 京都大学大学院農学研究科 Graduate School of Agriculture, Kyoto University, Sakyo, Kyoto 620-0861, Japan

† shiyuzou_takagi@pref.okayama.lg.jp

木ほか (2009) は, 平水時, 出水時に分けて同海域に流入する筑後川の塩分分布を調べ, 出水時には河川プルームの到達距離が延びることを示している. 伊勢湾では, 出水時には河川プルームが湾中央部まで広がり, 湾内の栄養塩濃度が平水時よりも高まることがわかっている (杉本ほか, 2004). 同じ瀬戸内海の広島湾では, 湯浅ほか (1990) が, 週に1回程度の間隔で塩分の調査を行い, 河川水の拡散範囲は河川流量と強い相関を持つことを示している.

一方, 上記を例としてこれまで行われてきた調査は, 刻々と変化する潮汐の影響を考慮していないことが多い. また, 一部考慮されたとしても満潮時, 干潮時といった決まった潮時において単発的に調査を行い, 季節や河川流量の違いを比較することがほとんどであった. そのため, 潮汐の影響を考慮に入れた非定常的な場所における平面的, 連続的な河川プルームの動きについては, 不明な点が多く, 備讃瀬戸中央部のノリ漁場にどのような形で河川水が到達しているのかははっきりわかっていない.

また, 河川から供給された栄養塩の沿岸域での変化については, 季節的な違いがあることが知られており, 冬季には流入した栄養塩は保存物質として存在する一方で, 夏季には河口域で発生する植物プランクトンによって取り込まれ, 海域まで到達していないことが知られている (長田, 1994). ところが, 備讃瀬戸では, 河川から流入した栄養塩の濃度変化についての知見は少なく, 冬季のノリ漁期において, 河川から海域への直接的な栄養塩供給があるかどうか不明である. また, 冬季におけるプランクトンの取り込みの影響の有無を判断するためには, プランクトンの豊富な夏季における塩分と栄養塩濃度の関係を合わせて調べ, 比較する必要がある.

本研究では, 備讃瀬戸中央部の児島湾口沖を対象として, 海域に流入した河川水の水平的, 連続的な移流・拡散について調べるとともに, 夏季と冬季における塩分とDIN濃度の関係について調べ, 河川からノリ漁場への栄養塩供給について明らかにすることとした.

調査海域と調査方法

調査海域の備讃瀬戸は瀬戸内海のほぼ中央部に位置し, 東は播磨灘, 西は燧灘および備後灘に接する. 備讃瀬戸中央部には, 一級河川の旭川と吉井川が児島湾を通じて流入し, 多くのノリ漁場が存在する (Fig. 1). 児島湾周辺の宇野における平均潮差は大潮時には3m, 小潮時には2.3mである. 備讃瀬戸では, 上げ潮時には西向き, 下げ潮時には東向きの潮流が卓越し, 大潮最強時における潮流の流速は 1.8ms^{-1} となる (海上保安庁, 2007).

本研究では, 次の2つの調査を行った.

河川から供給されたDINの海域での動態

2007年9月22日 (夏) と12月22日 (冬) に吉井川の潮止堰堤 (Fig. 1中にWで示した) の直下から海域に至る19測点において調査を行った. なお, 両調査日ともに, 調査前

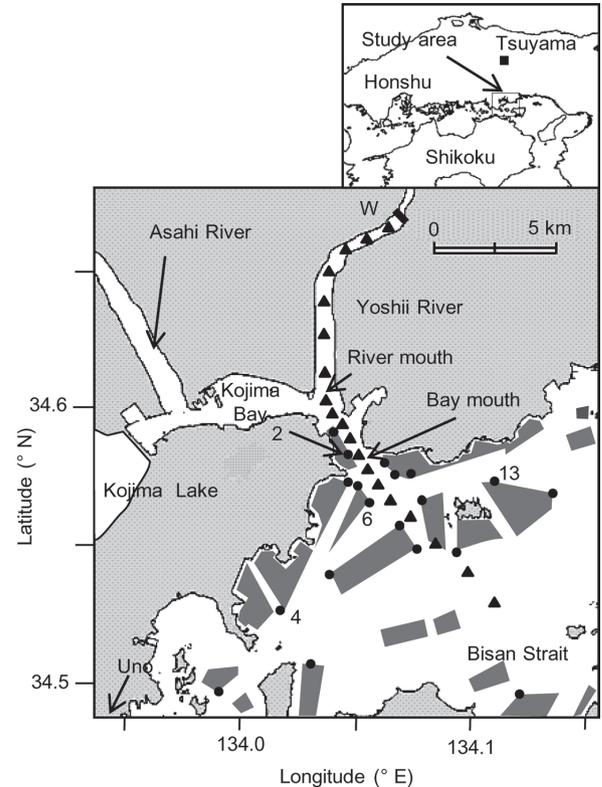


Figure 1. Location of the observation stations. Solid circles: stations of automatic salinity-temperature recorders. Numerals: device number. Shaded areas: nori farms. Triangles: DIN-Salinity observation points. W: a weir.

の7日間に降雨はなく, 河川流量は月平均値以下であった. 測点の間隔は, 河川では約1km, 河口域では約0.5km, 海域では約1.5kmとした. すべての測点においてCompact-CTD (JFEアドバンテック社製) を用いて表層から底層まで10cmごとの塩分とクロロフィル蛍光強度を測定した. また, 表層水を採取し, 試水はGF/Cフィルター (Whatman社製) で濾過した. その後, 得られたフィルターを90%アセトンで抽出し, Lorenzen (1967) の方法に従い, クロロフィル a 濃度を測定した. この値と表層のクロロフィル蛍光強度の回帰式から, 表層から海底まで10cmごとのクロロフィル a 濃度を求めた. 濾液は, TRAACS800 (BL-tech社製) によるアンモニア態窒素, 亜硝酸態窒素, 硝酸態窒素の分析に供し, これらの総和をDINとした. また, 夏季調査時には堰堤を越流する河川水を採取し, 上記の方法を用いてDINを測定した.

河川水の平面的な広がり調査

2007年12月6日から2008年の2月20日までの間, 児島湾口沖のノリ漁場の19ヶ所の標識灯に, 小型メモリー式水温・塩分記録計Compact-CTまたはMDS-CT (JFEアドバンテック社製) を0.5m深に設置し, 10分間隔で水温と塩分を測定した. 10日に1回程度, すべての測器のセンサー

部の洗浄を行うとともに Compact-CTD を用いて 0.5 m 深の塩分を測定し、小型メモリー式水温・塩分記録計の値を補正した。

解析に用いた河川流量は国土交通省の水文水質データベース (<http://www1.river.go.jp>) を用いて津瀬 (吉井川流量観測所) および牧山 (旭川流量観測所) の流量データを取得した。潮位は気象庁の気象統計情報の宇野 (<http://www.data.kishou.go.jp/kaiyou/db/tide/genbo/genbo.php?stn=UN>) を用い、降水量については、気象庁の気象統計情報 (<http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrm/index>) から津山の日降水量を取得した。

結果

河川から供給された DIN の海域での動態

夏季には、堰堤から 10 km 以上離れた場所まで、塩分 30 以下の河川ブルームが表層に広がっていた (Fig. 2a)。また、クロロフィル *a* 濃度は河川、河口域、海域にいたる全域の表層で高い値を示し、堰堤から 10 km 離れた場所でも $15 \mu\text{g l}^{-1}$ 以上の値となっていた (Fig. 2b)。

冬季にも、堰堤から海域に至る全域の表層において河川ブルームの広がりが見られ、堰堤から 10 km 以上離れた海域においても表層の塩分は 30 以下であった (Fig. 2c)。クロロフィル *a* 濃度は、堰堤から海域にいたる全域で $3.5 \mu\text{g l}^{-1}$ 以下となり、夏と比べ低い値であった (Fig. 2d)。

夏季には、堰堤を越流する河川水中の DIN 濃度は $38.8 \mu\text{M}$ であり、塩分が 5 付近の海水には DIN は $30 \mu\text{M}$ 以上含まれていた (Fig. 3)。塩分の上昇とともに DIN 濃度は急速に減少し、塩分が 20 付近になると DIN 濃度はほぼ 0 となり、塩分が 30 を超える海中でも同様にほぼ 0 であった。一方、冬季には塩分と DIN 濃度の間に有意な負の相関が見られ ($p < 0.01$)、 $\text{DIN} = -2.33 \times \text{塩分} + 79.0$ の関係が得られた。つまり、低塩分の海水ほど DIN を高濃度で含んでいた。

河川水の平面的な広がりの調査

2007 年 12 月 1 日から 22 日までの吉井川と旭川の日平均河川流量の合計 (以下、河川流量とする) は年間最低値に近い $30 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ 程度で推移していたが (Fig. 4a)、22 日に 27 mm day^{-1} の降雨があり (Fig. 4b)、23 日には観測期間中最大の $87 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ まで増加した。その後も、散発的な降雨があり、降雨の後に河川流量が増加する傾向が見られた。1 月 15 日以降は、散発的な降雨が繰り返され、河川流量は $40 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ 以上を維持しながら推移した (Fig. 4a)。

河川流量によって海域に流入する河川水の量が変化すると推測されるため、河川流量の少なかった 12 月 7 日の満潮時 (低高潮) から 8 日の満潮時 (高高潮) までを渇水時、期間中最大流量となった 12 月 23 日の満潮時 (低高潮) から 24 日の満潮時 (高高潮) までを増水時とし、両期間のデータ比較を以下に行った。なお、両期間はともに大潮にあたり、潮汐の変動傾向はほぼ同じである。

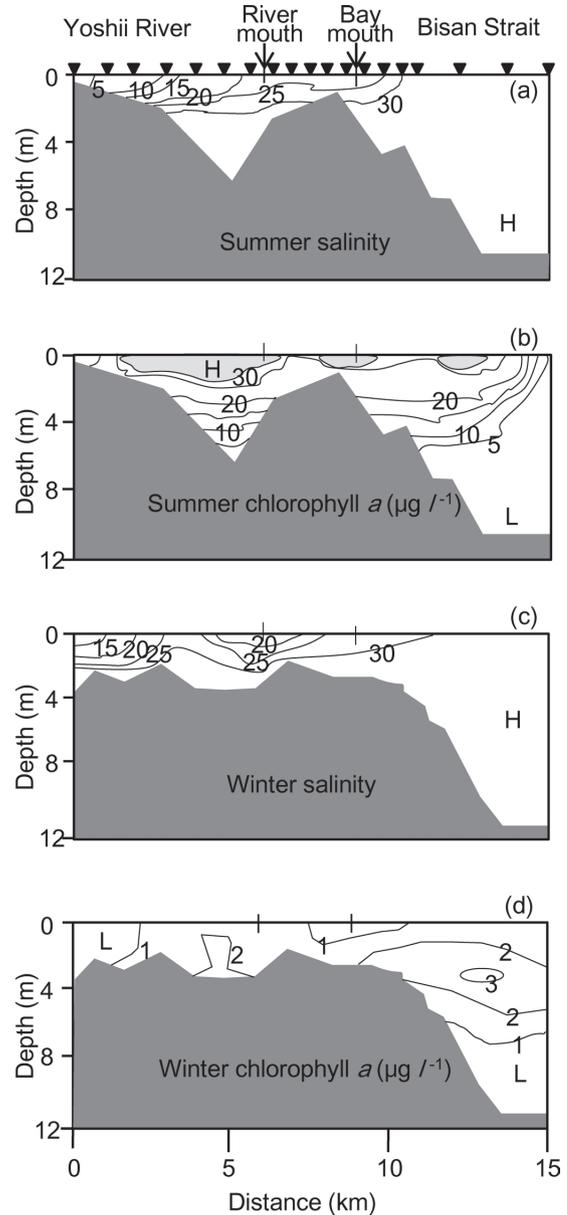


Figure 2. Longitudinal vertical sections of salinity and chlorophyll *a* from weir to Bisan Strait, through the estuary. Triangles: observation stations. (a): Summer salinity, (b): summer chlorophyll *a*, (c): winter salinity, and (d): winter chlorophyll *a*.

まず、渇水時 (Fig. 5a, 矢印の期間) において、児島湾口部に位置する測点 2 と児島湾沖に位置する測点 6 における塩分の変動を比較する。測点 2 の塩分は、低高潮時には 32.1 であった。その後、水位の低下に伴って塩分の低下が見られ、干潮時には極小値である 27.1 となった。水位の上昇とともに塩分は上昇し、干潮時の 4 時間後には 32.9 となった。以降、高高潮時までの間、塩分の変化は見られなかった。測点 6 では、低高潮時には塩分は 32.7 であった。

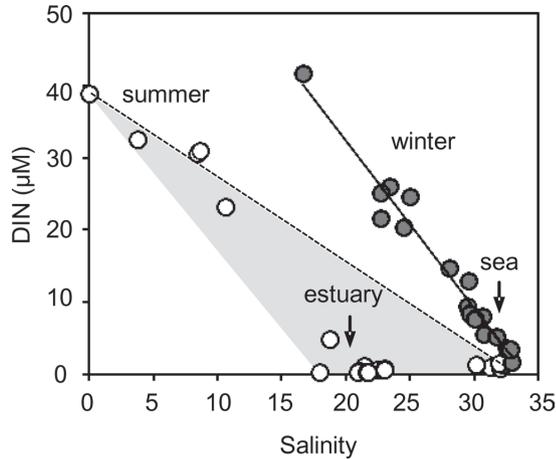


Figure 3. Relationship between salinity and DIN concentration of surface zone. Open and solid circles indicate data in summer and winter, respectively. Dotted line connects the DIN concentration of river water ($\text{DIN}=40\mu\text{M}$, and salinity=0), and that of sea water ($\text{DIN}=0$, and salinity=32). The shaded area show the space delimited by the river water, sea water, and estuary water ($\text{DIN}=0$, and salinity=18). The data-set within the shaded area was obtained when DIN was decreasing due to consumption by phytoplankton.

干潮時の1時間前に急激に低下し、干潮時には27.6となり極小値を示した。その後、水位の上昇とともに塩分は上昇し、干潮時の3時間後には塩分は32.7となった。以降、塩分の変化はほとんど見られなかった (Fig. 5a)。

次に、見島湾口からほぼ同一距離にあり、湾口から東に位置する測点13と西に位置する測点4の渇水時 (Fig. 5b中の矢印の期間) 塩分の変動を比較する。測点13の塩分は、低高潮時には塩分は32.8であった。干潮時の1時間30分前に急激に低下し、32.1となり極小値を示した。その後、塩分は徐々に上昇し、干潮時の2時間後には32.7となった。その後、塩分の変化はほとんど見られなかった。測点4の塩分は低高潮時には、32.9であった。満潮時から干潮時までの間は33.0前後で推移し、ほとんど変化は見られなかった。干潮時の2時間20分後に30.8となり、同時に極小値を示した。その後、塩分は徐々に上昇し、高高潮時には32.8となった (Fig. 5b)。

次に、渇水時と増水時における塩分の最低値と最高値の比較を行った (Fig. 5)。測点2, 4, 6, 13の増水時 (Fig. 5c, dの矢印の期間) の最低塩分は、それぞれ20.6, 28.6, 22.5, 28.6となっており、いずれの測点においても渇水時と比べて低かった。一方、最高値は、それぞれ32.6, 33.0, 32.8, 32.9となっており、渇水時と比較して、ほとんど違いは見られなかった。

渇水時と増水時において、塩分の低下が始まる潮時と終わる潮時を比較した (Fig. 5)。測点2, 6, 4では、塩分の低下が始まる潮時と終了する潮時は渇水時、増水時の両方の

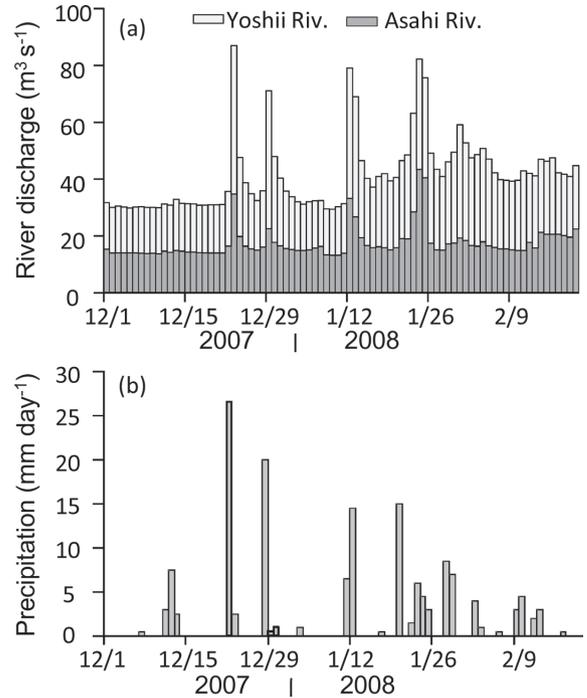


Figure 4. River discharge and precipitation from 1 December, 2007 to 20 February, 2008. (a): Discharges of Asahi and Yoshii rivers; (b): precipitation at Tsuyama.

時期においてほぼ同じであり、塩分の低下が見られる時間に明確な差はほとんど見られなかった。また、測点13でも両時期の低下が始まる潮時はほぼ同じであったが、増水期には塩分低下の持続時間がより長くなった。

渇水時における海域の河川水の平面的な動きを見たところ、干潮時の4時間前にあたる12月8日の0時には、塩分30以下の河川ブルームは湾口部付近の狭い範囲に限られていたが (Fig. 6aの-4)、水位の低下とともに湾口から東の方向に向かって徐々に流出しはじめた (Fig. 6aの-3)。その後、干潮時の1時間前には東方向への広がりを停止し、湾口から南東方向へ向けて拡大した (Fig. 6aの-1)。干潮時には湾口から南の方向に向かって細長く扇形状に広がり、ブルームの範囲は最大となった (Fig. 6aの-0)。干潮の一時間後には、河川ブルームは南西方向に流れはじめるとともに (Fig. 6aの+1)、見島湾口部では湾内への海水の流入が始まった。そのため、干潮時から2時間後には、湾口から南西方向に5km程度離れた場所に孤立した低塩分水塊が見られた (Fig. 6aの+2)。その後、低塩分水塊は海水により徐々に希釈され、干潮の4時間後には消失した (Fig. 6aの+4)。

増水時でも、海域に流出した河川水の動きそのものは渇水時と共通していた (Fig. 6b)。満潮時から干潮時にかけて東に流出した後に、干潮時に南に広がり、河川ブルームは最大となった (Fig. 6bの-0)。その後、干潮時から満潮

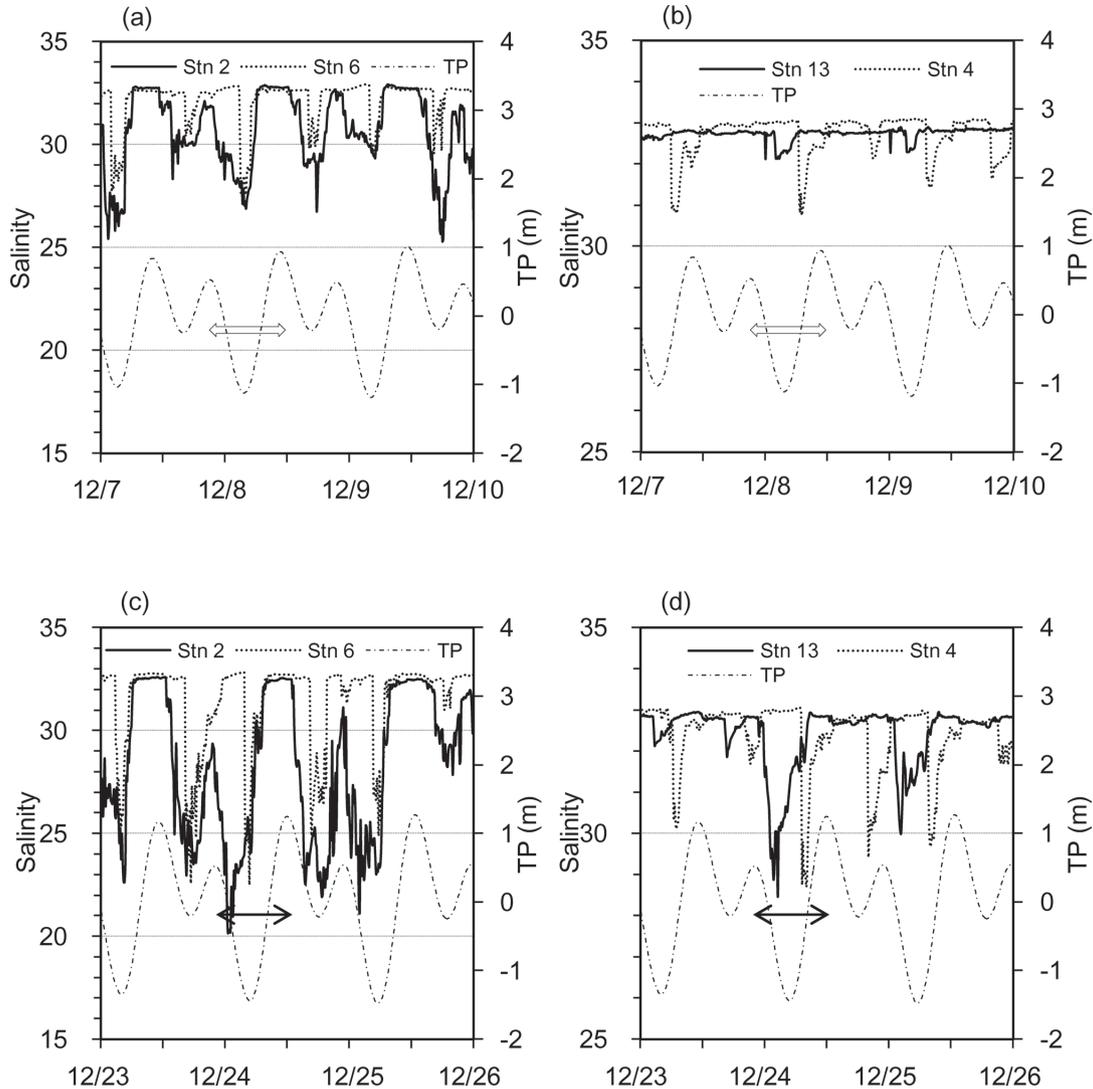


Figure 5. Fluctuations of tide level (TP) of Uno and salinity at Stns 2 and 6, and Stns 4 and 13. (a) and (b): December 7, 8 and 9; (c) and (d) December 23, 24 and 25. Open arrows (⇔) show the drought period (a, b) defined as the period from lower high tide in December 7 to higher high tide in December 8. Arrows (↔) show the flood period (c, d) defined as the period from lower high tide in December 23 to higher high tide in December 24.

時にかけて西に流れ、干潮時の3時間後には孤立した低塩分水塊ができあがった (Fig. 6bの+3)。その後、海水と混合し干潮時の6時間後には河川水の影響はほとんど見られなくなった (Fig. 6bの+6)。一方、潟水時と比較して増水時には河川ブルームの範囲は広がり、干潮時の2時間前には湾口から東に8km以上離れた場所に (Fig. 6bの-2)、干潮時の一時間後には湾口から南の方向に15km上離れた場所まで到達していた (Fig. 6bの+1)。

潟水時における湾口部の塩分の偏差 (塩分33と、期間中に示した塩分の最低値との差) は5-10であり、湾口から離れるにしたがって偏差は小さくなった (Fig. 7a)。湾口から南西方向の場所において、偏差は大きく、10km以上離れた場所でも1以上であった。一方、湾口から東に位

置する場所での偏差は小さく、湾口から2kmの付近で1以下となっていた。つまり、湾口を挟んで東西の位置の違いによって、偏差に違いがみられた (Fig. 7a)。

潟水時と比較して、増水時には塩分の偏差は大きくなり、湾口部偏差は10-15であり、湾口から約6km以内はほぼ全域で5以上となっていた (Fig. 7b)。また、潟水時に見られた東西の偏差の違いはほとんどなくなり、湾口からの距離に比例して偏差は低下していた。つまり、河川流量の増加時には、潟水時よりも湾口から東に位置する場所の塩分の偏差が大きくなった。

考察

本研究では、備讃瀬戸中央部における塩分とDIN濃度の関

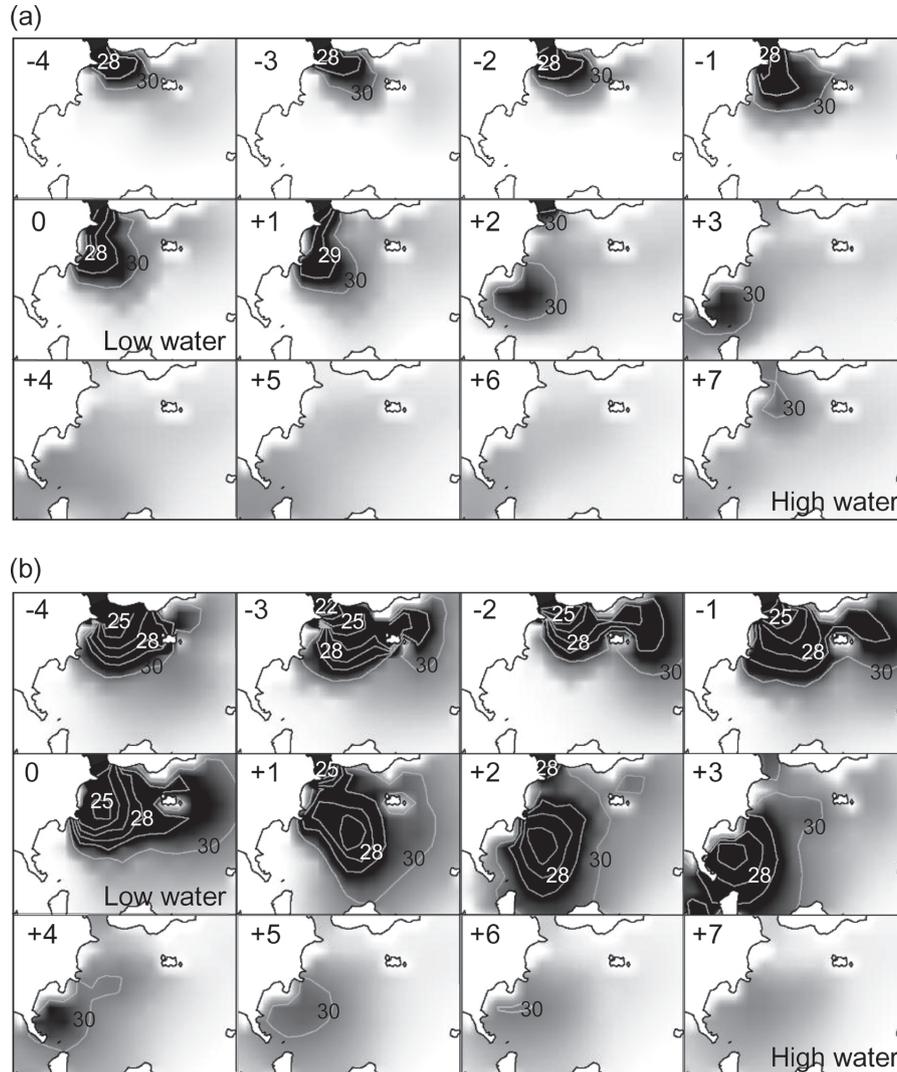


Figure 6. Distributions of salinity on December 8 (a) and 24 (b) in 2007. Numeral at the top left of each box shows the lapsed time in hours from low water at Uno. The darker area indicates lower salinity. Highest contour line indicates 30. The contour interval is unity.

係, 海域に流出した河川水の連続的, 平面的な動きを調べ, 河川から海域への栄養塩供給を調べた。

夏季には, 河口域を中心として高クロロフィル a 濃度の場所が見られるとともに (Fig. 2b), 塩分20付近で海水中のDINは枯渇していたことから (Fig. 3), 河川から供給された栄養塩は植物プランクトンにより消費され, 河川から海域への直接的なDIN供給はなかったと考えられた。Fig. 3中の破線は, 塩分が0と32の時のDINを結んでおり, 河川水中のDINが保存的に希釈された場合の直線である。つまり, 破線の下に位置する陰影部分は, 夏季に大量に発生していた植物プランクトンによって消費されたと推定される。出水時には, 流入した栄養塩はプランクトンに取り込まれる前に海域に到達することも考えられるが, 平時時には, 今回示したように河口域において栄養塩が枯渇してい

る可能性が高い。

一方, ノリ漁期にあたる冬季は, クロロフィル a 濃度は全域で低く, 植物プランクトンの発生は少なかった (Fig. 2d)。また, 塩分とDIN濃度の間に相関が見られ, 低塩分域で高いDIN濃度を示す傾向が見られた (Fig. 3)。このことから, 植物プランクトンの取り込みの影響がないために, 河川から供給された栄養塩は海水によって保存的に希釈されながら湾外に流出し, 河川水の到達時には直接的なDIN供給が行われていると考えられた。

備讃瀬戸の潮流は満潮時から干潮時の間は東流であり, 干潮時に転流し, 干潮時から満潮時の間は西流となる (柳・樋口, 1981)。このことを考慮に入れると Figs. 5 and 6で見られた河川水の動きは以下のように説明できる。児島湾の水位の低下にとまって湾外に流出した河川水は,

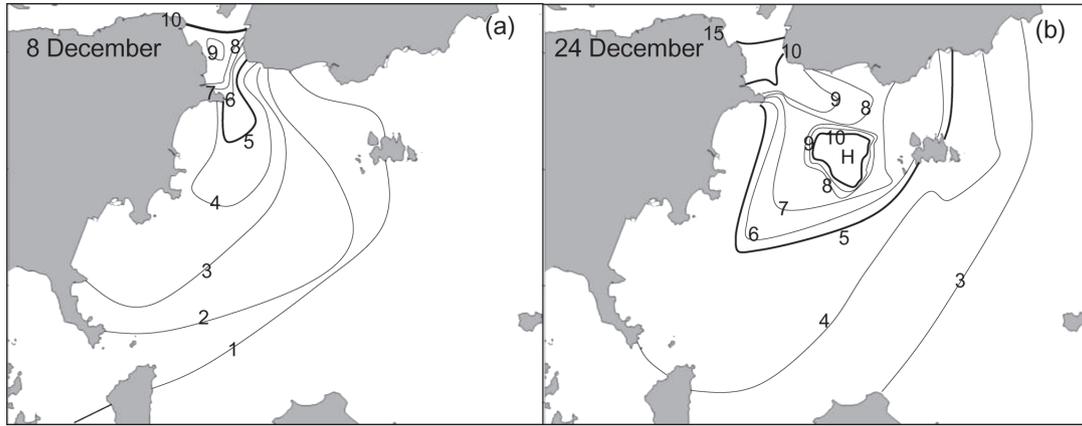


Figure 7. The distribution of salinity difference between 33 and the minimum value in each period.

同時期に卓越する東向きの潮流の影響を受け東方向に主に流出する。その後、干潮時に海域への河川水の流出量が最大となることから、河川プルームの範囲は最大となる。下げ潮時には、同時期に卓越する西向きの潮流の影響を受けて、西に流されるとともに、湾口部には東方から海水が流入する。そのため、河川プルームは途切れて、湾口から南西の場所に孤立した低塩分水塊ができあがる。その後、低塩分水塊は海水と混合して解消し、次の下げ潮時まで海域には低塩分の場所が確認されなくなる。また、潮流の影響を受けて河川プルームは高速で東西に移動するため、海域のそれぞれの場所ごとの河川水の滞留時間は短く、湾口から同一距離にある場所であっても、湾口を挟んで東の海域と西の海域で河川水の到達潮時に違いが見られた (Figs. 5 and 6)。

これまで、海域に流入した河川水の動きを調べる際には、それぞれの潮時ごとに、海域に設定した測点を高速で移動しながら、塩分を測定する方法がとられることが多かった (杉本ほか, 2004; 松岡ほか, 2005)。しかし、潮流の影響を強く受ける沿岸海域では、測点ごとの河川水の影響が見られる時間は短く、測点間の移動による時間差の影響を無視できないことがわかった。事実、同海域において、ダムからの放水量の増加の効果を検証する際にもこの手法で行ったため、測点ごとの調査時間の差により直近の測点間でも塩分の観測値に大きな違いが生じ、河川流量の増加の影響を明らかにすることができなかった (岩本・難波, 2009)。また、岡山県は、冬のノリ養殖漁期に同海域の20測点において海域の栄養塩調査 (http://www.pref.okayama.jp/soshiki/detail.html?lif_id=60100) を行っているが、同一日であっても、サンプリング時刻に半日程度の差があるため、湾口から遠く離れた海域においてのみ低塩分、高DIN濃度の水塊が確認されることがある。

また、河川流量の増加時には海域への河川水の流出量は増加し、河川プルームの範囲と各測点ごとの塩分の偏差も大きくなったが (Fig. 7)、海域における動きそのものは渴

水時と同様であった (Fig. 6)。このことから、同海域における河川プルームの動きは、潮流と潮汐の影響を強く受けていることが示唆された。

沿岸海域において、潮流と潮汐を考慮して河川水の連続的な動きを調べた例は少ないが、著者らは、本調査海域の西に位置する高梁川の沿岸域でも同様の調査を行い、出水時であっても河川水の流出は間欠的であること、流出後は潮流の影響を受けて移動し、海域の場所ごとに河川水の到達時間が異なることを確認している (未発表)。このことから、潮流と潮汐の影響を強く受ける沿岸海域では河川水の間欠的な流入は共通の現象と考えられ、河川水の動きを調べる際には、測器による多点連続塩分観測が望ましい。

冬季の渴水時に得られた塩分とDIN濃度の相関式 (Fig. 3) が、2007年12月6日から2008年2月20日までの期間を通じて適用可能であると仮定して、その間の塩分の推移 (Fig. 5) から、測点4,6に供給されるDIN濃度の推移を推定した。その結果、両測点ともに河川水の到達によりDIN濃度が上昇し、河川水の到達時にのみ、ノリの色調維持に必要なとされる $3\mu\text{M}$ を超えていた (Fig. 8)。その後、水位の上昇に伴って河川水は通りすぎ、それに伴ってDIN濃度は急速に減少し、満潮時頃には $1\text{--}1.5\mu\text{M}$ 程度のバックグラウンドの値となった。

瀬戸内海では、 $3\mu\text{M}$ を下回るとノリの色落ちが始まると言われているが (渡辺ほか, 2004)、測点4では、期間中最大流量時でも $3\mu\text{M}$ を超えるのは1日のうちに数時間程度に限られ (Fig. 8b)、この場所でのノリの色調の維持は不可能であると想定される測点であった。ところが実際には、測点4付近のノリ漁場は例年、色落ちの被害をそれほど受けることなく3月頃まで生産が行われている。一方近年、河川水の影響を受けにくい測点13付近のノリ漁場は色落ちにより1月上旬ごろに漁期が終了することが多い。また、測点4,6,13に色落ちしたノリを設置し、経過観測をしたところいずれの測点においても色調は回復し、測点4と13を比較すると測点4の色調の方が良好であった

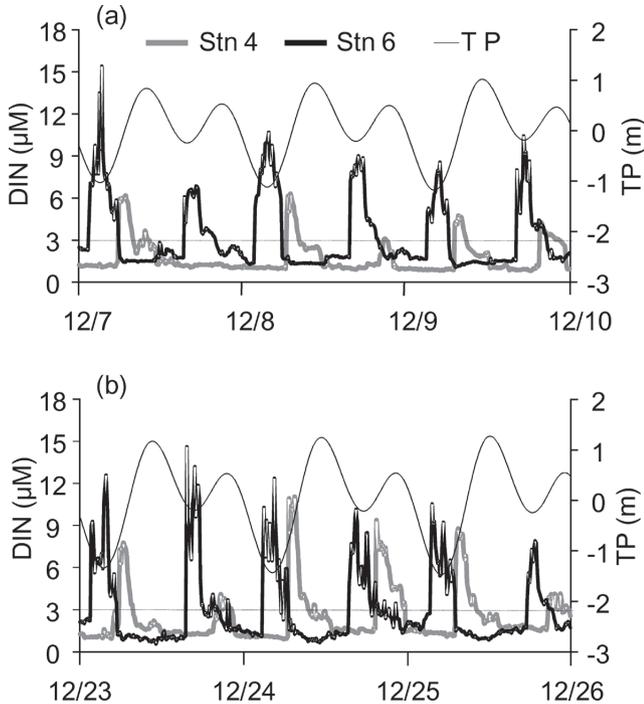


Figure 8. Fluctuations of tide level at Uno and predicted DIN concentration at Stns 4 and 6. Grey-thick line is for Stn 4; black-thick line is for Stn 6. Thin line is for TP. (a): December 7, 8 and 9; (b): December 23, 24 and 25.

(清水, 2010). これらのことは, 河川からの間欠的な栄養塩供給により同海域のノリの色調が維持されており, 河川からの供給量が多い場所ほど色調が良好であることを示唆している. これまで, 児島湾沖の1月, 2月の平均DIN濃度は $3\mu\text{M}$ を下回っている(岩本ほか, 2008; 2009; 2010)にもかかわらず, 他海域と比較して色調が良好であったが, 同海域での河川水の影響は間欠的であり, 間欠的な栄養塩供給によって色調が維持であると仮定すれば, 説明が可能となる.

河川流量の増加時には, 両測点ともに河川水到達時のDIN濃度は上昇し, 24日の測点4のピーク時では, 8日と比較すると2倍程度となっていた(Fig. 8b). また, 河川流量の増加時には, 塩分の低下がみられる範囲, 海水との塩分偏差, ともに大きくなることから(Figs. 6 and 7), 海域へのDIN供給量と供給範囲も増加すると考えられた. これらのことから, 河川流量を一定量以上維持することは同海域のノリ色落ち防止につながり, その方法の一つとして行っているダムからの放水量の上乗せも一定の効果があると考えられた.

謝 辞

本研究は平成19–21年度水産庁委託事業「新たなノリ色落ち対策事業河川水最適利用技術の開発」の成果の一部である. また, 本研究を行うにあたり, 協力して頂いた関係漁協の方々には厚く御礼申し上げる.

引用文献

- 藤澤邦康・難波洋平(2004) 瀬戸内海中央部における海水中溶存態無機窒素変化と流入負荷量. 岡山水試報, **19**, 1–4.
- 星野高士・松岡 聡・末永慶寛・山田佳裕・一見和彦・多田邦尚・吉松定昭・藤原宗弘・堀田健治・白木 渡(2006) 数値モデルを用いた備讃瀬戸東部海域のノリ色落ちに関する研究. *Eco-Engineering*, **18**, 173–180.
- 岩本俊樹・難波洋平(2009) 児島湾周辺のノリ養殖漁場に及ぼすダム上乗せ放流を含む河川水の影響(平成17–19年度). 岡山水試報, **24**, 63–69.
- 岩本俊樹・難波洋平・高木秀蔵(2008) 平成19年度岡山県下のノリ養殖場における溶存態無機窒素の分布. 岡山水試報, **23**, 63–70.
- 岩本俊樹・高木秀蔵・飯野浩太郎(2009) 平成20年度岡山県下のノリ養殖場における溶存態無機窒素の分布. 岡山水試報, **24**, 78–82.
- 岩本俊樹・高木秀蔵・飯野浩太郎(2010) 平成21年度岡山県下のノリ養殖場における溶存態無機窒素の分布. 岡山水研報, **25**, 62–66.
- 海上保安庁(2007) 平成19年潮汐表. 海上保安庁, 151 pp.
- Lorenzen, C. J. (1967) Determination of chlorophyll and phaeo-pigments: spectrophotometric equations. *Limnol. Oceanogr.*, **12**, 343–346.
- 松岡 聡・吉松定昭・小野 哲・一見和彦・藤原宗弘・本田恵二・多田邦尚(2005) 備讃瀬戸東部(香川県沿岸)におけるノリの色落ちと水質環境. 沿岸海洋研究, **43**, 77–84.
- 長田 宏(1994) 新潟沿岸域における河川水起源の栄養塩分布の季節変動. 水産海洋研究, **58**, 1–9.
- 清水泰子(2010) 河川水を利用したノリ色落ち回復実験. 日水誌, **77**, 114.
- 杉本 亮・笠井亮秀・山尾 理・藤原建紀・木村琢磨(2004) 伊勢湾における河川流量の変動に伴う懸濁態有機物の変化. 水産海洋研究, **68**, 142–150.
- 鈴木啓太・杉本 亮・笠井亮秀・中山耕至・田中 克(2009) 夏季の有明海筑後川の高濁度汽水域における粒状有機物の動態—河川流量の変動に伴う変化. 水産海洋研究, **73**, 149–160.
- 多田邦尚・藤原宗弘・本城凡夫(2010) 瀬戸内海の水質環境とノリ養殖. *分析化学*, **59**, 945–955.
- 渡辺康憲・川村嘉応・半田亮司(2004) ノリ養殖と栄養塩ダイナミックス. 沿岸海洋研究, **42**, 47–54.
- 山口創一・速水祐一(2009) 有明海湾奥における出水後の低塩分水塊の挙動およびその水質への影響. 沿岸海洋研究, **46**, 161–173.
- 柳 哲雄・樋口明生(1981) 瀬戸内海の潮汐・潮流. 第28回海岸工学講演会論文集, 555–558.
- 湯浅一郎・上嶋英機・宝田盛康・橋本英資(1990) 広島湾における夏季の河川流量変化の河川水分散への影響. 水産海洋研究, **54**, 129–136.