

埋立前後における生態系の構造と機能の変化に関する 定量的評価の試み

中 西 敬*・上 嶋 英 機**

1. はじめに

21 世紀の国土のランドデザイン（全国総合開発計画）においては、豊かな自然を保全し享受するための方策の一つとして、ミティゲーションが位置づけられ、開発行為に係る影響の回避、最小化、それらが困難な場合の代償措置の重要性が指摘されている。また、環境影響評価法においては、環境保全措置の検討に当たって“当該事業の実施により損なわれる環境要素と同種の環境要素を創出する”というように実質的なミティゲーションが求められている。

アメリカにおいては、ミティゲーションの評価手法として、HEP (Habitat Evaluation Procedures) や WET (Wetland Evaluation Technique) 等が用いられている。一方国内では、開発行為が生態系に及ぼす影響をいかに定量化し、評価するかといった具体的な方法論の確立が待たれるところである。特に、沿岸域の埋立については、埋立によって消失する自然の浄化能力や生物の生息空間を定量的に評価し、その上で代償措置のあり方を科学的に検討することが求められている。

筆者らは、大阪湾において仮定の埋立を想定し、埋立によって消失する生物の現存量及び生産量と、埋立によって創出される護岸において回復が期待される生物の現存量及び生産量を比較することによって、埋立前後における生態系の構造と機能の変化を定量的に評価することを試みた。

2. 定量的評価の進め方

定量的評価を進めるに当たって、「埋立によって何がどれくらい無くなるのか?」また、「埋立によって創出される護岸において、何がどれくらい増えるのか?」という点をできる限り分かりやすく表現することを目指した。定量的評価の進め方を図-1 に示す。

(1) 生態系の構造モデルの単純化

生態系は、生物的要素と非生物的要素（物理・化学的要素）によって構成され、それぞれが互いに影響を及ぼ

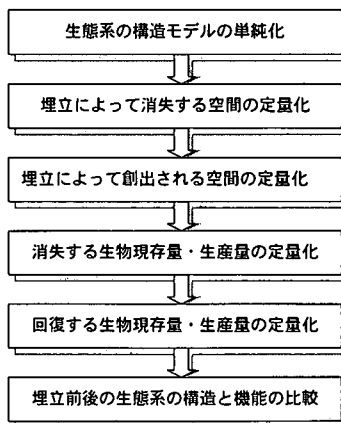


図-1 定量的評価の進め方

し合う一定の空間である。海洋の生態系は、①独立栄養生物（生産者）、②従属栄養生物（消費者）、③分解者の3つの生物的要素と、④物理・化学的環境要素、さらにはそれらを連結する⑤溶存・懸濁有機物質、⑥系に添加される無機・有機物質の3つの非生物的要素によって構成されている（山本, 1976）。それらの要素を食物連鎖の関係でつないだ概念図が生態系の構造を表現する方法としてしばしば用いられる。

筆者らは、生態系の構造と機能の変化をより分かりやすく表現するため、埋立前後の生物的要素の変化を定性的に整理し（表-1）、その結果を用いて、生態系の構造を単純化したモデルで表現した（図-2）。

モデルの横軸両端に栄養塩類と有機懸濁物を配し、縦軸方向に、植物プランクトン、海藻とそれらを捕食する動物プランクトンやより高次栄養段階の生物である附着動物、浮魚、ベントス、底魚を配した。さらに、それらの構成要素を主に捕食・被捕食の関係でつないだ。

(2) 対象とする空間、時間スケールの設定

埋立前後の変化を定量化する場合、対象とする空間及び時間スケールをいかに設定するかが重要である。ここでは、埋立による物理的な変化が直接生じる範囲として、埋立範囲及びその護岸の近傍を対象空間とした。そのため、埋立による流れの変化によって、周辺の海域で間接

* 正会員 徳島大学大学院工学研究科 エコシステム工学専攻
** 正会員 工博 通産省中国工業技術研究所 海洋環境制御部長

表-1 埋立前後の生態系における生物的要素の変化

栄養段階区分 (食性区分)	埋立前	埋立後
基礎生産者	(a)植物プランクトン	(b)海藻 例:フダク等
植物食者	(c)動物プランクトン (e)浮魚 例:コノシロ等 (f)ベントス 例:ヨソバネスピオ等	(d)付着動物 例:ムラキイガイ, マガキ等
肉食者	(e)浮魚 例:アジ, サバ等 (g)底魚[砂泥底に生息] 例:マコガレイ等	(g)底魚[磯岸に生息] 例:カサゴ, メバル等

態系の機能を考える上で重要とされている。

独立栄養生物（生産者）である海藻の場合は、光合成による総生産量から呼吸量を除いた量が純生産量となり、純生産量から、枯死脱落量、動物による被捕食量を差し引いた値が現存量となる。

従属栄養生物（消費者）である動物の場合は、摂食量から、消化されずに排出される量（不消化排出量）と呼吸量、さらには尿などの代謝終産物量を除いた値が生産量となり（図-3）、一定期間の生産量の蓄積が、ある時刻の現存量となる。

生産量を推定する方法としては、生長量逐次計算法、死亡量累計法その他、平均現存量を用いて生産量を推定する P/B 法や最大現存量を用いて推定する P/B_{max} 法がある。

本研究においては、大阪湾内における既存の調査結果から得られた各種生物の現存量（表-2）を用い、モデルを構成する各要素を定量化した。また、現存量に基づき P/B 法及び P/B_{max} 法を用いて生産量を算出した（表-2）。この値が各要素をつなぐフラックスを決定する。

なお、既存調査のデータの多くが、生物量を単位面積もしくは単位体積当りの湿重量で表したものであり、生物によって組成が異なる。ここでは、大阪湾内においてサンプリングした代表的な生物を分析し（一部は既存の知見を用い）、乾湿重量比、炭素、窒素、磷（以下 C, N, P）の各含有量比を求め（表-3）、それらの値を湿重量に

的に生じる影響については評価の対象となっていない。護岸における生物現存量については、護岸造成後少なくとも数年が経過した状態を定量化した。また、生物現存量及び生産量算定のための時間スケールを1年間とした。このため、定量化に用いた生物現存量については年間平均現存量もしくは年間最大現存量であり、生物生産量は年間生産量である。

(3) 現存量と生産量によるモデルの定量化

生物現存量（以下現存量）は、ある時刻に一定の空間内に存在する特定の生物群の量を重量で表したものであり、これに対して生物生産量（以下生産量）は、外界に存在する物質を材料として取り入れ自己の体を作り上げることである。生産量は物質循環の駆動力ともなり、生

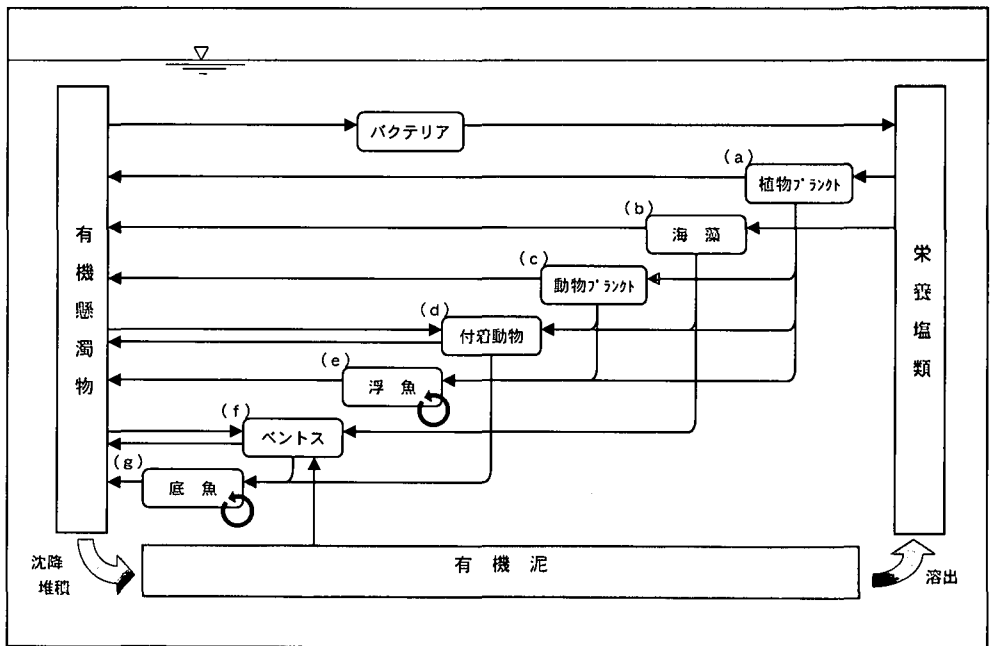


図-2 生態系の構造の単純化モデル

乗ることによって得た C, N, P の各量で埋立前後の現存量, 生産量を表した。

(4) 埋立の規模と護岸形状の想定

定量化に当たっては, 大阪湾の水深-15 m の海域に, 1 km×3 km の矩形の埋立を想定した。埋立護岸の構造は垂直構造と緩傾斜構造を想定し, 両者の違いを比較した。なお, 大阪湾内における海中の光条件から, 海藻の分布範囲を-5 m 以浅と仮定した。また, 付着動物の生息範囲を-10 m 以浅と仮定した。

(5) 埋立前後における空間の変化量

埋立に伴い消失する海面や海底面の面積及び海中の空間の容積を算出した。また, 護岸において創出される基盤の面積を算出した (表-4)。なお, 海藻や付着動物の

生息基盤となる護岸の表面積については, 表面・法面を平坦面と仮定した (実際には石材や消波ブロックにより凹凸が生じ, 面積はより大きなものとなる)。

3. 変化する現存量, 生産量の試算結果

上記の方法によって試算した埋立前後における現存量及び生産量の変化を表-5 に示す (ここでは N 量のみを掲載した)。さらにその結果を基礎生産者, 植物食者, 肉食者の各栄養段階別にまとめ, 埋立前後並びに護岸構造の別に比較したものを図-4, 5 に示す。

なお, 肉食者については, 埋立前の底魚の現存量のみが定量化可能であったことから, 埋立前後の対比につい

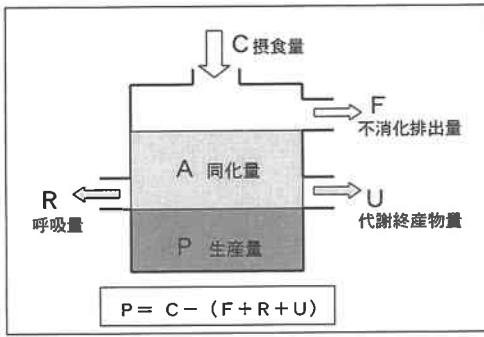


図-3 生産に関する諸量間の関係 (玉井, 1988)

表-3 各生物の成分組成比

記号	生物区分	湿重	乾重	C	N	P	備考
(a)	植物プランクトン	—	—	68.00	9.60	1.00	城(1986)より
(b)	海藻	100	15.6	5.27	0.53	0.03	アナアオサ等の分析値
(c)	動物プランクトン	—	—	19.02	3.70	1.00	城(1986)より
(d)	付着動物	100	61.38	10.87	1.01	0.28	矢持ら(1993)より
	付着動物	100	33.01	9.20	1.79	0.38	節足動物の分析値
(e)	浮魚	100	20.62	9.32	2.81	0.25	コノシロの分析値
(f)	ベントス	100	25	11.05	2.15	0.58	二枚貝の身の分析値
(g)	底魚	100	22.00	10.07	3.11	0.20	ヒラメの分析値

表-2 生物現存量, 生産量の原単位

記号	生物区分	摘要	単位	数値	備考
(a)	植物プランクトン	平均現存量	gC/m ³	0.21	城(1986)より
		年間生産量	gC/m ² ・年	835.85	城(1986)より
(b)	海藻	平均現存量	湿重/m ²	46.47	大阪湾内の11地点, 3層, 4季の平均値
	(垂直構造の場合)	最大現存量	湿重/m ²	91.06	大阪湾内の11地点, 4季の最大値
		年間生産量	湿重/m ² ・年	273.18	P/B _{max} =3.0を用いて算出
	(緩傾斜構造の場合)	平均現存量	湿重/m ²	1,955.60	大阪湾内の5地点, 3層, 4季の平均値
		最大現存量	湿重/m ²	4,424.04	大阪湾内の5地点, 4季の最大値
		年間生産量	湿重/m ² ・年	13,272.12	P/B _{max} =3.0を用いて算出
(c)	動物プランクトン	平均現存量	gC/m ³	0.03	城(1996)より
		年間生産量	gC/m ² ・年	4.09	城(1986)より
(d)	付着動物	平均現存量	湿重/m ²	2,225.23	大阪湾内の11地点, 3層, 4季の平均値
	(垂直構造の場合)	最大現存量	湿重/m ²	3,318.43	大阪湾内の11地点, 4季の最大値
		年間生産量	湿重/m ² ・年	3,759.78	ムラサイキイガイの P/B _{max} =1.133, 細見(1973)を用いて算出
	(緩傾斜構造の場合)	平均現存量	湿重/m ²	45.44	大阪湾内の5地点, 3層, 4季の平均値
		最大現存量	湿重/m ²	73.96	大阪湾内の5地点, 4季の最大値
		年間生産量	湿重/m ² ・年	83.80	垂直構造の場合と同様
(e)	浮魚	平均現存量	湿重/m ²	***	既存のデータから算定が困難であった
		年間生産量	gC/m ² ・年	5.76	上(1996)より, ただしグラフからの読み取り値
(f)	ベントス	平均現存量	湿重/m ²	90.95	大阪湾内の67地点, 4季の平均値
		年間生産量	湿重/m ² ・年	134.81	ホトギスガイの P/B=1.9, 田中・菊池(1970)を用いて算出
(g)	底魚	平均現存量	湿重/m ²	0.46	大阪湾内の20地点における曳網平均値
		年間生産量	湿重/m ² ・年	***	既存のデータから算定が困難であった

表-4 埋立前後の物理的空間の変化

項目	単位	想定値	備考
消失する海面	m ²	3,000,000	3,000 m×1,000 m
消失する海中の空間	m ³	45,000,000	海面積×15 m
消失する海底面	m ²	3,000,000	
創出される基盤面			
(垂直護岸の場合)	m ²	185,400	
うち、海藻の繁殖基盤面	m ²	40,000	-5 m 以浅の基盤面
うち、付着生物の生息基盤面	m ²	80,000	-10 m 以浅の基盤面
創出される基盤面			
(緩傾斜護岸の場合)	m ²	304,500	
うち、海藻の繁殖基盤面	m ²	85,600	-5 m 以浅の基盤面
うち、付着生物の生息基盤面	m ²	215,000	-10 m 以浅の基盤面

ては今後の課題である。

試算の結果からは以下の点が明らかになった。

a) 基礎生産者の変化

- ・現存量については、垂直護岸における海藻の現存量が埋立前の植物プランクトンの現存量の約 1/130、緩傾斜護岸では約 2/3 となる。
- ・生産量については、垂直護岸における海藻の生産量が埋立前の植物プランクトンの生産量の約 1/6,000、傾斜護岸では約 1/60 となる。

b) 植物食者の変化

- ・現存量については、垂直護岸における付着動物の現存量が埋立前の動物プランクトンとベントスの現存量の約 3 倍となり、緩傾斜護岸では約 1/3 となる。
- ・生産量については、垂直護岸における付着動物の生産量が埋立前の動物プランクトンとベントスの生産量の約 1/3、緩傾斜護岸では約 1/13 となる。

4. ま と め

富栄養化が進んだ大阪湾内において、-15 m 水深の場所に 300 ha の埋立を想定し、埋立前後の生物現存量及び生産量を算出することによって、埋立前後における生態系の構造と機能の変化に関する定量的評価を試みた。

その結果次のことが明らかになった (図-6)。

埋立前後において生態系の構造が、プランクトンや浮魚等の主に浮遊系の生物で構成されたものから、海藻や付着動物といった底生系の構造に変化する。機能的には、基礎生産力が低下し、これに替わって有機物を餌として取込みより高次の栄養段階の生物へと転換する機能が高まる。

ただし、この評価は、あくまでも富栄養化が進んだ海域の比較的水深が深い場所においてのみ当てはまるものである点に留意する必要がある。

富栄養化が進んだ閉鎖性が強い海域において、偏った食物連鎖のバランスをより均衡が取れたものに矯正し、沿岸域における物質循環を円滑にするためには、これら

表-5 埋立前後における生物現存量・生産量の試算結果

記号	記号	区別	摘要	単位	値	
(a)	植物プランクトン	現存量	消失	kgN	1,350.00	
		生産量	消失	kgN/年	354,000.00	
(b)	海藻	(垂直構造の場合)	現存量	創出	kgN	9.85
			生産量	創出	kgN/年	57.91
		(緩傾斜構造の場合)	現存量	創出	kgN	887.22
			生産量	創出	kgN/年	6,021.30
(c)	動物プランクトン	現存量	消失	kgN	283.50	
		生産量	消失	kgN/年	35,775.00	
(d)	付着動物	(垂直構造の場合)	現存量	創出	kgN	16,589.96
			生産量	創出	kgN/年	28,030.61
		(緩傾斜構造の場合)	現存量	創出	kgN	1,901.42
			生産量	創出	kgN/年	3,506.41
(e)	浮魚	現存量	消失	kgN	***	
		生産量	消失	kgN/年	***	
(f)	ベントス	現存量	消失	kgN	4,576.28	
		生産量	消失	kgN/年	8,694.92	
(g)	底魚	現存量	消失	kgN	42.85	
		生産量	消失	kgN/年	***	

***: 既存の知見、データに基づく算出ができなかったもの

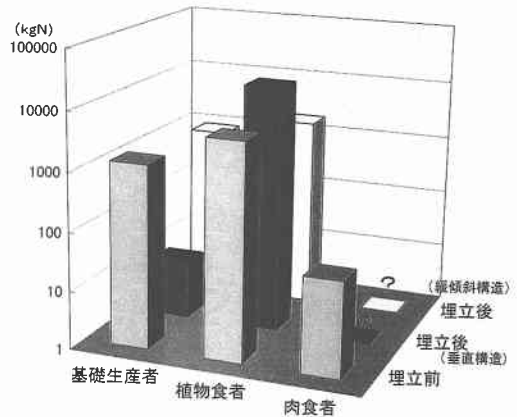


図-4 埋立前後における生物現存量 (窒素量) の変化

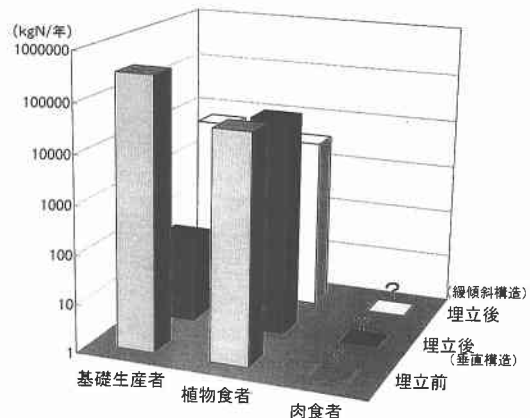


図-5 埋立前後における生物生産量 (窒素量) の変化

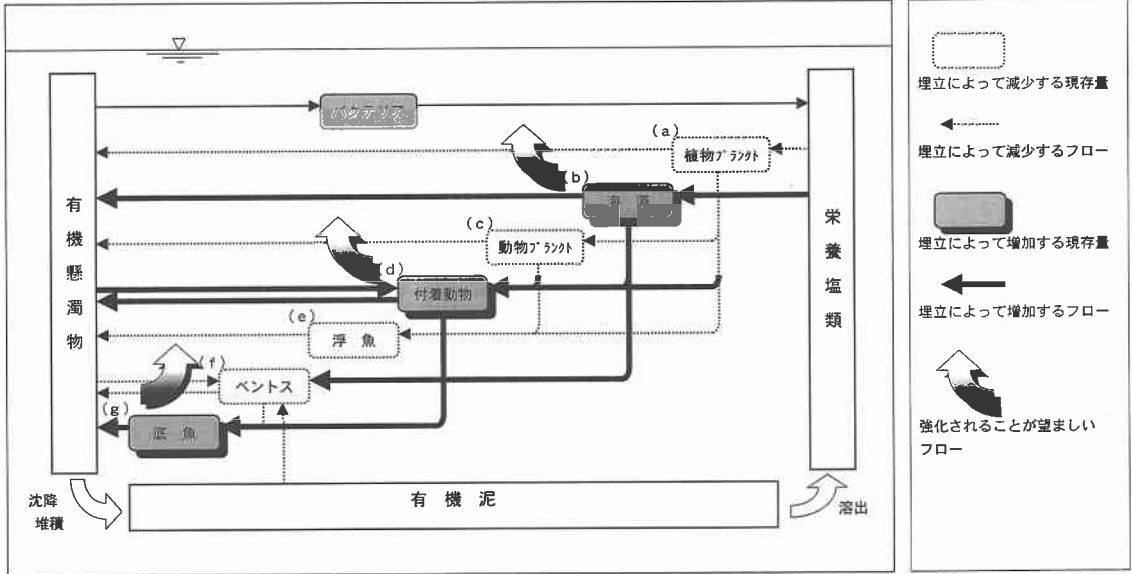


図-6 埋立前後における生態系の構造と機能の変化

の付着動物等が、さらに高次栄養段階の生物に捕食されたり、漁業等によって海域から取り上げられるようなシステムが不可欠である。

なお、本研究においては、大阪湾内における既存の調査データとして、各種埋立事業に係る環境影響評価調査のデータを用いた。これらの貴重なデータは自治体の情報コーナーで公開されていることを付記する。

参考文献

上 真一 (1996): 漁業を支える環境と低次生産、動物プランクトン、岡市友利・小森星児・中西 弘編、瀬戸内海の生物資

源と環境、恒星社厚生閣、pp. 57-67.

城 久 (1986): 大阪湾における富栄養化の構造と富栄養化が漁業生産におよぼす影響について、大阪府水産試験場研究報告、第7号、pp. 111-133.

玉井恭一 (1988, 1989): ベントスの生産量とその推定法、海洋と生物、Vol. 10-No. 5, No. 6, Vol. 11-No. 1~No. 5.

服部明彦 (1991): 藻場の物質循環、Ecosystem Engineering 創刊号、pp. 85-96.

山本護太郎 (1976): 海の生態系—構造と機能—、海洋出版株式会社、126 p.

矢持 進・佐野雅基・有山啓之 (1993): 渚の環境構造とその役割に関する調査研究報告書、pp. 114-119.