

(3) 埋立てに伴う自浄作用と生物生産量の変化

EVALUATION OF THE EFFECTS OF RECLAMATION ON SELF-PURIFICATION AND BIOPRODUCTIVITY

中西 弘 浮田正夫 関根雅彦*

Hiroshi NAKANISHI, Masao UKITA, Masahiko SEKINE*

ABSTRACT; A change in self-purification and bioproductivity caused by reclamation was studied quantitatively in Yamaguchi bay. For the purpose of evaluation, the bay was divided into two parts: the reclaimed area and the remaining water body. Through the analysis of field survey data collected before and after reclamation, we estimated self-purification and bioproductivity capacities lost completely in the reclaimed area. The same criteria for the remaining water body were estimated by ecosystem model simulation including fishes. Self-purification was defined as a change in amounts of COD, DO, TN, TP; and bioproductivity was defined as a change in amount of biomass (such as primary products, benthos, and fishes) at each stage of the food chain. In this study, a new ecosystem model taking into account fishes and with a capacity to evaluate reclamation effects on the ecosystem is shown.

KEYWORDS; Reclamation, Marine coast, Self-purification, Bioproductivity, Ecosystem model

1. ま え が き

我が国の沿岸海域は、埋立てや浚渫、あるいは海洋構造物の構築等の種々の開発行為によって次第に自然海岸が失われて来てきた。こうした沿岸海底形状の変化によって、本来海域の持っていた自浄作用や生物生産量がどのように変化したかを正しく評価することは、海域環境影響を評価する上で極めて重要なことである。本研究は、埋立てによって自浄作用や生物生産量がどのように変化して行くかを定量的把握する手法を開発することと目的としたものであり、山口湾（大海湾を含む）を対象にした事例研究によってこの目的に近づけた。なお、本研究は水産庁の研究事業の一環の中で著者が解析を担当した部分であり、ベントス、藻場、漁業生産量等について、多数の水産関係研究者の調査資料を元資料として利用させて戴いた。

2. 評価の基本図式

図1は、埋立て（沿岸海底形状の変化）に伴う自浄作用や生物生産量の変化を評価する手順を示したものである。即ち、埋立影響は、埋立前後における自浄作用や生物生産量の変化を定量的に表示することとし、それは、埋立てによって失われた海域内の生産量と埋立地外の対象水域の埋立てによる生産量の変化との和で表した。前者は埋立ての直接影響であり、後者は間接影響である。ここで生産量とは、水質濃度（栄養塩類）から出発して一次生産から高次生産に至るまでの各段階の生産速度や現存量を意味している。埋立地の消失による生産量の減少は、原単位方式（単位面積や単位水容積当りの生産量と埋立面積や埋立容積との積）により求めた。また、埋立地外の生産量の変化は、生態モデルを構築することによるシミュレーション計算より求めることとしている。なお、高次生産に至るまでの生態モデルの構築はまだ未開発の分野であり、ここでは、その基本的な考え方を示した。したがって、本研究では、各生産量に対する原単位の作成の手法とその事例報告が主体となっている。

*山口大学工学部 Dept. of Civil Eng., Yamaguchi Univ.

3. 埋立地の消失による生産量の減少(直接影響)

3. 1 山口湾、大海湾の埋立ての基礎諸元

図2は山口湾、大海湾の概要図であり、表1はその基礎諸元である。この地区の埋立ては農業用地確保のための干拓埋立てであり、昭和22年から41年までに行われている。この埋立てによって、山口湾では海域面積の17.0%、大海湾では21.9%が減少している。

3. 2 基礎生産量の減少

山口湾のクロロフィルaの測定結果より、基礎生産量の原単位を、会沢は表2、表3のように纏めた。ここにおいて、クロロフィルaの資料のない埋立前については、透明度の変化より推定している。この原単位に基づき基礎生産量の減少を表4のように計算した。

3. 3 有機物分解量の減少

埋立てに伴う有機物分解量の減少は、(1)砂浜の減少(2)干潟の減少、(3)底泥の減少、(4)水域容積の減少の4つの観点から評価出来る。それぞれの原単位を表5、表6、表7、表8のように設定した。表5は、林による津市および山口湾の海浜に出入する海水の水質変化の調査を元にして纏めたものである。表6は、林による干潟海水の水質変化をボックス法(45×30×25cmのボックスに干潟砂泥1350cm³と海水10ℓを満たし、水質変化をみる。)の調査を元にして求めた。表7は、山口湾周辺海域での底泥の酸素消費速度やN、Pの溶出速度

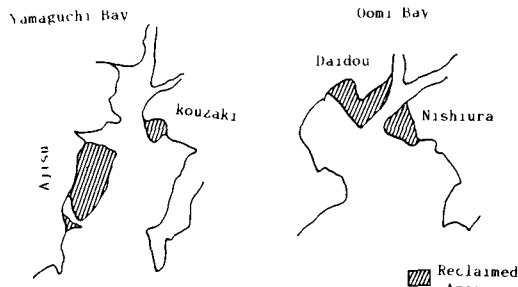


Fig 2 Reclaimed Lands in Yamaguchi Bay and Oomi Bay

Table 2 Plankton in Yamaguchi Bay (Aizawa)

Depth (m)	Amount (gC/ha)
1	750
2	1,500
3	2,250
4	3,000
5	3,750
6	4,500
7	5,250
8	6,000
9	6,750
10	7,500

Table 3 The Summary of Primary Productivity in Yamaguchi Bay (Aizawa)

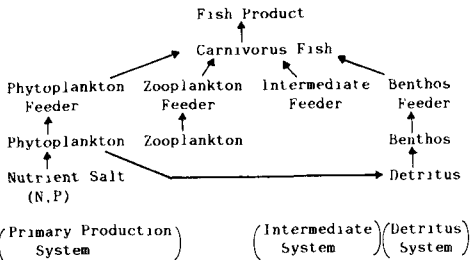
	Present	Past
Phytoplankton	75mgC/m ³	30mgC/m ³ (in 1955)
Existence	(100%)	50mgC/m ³ (in 1965)
Zooplankton	36mgC/m ³	1/2 of Phytoplankton
Existence	(48%)	40% of The Present(1955)
Primary Production Rate	1 24tC/ha/Y (Below 7.5m)	2/3 of The Present(1965)
Water Body	0 44-1 23tC/ha/Y (Above 7.5m)	4 2% of Total Primary Production
Primary Production Rate	0 052tC/ha/Y (Above 7.5m)	
Bottom Sediment		

Fundamental Formula

- 1) Productivity in Reclaimed Area
(A)
+Change of Productivity in Remaining Water Body with and without Reclamation Effect
(B) (C)
-Productivity before Reclamation
(D)
-Productivity after Reclamation
(C)

Reclamation Effect (A)+(B)
Productivity Production Rate and Amount of Biomass at Each Stage of Food Chain

2) The Relationships Between Reclamation and Biomass at Each Stage of The Food Chain



Reclamation Impact

- Water Area Turn the Land Change in Flow
Change in Water Quality and Sediment
Change in Pollution Load Impact
Increase in Turbidity (Under Reclamation)

Fig 1 A Fundamental Formula for Evaluation of The Reclamation Effect

Table 1 Water Volume in Yamaguchi and Oomi Bay

	Yamaguchi Bay	Oomi Bay
	Volume Surface Area at Ebb Tide	Reclaimed Mean Water Depth
	10 ³ m ³ 10 ³ m ² 10 ³ m ²	10 ³ m ² m
Before Reclamation	61,958 20,446 7,511	(0) 3.0
After Reclamation	58,317 16,968 6,152	(3,478) 3.4
Difference	-3,641 -3,478 -1,359	3,478 0.4
Change Rate %	5.9 17.0 18.1	13.3
Before Reclamation	21,780 9,900 3,600	(0) 2.2
After Reclamation	17,000 7,900 1,600	(1,972) 2.2
Difference	-4,780 -2,000 -2,000	1,972 0.0
Change Rate %	21.9 20.2 55.6	0

Lost Sandy Beach Yamaguchi Bay 4,555m, Oomi Bay 3,670m

の測定から、表 8 は山口湾のボックスモデルによる水質解析結果より求めた。これ等の原単位を用いて、表 9 の計算結果が得られた。

Table 4 Primary Production in Yamaguchi Bay

	Yamaguchi Bay		Primary Productivity	
	Amount	Zoo	Water Body	Sediment
	Phyto-plankton (kgC)	Plankton (kgC)	(tonC/year)	(tonC/year)
Before	1859*	929	673	0 20
Reclamation	3098**	1549	1122	0 32
(a)				
After	4374	2187	1683	0 45
Reclamation				
(b)				
Difference	2515*	1258	1010	0 26
(b-a)	1276**	638	561	0 13
Reclaimed	109*	55	103	0 01
Area	182***	91		
(c)	273***	1365	257	0 03
Ratio of	5 9*	5 9	15 3	6 7
Reclaimed	9 8**	9 8	38 2	
Area(c/a)%	14 7***	14 7		16 7
	Oomi Bay			
	Amount	Zoo	Primary Productivity	
	Phyto-plankton (kgC)	Plankton (kgC)	Water Body	Sediment
			(tonC/year)	(tonC/year)
Before	653*	327	309	0 20
Reclamation	1089**	545	515	0 32
(a)				
After	1275	638	616	0 45
Reclamation				
(b)				
Difference	622*	311	307	0 26
(b-a)	186**	93	101	0 13
Reclaimed	143*	72	58	0 01
Area	239**	120		
(c)	359***	179	146	0 03
Ratio of	21 9*	21 9	18 9	6 7
Reclaimed	36 6**	36 6		
Area(c/a)%	54 9***	54 9	47 2	16 7

* in 1955 ** in 1965 *** Present

Table 6 Water Purification Capacities of The Beach at Ebb Tide of Yamaguchi and Oomi Bay

Yamaguchi Bay		Oomi Bay	
Beach at Ebb Tide		Beach at Ebb Tide	
COD	Summer Poll.	0.482	Poll.
(g/m ² d)Winter	Puri.	0.121	Puri.
T N	Summer Poll.	0.002	Puri.
(g/m ² d)Winter	Puri.	0.063	Poll.
T P	Summer Puri.	0.031	Puri.
(g/m ² d)Winter	Poll.	0.014	Puri.
NH ₄ N	Summer Puri.	0.001	Poll.
(g/m ² d)Winter	Poll.	0.005	Puri.
NO ₃ N	Summer Poll.	0.003	Puri.
(g/m ² d)Winter	Puri.	0.016	Poll.
PO ₄ P	Summer Poll.	0.005	Poll.
(g/m ² d)Winter	Poll.	0.002	Puri.

Poll. : Pollution,
Puri. : Purification

Table 7 N and P Release Rate, and Oxygen Consume Rate from Marsh and Bottom Sediment in Yamaguchi and Oomi Bay

Release Rate		O Consume Rate	
(g/m ² d)		Rate	
		N	P
Bottom	0.0266	0.0019	0.767
Sediment			
Beach	0.0410	0.0019	0.767
Sediment			

Table 8 COD Decomposing Rate and Oxygen Consume Rate in Yamaguchi Bay Water

COD Decomposing Coefficient	0.009/day
Oxygen Consume Rate	4 608g/m ² day

Table 9 Water Purification Capacities lost by Reclamation in Yamaguchi and Oomi Bay

Table 5 Water Purification Capacities of Sandy Beach in Yamaguchi and Oomi Bay

(g/m ² day)	
(-) COD Decrease	5 000
(+) T N Decrease	0 097
(-) T P Decrease	0 075
(-) NH ₄ N Decrease	0.297
(+) NO ₃ N Increase	0.503
(+) PO ₄ P Increase	0 072

Yamaguchi Bay (ton/year)					Oomi Bay (ton/year)				
Decomposition	COD	T N	T P	O ₂ Product	COD	T N	T P	O ₂ Product	
Beach	8 3	0 2	0 1		6 5	0 1	0 1		
Purification									
Beach at E.T (S)	119 5	-0 6	7 6		-38 9	0 3	33 8		
Purification (W)	30 0	1 6	-3 5		350 0	-6 0	3.3		
Beach at E.T		-20 3				-29 9			
Release									
Bottom Sediment		-3 4	-6 6	-973 7			-1 4	-559 9	
Release									
Water Body	227 2	3 6		5849 7	219 9	2 0		-3363 8	
Decomposition									
Water Body	-3262 4				-1876 1				
Production									
Total	-3116 4	18 9	-2 4	-6833 4	-1338 4	-33 5	35 8	-3923 7	
Evaluation	Puri	Poll	Puri	Puri	Puri	Puri	Poll	Puri	

(S) Summer, (W) Winter

3. 4 ベントスの現存量と減少量

酒井によって調査された山口湾、大海域湾のベントスの現存量は表 10 である。この埋立前の資料はないが、現在と同じレベルと考えて大きな誤りはないと思う。表 10 の値を用いて計算した結果は表 11 であり、ベントス密度の高い干潟の減少が全体の減少に影響を与えている。

Table 10 Fundamental Informations on Productivity of Benthos in Yamaguchi and Oomi Bay(Sakai)

Amount		Rate	
(mgC/m ²)		(mgC/m ² y)	
Meio B	Macro B	Meio B	Macro B
Yamaguchi Bay			
Beach Area	84	1000	672
Center	42	496	333
Bay Mouth	21	251	168
Oomi Bay lam			
Beach Area	86	1020	689
Center	47	557	375

Same Figures are estimated for Before Reclamation

Table 11 Amounts of Existence and Productivity of Benthos in Yamaguchi and Oomi Bay

Yamaguchi Bay		Oomi Bay	
Amount	Rate	Amount	Rate
kgC	kgC/y	kgC	kgC/y
Before	9186	31121	7789
Reclamation	Meio 712	Meio 5695	Meio 605
(a)	Macro 8475	Macro 25426	Macro 7185
After	7314	24778	5576
Reclamation	Meio 567	Meio 4345	Meio 433
(b)	Macro 6747	Macro 20243	Macro 5144
Difference	1872	6344	2213
(b a)	Meio 145	Meio 1161	Meio 172
Reclaimed	1873	6344	2213
Area	(20 4%)	(20 4%)	(20 4%)

3. 5 海藻（アマモ、アナアオサ）の現存量と減少量

アマモの現存量と生産量の纏めは、表 12 である。

アマモについては、河本、岩本による山口湾での現存量の調査に加えて、柳井湾で行われた中国電力の調査(文献 1)を元

	Yamaguchi Bay				Oomi Bay			
	Seaweed Amount		Rate		Seaweed Amount		Rate	
	Area	(km ²)	tonC	tonC/y	Area	(km ²)	tonC	tonC/y
Before	72	40	2972	95073	2	7	110	35465
Reclamation								
After	0	38	16	499	0	037	1	5
Reclamation								
Difference	-72	02	-2956	-94574	-2	663	-108	-35416
Reclaimed	0	96	39	1235	0	03	1	2
Area	(1	3%)	(1	3%)	(1	3%)	(1	1%)

にして生産量を推定した。アナアオサについては、宇野等による埋立後の現存量の調査がある(文献 2)。表 13 はその結果である。

3. 6 漁業生産量の変化

漁業生産量の変化については、多少資料が整っている a) のり、b) あさり、c) くるまえば、および d) 全漁獲量について評価を試みた。

(A) のり： 埋立前後におけるのり生産量の変化の纏めは表 14 である。のりの生産量は埋立てにも拘らず大幅に増加しているが、これは生産技術と生産意欲の向上の結果と考えられる。なお、埋立地の消失に伴う生産量の減少については評価出来る資料が無かった。

Table 14 Production Laver in Yamaguchi and Oomi Bay

	Yamaguchi Bay		Oomi Bay	
	Laver Yield	tC/y	Laver Yield	tC/y
Before	4	23	6	58
Reclamation	(in 1956-1961)		(in 1956-1961)	
After	16	60	14	13
Reclamation				
Difference	12	37	7	55

(B) あさり： 大海湾のあさりの生産量の変化は表 15 である。あさりでは、単位面積当たりの生産量は増加しているが、埋立てによる面積の減少により生産量は減少している。

Table 15 Production Short Naked Clams in Yamaguchi and Oomi Bay (Iwamoto)

	Oomi Bay		Amount	
	Fishing Density	Area(ha)	ton	tonC
Before	200	Max 7415		
Reclamation		Ave 1076	2502	125
After	50	Max13162		
Reclamation		Ave 1162	1347	67
Difference	-150	Ave 86	1155	-57
Reclaimed	150		1877	93
Area	(75%)		(75%)	(75%)

(C) くるまえば： くるまえばの生産量の変化は表 16 である。

(D) 全漁獲量： 大海湾の食性カテゴリー別の漁獲量の資料(伊東弘)から整理した埋立前後の漁獲量の変化は表 17 である。埋立後は、埋立前に比べて炭素量で 63.3% の増加となっている。

Table 16 Production of Pram in Oomi Bay(Hiyama)

	Oomi Bay					
	Beach Area	Density	Amount	Yield	Fish	
	(ha)	(No./ha)	tonC	tonC	Catch Rate(%)	
Before						
Reclamation	360	9660	4.17	1.68	40.3	
After						
Reclamation	160	7500	1.44	0.51	36.1	
Difference	-200	-2160	-2.73	-1.17	-4.2	
Reclaimed	200	(9660)	2.32	0.94	40.3	
Area	(55	5%)	(55	5%)	(55	5%)

大海湾の埋立てによる水容積の減少 21.9% と比較して、海藻食性の魚類の減少とプランクトン食性の魚類の増加とが特徴的である。なお、埋立てに直接影響するものとして、ベントス食性の魚類が挙げられる。

以上、埋立ての直接影響による生産量の減少を纏めると表 18 となる。これ等の値は埋立前の生産量を基礎として算定している。しかしながら、たとえ埋立てがなくても生産量は地域内に(空間的)、また時間的(時系列的)に変わることがあり、埋立後の生産量で評価した場合とこの値は大きく異なることがある。後者の場合の評価は複雑であるが、基本的には、埋立時(前)に、埋立地域内に存在していた生産量の減少が、そのまま埋立ての直接影響と割切って定義するのが妥当であろう。

4. 埋立地外の影響評価

4. 1 評価の考え方

埋立地外の影響評価は、図 1 に示すように、埋立前の生産量、埋立後の生産量、埋立地内の生産量を測定することによって求めることが出来るが、因果関係に基づいたその構造内容を明確にして、埋立てによる

Table 17 The Catch of Fish at Each Stage of Food Chain in Oomi Bay

Oomi Bay		
Catch of Fish		
	kg/y	kgC/y
Before F	114395	13270
Recla- Z	120018	13922
mation B	320996	37236
ph	254325	26145
D	185541	21523
W	2704	314
P	-	-
Total	997979	112409
After F	105041	12185
Recla- Z	62208	7216
mation B	287978	33406
ph	889344	103164
D	147541	17115
W	1628	189
P	620	31
Total	1494360	173305
Difference F	-9354	-1085(8.2%)
rence Z	-57810	-6706(48.2%)
B	-33018	-3830(10.0%)
ph	635019	77020(295.0%)
D	-38000	-4408(21.0%)
W	-1077	-125(39.8%)
P	620	31(-)
Total	496381	60897
Recl- F	(49.7%)	(63.3%)
Area B	64841	7512
ph		
D		
W		
P		
Total	64841	7522
	(20.2%)	(20.2%)

F Fish Feeder, Z: Zooplankton F
B Benthos F. D: Detritus F
W: Weed ph: Phytoplankton F.

Table 18 The Summary of Self Purification and Bioproductivity Capacities Lost in The Reclaimed Area in Yamaguchi and Oomi Bay

Land Decrease		Phytoplankton Decrease		Zooplank Decrease		Benthos Decrease	
Volume	Area	Amount	Production Rate	Amount	Amount	Amount	Rate
(10 ³ m ³)	(10 ³ m ²)	(kgC)	(tC/y)	(tC/y)	(kgC)	(kgC)	(tC/y)
Yamagu	3641	3478	109	10.3	0.013	55	1873
chi Bay	(5.9%)	(17.0%)	(5.9%)	(15.3%)	(6.7%)	(5.9%)	(20.4%)
Oomi	4780	2000	143	58	4.160	72	2213
Bay	(21.9%)	(20.2%)	(21.9%)	(18.9%)	(55.5%)	(21.9%)	(28.4%)
Short-Naked		Clam Decrease		Pram Decrease		Yield	
Area	Amount	Area	Amount	Area	Amount		
(km ²)	(kgC)	(km ²)	(kgC)	(km ²)	(kgC)		(tC/y)
Yamagu	0.95	38600	1236				
chi Bay	(1.3%)	(1.3%)	(1.3%)				
Oomi	0.03	1200	390	1.5	9.34	2.00	2320
Bay	(1.1%)	(1.1%)	(1.1%)	(75%)	(75%)	(55.6%)	(55.6%)
Fish Yield Change in Water Quality		Rate of Change(t/y)		Amount(Decrease ton)			
Decrease	Rate of Change(t/y)	Decrease	Rate of Change(t/y)	Decrease	Rate of Change(t/y)	Decrease	Rate of Change(t/y)
(tC/g)	(tC/y)	(tC/g)	(tC/y)	(tC/g)	(tC/y)	(tC/g)	(tC/y)
Yamagu	(Benthos)	-3030	0.035	-6660	-6.46	3116	18.9
chi Bay	(Feeder)						
Oomi		7.52	-3040	-3380	3920	-33.50	1338
Bay	(20.2%)						

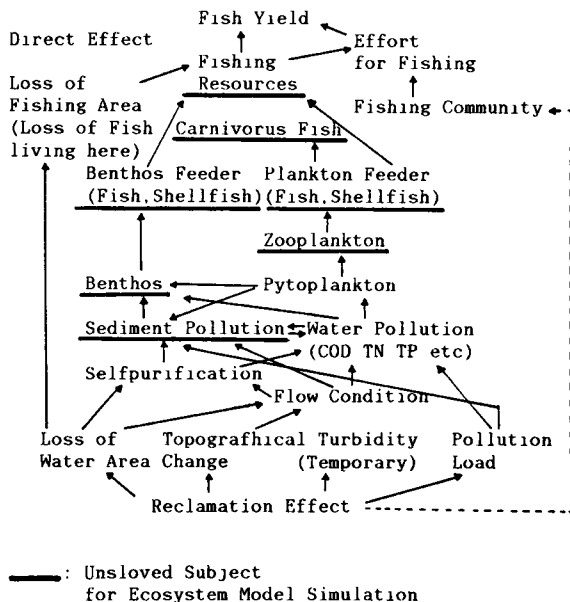


Fig.3 Mutual Relations of Each Factor Effected by Reclamation

Table 19 Procedure of Ecosystem Model Simulation for Evaluation of Reclamation Effects to The Remaining Water Body

Change by Reclamation Impact	Simulation of Present State (Concentration) by Ecosystem Model
Pollution Load	Prediction of Before and After Reclamation by Ecosystem Model Simulation (Concentration)
Topography	Reclamation Effect (Biomass Weight) to Remaining Water Body = (Difference of Biomass Concentration between Before and After Reclamation) Volume of Remaining Water Body
Flow	
Water Quality	
Primary Product	
High Order Product	

ものとそれ以外のものとに分けて知るために生態モデルの構築が必要である。図3は埋立影響関連図であり、埋立てによる入力として、浅海域や干潟の消滅、海岸や海底形状の変化、濁質粒子の増加（工事期間）、汚濁負荷量の増加がある。これ等の変化を入力として高次生産に至るまでの変化を示す生態モデルの構築されねばならない。この構築された生態モデルによって埋立地外の影響を計算する場合、表19に示す計算手順が考えられる。一般のモデル計算では、現況の状況から求めた諸係数を将来、あるいは過去に適用して将来や過去の状況を予測している。以上の結果から、埋立地外に対しては、埋立影響として埋立後の生産量の変化が評価されることになる。一方、埋立地内では、埋立後の生産量の変

化は評価されていないということになる。

4. 2 高次生産モデルへのアプローチ

漁業生産に至るまでの高次生産モデルについては、まだ研究を始めたばかりであるが、高次生産の生態モデルを構築して山口湾に適用してみた。図4は、そのモデルの構造概要であり、表20は、基礎式および使用したパラメーター値を示

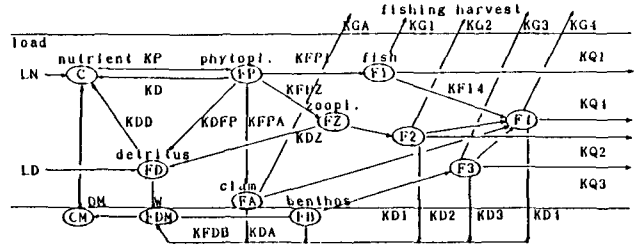


Fig. 4 Structure of ecosystem model for Yamaguchi estuary

している。表21は、モデル基礎式の記号説明である。

このモデルは、山口湾を一つのボックスとして年平均の物質収支を魚類等の高次のものまでを含めている。魚類については、捕食、被食、死亡、漁獲、系外移動を考慮している。各分野で得られたデータを参考にして設定した諸係数を用いて、N収支を満足する生態系の各成分要素の平衡濃度を求めた結果は表22に示す通りである。ここでは系外移動や漁獲について十分な実証的根拠がないので、数値実験的なトライアルにより設定しているが、系外移動は負でないとい計算は安定しなかった。表22の最終欄に、水産生物の現存量を埋立前後で比較している。これを見ると、底生動物を含めて現在の現存量は12.9 ton N、過去の地形（現在負荷）の場合の現存量は14.6 ton Nであり、埋立てにより11.7%の水産生物の減少があるという結果が得られた。これは埋立てによる山口湾の海水容積の減少5.9%と比較しても、なお5.8%の減少であり、これはマクロに見て埋立地外についてもそれだけマイナスの影響が表れていると解せられる。なおこの計

算では埋立前後の負荷量を同一にしており、水産生物5.8%の減少は埋立地外の埋立影響（図1のB）を意味している。Bは主として埋立に伴う流況の変化によるものであり、負荷量変化は埋立以外の影響（C）としている。埋立後の負荷量増加全部を埋立影響（B）に

含めた場合には水産生物は増加する計算結果となる。なお、より正しい評価には負荷量増加の内容をBとCに分類して解析する必要がある。

5. む す び

沿岸海域の利用に伴う自浄作用や生物生産量の変化を定量化する手法を考えた。埋立て等による海域の消失する区域の影響については、単位面積や単位容積当りの生産量を原単位としてとらえ、それに消失面積や容積

Table 20 Fundamental equations of ecosystem model

$DC/DT = -KP \cdot (C/(CS+C)) \cdot FP + KDD \cdot FD + \lambda \cdot DM \cdot (CM-C)/(0.5 \cdot ZM \cdot Z) + LC/V - \alpha c \cdot Q \cdot C/V - \alpha c \cdot \alpha c \cdot r \cdot QS \cdot (C-C0)/V$		(1)
$DFP/DT = KP \cdot (C/(CS+C)) \cdot FP - KDP \cdot FP - KFPZ \cdot FP - KFP1 \cdot FP - \alpha f \cdot Q \cdot FP/V - \alpha f \cdot \alpha f \cdot r \cdot QS \cdot (FP-FP0)/V$		(2)
$DFD/DT = KDP \cdot FP + KDZ \cdot FZ - KDD \cdot FD - W \cdot FD/Z + LD/V - \alpha d \cdot Q \cdot FD/V - \alpha d \cdot \alpha d \cdot r \cdot QS \cdot (FD-FD0)/V$		(3)
$DFZ/DT = KFPZ \cdot FP - KDZ \cdot FZ - KFZ2 \cdot FZ$		(4)
$DFA/DT = KFPA \cdot FA - KDA \cdot FA - KFA4 \cdot FA - KGA \cdot FA$		(5)
$DF1/DT = KFP1 \cdot FP - KD1 \cdot F1 - KF14 \cdot F1 - KG1 \cdot F1 - KQ1 \cdot F1$		(6)
$DF2/DT = KFZ2 \cdot FZ - KD2 \cdot F2 - KF24 \cdot F2 - KG2 \cdot F2 - KQ2 \cdot F2$		(7)
$DF3/DT = R \cdot KFB3 \cdot FB - KD3 \cdot F3 - KF34 \cdot F3 - KG3 \cdot F3 - KQ3 \cdot F3$		(8)
$DF4/DT = KFA4 \cdot FA + KF14 \cdot F1 + KF24 \cdot F2 + KF34 \cdot F3 - KQ4 \cdot F4 - KGA \cdot FA - KQ4 \cdot F4$		(9)
$DCM/DT = -DM \cdot (CM-C)/(0.5 \cdot ZM \cdot ZM) + KDM \cdot FDM - KN \cdot CM$		(10)
$DFDM/DT = W \cdot FD/(Z \cdot ZM) - KDM \cdot FDM + KDB \cdot FB + KDA \cdot FA/R + KD1 \cdot F1/R + KD2 \cdot F2/R + KD3 \cdot F3/R + KD4 \cdot F4/R - KFDB \cdot FDM$		(11)
$DFB/DT = KFDB \cdot R \cdot FDM - KDB \cdot FB - KFB3 \cdot FB - KGB \cdot FB$		(12)
$R = \lambda \cdot ZM/Z; SA = FA \cdot Z; SB = FB \cdot \lambda \cdot ZM; RA = (SAF-SA)/(SAF-SA+SAQ); RB = (SBF-SB)/(SBF-SB+SBQ)$		
$V=58317E3; Z=3.20; ZM=0.05; Q=1052E3; QS=8E7; DM=0.0001; W=0.55; WD=2E-6; LC=1.58E6; LD=0.26E6; C0=0.16; FP0=0.04; FDO=0.04; CS=0.14; KP=1.10; KFPZ=0.05; KFP1=0.03; KFZ2=0.03; KF14=0.008; KF24=0.003; KF34=0.002; KFB3=0.005; KFPA=0.03; KFA4=0.002; KFDB=0.05; SAF=1.0; SBF=0.1; SAO=0.5; SBO=0.1; KDP=0.35; KDD=0.3; KDZ=0.4; KDA=0.02; KDB=0.05; KDM=0.03; KN=0.01; KD1=0.05; KD2=0.04; KD3=0.04; KD4=0.04; KG1=0.5/365; KG2=0.5/365; KG3=0.5/365; KG4=0.5/365; KGA=1.0/365; KGB=0.25/365; KQ1=0.0; KQ2=0.5/365; KQ3=0.5/365; KQ4=1.0/365; \alpha c=1.00; \alpha f=0.50; \alpha d=0.50$		

Table 21 Various factors and parameters of ecosystem model and adopted values

V, Z, Z	volume (m ³), water depth (m), mud depth (m)
Q, r, QS	inflow rate (m ³ /d), diffusion rate (m ³ /d)
DM, λ	diffusion constant in mud (m ² /d), porosity of mud
W, WD	settling velocity (m/d), sedimentation rate (m/d)
LD, LC	pollutant load of detritus, or nutrient (N g/d)
C0, FP0, FDO, CS	nutrient, phytoplankton and detritus conc. of open sea, half-saturation const. (N g/m ³)
KP, KDD, KDM, KN	production rate coeff., decreasing rate coeff. of detritus in water, in mud, denitrification coeff. (1/d)
KFPZ, KFP1, KFZ2, KFPA, KF14, KF24, KFA4, KFB3, KF34, KFDB	(KFPY) feeding coefficient of Y on X (1/d)
KDP, KDZ, KD1, KD2, KD3, KD4, KDA, KDB	decaying rate coeff. (1/d)
SAF, SBF	space capacity for benthos, or clam (N g/m ²)
SAO, SBO	space factor for benthos, or clam (N g/m ²)
KG1, KG2, KG3, KG4, KGA, KGB	harvest coefficient (1/d)
KQ1, KQ2, KQ3, KQ4	transport coefficient of fish (1/d)
$\alpha c, \alpha f, \alpha d$	transport efficiency of nutrient, phytoplankton, or detritus

Table 22 Results of ecosystem model

	standing stock		
	case1	case2	case3
	(N mg/m ³)		
nutrient	187	186	123
phytoplankton	75	79	40
zooplankton	9	9	5
detritus	58	59	34
fish(group1)	38	40	20
fish(group2)	6	6	3
fish(group3)	58	63	40
fish(group4)	14	15	8
clam	57	59	32
benthos	49	53	34
sum(fish-)	222	236	137
(ton N)	12.9	14.6	8.6

case1: present, case2, before reclamation with present load, case3: past

