児島湾における堆積物中有機物の分布と炭素・窒素安定同位体比

石 黒 貴 裕*1·辻 本 彰*2·野 村 律 夫*2

Distribution of Sedimentary Organic Matter and the Carbon and Nitrogen Stable Isotope Ratios in Kojima Bay

Takahiro Ishiguro, Akira Tsujimoto and Ritsuo Nomura

備讃瀬戸中央部に位置する児島湾は、岡山市街地の南 に位置する内湾である。沿岸農地の増加に伴う用水不足 と干害,塩害を防ぐ目的で1959年に締切堤防が建設され、 湾の一部が締切られた。同湾には、締切堤防の上流域に 形成された児島湖と旭川、吉井川からの栄養塩が供給さ れており、その豊富な餌環境のため水産上有用な魚種の 稚魚が多く生息している¹⁾。そのため,湾内だけでなく周 辺海域の水産業や生態系にとっても重要な海域である。

しかしながら,締切堤防近傍の湾奥部では底質が悪化 しており,夏季には貧酸素水塊が形成され,多くの底生 生物に致命的な影響を与えている²⁾。底生生物の減少は それらを餌とする生物にも悪影響を与えるため³⁾,周辺 海域の生態系を維持するためにも,同湾における底質環 境の改善は必須である。児島湾の湾奥の底質が悪化した 理由としては,締切堤防の建設によって潮流が弱まり⁴⁾, 有機物を大量に含んだ泥が堆積したことが要因となって いるが⁵⁾,底泥中の有機物の分布と起源についての知見 が少ないため,底質悪化の要因は不明な点が多い。

陸水と海水が混合する汽水域における有機物は、大き く海起源と陸起源に分けられる。そして、これらの起源 として重要な一次生産者は、生成・生産環境に対応した 炭素・窒素安定同位体比(*δ*¹³C、*δ*¹⁵N)を示し、どち らも海起源有機物の含有量が多いほど値が上昇し、陸起 源有機物の含有量が多いほど値が低下する⁶⁾。また、*δ* ¹⁵Nについては、¹⁵Nに富んだ排水起源窒素の流入や、同 位体分別の大きい脱窒作用によって増大することが知ら れている⁷⁾。これらのことから、沿岸浅海域における堆 積物中の*δ*¹³C、*δ*¹⁵N値は、時空間的に多様な安定同位 体比分布を示し、有機物のフロー解析に用いられる⁸⁾。

本研究では、貧酸素水塊の生成と関係が深い児島湾の

*2 島根大学教育学部

堆積物中の有機物分布と堆積有機物中の炭素・窒素安定 同位体比を用いて有機物の起源を調べ,同湾の底質悪化 の要因について考察を行った。

材料と方法

2013年8月31日と9月12日に、図1に示した45定点に おいて、エクマンバージ型採泥器(離合社製、5141A) を用いて底泥を採取した。採取した底泥の表面から約 3cmまでの表層堆積物を試料とし、中央粒径値(Md ϕ), 化学的酸素要求量(COD),強熱減量(IL),全有機炭 素量(TOC),酸揮発性硫化物(AVS),炭素安定同位 体比(δ^{13} C),窒素安定同位体比(δ^{15} N)を分析した。 また、10月14日に、海起源有機物として湾外の犬島から 東に100mの付近で7サンプル、陸起源有機物として児 島湖内の締切堤防付近で7サンプル、旭川のクラレ堰上 流で2サンプルを上記と同様の方法により表層堆積物を 採取し、 δ^{13} C, δ^{15} Nを分析した。

Md ϕ はレーザー回析式粒度分布測定装置(島津製作 所社製, SALD-3100)を用いて得られた粒度分布から 算出した。COD, IL, AVSの分析は水質汚濁調査指針⁹⁾ に従った。TOC及び δ ¹³Cは分析の前に酸処理を施した 試料, δ ¹⁵Nは酸処理前の試料について,元素分析計 (Costech社製, ECS 4010)と質量分析計(Finnigan社製, Delta PlusXL)を連結した自動分析システムによりそれ ぞれ分析した。 δ ¹³Cと δ ¹⁵Nは下に示す標準物質からそ れぞれの相対千分率で表示した。

 δ^{13} C, δ^{15} N=(R_{sample}/R_{standard}-1) × 1000

(1)

^{*1} 現所属:岡山県農林水産総合センター普及連携部普及推進課





図1 調査定点図

 R_{sample} は¹³C/¹²Cまたは¹⁵N/¹⁴Nを示し、標準試料は、 δ^{13} CはPDB、 δ^{15} Nは大気中の窒素ガスの値を用いた。

なお,本研究では便宜上,締切堤防から児島湾大橋ま での17定点を湾奥部,それ以外の28定点を湾口部とし, それぞれの分析項目について,*t*検定を用いて湾奥部と 湾口部で値を比較した。

結 果

Md φ は, 湾奥部で7.0±0.9(平均±標準偏差), 湾口 部で6.4±1.8と, 湾奥部と湾口部で差は見られず (*p*>0.05), 湾全体がシルト及び粘土質¹⁰⁾となっていた(図 2 a)。

CODは, 湾奥部で26.8±5.5mg/g, 湾口部では18.9± 8.2mg/gとなり, 湾奥部は水産用水基準で望ましいとさ れる値(20mg/g)を超えており, 湾口部よりも有意に 高い値を示した(p<0.05)(図2b)。

Ⅱは、湾奥部で11.8±1.8%、湾口部では8.0±3.2%となり、湾奥部は湾口部と比べて有意に高い値を示した (p<0.05)(図2c)。</p>

TOCは, 湾奥部で22.2±4.1mg/g, 湾口部で16.2± 7.4mg/gとなり, 湾奥部は湾口部と比べて有意に高い値 を示した (*p*<0.05) (図2d)。

AVSは、湾奥部で0.8±0.7mg/g,湾口部で0.1±0.1mg/ gとなり、湾奥部は水産用水基準で望ましいとされる値 (0.2mg/g)を超えており、湾口部よりも有意に高い値 を示した (*p*<0.05) (図2e)。

δ¹³Cは, 湾奥部で-24.1±0.7‰, 湾口部で-23.8±0.8‰, となり, 湾奥部と湾口部に有意な差は見られなかった (*p*>0.05)が,湾中央付近を境に,湾口側よりも湾奥側の方で2~3%低い傾向が見られた(図3a)。また,児島湖は-27.0±0.2‰,旭川は-25.1±0.1‰,犬島は-22.0±0.3‰を示した。

 δ^{15} Nは,湾奥部で7.3±0.7‰,湾口部で6.3±1.0‰となり,湾奥部は湾口部よりも有意に高い値を示した (p<0.05)(図3b)。また,児島湖は8.1±0.2‰,旭川は5.1 ±0.1‰,犬島は9.0±0.3‰を示した。

考 察

児島湾内の底質は全域でシルト及び粘土質であった が、堆積物中の有機物量は湾奥部で最も高く、富栄養状 態であった(図2a-e)。また、 δ^{13} Cは湾奥部と湾口部 で差が見られなかったが(図3a)、 δ^{15} Nは湾奥部が湾 口部よりも高かったため(図3b)、高い δ^{15} Nをもつ有 機物が湾奥部に流入している可能性が考えられた。

そこで、湾奥部に流入する陸域起源有機物として児島 湖,旭川と,海域起源有機物として犬島でそれぞれ採取 した堆積物の δ^{13} C及び δ^{15} Nと、湾内の堆積物の値を比 較した(図4)。湾口部の定点では旭川と犬島を結ぶ線 上付近に位置していたが、湾奥部の定点は湾口部よりも δ^{15} Nが高く,児島湖及び犬島と、旭川の δ^{15} Nの中間に位 置していた。このことにより、生活排水や農業排水によっ て δ^{15} Nが高くなった児島湖の湖水が湾内に流入したこ とで湾奥部の底質に影響を与えていると推察された。

次に,湾奥部における児島湖の影響の度合いを明らか にするため、 δ^{13} C, δ^{15} Nを用いて湾内の堆積有機物に おける児島湖の寄与率を以下の式を用いて算出した。



図2 児島湾の表層堆積物における (a) Md φ, (b) COD, (c) IL, (d) TOC, (e) AVSの分布



図3 児島湾の表層堆積物における(a) δ^{13} C,(b) δ^{15} Nの分布

$$\begin{split} \delta &= f_{\rm c} \, \delta \, {\rm c} + f_{\rm r} \, \delta \, {\rm r} + f_{\rm t} \, \delta \, {\rm t} \\ \rho &= f_{\rm c} \, \rho \, {\rm c} + f_{\rm r} \, \rho \, {\rm r} + f_{\rm t} \, \rho \, {\rm t} \\ f_{\rm r} + f_{\rm t} + f_{\rm c} = 1 \end{split}$$

ここで、 f_c :海起源有機物の寄与率、 f_r :河川起源有 機物の寄与率、 f_t :児島湖起源有機物の寄与率、 δ_c :海 起源有機物の δ^{13} C(-22.0‰)、 δ_r :河川起源有機物の δ^{13} C(-25.0‰)、 δ_t :児島湖起源有機物の δ^{13} C(-27.0‰)、 δ_s :湾内の堆積物中の有機物の δ^{13} C、 ρ_c :海起源有機 物の δ^{15} N(9.0‰)、 ρ_r :河川起源有機物の δ^{15} N(5.1‰)、 ρ_t :児島湖起源有機物の $\delta^{15}N$ (8.1‰), ρ_s :湾内の堆 積物中の有機物の $\delta^{15}N$ をそれぞれ示す。以上の方法で 算出した各起源有機物の寄与率の分布を図5に示し,t検定を用いて湾奥部と湾口部の値を比較した。児島湖起 源有機物の割合は湾奥部の方が湾口部よりも有意に高く (p<0.05),最大で30%を越えた点が見られた。一方,河 川起源有機物は湾奥部の方が湾口部よりも有意に低く (p<0.05),海起源有機物の割合は湾奥部と湾口部で差は 見られなかった (p>0.05)。河川起源有機物は児島湾内 に広く分布すると考えられるが,湾奥部では児島湖起源



 $\delta^{13}C(\%)$

図4 湾内,児島湖,旭川,犬島周辺における表層堆積物のδ¹³C,δ¹⁵N値の比較
 ●:湾奥部,×:湾口部,◇:児島湖,□:旭川,△:犬島



0 20 40 60 80 100

図5 児島湾の表層堆積物中における各起源有機物の寄与率の分布 (a)児島湖起源 (b)河川起源 (c)海起源

有機物が大量に堆積するため,相対的に寄与率が低かっ た。また,児島湖起源有機物は,締切堤防から排出され た後,湾奥部で速やかに沈降堆積し,湾奥部における底 質悪化の重要な要因になっていると考えられた。

以上のような堰上流の有機物が堰下流の底質に影響を 与える事例は河口域でも報告されている。河川に河口堰 が構築されると浮遊藻類の増殖が促進され¹¹⁾,本来無機 物として河川から供給される窒素,リン等が植物プラン クトンなどの有機物として供給され,沿岸海域の有機物 量を増加させることが報告されている¹²⁾。また,諌早湾 においても,淡水湖内で再浮上した底泥と淡水性の植物 プランクトンが底質悪化の要因として推察されている¹³⁾。

一般的に夏季底層における貧酸素水塊は,成層の発達 による底層への酸素の供給阻害や,赤潮発生による底質 悪化が形成要因として挙げられることが多い^{14,15)}。しか し,堰が構築された水域では,これらに加えて堰上流で 生成された有機物の影響も無視できない要因であると考 えられた。

文 献

- 草加耕司・亀井良則・小見山秀樹、2013:播磨灘北西部における魚卵・仔稚魚の出現状況、岡山水研報告、28, 5-17.
- 高木秀蔵・石黒貴裕・弘奥正憲,2013:児島湾における底質 環境の現状と貧酸素水塊の動態に関する現地観測,Laguna,
 20,45-59.
- 3)鈴木輝明・青山裕晃・甲斐正信・今尾和正,1998:底層の貧酸素化が内湾浅海底生生物群集の変化に及ぼす影響。海の研究,
 7,223-236.
- 4) 宮野 仁・柴木秀之,1998:湾奥の締切りが海底地形に及ぼ す影響について、海岸工学論文集,45,466-470.

5) 天野敦子·金 廣哲·小野寺真一·佐藤高晴·清水裕太·斎

藤光代,2012:岡山県児島湾における堆積物を用いた過去100年 間の海底環境変遷と人造湖形成の影響評価,陸水学会誌,**73**, 217-234.

- 6)山田佳裕・吉岡崇仁,1999:生態系の新たな切り口としての 安定同位体:安定同位体からみえる生態系のダイナミズム-水 域生態系における安定同位体解析,日本生態学会誌,49,39-45.
- 7) A. KOHZU, I. TAKASU, C. YOSHIMIZU, A. MARUYAMA, Y. KOHMATSU, F. HYODO, Y. ONODA, A. IGETA, K. MATSUI, T. NAKANO, E. WADA, T. NAGATA and Y. TAKEMON, 2008 : Nitrogen Stable Isotopic Signatures of Basal Food Items, Primary Consumers and Omnivores in Rivers with Different Levels of Human Impact., *Ecological Research*, 24, 127-136.
- 8)高井則之,2005:瀬戸内海の生態系解析における有機物質フローの指標としての炭素・窒素安定同位体比,日本生態学会誌,55,269-285.

- 9) 日本水産資源保護協会, 1980:水質汚濁調查指針, 237-261.
- C. K. WENTWORTH, 1922 : A Scale of Grade and Class Terms for Clastic Sediments. J. of Geology, 30, 377-392.
- 村上哲生・黒田伸郎・田中豊穂,1998:長良川下流域の浮遊 藻類発生に及ぼす河口堰の影響,陸水学会誌,59,251-262.
- 12) 山田佳裕・三戸勇吾・堤 裕昭,2011:降水量の少ない地域 における水質汚濁の著しい河川から沿岸域への有機物供給,沿 岸海洋研究,49,79-89.
- 13) 柳 哲雄,2004:貧酸素水塊の生成・維持・変動・消滅機構 と化学・生物的影響,海の研究,13,451-460.
- 14) 丸茂恵右・横田瑞郎,2012: 貧酸素水塊の形成および貧酸素の生物影響に関する文献調査,海生研研報,15,1-21.
- 15) 岡村和麿・田中勝久・木元克則・清本容子,2005:有明海奥 部と諫早湾における表層堆積物中の有機物の分布と有機炭素安 定同位体比,海の研究,**15**,191-200.