

瀬戸内海における栄養塩と一次生産力の分布・変動特性

広島大学 正会員 駒井克昭
中国地方整備局 正会員 松岡純作

水資源開発公団 仁子幸子
広島大学 正会員 日比野忠史

1. はじめに

瀬戸内海は水質総量規制等により流入負荷が削減されているにもかかわらず、水質の改善が進んでいない海域であり、海域の有機汚濁は水域の富栄養化に起因する内部生産に支配されていると考えられる。本研究では、中国地方整備局で行われている瀬戸内海総合水質測定調査の結果を用いて、瀬戸内海全体の広域的な水質変動機構を把握し、総合的かつ長期的な環境影響評価を行うための栄養塩と一次生産の評価手法について検討する。

2. 瀬戸内海総合水質測定調査の概要

解析では1982-1999年の瀬戸内海総合水質調査データを用いる。調査測点および調査項目はFig.1に示されている。調査は項目別に年4回あるいは年2回行われ、上下2層で測定されている。データの取得に際しては、各期において数日間から数週間かけて実施されているため、これらのデータから広域での数日間の変化を見出すことは不可能であるが、広域での季節の変動特性を含むデータとして活用が可能である。

3. 生態系モデルによる一次生産の推定

3.1 モデルの概要

植物プランクトンの生物過程を考慮した1ボックスモデルを用い、水温、栄養塩から一次生産の推定を試みた。（ただし、移流・拡散の物理的過程は考慮していない。）

植物プランクトンの時間変化率は光合成、呼吸、枯死、動物プランクトン等による摂食に依るとし、光合成は栄養塩・光強度を制限要因とし、温度と植物プランクトン濃度に依存する関数、呼吸、枯死、動物プランクトン等による摂食は植物プランクトンの現存量に比例し、かつ温度の指数関数であるとして次のように定式化した。モデルで用いたパラメータは、Table.1に示されている。

$$\frac{dPhy}{dt} = Photosynthesis - Respiration - Mortality - Grazing \quad (1)$$

$$= (\text{光合成}) - (\text{呼吸}) - (\text{枯死}) - (\text{捕食})$$

$$\frac{Photosynthesis}{Phy} = V_{max} \cdot B_1 \cdot B_2 \cdot B_3 \quad ; \text{光合成指数} \quad (2)$$

$$B_1 = \min(NLIM, PLIM) \quad (3)$$

$$NLIM = \frac{NO_3 + NO_2}{NO_3 + NO_2 + K_N} \cdot e^{(-\frac{1}{K_N} \cdot NH_4)} + \frac{NH_4}{NH_4 + K_N} \quad (4)$$

$$PLIM = \frac{PO_4}{PO_4 + K_P} \quad ; \text{Michaelis-Menten の式} \quad (5)$$



Fig.1 観測地点図

Table.1 モデルで用いたパラメータ

Symbols	Definitions	Value	Unit
V_{max}	植物プランクトンの最大光合成速度	0.893	day ⁻¹
K_i	光合成の温度定数	0.027	—
K_N	窒素の半飽和定数	1	μM
K_P	リン酸塩の半飽和定数	0.05	μM
Ψ	アンモニウムの選択吸収係数	1.5	—
I_{opt}	光合成の最適日射量	6.24	MJ/m ² /day
R_0	水温0°Cでの植物プランクトンの呼吸速度	0.03	day ⁻¹
k_R	呼吸の温度定数	0.0524	—
M_P	水温0°Cでの植物プランクトンの枯死速度	0.01	day ⁻¹
k_M	枯死の温度定数	0.063	—
k_G	摂食の温度定数	0.063	—

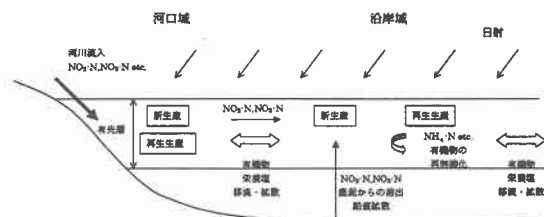


Fig.2 瀬戸内海における一次生産の模式図

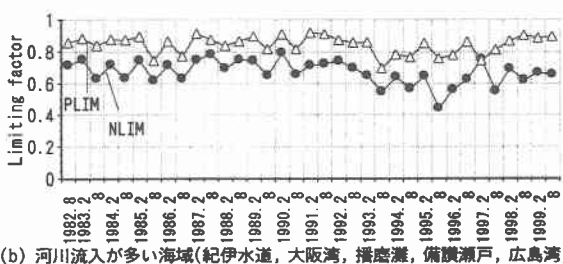
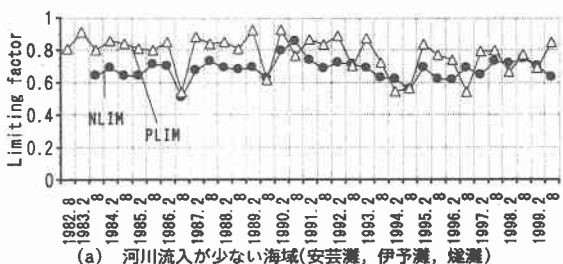


Fig.3 Limiting factorの経時変化

$$B_2 = \frac{I}{I_{OPT}} \cdot \exp\left(1 - \frac{I}{I_{OPT}}\right) \quad ; \text{ Steele の式} \quad (6)$$

$$B_3 = \exp(k_i \cdot T) \quad (7)$$

$$I = I_0 \cdot \exp(-k \cdot \text{depth}) \quad (8)$$

$$k = 0.04 + 0.0088 \cdot \text{Chl.a} + 0.054 \cdot \text{Chl.a}^{2/3} \quad (9)$$

$$\text{Respiration} = R_0 \cdot \exp(k_R \cdot T) \cdot \text{Phy} \quad (10)$$

$$\text{Mortality} = M_P \cdot \exp(k_M \cdot T) \cdot \text{Phy} \quad (11)$$

$$\text{Grazing} = G_2 \cdot \exp(k_G \cdot T) \cdot \text{Phy} \quad (12)$$

3.2 一次生産の分類

一般的に一次生産は利用する栄養塩類の由来により、有光層内で分解・再生された無機窒素を利用する「再生生産」と、有光層外から供給された無機窒素を利用する「新生産」に分類できる。ここでは、 $\text{NH}_4\text{-N}$ を利用するものを再生生産、 $\text{NO}_2\text{-N} + \text{NO}_3\text{-N}$ を利用するものを新生産と仮定した (Fig. 2)。海域の栄養塩循環の状態を知るため、総生産に占める新生産の割合 (f 比) を式(13)から算出した。

$$f = \frac{\frac{\text{NO}_3 + \text{NO}_2}{\text{NO}_3 + \text{NO}_2 + K_N} \cdot e^{(-q\text{NH}_4)}}{\frac{\text{NO}_3 + \text{NO}_2}{\text{NO}_3 + \text{NO}_2 + K_N} \cdot e^{(-q\text{NH}_4)} + \frac{\text{NH}_4}{\text{NH}_4 + K_N}} \quad (13)$$

3.3 計算結果および考察

(1) 光合成の制限栄養塩について、安芸灘、伊予灘、燧灘では窒素およびリン制限で、その他の海域では主に窒素制限であると考えられる。(Fig. 3)

(2) 総生産に占める再生生産の割合 ($1-f$)

の平均値は伊予灘 84%、燧灘 83%、大阪湾 78%、広島湾 74%、紀伊水道 72%、安芸灘 72%、備讃瀬戸 63%、播磨灘 58%となっている。伊予灘、燧灘、大阪湾では河川などの新入室素は少ないものの、海域内で栄養塩が蓄積された状態であると考えられる。(Fig. 4)

(3) 光合成指数 ($\text{gC mg Chl.a}^{-1} \text{ day}^{-1}$) の平均値は、大阪湾 0.051、紀伊水道 0.046、燧灘 0.045、播磨灘 0.043、安芸灘 0.043、伊予灘 0.043、広島湾 0.039、備讃瀬戸 0.038 となった。大阪湾では一次生産が増大しやすい物理環境であると考えられる。また、全海域で生産力は横ばいであり、陸域からの栄養塩供給は総量規制等で減少傾向にあるが、海域内での有機物の分解、底泥からの溶出等による栄養塩供給が多く、一次生産が維持されていると考えられる。(Fig. 5)

4. おわりに

安芸灘、伊予灘、燧灘では光合成は窒素およびリン制限、その他の海域では窒素制限であると考えられる。大阪湾、燧灘、伊予灘では総生産に占める再生生産の割合が大きく、海域内に蓄積された有機物の生産・分解等により物質循環が行われているといえる。大阪湾は一次生産が増大しやすい物理環境にあるが、経年的には全海域で生産力は横ばいであり、陸域からの栄養塩供給は総量規制等で減少傾向にあるものの、海域内での有機物の分解、底泥からの溶出等による栄養塩供給が多く、一次生産が維持されていると考えられる。今後、河川からの栄養塩供給、移流・拡散等の物理過程等を考慮したモデル開発を行う予定である。

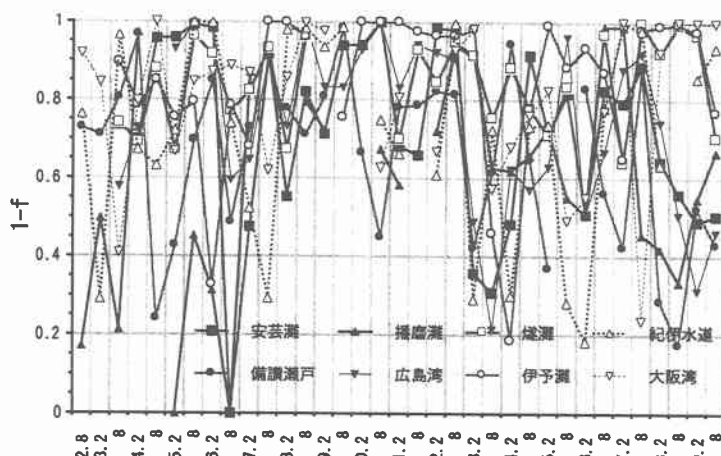


Fig. 4 再生生産の割合の経時変化

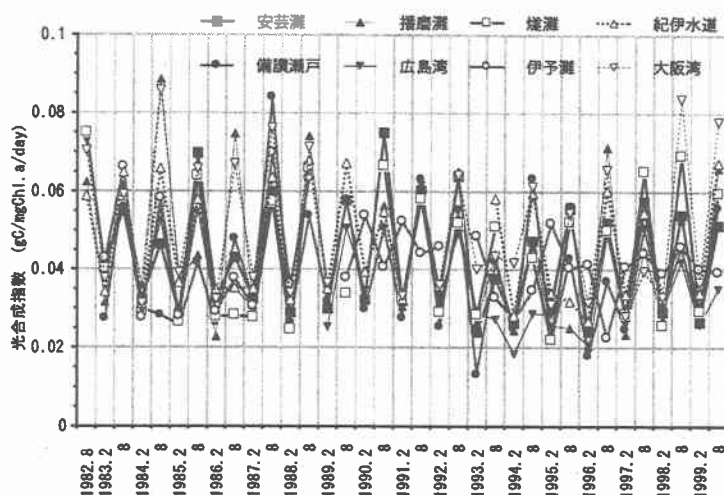


Fig. 5 光合成指数の経時変化