

工事等による漁獲量変動予測のための沿岸域生態モデルに関する研究

山口大学工学部 正員 ○関根雅彦、中西弘、浮田正夫 福岡県 池田憲治

1 はじめに 海域における既存の生態系モデルでは、プランクトンの一次生産等についてはすでに数多く研究されておりある程度の成果があがっている。しかし漁獲量をも含むモデルとなると、僅かに北部太平洋等の非常に大きな海域における総漁獲量の予測モデル(Laevastu, Larkins, 1984) 等が実用されているに過ぎない。本研究で対象としているような沿岸域における開発行為に伴う漁獲の変動のモデル化には、◎対象水域が狭い。◎魚は遊泳能力を持ち、自己の嗜好に合致した水域に移動できるため、対象水域の狭さもあって物質の収支がとれない。◎さまざまな嗜好を持つ多種の魚が存在する。しかも、漁業にとって有用なもの、そうでないものがある。◎同じ魚でもその成長段階によって嗜好・挙動が異なり、かつ漁業にとっての価値も異なる。等、いくつかの大きな問題点がある。つまり、意味のある漁獲量変動評価を行うためには、多種の魚のさまざまな成長段階をそれぞれ別のものとして評価できるようなモデルが必要だということである。このようなモデルは、もちろん概念としては作成可能であるが、FORTRANに代表されるような既存のプログラム言語では取り扱いが非常に難しくなり実現困難であった。一方、近年、プログラミングにおけるすべての対象を「物体（オブジェクト）」として理解するという新しい概念（＝オブジェクト指向）が提唱され、注目されている。この概念を実現したプログラム言語を用いると、同じ「魚」の性質を持ちながら微妙に嗜好の異なる複数の魚種を簡単に生成することが可能である。そして、一旦生成された魚はモデル環境中でその嗜好に従って自由に生き、産卵し、死ぬことができる。本研究では、このオブジェクト指向プログラム言語の代表である Smalltalk を用いて生態系のモデル化を試みた。

2 Smalltalkによるモデル化の実例 図1に Smalltalk のプログラミング中の画面の一例を示す。Smalltalk ではこのようなウィンドウ単位の操作を基本とする。それぞれのウィンドウはさらに3つのペイン（窓ガラス）に分割されている。もちろんこのような外観はモデルの本質とは関わりはないが、プログラミングの段階からモデルを分かりやすくするのにひと役買っている。

図1においてウィンドウ2の左上部ペインに今回の生態モデルの全てのクラスが表示されている。クラスとは、例えば「魚」という概念のオブジェクトである。各クラスの内容は以下の通りである。

Cell	…海域の1ボックス
Compartments	…存在量を持つもの
Detritus	…デトリタス
Living	…生物
Fish	…魚
Iwashi	…鰯
Kingyo	…金魚
Phyto	…植物プランクトン
Zoo	…動物プランクトン
Nutrient	…栄養塩
Ecomodel	…生態モデル全体の制御
Egraph	…結果のグラフ表示制御

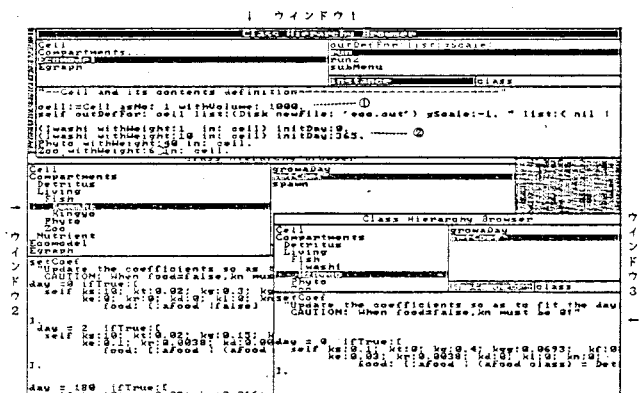


図1 Smalltalkの1画面

段付けの下位のものは、上位の性質を相続している。すなわち、鰯、金魚は魚としての性質を持ちながら、細部の生理や捕食対象が異なっている。魚、植物プランクトン、動物プランクトンは生物としての性質を持ちながら、捕食や成長の取り扱いが異なっている。生物、デトリタス、栄養塩は、計算すべき存在量を持つという点で Compartment という一つのクラスにまとめられる。Cell は、対象海域の水温や水量と

いった環境情報を持つ。全体の物質の動きはEcomodelによって制御されるが、物質の移動量を決定するのはCellの環境条件によって影響を受けたCompartmentの生物・物質たち自身である。

モデルの構成の概念を図2に示す。図2ではCellが3つ作られているが、これらはそれぞれクラスCellのインスタンス（実体）と呼ばれるものである。インスタンスはクラスで定義

された性質を持っており、いくつでも自由に生成することができる。（図1の①の部分でCellのインスタンスを生成している。また、②の部分では生後日数の違う2種の鰭を生成している。）また、Cell 1において鰭が3まで存在するが、この数は産卵や死亡によって実行中に動的に変化する。動物プランクトン、植物プランクトンには産卵、死亡を考えていないが、これらの機構を導入することも簡単にできる。以上に述べたように、Smalltalkでは現実の世界を非常に柔軟にモデル化できる。

3 計算結果 本年度は、前節で述べたクラス定義を用いて1 Cell（水量 $10^6 m^3$ ）のごく基本的なモデルを構成し、係数や基礎式を変更することによってモデルの挙動を調べ、安定した生態系を作るのに必要な条件を把握することを目的とした。

種々の検討の結果得た最終的なモデル式を表1に、本式による計算結果を図3に示す。なお、計算にはすべて窒素重量を用いた。メキシコ湾データ(Mark Reed et al.1987)によれば栄養塩:植物P:動物P:魚 $\approx 1000:5:2:7$ 程度である。これより、本計算結果はほぼ妥当な値を示している。式T1-8、T1-12においてMonod型の式の餌の項 $n-p_0$ を自重Wで割っているのは、餌がなくなった時の摂食制限の効果を強くして急速な摂食による被食者の絶滅を防ぐためのものである。この項によりモデルの安定性は大幅に向上する。しかし本式で赤潮のような急激な繁殖が再現できるかどうかは疑問であり、基礎式についてはなお検討が必要である。

4 おわりに Smalltalkを用いて複雑な現象を効果的にモデル化できることが分かった。今後さらに基礎式に検討を加えるとともに、多ボックス、多魚種に拡張し、環境条件・移流・遊泳を含むモデルを作成する。

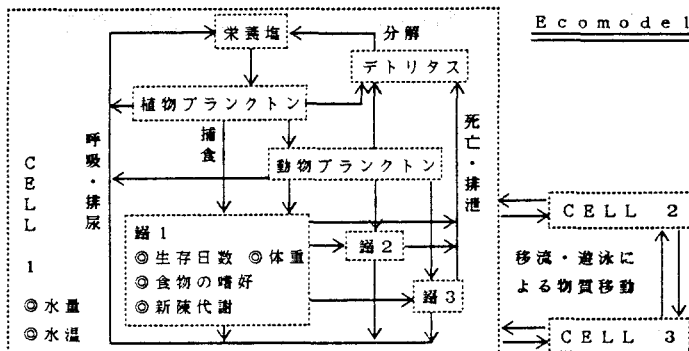
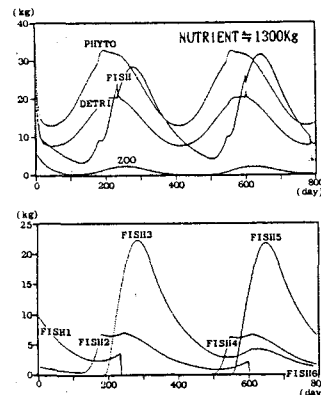


図2 モデルの概念

表1 生物に関する基礎式

$W1 = W0 + E_a - F_a - U_a - R_e$ (T1-1)	
$W2 = W1 - D_a$ (T1-2)	
$W0$: 活動前の重量 (kg)	
$W1$: 摂食、排泄後の重量 (kg)	
$W2$: 全ての活動後の重量 (kg)	
$E_a = d_t \times W \times G$ (T1-3)	
E_a : 摂食量、成長量(kg) d_t : 摂食時間(day ⁻¹)	
V : 生物量(kg) G : 成長速度、成長量(day ⁻¹)	
$F_a = E_a \times K_f$ (T1-4)	
F_a : 排泄量(kg) K_f : 排泄率、(1-同化率)	
$U_a = E_a \times K_e$ (T1-5)	
U_a : 尿量(kg) K_e : 排泄率	
$R_e = d_t \times W \times K_r$ (T1-6)	
R_e : 呼吸量(kg) K_r : 呼吸速度(day ⁻¹)	
$D_a = d_t \times W \times K_d$ (T1-7)	
D_a : 死亡量(kg) K_d : 死亡速度(day ⁻¹)	
植物プランクトン成長速度	
$G = G_{max} \times \frac{n}{K + n}$ (T1-8)	
G_{max} : 最大成長速度(day ⁻¹) n : 餌の量(kg)	
K : 半飽和定数	
$G_{max} = G_{max0} \times \exp(K_{gg} \times TEMP)$ (T1-9)	
K_{gg} : 温度速度定数(°C ⁻¹) $TEMP$: 温度(°C)	
動物プランクトン成長速度	
$G = G_{max} \times [1 - \exp(r \times (P_0 - n/v)/V)]$ (T1-10)	
r : フィット係数(1)	
$G_{max} = G_{max0} \times \exp(K_{gg} \times TEMP)$ (T1-11)	
K_{gg} : 温度速度定数(°C ⁻¹) $TEMP$: 温度(°C)	
魚の成長速度	
$G = G_{max} \times \frac{(n - P_0)}{K + (n - P_0)}$ (T1-12)	
G_{max} : 最大成長速度(day ⁻¹) n : 餌の量(kg)	
P_0 : 摂食しきれない餌(kg ⁻¹) K : 半飽和定数	
$G_{max} = G_{max0} \times \exp(K_{gg} \times TEMP)$ (T1-13)	
K_{gg} : 温度速度定数(°C ⁻¹) $TEMP$: 温度(°C)	



FISH									
DAY	kg	lt	kg0	kgg	kf	ke	kr	kd	
0	10	0.02	0.3	0.0033	0	0	0	0	
1	10	0.02	0.15	0.0033	0.2	0.1	0.0038	0.008	
180	10	0.02	0.018	0.0033	0.2	0.1	0.0038	0.000	
600	10	0.02	0.018	0.0033	0.2	0.1	0.0038	1	

	kg	lt	kg0	kgg	kf	ke	kr	kd
PHYTO	600	0	1.35	0.0033	0	0	0	0.2
200	50	0.015	0.123	0.059	0.3	0.4	0.02	0.01

図3 係数値と計算結果