

河川水および港湾域からの栄養塩供給が 加古川河口周辺海域のノリ漁場に与える影響の検証

原田和弘^{1†}, 宮原一隆¹

Verifying the effects of nutrients supplied from rivers and ports to nori (*Pyropia*) farms in the sea around the Kako River estuary

Kazuhiro HARADA^{1†} and Kazutaka MIYAHARA¹

兵庫県の加古川河口周辺海域において、陸域からの栄養塩供給が近隣のノリ漁場に与える影響を調査した。当海域における表層の溶存態無機窒素 (DIN) 濃度は、東播磨港別府西港区地先の加古川河口東部沿岸に高濃度域が分布する事例の多いことが判明した。このDINの高濃度域は、河川水および産業排水や下水処理水を含む港湾からの流出水に由来すると考えられ、近傍に位置する加古川河口東部のノリ漁場では、沿岸部を中心にそれらによる窒素の供給を安定的に受けていることが示唆された。

キーワード: *Pyropia*, 栄養塩供給, 陸域負荷, DIN, 加古川

We examined the effects of nutrient discharge from land areas to nori farms around the Kako River estuary, eastern part of Seto Inland Sea, off Hyogo Prefecture. Horizontal distribution of high DIN concentration water at the surface was frequently observed along the east coast of the Kako River estuary, off the Befunishi area in Higashiharima Port. The water with high DIN concentration originated from the port with industrial and sewage treatment plant effluents, and the river. These results suggest that nutrient discharge from the river and port influenced nori production in the coastal farms in the eastern Kako River estuary.

Key words: *Pyropia*, nutrient supply, discharge from land areas, DIN, Kako River

はじめに

瀬戸内海では栄養塩 (特に溶存態無機窒素 (DIN)) 濃度の低下が大きな課題となっており (Yamamoto, 2003; 藤原, 2011; 瀬戸内海区水産研究所, 2015; 山本, 2015), ノリ (*Pyropia*) の不作のほか漁獲量減少への影響も懸念されている (反田・原田, 2012; 反田ほか, 2014, 2015)。ノリの不作対策として、岡山や千葉県でのダム放流 (岩本・難波, 2009; 林ほか, 2015), 下水処理施設の窒素増量運転 (古賀, 2008; 宮川ほか, 2015) および有明海沿岸における海域への施肥 (川村ほか, 2011) 等による海域への栄養塩供給が、各地のノリ漁場で取り組まれている。また、広島県東部海

域や備讃瀬戸では、河川水に由来するノリ漁場への栄養塩供給の影響が報告されており (川口・高辻, 2010; 高木ほか, 2012a, b, 2013), 海域の貧栄養化 (山本, 2015) が課題となっている瀬戸内海では、河川水をはじめとする陸域からの栄養塩供給が、沿岸部のノリ漁場への重要な窒素供給源となっていることが推測される。しかしながら、海域の栄養塩類が増加する要因は、陸域からの流入のほか、底泥からの供給 (山本, 2008), 降雨 (多田, 1998) および外洋水の影響 (武岡ほか, 2005) 等、様々であり、通常の観測において測定された栄養塩の起源を詳しく明らかにすることは難しい。また、各漁場における栄養塩の動態は、その漁場の海域特性に依存すると考えられる。

兵庫県の瀬戸内海側は国内有数の養殖ノリ生産海域であり、その生産金額は同県瀬戸内海側の漁業生産金額の3–4割を占める基幹漁業種類である。当海域のノリ養殖は浮き流し式の普及等によって発展し、生産技術は成熟した状態にあるものの、1990年代後半以降ノリの不作が頻繁に生

2016年11月7日受付, 2017年6月2日受理

¹ 兵庫県立農林水産技術総合センター水産技術センター

〒674-0093 兵庫県明石市二見町南二見22-2

Fisheries Technology Institute, Hyogo Prefectural Technology Center for Agriculture, Forestry and Fisheries, Akashi, Hyogo 674-0093, Japan

† kazuhiro_harada@pref.hyogo.lg.jp

じている（鷲尾ほか，2005）。同県内の養殖ノリの主要生産海域である播磨灘では，DIN 濃度の低下に伴うノリの色落ちが，主な不作要因と考えられている（原田，2013；反田，2015）。兵庫県内では漁業者からの強い要望もあり，2008 年頃からノリ養殖漁期を中心に臨海部の下水処理施設における栄養塩管理運転（この場合は，規制値内での窒素排出量増加運転を指す。原田ほか，2015）やダムの一時的放流（原田ほか，2013）の試行，漁業者主体の取り組みであるため池からの放流（かいぼり）およびノリ漁場への施肥等，人為的な手法による海域への栄養塩供給を進めてきた（反田・原田，2011）。

阿保ほか（2012）は，多くのノリ漁場が存在する播磨灘北東部沿岸の加古川河口域周辺海域における栄養塩濃度の変化を数値計算により求め，河川水や港湾域からの流入が重要な窒素供給源となっている可能性を示唆した。本報では，数値計算がなされたのとほぼ同様の加古川河口周辺海域において，ノリ養殖漁期を中心とした詳細な現場観測を実施し，陸域負荷源からの栄養塩供給が沿岸部のノリ漁場に与える影響について具体的に例証するとともに，今後の栄養塩供給および栄養塩管理の方策についても言及した。

材料と方法

本研究では，加古川河川水，および産業排水，下水処理水や二級河川水（泊川）を含む東播磨港別府西港区（以後，別府西港区とする）からの流出水等が流入しており，近隣にノリ漁場（ノリ漁場区画 13 号）が存在する加古川河口

周辺海域を調査対象とした（Fig. 1）。

ノリ養殖漁期を中心とした2010年8月–2011年2月および2011年9月–2012年2月の毎月1回，Fig. 2に示した加古川河口周辺海域の39 定点（東播磨港別府港区のSt3は2011年度のみ調査）で，水塊の移動が比較的少なく，河川水や港湾水の流出状況が把握しやすいと考えられる上げ潮また

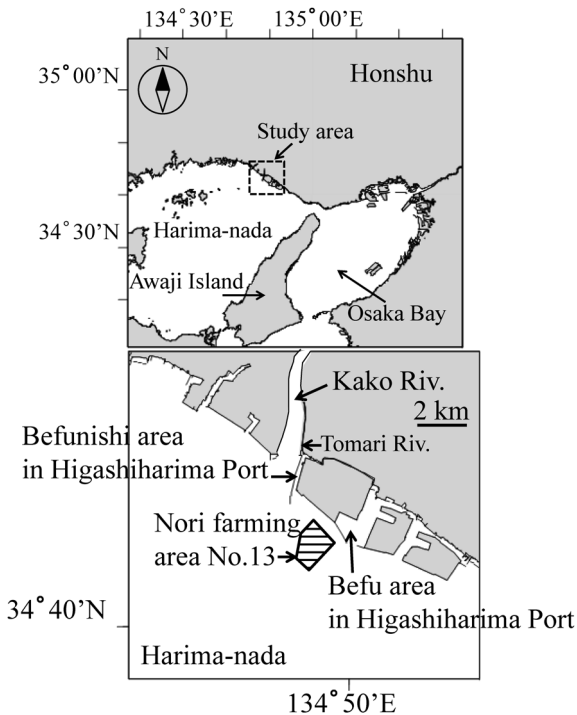


Figure 1. Location of the observation area.

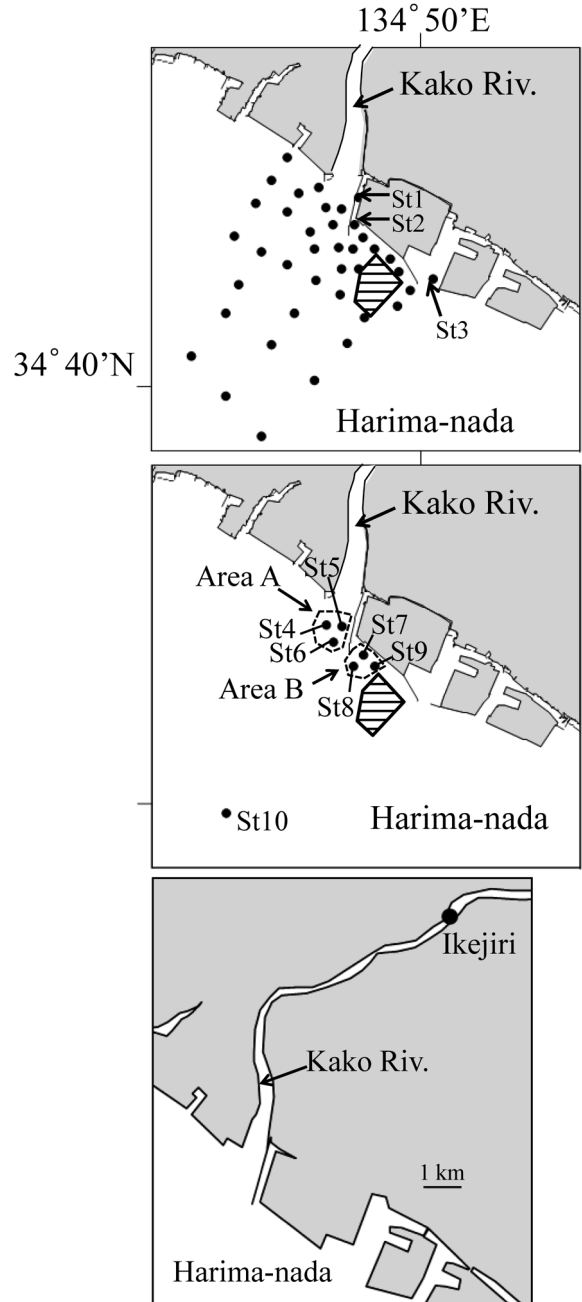


Figure 2. Location of the sampling stations. Solid circles indicate the sampling stations in the sea around the Kako River estuary. The area with horizontal stripes shows nori farming area No. 13. Data from station St3 are excluded in the figures from Fig. 3 to Fig. 10.

は下げ潮止まり前後の時間帯に水質を調査した。なお、下げ潮時の調査は2010年10月, 2011年1月, 2012年1, 2月の4回のみで, その他の調査はすべて上げ潮時の調査であった。各調査定点ではCTDを用いた表層から海底面までの塩分計測 (2010年8月–2011年1月の調査はJFEアドバンテック社製, ACL215-PDK, 2011年2月および9月–2012年2月の調査ではJFEアドバンテック社製, RINKO-Profiler ASTD102を使用), および栄養塩分析用にバケツを用いて表層水を採取した (2011年度に実施した東播磨港別府港区のSt3は表層採水のみ)。採水試料は実験室に持ち帰り, ガラス濾紙 (アドバンテック東洋社製, GA-200) を用いて濾過した後, 栄養塩分析に供した。栄養塩分析は, 眞鍋・反田 (1986) に準じ, 栄養塩自動分析装置 (BLTEC社製, QuAAtro2-HR) を用いて, アンモニア態窒素 ($\text{NH}_4\text{-N}$), 亜硝酸態窒素 ($\text{NO}_2\text{-N}$), 硝酸態窒素 ($\text{NO}_3\text{-N}$), 溶存態無機リン (DIP), 溶存態ケイ素 (DSi) 濃度を計測し, $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_2\text{-N}$ および $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度の合計値をDIN濃度とした。また, 解析にあたっては, 海域調査と同一日に加古川下流の池尻橋 (非感潮域, Fig. 2) において, 河川流心部の表層から採水した試料の塩分 (YSI社製, Model30で計測) および $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度の数値も使用した。

結果

2010年8月–2011年2月の表層DIN濃度は, すべての調査回次において別府西港区内 (St1) で最も高い値を示した ($40.1\text{--}334.0\ \mu\text{M}$, Fig. 3)。なお, 2010年12月および2011年1–2月のDIN濃度は, 別府西港区内のSt1 ($128.1\text{--}334.0\ \mu\text{M}$) およびその周辺の定点 (St2, $45.1\text{--}176.9\ \mu\text{M}$) で極端に高い値を示したため, これら定点の数値は等濃度線に含めていない。表層DIN濃度の水平分布を見ると, 別府西港区からその地先にかけての加古川河口東部沿岸に高濃度域が形成される事例が多く認められた。2010年9月は加古川の増水の影響により, 河口から南方沖に向かって広範囲にDINの高濃度域が形成されていた。また, 2010年10月および2011年1月には, 調査海域の東端沿岸にあたる東播磨港別府港区地先にもDINの高濃度域が認められた。表層の塩分 (海面下約0.5 m層), DIP, DSiは, 加古川河口もしくは別府西港区で低塩分または高DIP, DSi濃度が認められたものの, 河口東部沿岸においてDINほど明瞭な濃度分布を示した回次は少なかった。なお, 2010年9月は, DIN濃度分布と同様に加古川河口から南方沖に向かって低塩分または高いDIP, DSi濃度域が認められた (Figs. 4–6)。

2011年9月–2012年2月の表層DIN濃度も2010年度と同様に, 加古川河口東部沿岸に高濃度域が形成される事例が多く認められた (Fig. 7)。また, 2012年1月には調査海域の東端沿岸にあたる東播磨港別府港区地先にDINの高濃度域が認められた。2011年度に測定した東播磨港別府港区のSt3における表層DIN濃度は $10.6\text{--}27.7\ \mu\text{M}$ の範囲で

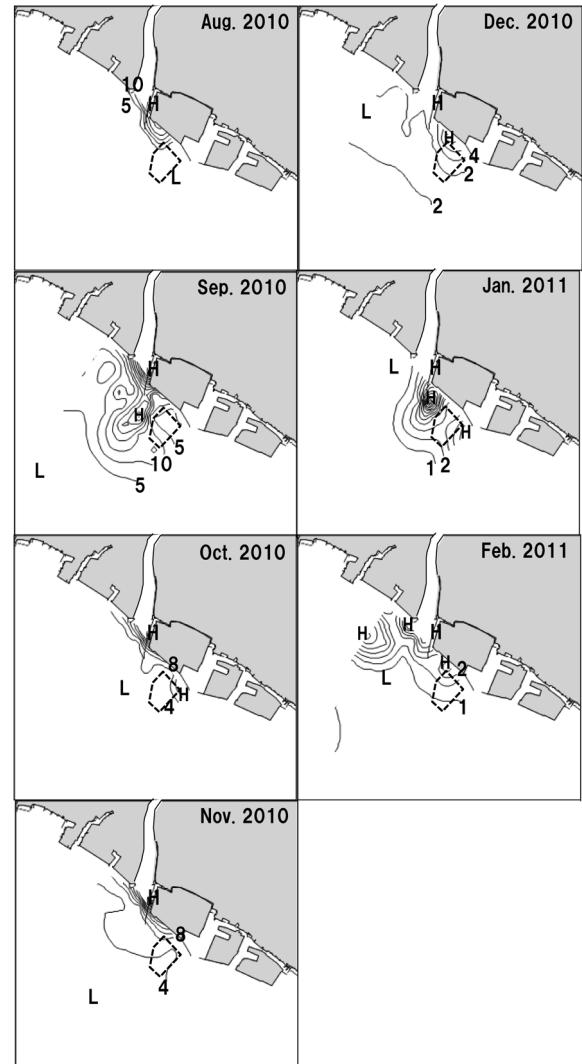


Figure 3. Horizontal distributions of DIN concentration (μM) for surface water from Aug. 2010 to Feb. 2011 in the Kako River estuary. The area outlined with a broken line shows the nori farming area No.13. The data of station St1 and St2 from Dec. 2010 to Feb. 2011, are excluded in the isolines for high concentration. “H” or “L” in the figure indicate high or low DIN concentration.

あった。なお, St1 ($87.4\text{--}137.3\ \mu\text{M}$) の2011年度の全調査回次, およびSt2 ($66.2\text{--}78.5\ \mu\text{M}$) の2011年10–12月の表層DIN濃度は, 極端に高い値を示したため等濃度線には含めていない。表層の塩分は, 2010年度と同様に加古川河口近海域に低塩分域の存在することが比較的多く, DIN濃度とは若干異なった分布を示した (Fig. 8)。DIPおよびDSiは2010年度と同様に, 加古川河口もしくは別府西港区に高濃度域が分布する傾向にあったが, 河口東部沿岸においてDINほど明瞭な濃度分布を示した回次は少なかった (Figs. 9–10)。

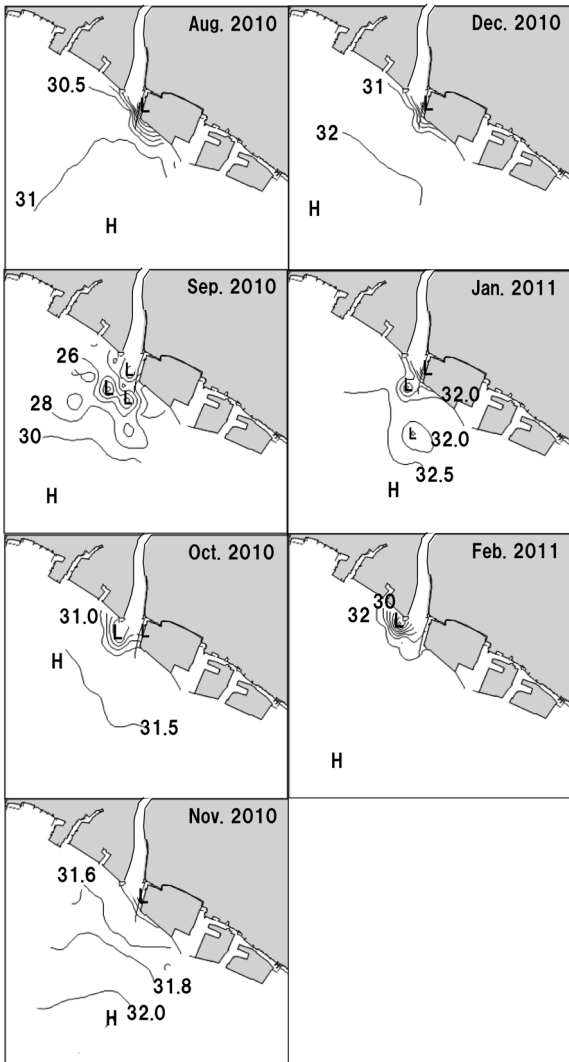


Figure 4. Horizontal distributions of salinity for surface water from Aug. 2010 to Feb. 2011. “H” or “L” in the figure indicate high or low salinity.

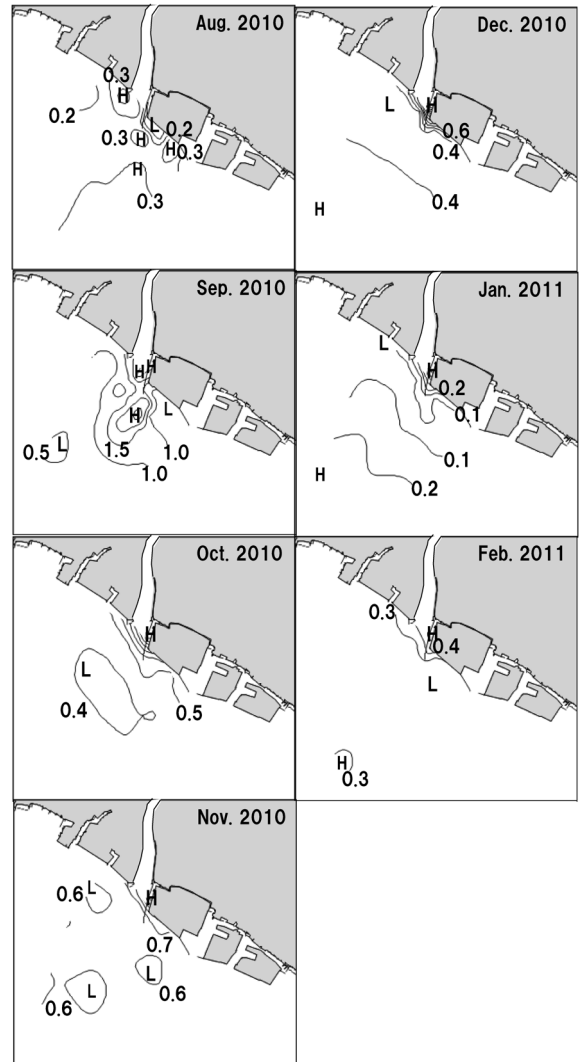


Figure 5. Horizontal distributions of DIP concentration (μM) for surface water from Aug. 2010 to Feb. 2011. “H” or “L” in the figure indicate high or low DIP concentration.

Table 1. Salinity and nutrient concentrations of AreaA (St4–6) and AreaB (St7–9, Fig. 2) in the sea around the Kako River estuary from 2010 to 2012.

	Salinity	DIN (μM)	DIP (μM)	DSi (μM)	NH ₄ -N (μM)	NO ₃ -N (μM)	<i>N</i>
AreaA	29.67±2.45	6.5±8.0	0.51±0.49	20.1±23.7	1.0±0.9	5.0±7.6	39
AreaB	30.78±1.24	11.5±9.6	0.48±0.46	14.6±15.5	5.1±4.8	5.4±6.3	39
<i>p</i> *	0.015	0.015	0.771	0.227	<0.001	0.807	

Values are shown as mean±standard deviation. *N* is the number of samples.

* Welch’s *t*-test between AreaA and AreaB.

また、加古川河口東部沿岸表層の高DIN濃度域の由来を検証するため、2010年8月–2012年2月の調査結果を用いて、加古川河口に近いAreaA (St4–6, Fig. 2) と別府西港区地先のAreaB (St7–9, Fig. 2), それぞれ3定点の塩分、

DIN, DIP, DSi, NH₄-NおよびNO₃-N濃度の平均値を Welch’s *t*-testで解析した。その結果、塩分は加古川河口のAreaAで有意に低く ($p<0.05$), DIN ($p<0.05$) およびNH₄-N ($p<0.001$) 濃度は別府西港区地先のAreaBで有意に高かった。

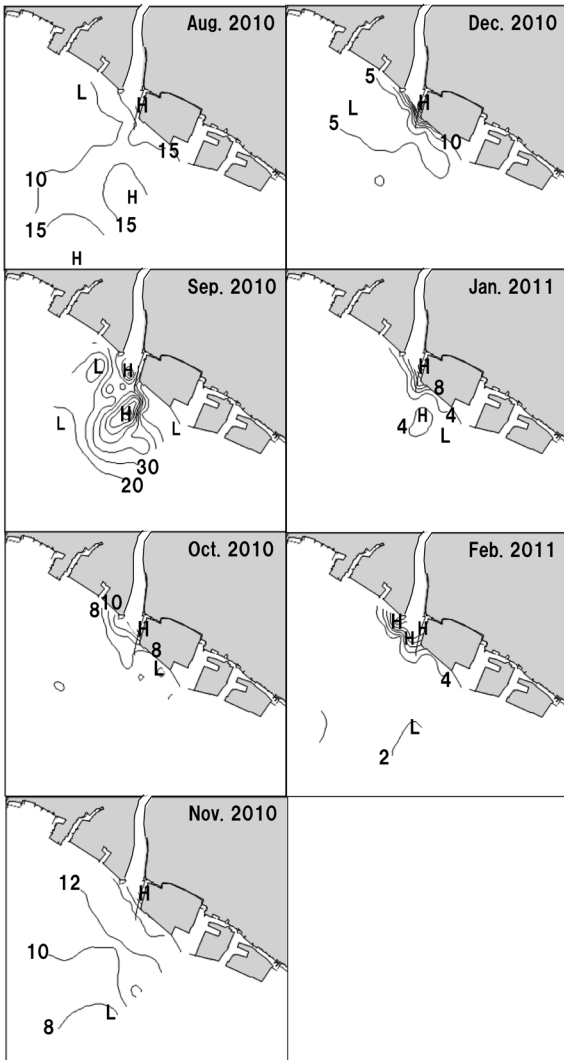


Figure 6. Horizontal distributions of DSi concentration (μM) for surface water from Aug. 2010 to Feb. 2011. “H” or “L” in the figure indicate high or low DSi concentration.

DIP, DSiおよび $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度に有意な差は認められなかった (Table 1). さらに, AreaAとAreaBで有意差が顕著であった $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度について, St4-9に別府西港区内のSt1, 加古川河川水 (池尻橋) および沖合のSt10 (Fig. 2) を加えて, 塩分との関係を検証した (Fig. 11). $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度はSt1, 7-9で高く, St4-6および池尻橋では低い傾向が明らかであり, 塩分は河口直近のSt4-6および下水処理水や泊川の影響を受けるSt1で低い傾向にあった.

考察

加古川河口域の栄養塩動態

今回の調査結果から, 加古川河口周辺海域では加古川河川水および別府西港区からの流出水が, 表層DIN濃度の動態に大きく関与していることが強く示唆された. また, 当海

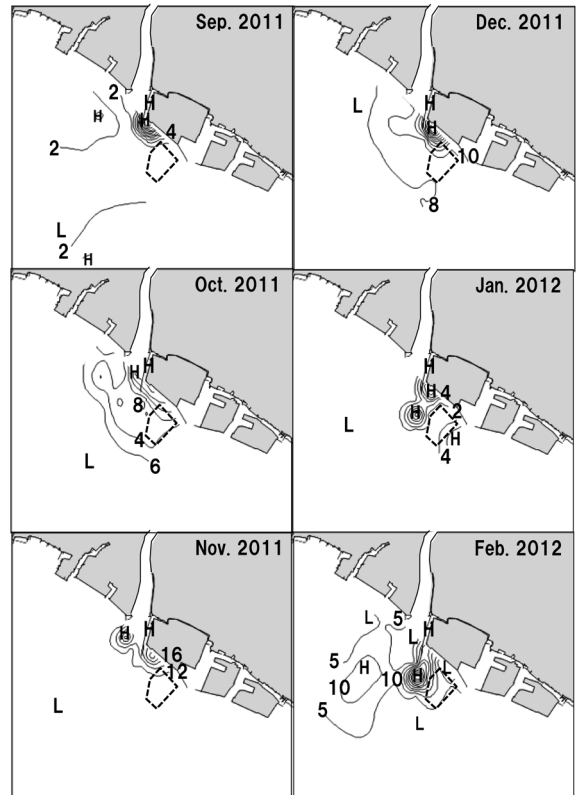


Figure 7. Horizontal distributions of DIN concentration (μM) for surface water from Sep. 2011 to Feb. 2012. The area outlined with a broken line shows nori farming area No. 13. The data of station St2 from Oct. to Dec. 2011, and all data from station St1 from Sep. 2011 to Feb. 2012 are excluded in the isolines for high concentration. “H” or “L” in the figure indicate high or low DIN concentration.

域では加古川河口東部沿岸の表層にDINの高濃度域が形成されることが明らかとなった. 別府西港区に流入する産業排水および下水処理水の放流口付近のDIN濃度は, おおむね $100\mu\text{M}$ 以上あり, 周辺海域に比べて高いことがわかっている (原田ほか, 2015). さらに, 加古川河口左岸には沖合に向かって長い防波堤 (東播磨港別府西港西防波堤, Fig. 1) があり, その東側の沿岸部では東西方向の潮流や風浪による影響がやや緩和されると考えられ, 別府西港区からの流出水や加古川河川水の影響によって, 加古川河口東部沿岸の表層にDINの高濃度域が形成されやすくなっていると推測された. また, 東播磨港別府港区 (St3) のDIN濃度は高い傾向にあり, その地先海域で下げ潮の調査回次においてDINの高濃度域が確認されたのは, 同港からの流出水による影響と考えられた. さらに, DINは加古川河口東部沿岸に高濃度域が形成される事例が多いのに対し, 塩分は加古川河口直近海域に低塩分域が形成されることが多く, 加古川河口と別府西港区地先の定点におけるDIN, $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度および塩分には有意な差も認められた.

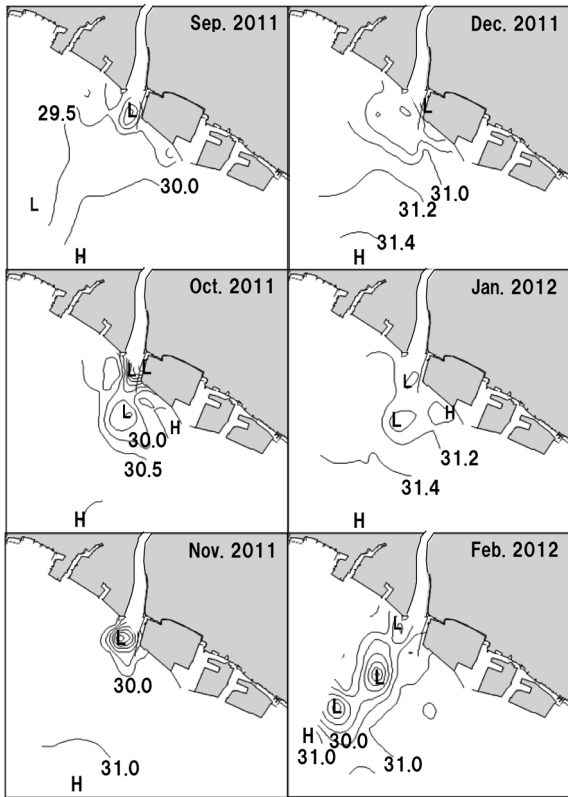


Figure 8. Horizontal distributions of salinity for surface water from Sep. 2011 to Feb. 2012. “H” or “L” in the figure indicate high or low salinity.

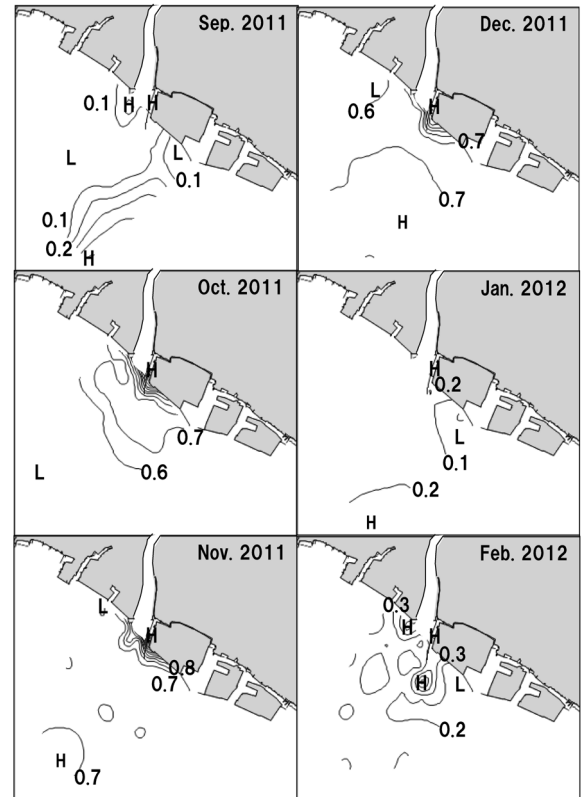


Figure 9. Horizontal distributions of DIP concentration (μM) for surface water from Sep. 2011 to Feb. 2012. “H” or “L” in the figure indicate high or low DIP concentration.

一方、DIPおよびDSiは河口東部沿岸においてDINのように明瞭な濃度分布を示すことは少なく、加古川河口と別府西港区地先の定点で有意な濃度差は認められなかった。Fig. 11に示した塩分と $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度の関係から、別府西港区(St1)の表層水は非常に高い $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度が特徴的であり、加古川河川水(池尻橋)のそれは低い傾向にあった。また、別府西港区地先のAreaBにおける $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度は、加古川河川水、AreaAおよび沖合のSt10に比べて高い傾向にあった。この結果は、加古川河口東部沿岸のDINの高濃度域形成に、別府西港区流出水が強く影響している可能性が高いことを示唆している。これらの状況から、加古川河口東部に位置するノリ漁場区画13号の沿岸部では、下げ潮時を中心に、産業排水や下水処理水を含む別府西港区からの流出水が重要な窒素供給源となっており、それに加えて加古川河川水による栄養塩供給の影響も強く受けられていると考えられた。これらの結果は、当海域におけるDINの動態をシミュレーションした計算結果(阿保ほか, 2012)ともほぼ一致していた。さらに、加古川の増水時には河川水の影響が、より広範囲に及んでいたことも計算結果と合致する。

ノリ漁場への栄養塩供給

兵庫県瀬戸内海側に流入する河川の最下流域の全窒素濃度および窒素発生負荷量は、1970年代と比較して減少していることは明らかである(吉田ほか, 2012; 駒井, 2015)。また、瀬戸内海では養殖ノリ生産期間中のDIN濃度とノリの色調(村山ほか, 2015a, b)および乾海苔生産金額(原田, 2013; 村山ほか, 2015b)には関連のあることが報告されている。河川水によるノリ漁場への栄養塩供給は、広島県東部海域や備讃瀬戸の事例が報告されており(川口・高辻, 2010; 高木ほか, 2012a, b, 2013)、本研究結果も含め、貧栄養化した環境下における沿岸部のノリ漁場では、河川水や産業排水および下水処理水等の陸域負荷が重要な窒素供給源となっていることが明らかとなった。今回の現場観測および阿保ほか(2012)のシミュレーション結果から、別府西港区からの流出水による窒素の供給は、ノリ漁場区画13号の沿岸部を中心に影響していることが明らかであり、別府西港区に流入している下水処理水も同様の動向を示すと考えられる。また、下水処理水放流口の周辺水域では、栄養塩管理運転期間中にDIN濃度が上昇することも確認されている(原田ほか, 2015)ことから、管理運転によって増量した窒素は、ノリ漁場に供給されてい

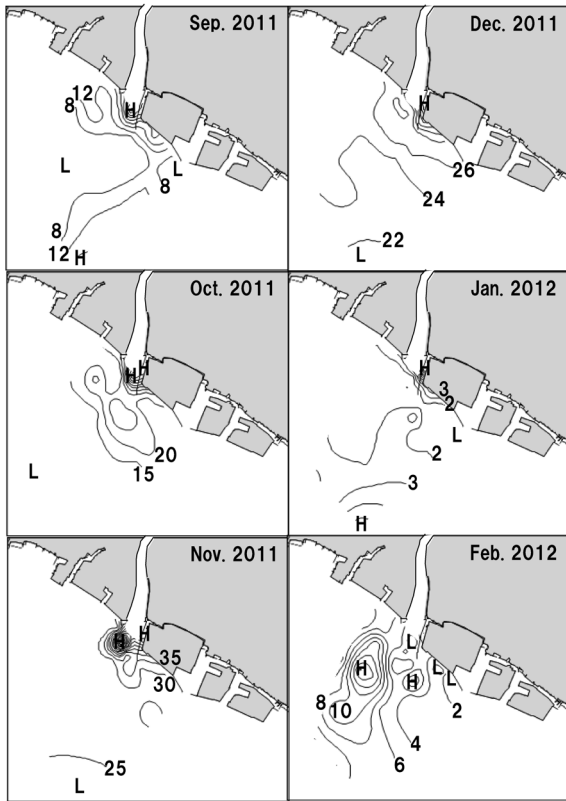


Figure 10. Horizontal distributions of DSi concentration (μM) for surface water from Sep. 2011 to Feb. 2012. “H” or “L” in the figure indicate high or low DSi concentration.

る可能性が高い。

播磨灘をはじめとして、ノリ漁期にDINが不足している海域では、前述のような人為的手法によるノリ漁場への栄養塩供給が試行されている。今後、漁場への栄養塩供給に関する取り組みを評価、選択する場合に重要なのは、継続性、供給量、経済性、作業効率、実効性、および生態系への影響等と考えられる。兵庫県では環境、下水道、および水産関係者が参集する検討会等で協議したうえで、これらの評価項目や本研究結果等を踏まえ、现阶段では下水処理施設における栄養塩管理運転および啓発活動に主眼を置いたため池からの放流によるノリ漁場への栄養塩供給を進めている。ただし、人為的な栄養塩供給手法については、各海域のノリ漁場に共通して効果があるとは限らず、潮流等の漁場特性によっては直接的な効果が見出しにくい場合もあると考えられる。また、下水処理水に含まれる遊離塩素や有機ハロゲン化合物の濃度によっては、ノリの生育に悪影響が及ぶという報告もある(丸山ほか, 1987)。したがって、ノリ漁場への栄養塩供給を検討する場合、ノリ漁場の場所や海域特性に見合った方法を選択することが重要である。そのほか、栄養塩供給に伴う赤潮発生や高濃度のアンモニア態窒素によって、他の漁業や生態系に悪影響が及ぶ

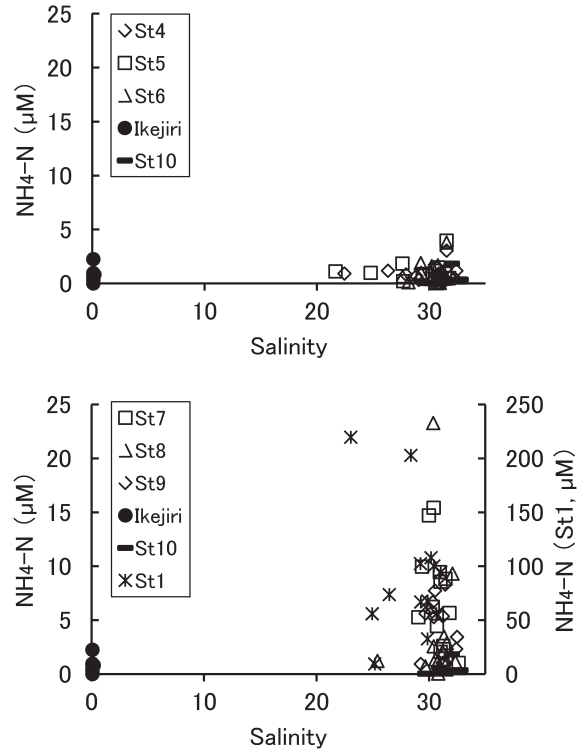


Figure 11. Salinity and $\text{NH}_4\text{-N}$ concentration (μM) diagram for surface water collected at St1–10 and Ikejiri, from 2010 to 2012.

ないよう配慮が必要なのは言うまでもない。さらに、強閉鎖性海域である港湾域では貧酸素化等の課題(藤井・藤原, 2014)も存在することから、そこに流入する下水処理水等の取り扱いについては、港湾内の水質や底質の環境悪化が進まないよう留意する必要がある。

瀬戸内海では2015年に瀬戸内海環境保全特別措置法が改正されるなど、水質行政は水質浄化に重点を置いた施策から豊かな海を目指す方向に大きく方針転換した。また、瀬戸内海環境保全基本計画も変更され、「地域における海域利用の実情を踏まえ、湾・灘ごと、季節ごとの状況に応じたきめ細やかな水質管理について、その影響や実行可能性を十分検討しつつ、順応的な取り組みを推進する」とされている。兵庫県海域では基幹漁業種類であるノリ養殖を安定的に継続するため、海域の状況を見極めながら順応的な栄養塩管理を進めることと並行して、沿岸域の円滑な物質循環を再生させる取り組みを関係機関と協調しながら推進する必要があるだろう。

謝辞

本研究は平成22–26年度水産庁委託事業「沿岸海域の栄養塩管理技術の開発」の一部として取り組んだ。研究を進めるにあたり、現場調査および分析にご協力頂いた当センターの兵庫県漁業環境調査船乗組員の皆様、ならびに小柴

貢二技術吏員に厚く感謝の意を表します。また、報告書の作成に際し、貴重なご助言を頂いた当センター技術参与反田 實博士に深謝します。

引用文献

- 阿保勝之・樽谷賢治・原田和弘・宮原一隆・中山哲巖・八木 宏 (2012) 加古川河口域ノリ養殖場に及ぼす陸域からの栄養塩供給の影響. 土木学会論文集B2 (海岸工学), **68**, 1116-1120.
- 藤井智康・藤原建紀 (2014) 港湾域の貧酸素水塊の形成と解消方法の検討. 土木学会論文集B2 (海岸工学), **70**, 1151-1155.
- 藤原建紀 (2011) 瀬戸内海の貧栄養化. 水環境学会, **34**(A)2, 34-38.
- 原田和弘 (2013) 養殖ノリ生産期における播磨灘の溶存態無機窒素 (DIN) 濃度と養殖ノリ生産額の関係. 兵庫県立農林水産技術総合センター研究報告 (水産編), **43**, 7-10.
- 原田和弘・近藤敬三・川崎周作・中谷明泰・水田 章・高木英男・西川哲也 (2013) 加古川水系の平荘ダム一時放流による加古川河口周辺海域への栄養塩供給効果の検討. 兵庫県立農林水産技術総合センター研究報告 (水産編), **43**, 11-16.
- 原田和弘・宮原一隆・近藤敬三 (2015) 下水処理施設の栄養塩管理運転に伴う周辺水域の溶存態無機窒素 (DIN) 濃度の動態. 兵庫県立農林水産技術総合センター研究報告 (水産編), **44**, 29-33.
- 林 俊裕・長谷川健一・梶山 誠 (2015) ノリ色落ち対策のための亀山ダム放水の効果について. 千葉県水産総合研究センター研究報告, **9**, 15-25.
- 岩本俊樹・難波洋平 (2009) 児島湾周辺のノリ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). 岡山県水産試験場報告, **24**, 63-69.
- 川口 修・高辻英之 (2010) 広島県東部海域における溶存態無機窒素動態とノリ色落ちへの影響. 日本水産学会誌, **76**, 849-854.
- 川村嘉応・久野勝利・横尾一成 (2011) 佐賀県有明海で実施されている栄養塩供給の現状. 佐賀県有明水産振興センター研究報告, **25**, 81-87.
- 古賀みな子 (2008) 「マニュアルにはない水質管理 お金をかけずに求められる水を」. 環境新聞社, 東京, 148 pp.
- 駒井幸雄 (2015) 瀬戸内海東部海域に流入する河川の栄養塩濃度の時系列解析と流出負荷量の長期変化. 海洋と生物, **218**, 209-216.
- 眞鍋武彦・反田 實 (1986) 海水中に含まれる微量の反応性珪酸, 反応性リン酸, アンモニア, 亜硝酸および硝酸の同時自動分析法について. 海と空, **62**, 25-37.
- 丸山俊郎・三浦昭雄・吉田多摩夫 (1987) 養殖ノリの生育に及ぼす塩素殺菌都市下水処理水の影響. 日本水産学会誌, **53**, 465-472.
- 宮川昌志・益井敏光・赤井紀子・末永慶寛・石塚正秀 (2015) 下水処理調整運転による栄養塩管理. 海洋と生物, **218**, 261-268.
- 村山史康・清水泰子・高木秀蔵 (2015a) 岡山県ノリ漁場における栄養塩濃度とノリの色調および乾海苔単価との関係. 日本水産学会誌, **81**, 107-114.
- 村山史康・高木秀蔵・清水泰子 (2015b) 岡山県沿岸における栄養塩濃度とノリ色調および単価との関係. 海洋と生物, **218**, 250-253.
- 独立行政法人水産総合研究センター瀬戸内海区水産研究所 (2015) 瀬戸内海ブロック浅海定線調査観測40年成果 (海況の長期変動), 256 pp.
- 多田邦尚 (1998) 降水中の窒素・リン濃度と内湾への栄養塩負荷. 海と空, **73**, 125-130.
- 高木秀蔵・難波洋平・藤沢節茂・渡辺康憲・藤原建紀 (2012a) 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. 水産海洋研究, **76**, 197-204.
- 高木秀蔵・清水泰子・草加耕司・藤沢節茂・藤原宗弘・渡辺康憲・藤原建紀 (2012b) 河川から間欠的に供給される栄養塩によるノリ色調の回復. 日本水産学会誌, **78**, 246-255.
- 高木秀蔵・清水泰子・草加耕司・小林志保・藤原建紀 (2013) 安定同位体比を用いた河川からノリ漁場への栄養塩供給の評価. 日本水産学会誌, **79**, 1002-1008.
- 武岡英隆・速水祐一・兼田淳史 (2005) 瀬戸内海における環境の長期変動. 沿岸海洋研究, **43**, 45-50.
- 反田 實 (2015) 瀬戸内海東部の貧栄養化と漁業生産. 「海と湖の貧栄養化問題 水清ければ魚棲まず」山本民次, 花里孝幸編著, 地人書館, 東京, 91-128.
- 反田 實・赤繁 悟・有山啓之・山野井英夫・木村 博・團 昭紀・坂本 久・佐伯康明・石田祐幸・壽 久文・山田卓郎 (2014) 瀬戸内海の栄養塩環境と漁業. 水産技術, **7**, 37-46.
- 反田 實・原田和弘 (2011) 貧栄養化への対策事例と将来への課題. 水環境学会誌, **34**(A)2, 54-58.
- 反田 實・原田和弘 (2012) 瀬戸内海東部 (播磨灘) の栄養塩環境と漁業. 海洋と生物, **199**, 132-141.
- 反田 實・山下正晶・原田和弘 (2015) 瀬戸内海の栄養度と漁業生産の動向. 環境技術, **44**, 122-127.
- Yamamoto, T (2003) The Seto Inland Sea-Eutrophic or oligotrophic? Mar. Pollut. Bull., **47**, 37-42.
- 山本民次 (2008) 瀬戸内海底泥からのリン・窒素の溶出. 「瀬戸内海の海底環境」柳 哲雄編, 恒星社厚生閣, 東京, 61-75.
- 山本民次 (2015) 瀬戸内海の貧栄養化—その原因, プロセス, メカニズム. 「海と湖の貧栄養化問題 水清ければ魚棲まず」山本民次, 花里孝幸編著, 地人書館, 東京, 55-87.
- 鷲尾圭司・島本信夫・堀 豊・岡本繁好・上田隆敏 (2005) 兵庫県における栄養環境の変化とのり養殖漁業の盛衰. 海洋と生物, **158**, 238-245.
- 吉田光方子・仲川直子・梅本 諭 (2012) 播磨灘, 大阪湾に流入する河川の栄養塩濃度の変動について. 兵庫県環境研究センター紀要, **4**, 15-25.