九州大学学術情報リポジトリ
Kyushu University Institutional Repository

広島湾北部海域におけるカキ養殖の環境容量

屋良, 由美子
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

柳, 哲雄
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/10.15017/16719

出版情報：九州大学大学院総合理工学報告. 26 (1), pp.15-22, 2004-06. Interdisciplinary Graduate School of Engineering Sciences, Kyushu University
バージョン：
権利関係：

KYUSHU UNIVERSITY

九州大学大学院総合理工学報告
第26巻 第1号 15-22頁 平成16年6月

Engineering Sciences Reports, Kyushu University
(KYUSHU DAIGAKU SOGORIKOGAKU HOKOKU)
Vol. 26, No. 1 pp. 15-22 JUNE. 2004

広島湾北部海域におけるカキ養殖の環境容量

屋良 由美子*1†・柳 哲雄*2

(平成16年4月30日 受理)

Environmental capacity of oyster culture in the northern part of Hiroshima Bay

Yumiko YARA and Tetsuo YANAGI

†E-mail of corresponding author : *yara@riam.kyushu-u.ac.jp*

The concept of environmental capacity of oyster culture in the northern part of Hiroshima Bay is proposed using a numerical ecosystem model which contains the cultured oyster. The relation between the chlorophyll-a concentration in the upper layer and mortality rate of the cultured oyster was approximated with the TANH function, and the formula about the biochemical process of oyster was built. As the result of numerical ecosystem model calculation, we suggest that the concept of environmental capacity of oyster culture fishery in the northern part of Hiroshima Bay is defined by total phosphorus (TP) load from Ohta River maximizing the standing stock of cultured oyster .

Key words : *Environment capacity* , *Oyster culture* , *Ecosystem model* , *Hiroshima Bay*

1. はじめに

沿岸海域の環境保全の重要性が認識されてくるにつれ、沿岸海域における環境容量の概念の有効性が論じられるようになってきた[1]。しかし、沿岸漁業に関連した漁場環境容量の概念は必ずしも明確にはなっていない。本研究ではカキ養殖の環境容量について広島湾北部海域を例に考えた。

広島湾では太田川からの河川水流入に伴う河口循環流が発達しており、植物プランクトンの光合成の制限栄養塩はリンであることが知られている。また、全国一のカキ養殖が行なわれていることでも有名であり、カキ養殖場はFig.1 の黒四角で示すように分布している。一方、カキは海水中のプランクトンやデトリタスを濾過して成長するために、広島湾のカキ養殖は富栄養化や赤潮発生を抑制するなどの海洋環境浄化に役立っていることがわかっている[2]。しかし、近年、広島湾の養殖カキ生産量は減少してきている (Fig.2(a)) 。この原因の一つとしては Fig.2(b) に示すように、養殖カキの死亡率が増加していることがあげられる。

満塩ら(2002)[2] は Fig.1 において点々で示した広島湾北部海域に養殖カキを含む低次生態系モデル (Fig.4) を適用し、海域環境が最も悪化する毎年 (1984～1996年) 8月のリン循環を計算した。さらに、広島湾における観測値を整理して、養殖カキの死亡率が上層の Chl.a 濃度と正の相関があることを見いだしている。彼らは Fig.4 中のカキ現存量として養殖カキ生産量 (Fig.2(a)) の値を用いて計算を行なっているが、本研究では上層の Chl.a 濃度と養殖カキ死亡率の関係を TANH 関数で近似し、さらに文献[3)4)5)]に基づいてカキの生化学過程に関する式を構築した。そして、満塩ら(2002)[2] と同じボックス低次生態系モデルを用いて、広島湾の養殖カキ生産量が最大で、かつ満塩ら(2002)[2] の計算結果において再現性が良かったとされる 1987 年 8 月の観測値をリンに関する数値生態系モデル計算によって再現し、太田川からの全リン (TP) 負荷量を変化させることによる広島湾北部海域におけるカキ現存量変化の予測を試みた。

*1 大気海洋環境システム学専攻博士課程
*2 大気海洋環境システム学専攻

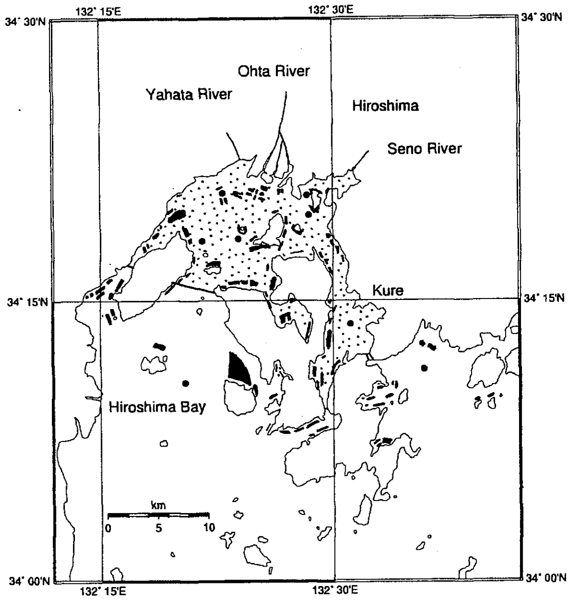

Fig.1　Map of oyster culture field (black areas) and observation stations (full circles) in Hiroshima Bay. Shaded area denotes the box model area.

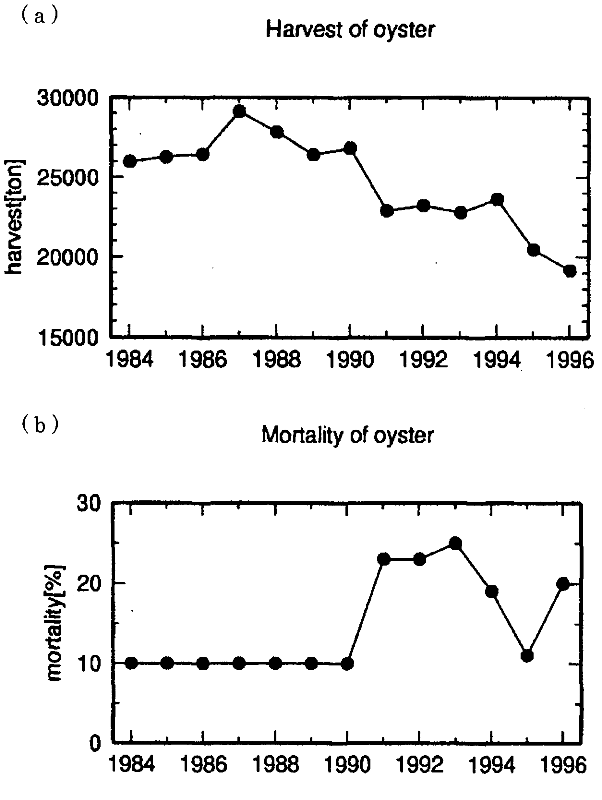

Fig.2　Year-to-year variations in harvest(a),mortality(b) of cultured oyster in Hiroshima Bay.

2. ボックスモデル

満塩ら(2002)[2]は、Fig.1 の広島湾北部の主なカキ養殖場（黒四角）を含む広島湾北部海域（点々で示した領域）において、Fig.3 に示すような有光層（= 8.5 m）と無光層(= 9.8 m) からなる上下二層のボックスモデルを設定した。ここで、有光層の厚さは解析期間中（1984～1986年）の 8 月のボックス内 6 測点（Fig.1 に観測点を黒丸で示す）における平均透明度 3.0 mを 2.8 倍した値としている。

本研究においては、Fig.3 に示す満塩ら(2002)[2]と同じボックスに対して、彼らの求めた移流・拡散・堆積・溶出などの特性値を使った数値生態系モデルを適用して解析を行なった。

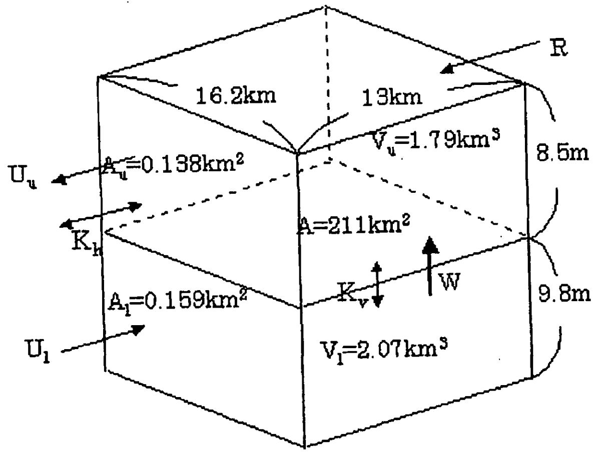

Fig.3　Box model in the northern part of Hiroshima Bay.

3. 生態系モデル

満塩ら(2002)[2]は Fig.3 に示すボックスモデルに、Fig.4 に示すような養殖カキを含む低次生態系モデルを組み込み、リン循環に関する物理・生化学過程を考えた。なお、養殖カキは上層の有光層のみに配置されているとし、また光合成についても上層の有光層のみで行なわれるとしている。さらに移流は河口循環流を想定している。

3.1 濃度の時間変動の式

ボックス内の上・下層の溶存態無機リン濃度（DIP）、溶存態有機リン濃度（DOP）、植物プランクトン態リン濃度（PHY）、動物プランクトン態リン濃度（ZOO）、デトリタス態リン濃度（DET）およびカキ現存量（OYS）の時間変動について以下のように定式化した。リンに関する各コンパートメント濃度の単位は mg L^{-1} であり、OYSの単位は剥き身湿重量（g L^{-1}）である。

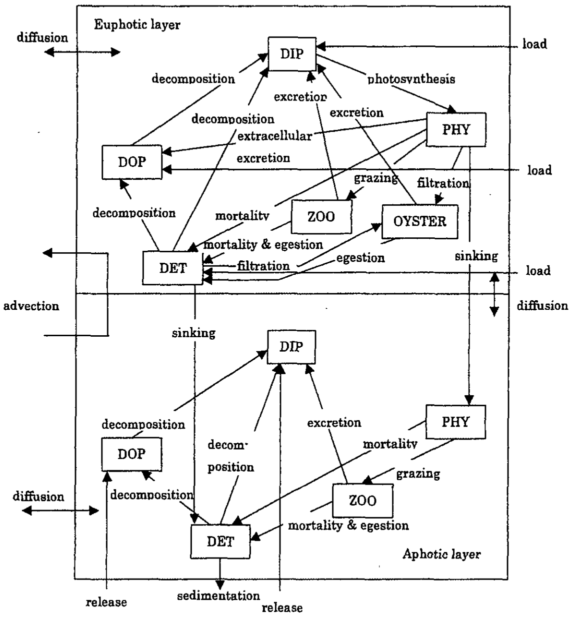

Fig.4 Numerical ecosystem model diagram.

＜上層＞

$$V_u \frac{dDIP_{iu}}{dt} = DIP_{load} + V_u(-A_1 PHY_{iu} + B_2 ZOO_{iu} + C_1 DET_{iu} + D_1 DOP_{iu} + E_4 OYS) - A_u \frac{K_h}{L}(DIP_{iu} - DIP_{ou}) - A\frac{K_v}{H}(DIP_{iu} - DIP_{il}) + AWDIP_{il} - A_u U_u DIP_{iu} \tag{1}$$

$$V_u \frac{dDOP_{iu}}{dt} = DOP_{load} + V_u(A_2 A_1 PHY_{iu} + C_2 DET_{iu} - D_1 DOP_{iu}) - A_u \frac{K_h}{L}(DOP_{iu} - DOP_{ou}) - A\frac{K_v}{H}(DOP_{iu} - DOP_{il}) + AWDOP_{il} - A_u U_u DOP_{iu} \tag{2}$$

$$V_u \frac{dPHY_{iu}}{dt} = V_u(A_1 PHY_{iu} - B_1 ZOO_{iu} - A_2 A_1 PHY_{iu} - A_3 PHY_{iu}^2 - E_1 OYS) - Aw_p PHY_{iu} - A_u \frac{K_h}{L}(PHY_{iu} - PHY_{ou}) - A\frac{K_v}{H}(PHY_{iu} - PHY_{il}) + AWPHY_{il} - A_u U_u PHY_{iu} \tag{3}$$

$$V_u \frac{dZOO_{iu}}{dt} = V_u(B_1 ZOO_{iu} - B_2 ZOO_{iu} - B_3 ZOO_{iu} - B_4 ZOO_{iu}^2) - A_u \frac{K_h}{L}(ZOO_{iu} - ZOO_{ou}) - A\frac{K_v}{H}(ZOO_{iu} - ZOO_{il}) + AWZOO_{il} - A_u U_u ZOO_{iu} \tag{4}$$

$$V_u \frac{dDET_{iu}}{dt} = DET_{load} + V_u(A_3 PHY_{iu}^2 + B_3 ZOO_{iu} + B_4 ZOO_{iu}^2 - C_1 DET_{iu} - C_2 DET_{iu} - E_2 OYS + E_3 OYS + E_5 OYS) - Aw_d DET_{iu} - A_u \frac{K_h}{L}(DET_{iu} - DET_{ou}) - A\frac{K_v}{H}(DET_{iu} - DET_{il}) + AWDET_{il} - A_u U_u DET_{iu} \tag{5}$$

$$V_u \frac{dOYS}{dt} = V_u(E_1 OYS + E_2 OYS - E_3 OYS - E_4 OYS - E_5 OYS) \tag{6}$$

＜下層＞

$$V_l \frac{dDIP_{il}}{dt} = DIP_{rels} + V_l(B_2 ZOO_{il} + C_1 DET_{il} + D_1 DOP_{il}) - A_l \frac{K_h}{L}(DIP_{il} - DIP_{ol}) + A\frac{K_v}{H}(DIP_{iu} - DIP_{il}) - AWDIP_{il} + A_l U_l DIP_{ol} \tag{7}$$

$$V_l \frac{dDOP_{il}}{dt} = DOP_{rels} + V_l(C_2 DET_{il} - D_1 DOP_{il}) - A_l \frac{K_h}{L}(DOP_{il} - DOP_{ol}) + A\frac{K_v}{H}(DOP_{iu} - DOP_{il}) - AWDOP_{il} + A_l U_l DOP_{il} \tag{8}$$

$$V_l \frac{dPHY_{il}}{dt} = V_l(-B_1 ZOO_{il} - A_3 PHY_{il}^2) + Aw_p PHY_{iu} - A_l \frac{K_h}{L}(PHY_{il} - PHY_{ol}) + A\frac{K_v}{H}(PHY_{iu} - PHY_{il}) - AWPHY_{il} + A_l U_l PHY_{ol} \tag{9}$$

$$V_l \frac{dZOO_{il}}{dt} = V_l(B_1 ZOO_{il} - B_2 ZOO_{il} - B_3 ZOO_{il} - B_4 ZOO_{il}^2) - A_l \frac{K_h}{L}(ZOO_{il} - ZOO_{ol}) + A\frac{K_v}{H}(ZOO_{iu} - ZOO_{il}) - AWZOO_{il} + A_l U_l ZOO_{ol} \tag{10}$$

$$V_l \frac{dDET_{il}}{dt} = V_l(A_3 PHY_{il}^2 + B_3 ZOO_{il} + B_4 ZOO_{il}^2 - C_1 DET_{il} - C_2 DET_{il}) + Aw_d DET_{iu} - DET_{sink} - A_l \frac{K_h}{L}(DET_{il} - DET_{ol}) + A\frac{K_v}{H}(DET_{iu} - DET_{il}) - AWDET_{il} + A_l U_l DET_{ol} \tag{11}$$

ここで、V_u(= 1.79 km³) と V_l(= 2.07 km³) は上・下層の容積、A(= 211 km²) は上下層の境界面の面積、A_u(= 0.138 km²) と A_l(= 0.159 km²) は上・下層の左右間の断面積、L(= 16 km) と H(= 9.5 m) は水平・鉛直方向の測点間距離、U_u と U_l は上・下層の水平流速、W は鉛直流速、K_h と K_v は水平・鉛直拡散係数、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を表す。また、添え字はそれぞれ、i はボックス内、o はボックス外、u は上層、l は下層を表し、load は陸からの負荷、sink は海底への堆積、rels は海底からの溶出を表す。

3.2 生化学過程の式

生化学過程を表す式は以下に示すとおりで、植物プランクトンによる光合成速度A_1 とカキに関する生化学過程を除いて、外洋を対象に構築されたKawamiya *et al.*(1995)[6]

に基づいている。

本研究では 8 月に増殖する高温適種の植物プランクトンのみの光合成を考えるので、光合成速度A_1を（12）式で表した[2)]。

$$A_1 = V_{max}\left(\frac{DIP}{DIP+K_P}\right)\times\frac{T}{T_{opt}}\exp\left(1-\frac{T}{T_{opt}}\right)\times \frac{I}{I_{opt}}\exp\left(1-\frac{I}{I_{opt}}\right)\times\frac{S}{S_{opt}}\exp\left(1-\frac{S}{S_{opt}}\right) \quad (12)$$

ここで、V_{max}は最大光合成速度、K_Pは珪藻に対するDIPの半飽和定数、T は水温、T_{opt}は珪藻に対する増殖最適水温、I は平均光量、I_{opt}は増殖最適光量、S は塩分、S_{opt}は珪藻に対する増殖最適塩分を表す。平均光量I についてはParsons *et al.*(1984)[7)] に基づいて以下のようにして求めた。まず、深度Z における光量I_dは (13) 式で表せる。

$$I_d = 0.5 I_0 \exp(-KZ) \quad (13)$$

ここで、I_0は全天日射量、K(=1.7 / [透明度：3.0 m]）は平均消散係数である。よって、上層（0～8.5m）の平均光量Iは（14）式で求めることができる。

$$I = \frac{0.5}{8.5} I_0 \int_0^{8.5} \exp(-KZ)dZ \quad (14)$$

植物プランクトンからのDOP浸出は光合成量に比例するとし、その係数を A_2 で与えた。

植物プランクトンの枯死速度A_3は水温T の関数として (15) 式で表される。

$$A_3 = M_{po}\exp(k_{mp}T) \quad (15)$$

ここで、M_{po}は水温0℃における枯死速度、k_{mp}は枯死速度の温度依存係数を表す。

動物プランクトンによる植物プランクトン摂食速度B_1は（16）式で表される。

$$B_1 = G_{max}\left\{1-\exp(\lambda(PHY^* - PHY))\right\} \quad (16)$$

ここで、G_{max}は最大摂食速度であり、水温T の関数として（17）式で表される。

$$G_{max} = \alpha_G \exp(k_g T) \quad (17)$$

ここで、α_Gは水温0℃における摂食速度、k_gは摂食速度の温度依存係数を表す。また、(16) 式における λ はIvlevの定数、PHY^* はこれ以上植物プランクトン濃度が低下すると動物プランクトンによる摂食が0となるしきい値である。

動物プランクトンの尿生産速度B_2、糞生産速度B_3はそれぞれ（18）、(19) 式で表される。

$$B_2 = \alpha B_1 \quad (18)$$

$$B_3 = \beta B_1 \quad (19)$$

ここで、αは尿生産速度、βは糞生産速度の係数を表す。

動物プランクトンの死亡速度B_4は水温T の関数として (20) 式で表される。

$$B_4 = M_{zo}\exp(k_{mz}T) \quad (20)$$

ここで、M_{zo}は水温0℃における死亡速度、k_{mz}は死亡速度の温度依存係数を表す。

デトリタスのDIPへの分解速度C_1、DOPへの分解速度C_2は水温T の関数として、それぞれ（21）、(22) 式で表される。

$$C_1 = V_{pi}\exp(k_{vpi}T) \quad (21)$$

$$C_2 = V_{po}\exp(k_{vpo}T) \quad (22)$$

ここで、V_{pi} および V_{po} は水温0℃における分解速度、k_{vpi} および k_{vpo} は分解速度の温度依存係数を表す。

DOPのDIPへの分解速度D_1は水温T の関数として (23) 式で表される。

$$D_1 = V_{di}\exp(k_{vdip}T) \quad (23)$$

ここで、V_{di}は水温0℃における分解速度、k_{vdip}は分解速度の温度依存係数を表す。

カキの植物プランクトン濾過速度を E_1、デトリタス濾過速度を E_2 とし、赤羽ら(2003)[3)] に従って、それぞれ (24)、(25) 式で表した。

$$E_1 = HF \times r_1 \times (PHY) \quad (24)$$

$$E_2 = HF \times r_1 \times r_2 \times (DET) \quad (25)$$

ここで、HF は濾水量であり、水温T の関数として（26）式で表される。

$$HF = 0.066T - 0.308 \quad \text{(L/hour/g(wet))} \quad (26)$$

また r_1 は捕捉率、r_2 は粒状有機物のうちカキの捕捉できる粒子の割合である。単位中の wet とはカキの剥き身湿重量のことである。

カキの糞生産速度E_3 はKusuki(1977)[4] によって（27）式で表される。

$$E_3 = 0.35 \times (E_1 + E_2) \tag{27}$$

カキの尿生産速度E_4 はRichard et al.(1989)[5] によって（28）式で表される。

$$E_4 = 0.08 \times (E_1 + E_2) \tag{28}$$

カキの死亡速度E_5 は死亡率m と死亡時間t_m の関数として（29）式で与えた。死亡率m については、満塩ら(2002)[2] が見いだしたように「養殖カキの死亡率は上層のChl.a 濃度が高いほど高くなる」とみなし、初め Fig.5 で示したような2つの場合（(Ⅰ)、(Ⅱ)）について考えた。ところが、カキ現存量は死亡率に敏感に応答するため、(Ⅱ)の場合に関しては太田川からの全リン（TP）負荷量を増加させて Chl.a 濃度を増加させる際に非現実的な負荷量にまで増加させなければ満塩ら(2002)[2] が見いだしたような「養殖カキの死亡率は上層の Chl.a 濃度が高いほど高くなる」という関係が得られなかったので、今回は死亡率m として上層の Chl.a 濃度と養殖カキ死亡率の関係を(Ⅰ) の場合について TANH 関数で近似した式（Fig.5）で与えた。また、死亡時間t_m は 1987 年の養殖カキ死亡率 10% を用いてカキ現存量を再現するために必要とした死亡日数 6.39 日である。

$$E_5 = \frac{m}{t_m} \tag{29}$$

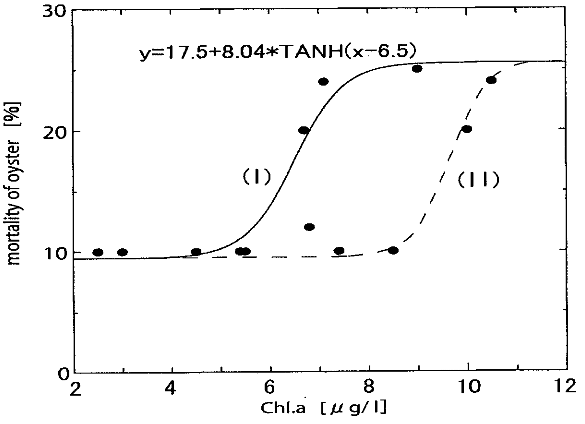

Fig.5 Correlation between Chl.a in the upper layer and mortality of oyster.

3.3 堆積と溶出の式

海底への堆積と海底からの溶出の式に関しては満塩ら(2002)[2] に従って以下のように与えた。

海底へのデトリタス態リンの堆積フラックスDET_{sink} は海底へのデトリタスの堆積速度b（= 0. 26 g cm^{-2} year^{-1}）とデトリタス中のリン濃度c(= 0. 45 mg g^{-1}) と上下層の境界面の面積A の関数として（30）式で表される。

$$DET_{sink} = b \times c \times A \tag{30}$$

海底からのDIPとDOPの溶出フラックス（DIP_{rels}、DOP_{rels}、g sec^{-1}）は海底へのデトリタス態リンの堆積量F に比例し、下層の溶存酸素濃度DO に反比例すると考えられ、それぞれ（31）、(32) 式で表される。

$$DIP_{rels} = \frac{a \times A \times F \times 0.87}{DO} \tag{31}$$

$$DOP_{rels} = \frac{a \times A \times F \times 0.13}{DO} \tag{32}$$

ここで、a（= 2.5 mg L^{-1}）は 1993 年の広島湾におけるリン溶出観測値を再現するように決めた定数、A は上下層の境界面の面積、F は海底へのデトリタス態リンの堆積量（g km^{-2} sec^{-1}）で（33）式で表される。

$$F = \frac{DET_{sink}}{A} \tag{33}$$

また、0.87 と0.13 は DIP溶出量と DOP溶出量の割合、DO は下層の溶存酸素濃度を示す。

3.4 パラメータ

Table 1 に計算に用いたパラメータを示す。これらのパラメータは Kawamiya *et al.*(1995)[6] が北太平洋に対して用いた値を基本とし、満塩ら(2002)[2] のDIP・Chl.a 濃度の観測値を再現するように調整した結果である。ただし、カキに関するパラメータは赤羽ら(2003)[3] より引用した。

以上の条件のもとで、時間間隔 100 秒でボックス内の各要素が定常状態になるまで計算を行なった。初期条件はボックス内のカキを除く全てのコンパートメントの濃度がボックス外のそれらと等しいと置いた。なお、カキの現存量の初期条件としては満塩ら(2002)[2] より 8 月の養殖カキの殻付湿重量を剥き身湿重量へ変換して与えた。カキの殻付湿重量においては殻：剥き身を 3：1（橋本、私信）として考えている。また、カキとしてのリン現存量はカキの殻付湿重量当たりのリンの割合を 7×10^{-4}（門谷、私信）

Table 1. Parameters used in the model and their references.

sinking speed of phytoplankton	W_p	17.0 cm d^{-1}	tuning
sinking speed of detritus	W_d	170.0 cm d^{-1}	tuning
optimum light intensity for photosynthesis	I_{opt}	5×10^5 cal m^{-2} d^{-1}	1)
optimum temperature for photosynthesis	T_{opt}	24 ℃	2)
optimum salinity for photosynthesis	S_{opt}	28 psu	3)
half saturation constant for DIP uptake by phytoplankton	K_p	0.03 mgP L^{-1}	2)
maximum specific nutrient uptake rate by phytoplankton at 0℃	V_{max}	4.0 d^{-1}	4)
ratio of extracellular excretion of DOP by phytoplankton	A_2	0.135	5)
Ivlev constant of phytoplankton	λ	720 (mgP $L^{-1})^{-1}$	5)
threshold of phytoplankton density for grazing by zooplankton	PHY*	8.33×10^{-5} mgP L^{-1}	5)
maximum grazing rate of phytoplankton by zooplankton at 0℃	α_G	0.07 d^{-1}	tuning
temperature dependency of grazing of phytoplankton by zooplankton	k_g	0.069 ℃$^{-1}$	5)
constant for urine generation of zooplankton	α	0.4	5)
constant for fecal pellet generation of zooplankton	β	0.3	5)
mortality of phytoplankton at 0℃	M_{po}	14.5 m^3 gP^{-1} d^{-1}	5)
mortality of zooplankton at 0℃	M_{zo}	30.2 m^3 gP^{-1} d^{-1}	5)
temperature dependency of mortality of phytoplankton	K_{mp}	0.069 ℃$^{-1}$	5)
temperature dependency of mortality of zooplankton	K_{mz}	0.069 ℃$^{-1}$	5)
decomposition speed of detritus to DIP(DIN) at 0℃	V_{pi}	0.030 d^{-1}	5)
decomposition speed of detritus to DOP(DON) at 0℃	V_{po}	0.030 d^{-1}	5)
decomposition speed of DOP(DON) to DIP(DIN) at 0℃	V_{di}	0.030 d^{-1}	5)
temperature dependency of decomposition of detritus to DIP(DIN)	K_{vpi}	0.069 ℃$^{-1}$	5)
temperature dependency of decomposition of detritus to DOP(DON)	K_{vpo}	0.069 ℃$^{-1}$	5)
temperature dependency of decomposition of DOP to DIP	K_{vdip}	0.069 ℃$^{-1}$	5)
food capture rate of oyster	r_1	0.4	6)
ingestion rate of oyster	r_2	0.9	6)

1)Hayashi&Yanagi(2001), 2)Nishijima et al.(1990), 3)Yamaguchi(1991), 4)Eppley(1977), 5)Kawamiya et al.(1995), 6)Akabane et al.(2003)

として換算している。

4. データ

ボックスモデルに用いた値については満塩ら(2002) [2] が求めた上・下層の水平（U_u = 0.445 cm s^{-1} 、U_l = 0.275 cm s^{-1}）・鉛直移流流速（W = 2.07×10^{-4} cm s^{-1}）と水平(K_h = 3.9×10^5 cm^2 s^{-1})・鉛直拡散係数(K_v = 0.05 cm^2 s^{-1})などの特性値を引用した。堆積、溶出に関しては（30）～（33）式を用いて求めた。

生態系モデルに用いた観測値（ボックス内上層の水温(= 26.1 ℃）、塩分(= 29.2 psu)、透明度（= 3 m）、ボックス外の DIP 濃度(上層：0.003 mg L^{-1}、下層：0.011 mg L^{-1})、ボックス内の海底直上の DO 濃度(= 4 mg L^{-1})、ボックス外の Chl.a 濃度（上層：0.45 μg L^{-1}）、全天日射量（= 16 MJ m^{-2}）、太田川全リン（TP）負荷量（= 0.75 ton d^{-1}、DIP：DOP：DET = 6：1：3)）についても、満塩ら(2002) [2] の 1987 年 8 月の値を引用した。なお、植物プランクトン態リン濃度（PHY）に関してはParsons *et al.*(1984a) [7] が「増殖が活発な植物プランクトン群集での値」として示した C/Chl.a=30 とレッドフィールド比(C:P=106:1) [8] から推定した。そして、植物プランクトン

態リン濃度（PHY）の推定値をもとに植物プランクトン態リン濃度(PHY)、動物プランクトン態リン濃度(ZOO)、デトリクス態リン濃度（DET）の比を23：2：25として、それぞれの濃度を推定した[2]。

欠測値については、ボックス外のDOP濃度はDIP濃度と等しいと仮定し[2]、ボックス外下層のChl.a濃度は上層と等しいとして与えた。また、下層の水温については観測値が手に入らなかったため、（上層の水温－4℃）として与えた。

5. 計算結果

数値生態系モデル計算によって得られた計算結果（1987年8月）を観測値と満塩ら(2002)[2]の計算結果とともにTable 2に示す。この数値計算は湾内の生化学過程の影響を最も強く受ける植物プランクトン、つまりChl.a濃度の再現に重点を置いている。

本研究の計算結果においても、満塩ら(2002)[2]と同様に上層の低いDIP濃度観測値の再現ができていないが、他は観測結果をよく再現している。

Table 2 Comparison of observed (left) and modeled (center and right) concentrations of DIP in the upper and lower layers and Chl.a in the upper layer of the box.

	Observed value	Modeled result of Mitsushio et al. (2002) [2]	Modeled result of my study
DIP in the upper layer	**0.002**	0.0038	0.0048
DIP in the lower layer	**0.023**	0.025	0.026
Chl.a in the upper layer	**0.005**	0.004	0.005

(unit ：mg L^{-1})

続いて、太田川からの全リン（TP）負荷量を変化させた場合の上層のChl.a濃度とカキ現存量の計算結果をそれぞれFig.6(a), (b)に示す。Fig.6(a)より、太田川からの全リン（TP）負荷量の増大に比例して、広島湾北部海域上層のChl.a濃度が増加し、その結果、TANH関数に従ってカキの死亡率が増加するため、Fig.6(b)のようにカキ現存量が変化することがわかる。以上の結果から、カキ現存量を最大にする太田川からの全リン（TP）負荷量を広島湾北部海域のカキ養殖漁業に対する環境容量として定義することができるということが示された。

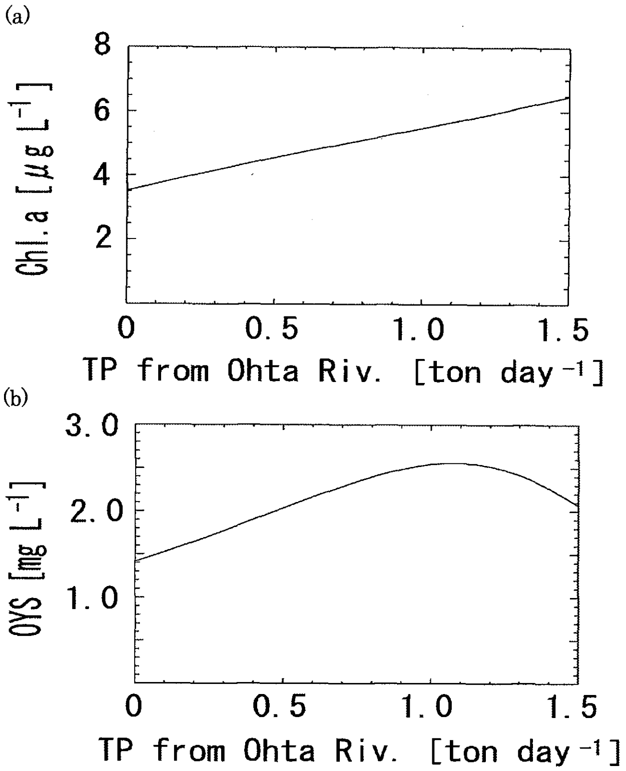

Fig.6 Relationship between total phosphorus load from Ohta River and Chl.a concentration in the upper layer (a) and standing stock of oyster culture(b).

6. おわりに

養殖カキを含む低次生態系のボックスモデルを用いた数値生態系モデル計算によって、広島湾北部海域を例にカキ養殖の環境容量の概念について考えた。そして、カキ養殖漁業に対する環境容量はカキ現存量を最大にする太田川からの全リン（TP）負荷量で定義することができることを提案した。ただし、養殖カキの死亡原因等については未だ不明な点が多いため、環境容量を定量的に求めるためにはカキ現存量を決めるカキの死亡率についてさらに詳しく検討する必要がある。

参考文献

1) 柳　哲雄，沿岸海域の環境容量，海の研究，11-2，321-324(2002).
2) 満塩　太，柳　哲雄，橋本　俊也，広島湾のカキ養殖と海洋環境，九州大学総合理工学報告，24-2，199-206(2002).
3) 赤羽　敬子，岸　道郎，向井　宏，飯泉　仁，陸域からの栄養塩負荷量に対する北海道厚岸湖の生態系の応答，沿岸海洋研究，40-2，171-179(2003).
4) Kusuki, Y., On measurement of the filtration rates of the Japanese oyster, Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish., 43, 1069-1076(1977).

5) Richard, F. D., D. S. John and G. W. Thomas, Carbon, nitrogen and phosphorus processing by an oyster reef, Mar. Ecol. Prog. Ser., **54**, 249-256(1989).
6) Kawamiya, M., M. J. Kishi, Y. Yamanaka, and N. Suginohara, An ecological-Physical coupled model applied to Station Papa, J. Oceanogr., **51**, 635-664 (1995).
7) Parsons, T. R., M. Takahashi, and B. Hargrave, " 粒状物質の一次生成", 生物海洋学 2, 高橋正征, 古谷研, 石丸隆監訳, 東海大学出版会(1996) 東京 p. 90.
8) Redfield, A. C., B. H. Ketchum, and F. A. Richards, " The influence of organisms on the composition of seawater", In *The Sea*, **2**, edited by M. N. Hill, Interscience Pub. (1963) New York p. 26-77.
9) 林美鶴, 柳哲雄, 数値生態系モデルによる大阪湾奥部のリン循環過程の解析, 海の研究, **10**, 203-217(2001).
10) 西島敏隆, 畑幸彦, 山砥稔文, 赤潮珪藻 Skeletonema costatum の栄養要求と AGP 試験に供試するための調整法, 水質汚濁研究, **13**-3, 173-179(1990).
11) 山口峰生, 有害赤潮鞭毛藻の競合種としての珪藻類の増殖特性. 有害赤潮の生態学的制御による被害防除技術の開発に関する研究, 南西海区水産研究所研究報告書, 55-66(1991).
12) Eppley, R. W., " The growth and culture of diatoms" in " The Biology of Diatoms", ed. by D. Werner, Blackwell Pub. (1977) p. 24-64.