

九州大学移転に伴う今津湾の環境変化予測

柳, 哲雄
九州大学応用力学研究所

濱口, 美樹
九州大学大学院総合理工学研究科大気海洋環境システム学専攻

<https://doi.org/10.15017/16743>

出版情報 : 九州大学大学院総合理工学報告. 26 (3), pp.373-378, 2004-12. Interdisciplinary Graduate School of Engineering Sciences, Kyushu University

バージョン :

権利関係 :

九州大学移転に伴う今津湾の環境変化予測

柳 哲雄*1・濱口美樹*2

(平成16年10月29日 受理)

Prediction of Environmental Change of Imazu Bay due to the Moving of Kyushu University

Tetsuo YANAGI and Miki HAMAGUCHI

E-mail of corresponding author: tyanagi@riam.kyushu-u.ac.jp

The environmental change of Imazu Bay due to the moving of Kyushu University to Moto-oka area is predicted using a numerical ecosystem model.

Key words: *ecosystem model, eutrophication, Moto-oka, Imazu Bay*

1. はじめに

九州大学の主キャンパス（箱崎、原町、六本松）は2005年～2015年に、福岡市から糸島郡元岡地区に移転する（Fig.1a）。この移転に伴い、元岡地区から瑞梅寺川を通じて博多湾内の今津湾に流出する栄養物質負荷量も増大することが予測されるが、九大移転に伴う今津湾の水質環境変化は明らかにされてはいない。

本稿では数値生態系ボックスモデルを用いて、今津湾へのリン負荷量増加に伴う湾内の低次生態系の変化を予測する。

2. 物理モデル

今津湾内外では福岡市によるW-7、W-9という水質観測点しか存在しないので、今津湾をFig.1(b)に破線で示したように区切って、今津湾をひとつのボックス（Fig.2）と考え、解析を行う。まず2002年1月31日～12月3日に行われた塩分観測データ（福岡市港湾局、2003）¹⁾を用いて、次式によりこのボックスから博多湾に流出する残差流量（R）、ボックスと博多湾との海水交換量（R*）を求める。

$$R = Q + P - E - \frac{d(\eta A_s)}{dt} \quad (1)$$

$$E = k(E_s - E_a)W \quad (2)$$

$$\frac{d((\eta + h)A_s S_i)}{dt} = -RS_i + R_s(S_o - S_i) \quad (3)$$

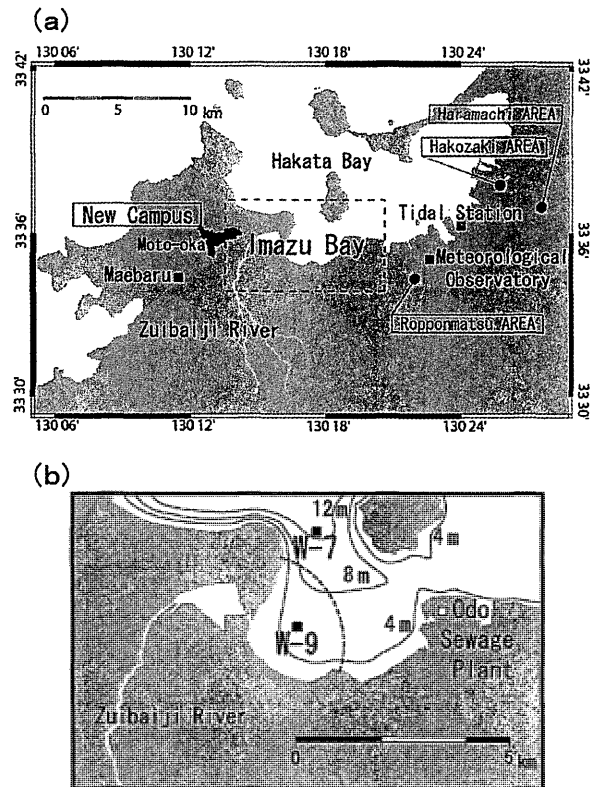


Fig.1 Hakata Bay, Imazu Bay and campuses of Kyushu University (a). Observation stations and bottom contour of Imazu Bay and broken line shows the boundary of the box (b).

*1 応用力学研究所

*2 大気海洋環境システム学専攻修士課程

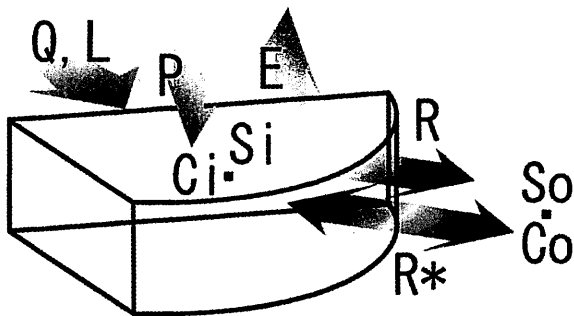


Fig. 2 Used box model.

ここでQは瑞梅寺川の河川流量、Pはアメダスによる前原 (Fig.1 (a) 参照) の日降雨量、Eは蒸発量、 η は博多検潮所 (Fig. 1 (a) 参照) での日平均水位、 A_s はボックスの表面積 (= 3.65 km²)、kは蒸発係数 (= 0.17 mm day⁻¹ hPa⁻¹ sec m⁻¹)、 E_s は博多湾の海面水温 (福岡市港湾局, 2003) ¹⁾ から求めた海面飽和蒸気圧、 E_a は福岡地方気象台 (Fig. 1 (a) 参照) で観測された大気蒸気圧、Wは福岡地方気象台で観測された日平均風速、hはボックスの平均水深 (= 7.2 m)、 S_i はボックス内の塩分 (W-9での上・下層の観測値の平均値)、 S_o はボックス外の塩分 (W-7での上・中・下層の観測値の平均値) を表す。

瑞梅寺川は2級河川で通常河川流量は観測されていない。そこで1997年1月1日~12月31日の間毎日観測された河川流量 (八千代エンジニアリング (株)、私信) とその日のAMeDASによる前原 (Fig.1 (a) 参照) の降水量の関係から、降水量-河川流量の回帰式をつくり、それをもとに2002年の瑞梅寺川の毎日の河川流量を推定した。 η は日本海洋データセンターのホームページからダウンロードした。

S_o 、 S_i 、Q、E、P、 η の時間変動をFig.3 (a) (b) に示す。式 (1)、(2)、(3) により得られたRとR*の変動をFig.3 (c) に示す。6月~9月に大きな海水交換量が得られた。これはこの時期成層が発達して、鉛直循環流が強化されることで、ボックスと博多湾の間の海水交換がより効率的に行われたためであると考えられる。残差流量Rの平均値は16m³ s⁻¹、海水交換量R*の平均値は2,780 m³ s⁻¹であった。得られたR*は次式により水平渦拡散係数Kに換算できる。

$$R \cdot (S_o - S_i) = K A_b \frac{S_o - S_i}{\Delta L} \quad (4)$$

ここで、 A_b はボックス内外を隔てる境界断面面積 (= 20 × 10³ m²)、 ΔL はStn.W-9とW-7の距離 (= 2,140 m) である。Kの平均値は2.2 × 10⁶ cm² s⁻¹で、今津湾の

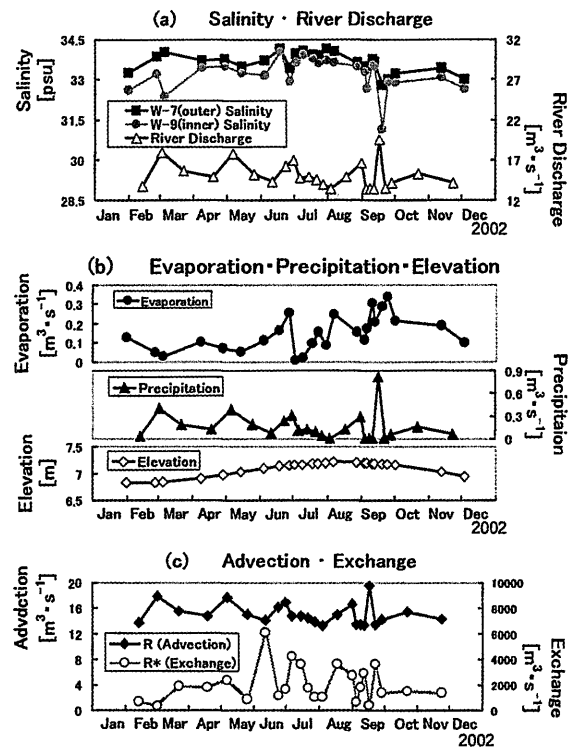


Fig. 3 Temporal variations in salinity, river discharge (a), evaporation, precipitation, mean sea level (b), residual transport and water exchange volume (c) in 2002.

水平スケール約2 kmから考えて、妥当な大きさとなっている。

今津湾の海水の平均滞留時間はボックスの容積V (= 0.026 km³) を (R+R*) で割って得られるが、それは2.6時間となる。このことは今津湾の海水は非常に短時間で博多湾の海水と混合してしまうことを示している。

3. 生態系モデル

博多湾の光合成を律速しているのは溶存無機態リン (DIP:Dissolved Inorganic Phosphorus) なので (Yanagi, 1999) ²⁾、Fig.4に示すようなリン循環を今津湾内で考える。今津湾内W-9における2002年度のDIPと植物プランクトン濃度の観測は2002年1月31日、4月8日、7月9日、10月1日の4回行われた (福岡市港湾局, 2003) ¹⁾。同じ日にW-7でも観測が行われているので、これらの観測データを用いて、次式により生物・化学パラメータ濃度の時間変動を計算することが可能である。

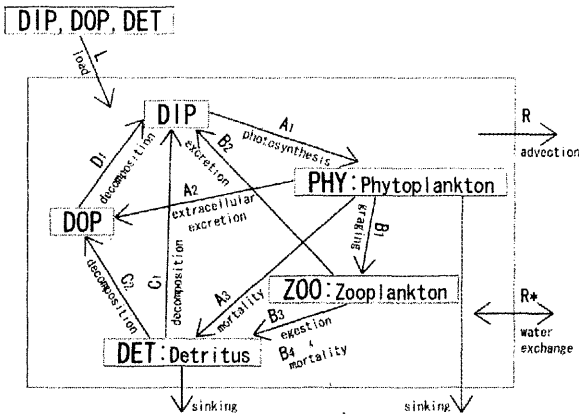


Fig.4 Compartments of used ecosystem model.

$$V \frac{dDIP_i}{dt} = L_{dip} + V(D_1 DOP_i + C_2 DET_i + B_3 ZOO_i - A_1 PHY_i) - R \frac{DIP_i + DIP_o}{2} - R_i(DIP_i - DIP_o) \quad (5)$$

$$V \frac{dDOP_i}{dt} = L_{dop} + V(A_2 A_1 PHY_i - C_2 DET_i - D_1 DOP_i) - R \frac{DOP_i + DOP_o}{2} - R_i(DOP_i - DOP_o) \quad (6)$$

$$V \frac{dPHY_i}{dt} = V(A_1 PHY_i - B_1 ZOO_i - A_2 A_1 PHY_i - A_3 PHY_i^2) - A_3 w_p PHY_i - R \frac{PHY_i + PHY_o}{2} - R_i(PHY_i - PHY_o) \quad (7)$$

$$V \frac{dZOO_i}{dt} = V(B_1 ZOO_i - B_2 ZOO_i - B_3 ZOO_i - B_4 ZOO_i^2) - R \frac{ZOO_i + ZOO_o}{2} - R_i(ZOO_i - ZOO_o) \quad (8)$$

$$V \frac{dDET_i}{dt} = L_{det} + V(A_3 PHY_i^2 + B_2 ZOO_i + B_4 ZOO_i^2 - C_1 DET_i - C_2 DET_i) - A_3 w_d DET_i - R \frac{DET_i + DET_o}{2} - R_i(DET_i - DET_o) \quad (9)$$

ここでVはボックスの容積 (=0.026 km³)、DOPは溶存有機態リン、PHYは植物プランクトン濃度、ZOOは動物プランクトン濃度、DETはデトリタスを表す。またL_{dip}、L_{dop}、L_{det}は河川からのDIP、DOP、デトリタス負荷、添え字のiはボックス内濃度、oはボックス外濃度、w_pは植物プランクトンの沈降速度、w_dはデトリタスの沈降速度、A₁~D₁は以下に示すような生物・化学過程を表す。

$$A_1 = V_{max} \left(\frac{DIP}{DIP + K_p} \right) \times \exp(kT) \times \frac{I}{I_{opt}} \exp\left(1 - \frac{I}{I_{opt}}\right) \quad (10)$$

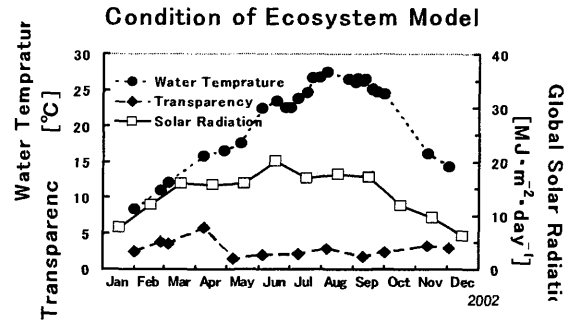


Fig.5 Temporal variations in water temperature, solar radiation and transparency in 2002.

$$I = 0.5I_0 \exp(-KZ) \quad (11)$$

$$K = \frac{1.7}{Tr} \quad (12)$$

$$A_3 = M_{p0} \exp(k_{mp}T) \quad (13)$$

$$B_1 = G_{max} [1 - \exp(\lambda(PHY^* - PHY))] \quad (14)$$

$$G_{max} = \alpha_G \exp(k_g T) \quad (15)$$

$$B_2 = \alpha B_1 \quad (16)$$

$$B_3 = \beta B_1 \quad (17)$$

$$B_4 = M_{zo} \exp(k_{mz}T) \quad (18)$$

$$C_1 = V_{pi} \exp(k_{vpi}T) \quad (19)$$

$$C_2 = V_{po} \exp(k_{vpo}T) \quad (20)$$

$$D_1 = V_{di} \exp(k_{vdi}T) \quad (21)$$

ここで、A₁は光合成の項でV_{max}は最大光合成速度、K_pは半飽和定数、I₀は福岡地方気象台で観測された日射量、I_{opt}は最適光量、Tは水温、kは光合成の水温係数、Kは消散係数、Zは水深、TrはW-7の透明度、A₃は植物プランクトンの斃死率、M_{p0}は0℃の斃死率、k_{mp}は斃死率の水温係数、B₁は摂食の項で、G_{max}は最大摂食速度、λはイブレフ定数、PHY*は植物プランクトン濃度がこれ以下になると摂食が0になる数居値濃度、B₂は糞の生産速度、B₃は尿の生産速度、B₄は動物プランクトンの斃死率、C₁はデトリタスからDIPへの、C₂はデトリタスからDOPへの分解率、D₁はDOPからDIPへの分解率を表す

計算に用いたパラメータを Table.1 に示す。これらのパラメータは東京湾の数値生態系モデルで用いられたもの(柳ら、2004)³⁾と同様である。

Table.1 Used parameters in this numerical model.

Parameters	Symbols	Values	Unit
sinking speed of phytoplankton	W_p	17.0	cm day ⁻¹
sinking speed of detritus	W_d	170.0	cm day ⁻¹
optimum light intensity for photosynthesis	I_{opt}	10×10^5	cal m ⁻² day ⁻¹
half saturation constant for DIP uptake by phytoplankton	K_p	30	mgP m ⁻³
maximum specific nutrient uptake rate by phytoplankton at 0°C	V_{max}	0.1	day ⁻¹
temperature dependency of photosynthesis	k	0.063	°C ⁻¹
ratio of extracellular excretion of DOP by phytoplankton	A_2	0.135	
Ivlev constant of phytoplankton	λ	0.72	(mgP m ⁻³) ⁻¹
threshold of phytoplankton density for grazing by zooplankton	PHY*	8.33×10^{-2}	mgP m ⁻³
maximum grazing rate of phytoplankton by zooplankton at 0°C	α_G	0.3	day ⁻¹
temperature dependency of grazing of phytoplankton by zooplankton	k_g	0.069	°C ⁻¹
constant for urine generation of zooplankton	α	0.4	
constant for fecal pellet generation of zooplankton	β	0.3	
mortality of phytoplankton at 0°C	M_{po}	8.5	m ³ gP ⁻¹ day ⁻¹
mortality of zooplankton at 0°C	M_{zo}	46.5	m ³ gP ⁻¹ day ⁻¹
temperature dependency of mortality of phytoplankton	K_{mp}	0.069	°C ⁻¹
temperature dependency of mortality of zooplankton	K_{mz}	0.069	°C ⁻¹
decomposition speed of decomposition of detritus to DIP at 0°C	V_{pi}	0.030	day ⁻¹
decomposition speed of detritus to DOP at 0°C	V_{po}	0.009	day ⁻¹
decomposition speed of DOP to DIP at 0°C	V_{di}	0.030	day ⁻¹
temperature dependency of decomposition of detritus to DIP	K_{vpi}	0.069	°C ⁻¹
temperature dependency of decomposition of detritus to DOP	K_{vpo}	0.069	°C ⁻¹
temperature dependency of decomposition of DOP to DIP	K_{vdip}	0.069	°C ⁻¹

瑞梅寺川からのリンの負荷量は福岡市港湾局による過去の観測結果 (Yanagi, 1999) ²⁾ をもとに、河川流量に比例させて与えた。W-7 における毎月の化学・生物観測データを境界条件として与え、水温に関して W-9 の上下層の平均値を与えた。Fig.5 に与えた水温、透明度、日射量の季節変動を示す。夏季には水温、日射量が大きくなり、透明度が低下する。

Fig.6 (a) に、2002 年の前原の降水量から推定した瑞梅寺川の河川流量を示す。さらに、Fig.6 (b) ~ (f) に今津湾内の DIP、PHY、ZOO、DET、DOP の計算値と DIP、PHY の観測値を示す。9 月に秋雨前線の通過に伴って大雨が降り (福岡で 164mm)、大きな河川流量とともに、リン負荷量が増大し、湾内の DIP 濃度が高くなって、それに伴い植物プランクトン・動物プランクトン・デトリタス・DOP 濃度も高くなっている。

Fig.7 に DIP、PHY の観測値と計算値の相関関係を示す。平均二乗誤差 (RMSE) は 1.35 mgP m⁻³ であるが、平均値が 4.50 mgP m⁻³ なので、この計算は 30% の誤差を含んでいることになる。

4. 将来予測

移転後の九州大学キャンパスの日本水使用量は 2000m³ とされている。しかし、そのほとんどは再利

用する中水・下水で、上水の使用量は 300m³ に過ぎない。この上水の使用量に相当する排水 300m³ が小戸処理場 (Fig.1 (b) 参照) まで送られ、博多湾内に排出される。したがって、瑞梅寺川を通じて、今津湾内に流入する淡水供給量は九大移転に伴って当面は変化しない。しかし、九大移転に伴い、元岡地区の都市化が進み、今津湾へのリン負荷量は増加することが予想される。だが、その増加量は定量的には明らかでない。そこで、淡水供給量は変化なし、したがって、海水交換量も変化なし、リン負荷量のみを 1.3 倍、1.5 倍増加させて、今津湾の水質変化を予測計算した。

結果を Fig.8 に示す。河川流量の値を 2002 年のものに固定して、リン負荷量を 1.3 倍、1.5 倍増加させた場合、今津湾内の DIP 濃度は 1.1 倍、1.2 倍に増加するが、PHY は 1.004 倍、1.008 倍とほとんど増加しない。

5. 考察

今津湾へのリン負荷量を増加させた将来予測計算は、湾内での DIP の増加率は負荷量の増加率とほぼ等しいのに対して、植物プランクトン濃度はほとんど変化しないという、一見奇妙な結果を示した。この理由は以下のように考えられる。

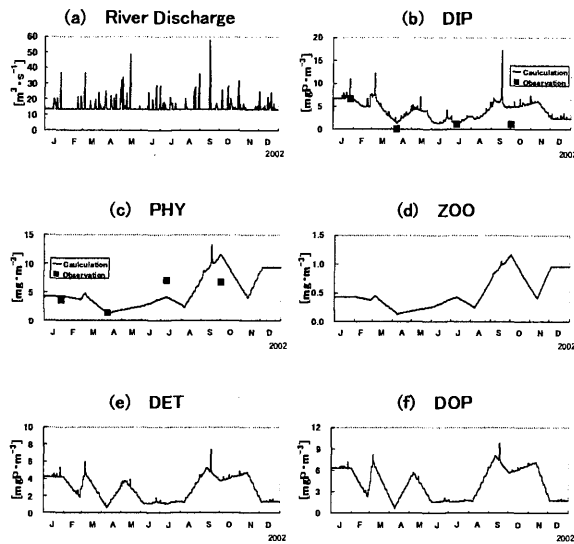


Fig.6 Temporal variations in river discharge (a), calculated DIP (b), chl.a concentration (c), zoo plankton density (d), detritus (e) and DOP (f) of Imazu Bay in 2002 with observed DIP and chl.a which are shown by closed squares.

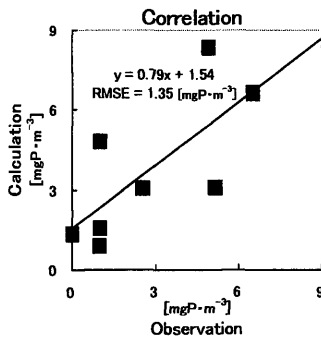


Fig.7 Correlation between observed DIP and chl.a and calculated ones.

2002年に4回行われたDIPとchl.aの観測結果の平均値は、今津湾内W-9で3.59mgP m⁻³、4.65mg m⁻³であったが、湾外W-7では2.25mgP m⁻³、5.22mgP m⁻³と、栄養塩濃度は今津湾内で高いのに、植物プランクトン濃度は今津湾外で高いという結果を示した。将来予測計算においては湾外の値を固定しているので、今津湾内の植物プランクトン濃度は湾内の栄養塩濃度と湾外の高い植物プランクトン濃度で決められることになる。すなわち、今津湾内の栄養塩濃度が高くなり、その結果植物プランクトン濃度が高くなると、湾外からの植物プランクトン輸送量が減少して、結果的に湾内の植物プランクトン濃度は顕著な増加を示さないことになる。このことがDIPとPHYの将来の増加率が異なる主な原因である。

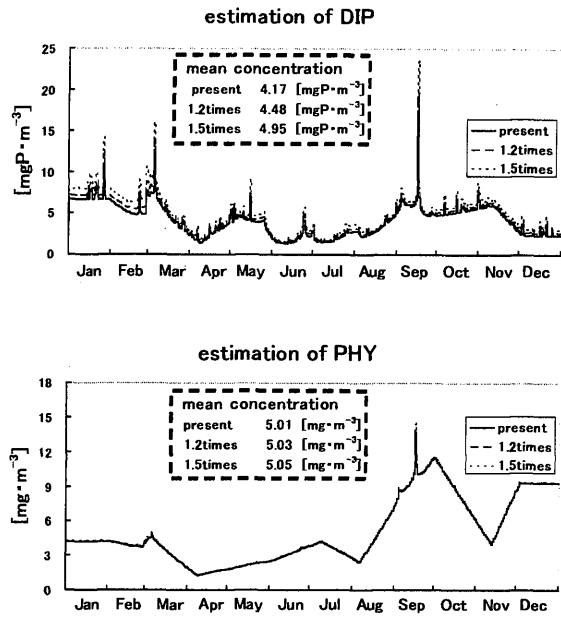


Fig.8 Predicted temporal variations in DIP and chl.a of Imazu Bay in the cases of increased TLoad.

栄養塩濃度が低い今津湾外で植物プランクトン濃度が高くなる理由は、今津湾から湾外に向かう表層流によって、栄養塩濃度は低くなるが、植物プランクトンは増殖を続け、その濃度が高くなるという機構が働いたためである(柳・山田, 2000)⁴⁾と考えられるが、流速、栄養塩濃度、植物プランクトン濃度の定量的な関係に関しては現在研究を進めているところである。

6. おわりに

以上の計算の結果、九大の元岡移転に伴う今津湾の水質変化は顕著ではないことが明らかとなった。移転後の現地調査によりこの予測の妥当性を検証したいと考えている。

謝辞

本研究を進めるにあたり、貴重な未発表観測資料を提供して頂いた福岡市港湾局、(財)九州環境管理協会、瑞梅寺川の河川流量観測データを提供して頂いた八千代エンジニアリング(株)に感謝の意を表す次第である。

また本研究は平成15、16年度九州大学P&P「糸島地域における健全な水循環系の構築」(研究代表者: 神野健二九州大学工学研究院教授)の一部であることを付記する。

参 考 文 献

- 1) 福岡市港湾局 (2003) : 平成 14 年度博多湾水質観測結果.
- 2) Yanagi, T. (1999) : Seasonal variations in nutrients budgets of Hakata Bay, Japan. *J. Oceanogr.*, 55, 439-448.
- 3) 柳 哲雄・屋良由美子・松村 剛・石丸 隆 (2004) : 東京湾のリン・窒素循環に関する数値生態系モデル解析. *海の研究*, 13, 61-72.
- 4) 柳 哲雄・山田真知子 (2000) : 洞海湾で冬季赤潮が発生しない理由. *海の研究*, 9, 125-132.