

ノート

河川からの窒素負荷量変化が播磨灘の溶存態無機窒素 (DIN) 濃度変動に与える影響

原田和弘*・反田 實

Influence of the changes of the load inflow total nitrogen (TN) from rivers of Harima area in Hyogo Prefecture to the dissolved inorganic nitrogen (DIN) in Harima-nada

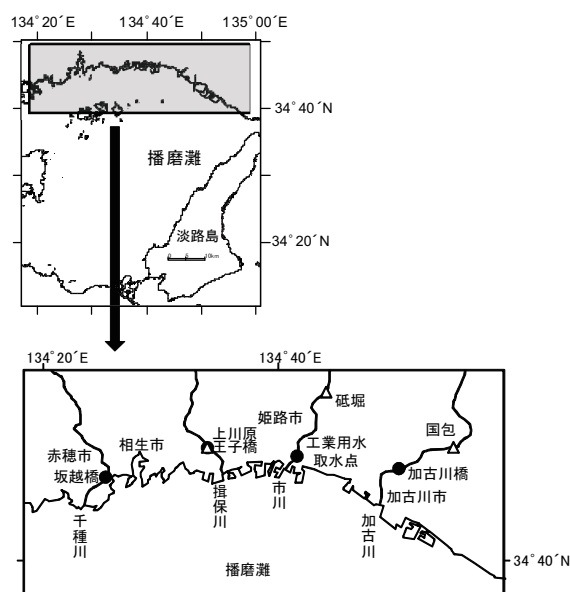
Kazuhiro HARADA* AND Minoru TANDA

キーワード: 河川窒素負荷量, DIN, 播磨灘

播磨灘では、1990年代中頃から養殖ノリに色落ちが頻発し、小型底びき網の漁獲量が減少傾向に転ずるなど、漁業生産に変化が認められる(反田・原田2011)。同海域では溶存態無機窒素(以後、DINとする)濃度の低下も顕著であり、漁業生産力の低下との関連性が示唆されている(反田・原田2011)。原田・反田(2011)は、播磨灘におけるDIN濃度の変動には降雨に伴う陸域負荷の影響が少なくないことを指摘した。本報では、播磨灘北部に流入する主要4河川(加古川、市川、揖保川、千種川)の窒素負荷量が播磨灘におけるDIN濃度の動態に及ぼす影響について検討した結果、両者に関連性が示唆されたので報告する。

播磨灘北部に流入する河川の水質データは、水質汚濁防止法の生活環境項目に係る環境基準点のうち、第1図に示した兵庫県内の主要4河川の最下流(非感潮)に位置する加古川橋(加古川)、工業用水取水点(市川)、王子橋(揖保川)および坂越橋(千種川)において、年間4~12回計測された全窒素(以後、TNとする)濃度の年平均値を用いた(兵庫県農政環境部環境管理局1982~2006)。なお、坂越橋における1985年1月と1986年11月のTN値は、検出限界未満(0.1mg/L

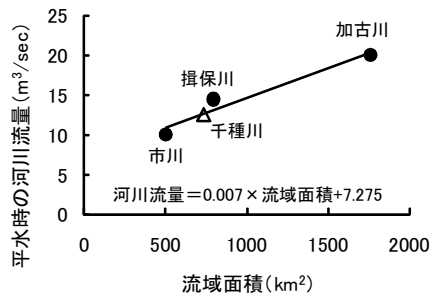
未満)であったため、便宜的に0.1mg/Lとして年平均値を算出した。また、加古川および揖保川の年平均流量は、国包(加古川)および上川原(揖保川)で計測された日平均流量の年平均値とした(雨量・流量年表データベースおよび国土交通省水文水質データベース<http://www1.river.go.jp/>)。加古川の一部の年と市川および千種川は流量に関する資料を入手できな



第1図 播磨灘北部に流入する主要4河川、解析に使用した環境基準点(●)および流量計測地点(△)

*Tel: 078-941-8601. Fax: 078-941-8604. Email: kazuhiro_harada@pref.hyogo.lg.jp

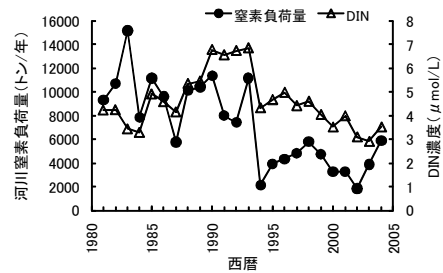
兵庫県立農林水産技術総合センター水産技術センター (674-0093 兵庫県明石市二見町南二見22-2)



第2図 播磨灘北部に流入する主要4河川の流域面積と平水時の河川流量との関係

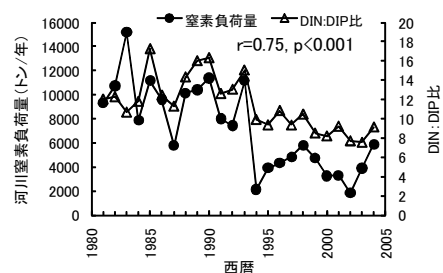
かった。そこで、加古川の一部の年と市川については、以下に示す平水時における揖保川との流量比から年平均流量を推定した。揖保川の年平均流量と各河川の平水時の流量比（兵庫県2005，流量計測地点は第1図に示した）は、加古川（国包）：市川（砥堀）：揖保川（上川原）＝2:1:1.5である。千種川については他の3河川の流域面積と平水時の流量（兵庫県2005）との関係から流量比（1.25）を算出（第2図）することにより推測した。なお、1981～2004年における揖保川の流量データには一部欠測日があるものの、年平均流量と播磨地域に位置する姫路の年間降水量（気象庁ホームページ <http://www.jma.go.jp/jma/index.html>）との間に有意な正の相関（ $r=0.79$, $p<0.001$, $n=24$ ）が認められたため、使用に際して大きな誤差はないと判断した。主要4河川からの窒素負荷量は、前述の方法で収集、算出した各河川の年平均流量（ m^3/sec ）に、各河川の年平均TN値（ mg/L ）を乗じた合計値（トン/年）とした。

播磨灘の水質データは、兵庫県立農林水産技術総合センター水産技術センターが、1978年1月～2009年12月に播磨灘の15定点（原田・反田2011）で毎月1回、月の月上旬に実施した浅海定線調査データ（表層、10m層および海底上1mの3観測層の年平均値）を使用した。なお、河川からの窒素負荷量と播磨灘の栄養塩に関する解析期間は、前述4河川のTN値および流量データが揃っている1981～2004年とし、統計学的解析には、いずれもPearsonの相関係数を使用した。

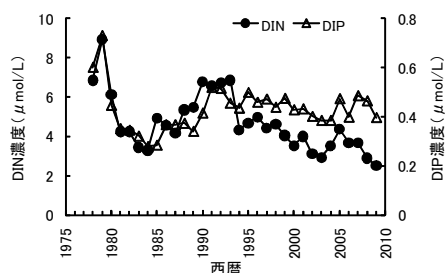


第3図 播磨灘北部に流入する主要4河川の窒素負荷量と播磨灘のDIN濃度（15定点における表層，10m，海底上1mの3層年平均値）の関係

播磨灘のDIN濃度（3層年平均値）と主要4河川からの窒素負荷量の変動を第3図に示した。解析期間全体で比較すると両者の年変動には有意な相関関係は認められなかったが（ $r=0.40$, $p>0.05$, $n=24$ ），1983年のデータを除いて解析した場合，両者には有意な正の相関が認められた（ $r=0.59$, $p<0.01$, $n=23$ ）。また，1981～2004年における4河川の窒素負荷量と，播磨灘の溶存態無機窒素：溶存態無機リン濃度比（3層年平均値の比，以後DIN：DIP比とする）の変動を第4図に示す。両者の変動は良く一致し（ $r=0.75$, $p<0.001$, $n=24$ ），1983年の値を除くと，極めて類似した変動を示した（ $r=0.90$, $p<0.001$, $n=23$ ）。なお，1983年の値は他の年と異なった傾向を示した。この年は揖保川の流量が解析期間を通して最も多く，出水時に負荷濃度が変化したために（中西ら2011），平均濃度を用いた解析では，その負荷量を過大評価している可能性が考えられた。

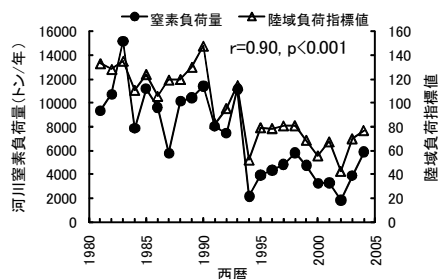


第4図 播磨灘北部に流入する主要4河川の窒素負荷量と播磨灘のDIN:DIP比（15定点における表層，10m，海底上1mの3層年平均値）の関係



第5図 播磨灘15定点におけるDINとDIP濃度の経年変化（表層，10m，海底上1mの3層年平均値）

1981～2004年の播磨灘におけるDIN:DIP比は、1981～1993年にかけて13前後であるのに対し、1994年以降は概ね10以下まで低下した（第4図）。同期間の播磨灘のDINおよびDIP濃度（3層年平均値）の変動を第5図に示した。両値の変動傾向は似ているが、DIN濃度は1993～1994年に急激に低下しており、以後の低下幅もDIPより大きい。また、DINおよびDIP濃度とDIN:DIP比の関係を比較したところ、DIN濃度とDIN:DIP比は、有意な正の相関($r=0.67, p<0.001, n=32$)が認められた。これに対し、DIP濃度との間には有意な相関が認められなかった($r=0.16, p>0.1, n=32$)ことから、播磨灘のDIN:DIP比の経年変化は、DIN濃度に大きな影響を受けていることが明らかである。海域のDIN:DIP比は、赤潮や植物プランクトンの出現状況に影響を与えることが報告されており（吉田 2000；佐藤ら 2005；呉ら 2005）、播磨灘におけるDIN:DIP比の低下と植物プランクトン種組成変化との関連性も指摘されている（Nishikawa *et al.* 2010）。さらに、播磨灘のDIN濃度の変動には、降水量に伴う陸域負荷の関連が示唆されている（原田・反田 2011）。原田・反田（2011）が試算した1981～2004年の陸域負荷指標値と、播磨4河川からの窒素負荷量の変動は同様の傾向を示した（第6図， $r=0.90, p<0.001, n=24$ ）。陸域負荷指標値は、降水量とCOD発生負荷量から算出された指標値である（原田・反田 2011）。本指標値が、河川流量と全窒素濃度から求めた流入負荷量との間に強い相関が認められたことから、



第6図 播磨灘北部に流入する主要4河川の窒素負荷量と陸域負荷指標値（原田・反田 2011）の関係

ら、今後本指標値を経年的な有機汚濁負荷を表す数値として活用できるのではないかと考えられた。

播磨灘北部から流入する主要河川のうち、揖保川は1994年に流域下水道が整備されるまで、下流域では産業排水により非常に汚濁レベルが高かった。また、播磨灘のDIN濃度やDIN:DIP比が急激に低下した時期は、下水道整備によって揖保川の水質が劇的に改善された時期、および水質汚濁防止法や瀬戸内海環境保全特別措置法の改正により、窒素の排水基準設定（1993年）や削減指導（1996年）が策定された時期ともほぼ一致する（赤壁・秋山 1999）。これらのことから、播磨灘のDIN濃度の変動には河川からの窒素供給を主とした陸域負荷が深く関与していると考えられる。さらに、播磨灘のDIN濃度が低下傾向に転じた1990年代半ば以降は、反田・原田（2011）が報告しているとおおり、播磨灘において養殖ノリの色落ち頻度が高まり、漁業生産が低下し始めた時期にも重なる。

眞鍋ら（1994）は播磨灘における栄養塩の主たる供給源は、陸水であることを示唆している。一方、山本ら（1996）は淡水流入による播磨灘に対する単位体積あたりのTN負荷量を $81\text{mgN/m}^3 \cdot \text{yr}$ とし、大阪湾（1100）、備讃瀬戸（530）および広島湾（150）に比べて遙かに小さいことを報告している。他方、瀬戸内海の栄養塩の起源は、その多くが外海由来であるとする報告（武岡ら 2005；石井・柳 2006）や、底泥からの溶出が栄養塩に与える影響についても検討が進

められている(神山ら 1997, 1998; 山本ら 1998; 山本 2008)。また, 中西ら(2011)は河川からの流入負荷算定には, 流量増加に伴う濃度変化を考慮する必要があることを指摘している。これらのことから, 播磨灘における栄養塩濃度の変動に及ぼす陸域負荷の影響についても, 他の要因の寄与も考慮し, 今後更なる検討が必要である。

海洋生物の生産は窒素等の栄養塩のみに影響を受けるのではなく, 埋め立てによる干潟・浅場の消失, 水質汚濁, 食害, 漁獲強度, 地球温暖化に伴う水温上昇等, 大きなインパクトを与える要素は他にも多い。沿岸海域における人類活動と自然環境の調和の実現に向けて, 柳(2006)は里山の考え方を参考に, 里海(人手が加わることによって, 生産性と生物多様性が高くなった海と定義)という概念を提案した。播磨灘では環境行政が功を奏し, かつての極度な汚染状態に比べ, ある程度の水質改善が認められている。一方で, 栄養塩不足や埋め立てによる浅海域の消失等によって, 漁業生産や物質循環への新たな課題が生じてきた。今後, 播磨灘を里海と定義されるような海域として実現するには, 物質循環をスムーズに進める上でも, 栄養塩管理だけに焦点を当てるのではなく, 干潟・浅場の再生や資源管理等の取り組みを並行して進めることが不可欠である。海の世界は本来どうあるべきかを海洋に関わる各行政の共通認識として目標に掲げ, 総合的な施策を展開する必要がある。

謝 辞

兵庫県農林水産技術総合センター水産技術センターの浅海定線調査は, 1973年度から毎月1回の調査が今日まで継続されており, その間本調査に携わった職員ならびに調査船乗組員の皆様に厚く感謝の意を表します。

文 献

- 赤壁哲朗・秋山和裕(1999) 兵庫県における排水中の栄養塩削減の推移. 兵庫県立公害研究所報告, **31**, 59-67.
- 原田和弘・反田 實(2011) 播磨灘の溶存態無機窒素(DIN)の濃度変動に及ぼす降水量および陸域負荷の影響. 兵庫農水技総セ研報(水産編), **42**, 83-86.
- 兵庫県(2005) 播磨灘流域別下水道整備総合計画. 18-21.
- 兵庫県農政環境部環境管理局水質課(1982-2006) 「昭和56年度-平成16年度公共用水域の水質等測定結果報告書」. 神戸.
- 石井大輔・柳 哲雄(2006) 瀬戸内海に存在する太平洋起源のリン・窒素. 沿岸海洋研究, **43**, 119-127.
- 神山孝史・玉井恭一・辻野 睦(1997) 海底堆積物からの栄養塩再生産過程に及ぼす底質・溶存酸素条件. 南西水研研報, **30**, 209-218.
- 神山孝史・辻野 睦・玉井恭一(1998) 夏季成層期の播磨灘海底における栄養塩類溶出量. 南西水研研報, **31**, 33-43.
- 眞鍋武彦・反田 實・堀 豊・長井 敏・中村行延(1994) 播磨灘の漁場環境と植物プランクトンの変動-20年間のモニタリングの成果-. 沿岸海洋研究ノート, **31**, 169-181.
- 中西祐介・西田修三・入江政安(2011) 大阪湾における出水時を含めた流入負荷の実測と再評価. 瀬戸内海, **61**, 59-61.
- Nishikawa T, Hori Y, Nagai S, Miyahara K, Nakamura Y, Harada K, Tanda M, Manabe T, Tada K (2010) Nutrient and phytoplankton dynamics in Harima-nada, eastern Seto Inland Sea, Japan during a 35-year period from 1973 to 2007. *Estuaries Coasts* **33**, 417-427.
- 呉 碩津・松山幸彦・山本民次・中嶋昌紀・高辻英之・藤沢邦康(2005) 近年の瀬戸内海における有害・有毒渦鞭毛藻の分布拡大とその原因-溶存態有機リンの生態学的重要性. 沿岸海洋研究, **43**, 85-95.
- 佐藤博之・山本千裕・寺井千尋(2005) 福岡湾におけ

- る*Heterocapsa circularisquama*赤潮発生年の海域環境について. 福岡水海技セ研報, **15**, 71-75.
- 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・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**, 54-58.
- 山本民次・北村智顕・松田 治 (1996) 瀬戸内海に対する河川流入による淡水, 全窒素および全リンの負荷. 広島大学生物生産学部紀要, **35**, 81-104.
- 山本民次・松田 治・橋本俊也・妹背秀和・北村智顕 (1998) 瀬戸内海海底からの溶存無機態窒素およびリン溶出量の見積もり. 海の研究, **7**, 151-158.
- 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.
- 柳 哲雄 (2006) 里海論. 恒星社厚生閣, 東京.
- 吉田陽一 (2000) 異常発生植物プランクトンの諸特性とその発生機構. 日水誌, **66**, 395-411.