

瀬戸内海を里海として機能させるための里山・川の物質循環機構の解明と環境教育プログラムの実施

(氏名) 杉山裕子

(所属・役職) 岡山理科大学理学部准教授

1. はじめに

美しい瀬戸内海を取り戻す取り組みの歴史は数十年と長いですが、美しくすることが豊かさに直接繋がるわけではないことが明らかになりつつある。瀬戸内海では富栄養化と赤潮による貧酸素化の改善のため、周辺都市で水質調査や排水規制を行ってきた。規制により、瀬戸内海の水質は改善され赤潮の発生は減少したが、1990年代後半から栄養塩不足によるノリの色落ち、漁獲量の減少といった問題が発生するようになった(反田・原田 2012)。このことから、水質を改善するだけでなく、生態系サービスをはじめとしたさまざまな機能を取り戻すことが重要であると考えられる。「美しさ」と「豊かさ」を両立するためには物質循環に関する知識が不可欠である。本研究は、里山から里海への物質循環の繋がりを取り入れた水環境・水系生態系の保全の基礎となる考え方を観測データと陸水学的考察に基づいて提案することを目的として行った。本研究の試験地である播磨灘は、流入河川周辺に里山や都市部・工業地帯が存在するなど陸域からの負荷が大きい海域であり、瀬戸内海の中なかでも栄養塩濃度が比較的高いとされている。本研究では、播磨灘と、その主な流入河川である揖保川・市川・加古川に着目し、栄養塩類の形態別分析、クロロフィル a 濃度分析・溶存有機物の濃度分析と蛍光分析を行った。また、物質循環を意識した環境教育プログラムの実施を試みた。

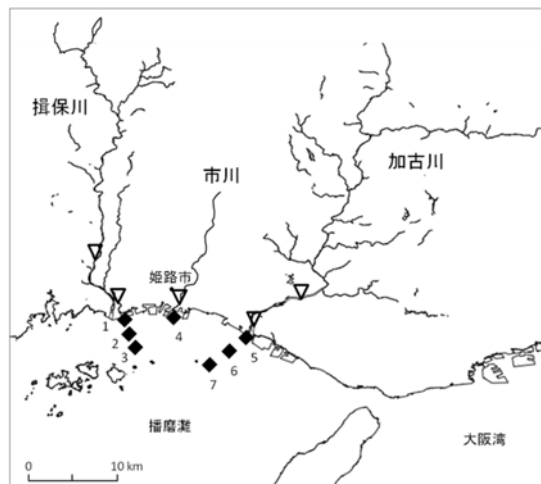


図 1: 播磨灘と流入河川における試料採取地点。それぞれの試料採取地点は、河川水を▽、海水を◆で示す。

2. 方法

2014年9月、12月に揖保川・市川・加古川の中流・下流および播磨灘において調査及び試料の採取を行った(図1)。海水は9月には表層で、12月に表層と中間層で採取した。河川水と海水表層水はプラスチック製バケツを用いて、また表層水以外の水深の海水はバンドーン型採水器にて採取した。採取したサンプルは実験室に持ち帰り、その日のうちにGF/Fフィルターおよびメンブレンフィルターでろ過し分析まで冷暗所にて保存した。溶存有機炭素濃度(DOC)、アンモニア態窒素濃度(NH₄-N)、亜硝酸態窒素濃度(NO₂-N)、硝酸態窒素濃度(NO₃-N)、リン酸態リン濃度(PO₄-P)測定用の試料はGF/Fフィルターで濾過し、ケイ酸態ケイ素濃度(SiO₂-Si)測定用にはメンブレンフィルターで濾過した試料を用いた。各栄養塩濃度はBran+Lubbe社製オートアナライザ(QuAAtro)で測定した。DOC濃度は島津製作所製全有機体炭素計(TOC-5000A)、クロロフィルa濃度は島津製作所製紫外可視

分光光度計(UVmini-1240)で測定した。また、溶存有機物の濃度・蛍光特性を明らかにするため、三次元励起蛍光スペクトルを堀場製作所製の蛍光分光光度計 Aqualog を用いて測定した。

3. 結果と考察

3-1. 栄養塩類の動態

2014年9月・12月の表層海水の栄養塩濃度測定の結果、NH₄-N濃度は0.018-0.446 mg/L、NO₂-N濃度は0.004-0.058 mg/L、NO₃-N濃度は0.005-0.204 mg/L、PO₄-P濃度は0.005-0.092 mg/L、SiO₂-Si濃度は0.015-4.332 mg/Lの値を示した。

NH₄-N濃度は9月の揖保川河口で0.446 mg/Lと高い値を示した以外は、9月・12月の河川間、沖合間の値に大きな違いは見られなかった。NO₂-N濃度は河口において揖保川河口が0.058 mg/L、加古川河口が0.050 mg/Lと、市川河口の0.004 mg/Lと比べて高い値を示した。また、NO₃-N濃度も河口で9月の揖保川河口が0.204 mg/L、加古川河口が0.173 mg/Lと、市川河口の0.005 mg/Lと比べて高い値を示した。12月はNO₂-N濃度、NO₃-N濃度ともに9月と比べて河川間、沖合間に大きな違いは見られなかった。PO₄-P濃度は河口で9月に揖保川河口0.079 mg/L、市川河口0.055 mg/L、加古川河口0.033 mg/Lの順で高い値を示したが、12月は加古川河口0.092 mg/L、市川河口0.055 mg/L、揖保川河口0.046 mg/Lの順で高い値を示した。SiO₂-Si濃度は9月の揖保川河口で4.332 mg/Lと、市川河口0.034 mg/L、加古川河口0.273 mg/Lと比べて高い値を示した。12月は揖保川河口1.062 mg/L、市川河口0.491 mg/L、加古川河口1.693 mg/Lと9月ほど河川間に大きな違いは見られなかった。

このように9月・12月の各沖合表層海水の栄養塩濃度の変動から、河川から沿岸域に供給される栄養塩濃度やその形態に、河川ごと、季節ごとの違いが見られた。また9月の揖保川河口において、(1) いずれの栄養塩濃度も高い値を示したこと、(2) 塩分が0.9%と加古川河口(3.0%)と市川河口(3.0%)より低いことから、揖保川河口は2河川河口より陸域の寄与が大きいと考えられる。

9月と12月の結果を比較すると、12月は河口から沖合にかけての栄養塩濃度の値の変動が9月ほど顕著でなかった。これは12月の表層海水では植物プランクトンによる栄養塩類の取り込みが9月ほど大きくなかったためだと推測される。

3-2. DOC濃度の変動とクロロフィル a の分布

2014年9月・12月のDOC濃度測定の結果、河川水のDOC濃度は0.5-2.7 mgC/L、海水は1.1-2.7 mgC/Lを示した。河川のDOC濃度は、9月は揖保川<市川<加古川の順で高い値を示し、下流で増加する傾向が見られた(図2(a))。12月は揖保川<加古川<市川の順で高く、加古川を除き下流で高い値を示した(図2(c))。季節による違いがあるものの、中—下流域の間で溶存有機物の流入があると考えられる。

沿岸のDOC濃度は、9月の揖保川沖合地点1で急激な増加が見られた以外は、

河口から沖合まで値の変動はなく、3 河川沖合間にも、大きな違いは見られなかった（図 2(b)）。12 月は 3 河川沖合ともに河口から沖合まで大きな変動はなく、3 河川沖合間でもほぼ同様な値を示した（図 2(d)）。

クロロフィル a 濃度は 1.4-10.1 $\mu\text{g/L}$ の値を示した。播磨灘における 9 月のクロロフィル a 濃度は、市川河口(10.2 $\mu\text{g/L}$)、加古川河口(6.6 $\mu\text{g/L}$)、揖保川河口(1.4 $\mu\text{g/L}$)の順で高い値を示した。加古川沖合では沖合に行くにつれて減少したのに対し、揖保川沖合では増加する傾向が見られた。揖保川沖合において、クロロフィル a 濃度は栄養塩濃度に対して逆の相関を示し、9 月の揖保川沖合では、揖保川から負荷された豊富な栄養塩を植物プランクトンが取り込み、一次生産を行っていることが分かった。12 月のクロロフィル a 濃度は 2.0-6.9 $\mu\text{g/L}$ を示し、9 月同様に市川河口(6.9 $\mu\text{g/L}$)、加古川河口(6.0 $\mu\text{g/L}$)、揖保川河口(4.2 $\mu\text{g/L}$)の順で高い値を示した。

3-3. 溶存有機物の蛍光特性

2014 年 9 月の三次元蛍光スペクトル測定の結果、腐植様物質ピーク（励起波長 Ex. / 蛍光波長 Em. : 294-318 / 406-439nm）とタンパク質様ピーク（Ex./Em. : 270-288 / 330-350 nm）が得られた（図 3）。

蛍光強度は、腐植様物質ピーク、タンパク質様ピークともに揖保川より市川、加古川で高く、特に加古川の腐植様物質ピークは、2 河川より蛍光波長が低波長側にピークが得られるなど、河川によって溶存有機物の蛍光特性が異なると考えられる。加えて、DOC 濃度が下流で増加しているにもかかわらず、河川の蛍光強度は 3 河川ともに下流で低くなる傾向が見られた（図 3(a), (b)）。DOC 濃度の変動を考慮すると、流量増加による見かけの濃度の減少は考えにくい。したがって、生物活動もしくは支流や排水の流入により、非蛍光性有機物の割合が高い溶存有機物が負荷されていると考えられる。

沿岸では、揖保川河口表層で腐植様物質ピークの蛍光強度が高く、河口から沖合にかけてこの蛍光強度が減少する傾向が見られた（図 3(c)-(e)）。蛍光強度の高さは揖保川より低い、加古川沖合でも沖合に行くに従い減少する傾向が見られた。また揖保川沖合のスペクトルでは、河川や河口のスペクトルに比べて励起波長が低波長側にピークが得られたことから、沖合の溶存有機物は河川や河口の溶存有機物と蛍光特性が異なると考えられる。

3-4. 環境教育プログラムの実施

3-4-1. 兵庫県立柏原高等学校における環境教育の実施

2014 年 8 月 11 日、兵庫県立柏原高等学校実施の「知の探究コース」夏季校外学習において、兵庫県姫路市香寺町須加院「はりま里山研究所」の里山と河川（市川上流部）にて高校生向け環境教育を行った。里山では、兵庫県立大学環境人間

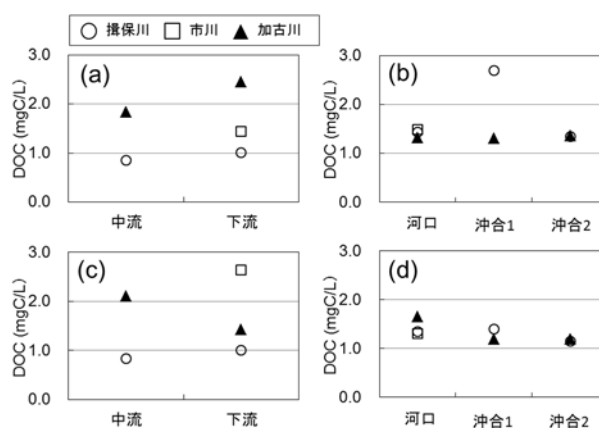


図 2 : DOC 濃度の水平分布。それぞれ(a)9 月の各河川水、(b)9 月の各河川沖合の海水、(c)12 月の各河川水、(d)12 月の各河川沖合の海水の結果を示す。

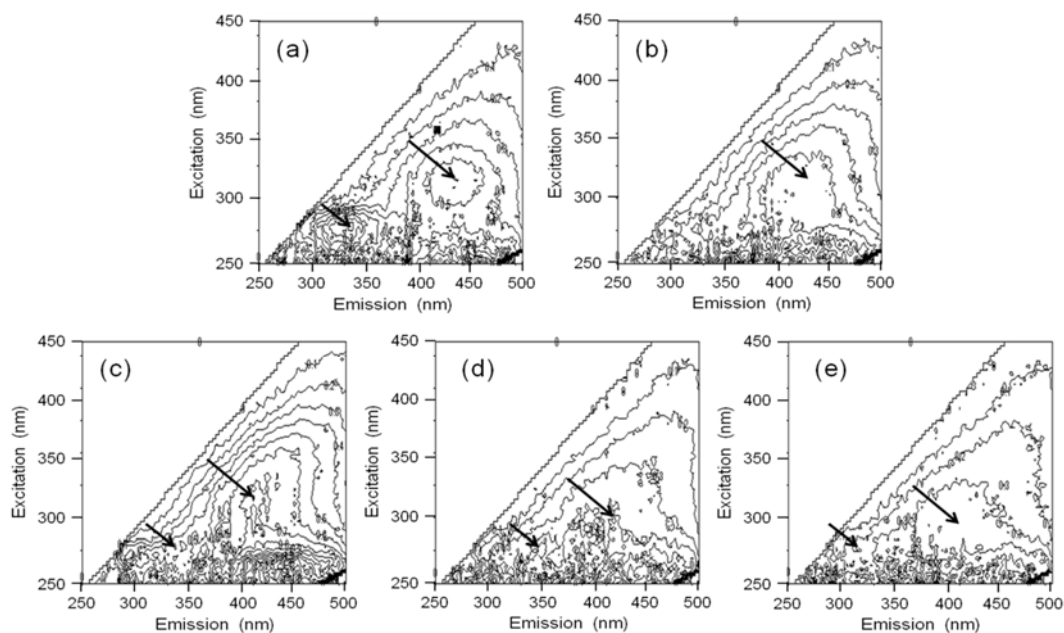


図 3：三次元蛍光スペクトル。例として 2014 年 9 月の揖保川河川水と揖保川沖海水のスペクトルを示す。それぞれ(a)揖保川中流、(b)揖保川下流、(c)揖保川河口、(d)揖保川沖合 1、(e)揖保川沖合 2、のスペクトルである。また、

学部 熊谷哲教授による里山の利用とこれからの活用法の体験講義を、河川では簡易水質検査キット「パックテスト」を用いての体験調査を行い、里山・河川・海までの物質動態、生態系や人間活動との関係性を理解してもらえるよう努めた。

3-4-2. 兵庫県立加古川南高等学校における環境教育の実施

2014 年 6 月～12 月、兵庫県立加古川南高等学校において、兵庫県立大学環境人間学部 熊谷哲教授の指導のもと、簡易水質検査キット「パックテスト」や紫外線吸光光度計を用いて水質分析の体験を実施した。また分析結果は、2015 年 2 月 1 日に神戸国際展示場で行われた「サイエンスフェア in 兵庫」にて、高校生ら自ら発表を行い、身近な河川の水質と周辺環境とのつながりについて理解・考察を深めた。

参考文献

原田・反田 (2011) 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、兵庫農水技総セ研報 (水産)、42、87-91