

VII-57 数値解析による河口・沿岸域におけるフミン鉄の供給範囲の把握

東北大学大学院 学生員 ○大友俊 藤井学

東北大学大学院 正会員 大村達夫

1. はじめに

河口・沿岸域は、河川から高濃度の栄養塩や有機物質、微量金属が流入することで生物生産性が高く、古くから養殖業等の場として活用されてきた。河口・沿岸域生態系を保全することは、水産業及び環境保護など、多角的側面から必要不可欠である。微量金属の中でも鉄は、食物連鎖の根底を担う一次生産者が窒素固定や光合成を行う際の必須金属であることが認識されている。

環境水中において生物利用可能な鉄の多くは、フミン物質と錯体を形成（フミン鉄）して存在している。しかし、流域での森林伐採によるフミン鉄の供給量変動が河口・沿岸域生態系崩壊の引き金となっている事例が、世界各地で報告されている¹⁾。そこで、河口・沿岸域生態系保全のためには、従来の水質基準に加え、流域での鉄の挙動にも着目した総合的な流域管理が望まれる。

以上より本研究では、河口・沿岸域におけるフミン鉄の供給範囲を把握することを目的とした。具体的には、松島湾集水域でのフミン鉄の空間的分布及び季節変化を調査し、物理化学的特性を考慮した数値解析により流域環境変化に伴うフミン鉄の動態変動をシミュレートした。

2. フミン鉄に関する調査及び数値解析方法

2.1 調査・分析方法

本研究は、宮城県松島湾集水域を対象とした。調査は2003年11月～2004年10月に渡り、毎月実施した。

各地点では表層水を採取し、0.45μmメンブレンフィルターで濾過したサンプルに対して、DOC濃度、紫外線吸光度(254nm)、Ferrozine発光試薬により溶存鉄濃度を測定した。また、XAD-16樹脂を用いて濾液からフミン物質を分離し、分離した溶液のDOC濃度、紫外線吸光度及び分子量分布を測定した。各調査地点では、pH、電気伝導度及び水温をそれぞれ測定した。塩濃度は電気伝導度により換算した。本研究において、溶存態物質は粒径が0.45μm以下の物質と定義した。

2.2 物理化学的特性を考慮したフミン鉄の動態モデル

(1) 数値解析対象領域の設定及び計算諸条件

松島湾集水域における7.5km×7.5kmの領域を解析対象領域とした。拡散係数は、 $K_x=1.0 \times 10^5$ (汀線水平方

向)、 $K_y=0.5 \times 10^5$ (鉛直方向) (cm^2/sec)とした。潮汐運動として、波高は $\eta=0.55(\text{m})$ 、周期を $T=12(\text{h})$ とした。計算手法は差分法を用いた。流れの計算はleap-frog法を用い風上差分法により行った。高城川の環境変化に伴うフミン物質供給範囲の変動を予測するため、流量は5, 10, 20, 40, 80 m^3/s の5通りで変化させた。湾内においてフミン物質濃度が河川からの供給量である1.0 mg/L の5%以上である領域を、フミン物質供給範囲と定義した。

(2) 潮流及び物質拡散に関する基礎方程式

河口・沿岸域での潮流及び物質拡散に関する基礎方程式として、水深方向に積分を行った連続の式、Navier-Stokesの式、拡散方程式を用いた(式(1)～(4))。

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{M^2}{H} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{MN}{H} \right) = -gH \frac{\partial \eta}{\partial x} - \frac{gn^2}{H^{7/3}} M \sqrt{M^2 + N^2} \quad (2)$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{MN}{H} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{N^2}{H} \right) = -gH \frac{\partial \eta}{\partial y} - \frac{gn^2}{H^{7/3}} N \sqrt{M^2 + N^2} \quad (3)$$

$$\frac{\partial C}{\partial t} = -U \frac{\partial C}{\partial x} - V \frac{\partial C}{\partial y} + \frac{1}{H} \frac{\partial}{\partial x} \left[H \cdot K_x \frac{\partial C}{\partial x} \right] + \frac{1}{H} \frac{\partial}{\partial y} \left[H \cdot K_y \frac{\partial C}{\partial y} \right] \quad (4)$$

M, N は流速フラックス($\text{m}^3/\text{m}^2\text{s}$)、 η は波高(m)、 H は全水深(m)、 g は重力加速度(m/s^2)、 n はマンニングの相当粗度、 C は拡散物質濃度(mg/L)、 U, V は平均流速(m/s)である。

(3) フミン鉄の錯平衡モデル

フミン鉄の錯平衡変化は、式(5)で表されるPoisson-Boltzmann方程式を基礎としDebye-Huckel理論により構築された錯平衡モデルを用いた。

$$\theta_{Fe(s)} = \sum_{n=1}^j \alpha_n \left[\frac{K_{n,im} \exp \left(-\frac{dW_{el(Fe)}}{kT} \right) \times 10^{-2}}{1 + K_{n,im} \exp \left(-\frac{dW_{el(Fe)}}{kT} \right) \times 10^{-2}} \right] \quad (5)$$

ここで、 $\theta_{Fe(s)}$ はあるイオン強度 S でフミン物質吸着サイトに占める鉄の割合、 α_n はフミン物質吸着サイトに対する $Site(n=1 \sim 3)$ の占有率、 $dW_{el(Fe)}$ はイオン強度増加に伴う鉄の静電的自由エネルギーの増加量[J]、 $K_{n,im}$ はイオン強度0での $Site(n)$ と鉄の本質的平衡定数、 T は絶対温度[K]、 k はボルツマン定数[J/K]を表す。 $Site1 \sim 3$ は鉄との親和性から実験結果に従い分類されている($Site1 < Site2 < Site3$)。

(4) フミン鉄濃度の算出方法

フミン鉄濃度 F は以下の式(6)で表現した。

$$F = C \times \theta_{Fe(s)} \times \rho_{site} \quad (6)$$

Cはフミン物質濃度(mg/L), ρ_{site} はフミン物質の結合サイト密度(9.08meq/g)である。

3. 結果及び考察

3.1 DOC濃度の空間的分布及び季節変化

図-1に松島湾集水域におけるDOC濃度の空間的分布及び季節変化を示した。河川水中(St.10~13)のDOC濃度は湾内と比較しかなり高い値を取り、年間を通して1.0~5.4mg/Lの間で変動した。河川水中のDOC濃度は春から夏にかけて増加し、6月と7月にピークを示した。温暖な地域における一般的な河川では、夏期の流量増加時にDOC濃度も同様に増加する傾向にある。即ち、春から夏にかけて、河川流量とそれに伴う陸域有機物質の供給が増加し、高城川のDOC濃度も増加したと考えられる。

湾内(St.1~9)において、DOC濃度は0.5~3.0mg/Lの範囲で変動し、河川と同様に春から夏にかけてDOC濃度が上昇する傾向が見られた。湾内でのDOC濃度は河川よりも低い。全体的に一般的な海水のDOC濃度(およそ0.7mg/L)よりは高い値を示した。栄養が十分な水域において、一次生産力は水温や光に大きく制限されるため、一次生産力は春と夏に増加し、秋と冬に減少する傾向がある。以上から、春から夏にかけて湾内のDOC濃度が上昇した一つの要因として、水温の上昇や光量の増加に伴い生物生産性が活発になったことが挙げられる。

高城川4地点でのフミン物質炭素濃度の年平均値は1.87~2.15mgC/Lであり、DOC濃度の55.8%~65.4%を占めていた。これより、高城川のDOMの多くは陸域の植物を由来とするフミン物質から成り立っていたと言える。

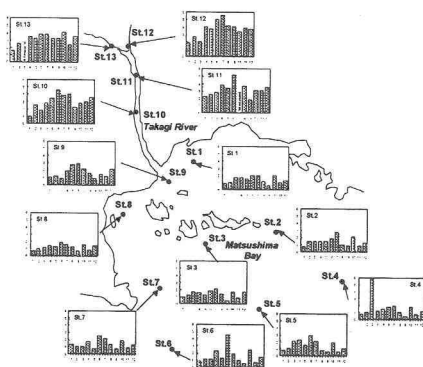


図-1 松島湾集水域におけるDOC濃度の空間的分布及び季節変化。横軸は調査月、縦軸はDOC濃度(mg/L)を表す。縦軸の最大値は6mg/Lである。

3.2 松島湾集水域における鉄の挙動

河川内(St.10~St.13)において、溶存鉄濃度は年間を通して0.11~5.46 μ Mの範囲で、湾内(St.1~St.9)では0.04~1.03 μ Mの範囲で変動しており、河川内と比較し湾内で

はかなり低い値を示した。湾内では11月から3月まで比較的濃度が高く、季節変化が見られた。

3.3 数値解析によるフミン鉄の供給範囲の把握

河川流量が5~80m³/sのいずれの場合でも、フミン物質が河口地点から約5.8kmの範囲まで及んでいた(図-2)。高城川から供給されるフミン物質はその挙動が保存されたとすると、河川流量に依らず約5.8kmの範囲まで供給されると考えられる。即ち、高城川から最も遠いSt.4~St.6においても、河川からフミン物質が供給されていると考えられる。特に、フミン物質濃度が最も低く算出されたSt.6において、その濃度は比較的低いものの(河川の約9~11%)、十分河川より供給されていると考えられる。

河川流量が5m³/sから80m³/sに増加すると、河川の影響を比較的受けやすい河口付近に位置するSt.1及び河口地点であるSt.9において、両地点ともフミン物質濃度が約1.6倍増加し、一方、St.1及びSt.9に比べ河川の影響を比較的受けにくいSt.2~8においては高々約1.1~1.2倍程度の増加だった。以上のように、河川の影響を受け易い河口付近では、河川流量の変動に伴うフミン物質濃度変化が著しいことが明らかとなった。一般に、河川流量は季節的影響を受ける。即ち、河口付近におけるフミン物質濃度は、季節変化に強く影響を受けると考えられる。

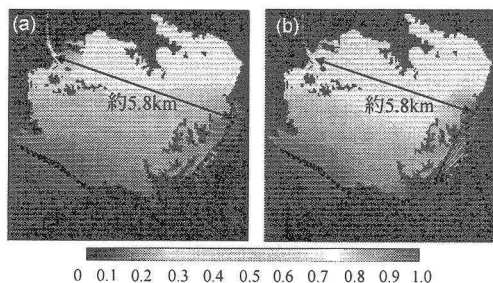


図-2 高城川流量が(a)5m³/s、(b)80m³/sの場合での松島湾における陸域由来フミン物質の濃度分布。

4. まとめ

河口・沿岸域における水生植物の生長制限因子であるフミン鉄の挙動を、調査及びフミン鉄の物理化学的特性を考慮した数値解析により把握することができた。

謝辞

本研究の一部は、日本学術振興会科学研究費補助金基盤研究(A)「豪州 Moreton湾における毒素生産シアノバクテリアの増殖メカニズムの解明」(研究代表者: 大村達夫) によって行われたことを報告する。

参考文献

1) Albert, S. et al. (2004). *Marine Pollution Bulletin* (In Press).