

環境影響評価手法、環境改善技術手法の研究

中嶋 雅孝*

はじめに

2001年1月から実施された行政構造改革により、環境庁が環境省へ格上げされたことは周知の事実であるが、先日の新聞紙面に、その存在を強くアピールするかのように、環境省から出された三番瀬干潟（東京湾）埋立計画縮小案に対する計画見直し要請の記事が掲載されていた。我々の身の回りの環境問題には、このような大規模な開発から、人々の活動に伴って生じる汚水問題など身近なものまで様々であるが、これらの開発行為や活動は、必ずといって良いほど自然環境資源の消費を伴うものである。これらの自然環境資源は有限なものであるから、無秩序な消費の速さが自然環境が元来持っている回復速度を上回った時、これらに依存してきた地球上の生物は滅亡という運命に直面するのである。このため、持続可能な発展や開発の術を考えることが、我々現代人の次世代に対する責務であることはいうまでもない。

持続可能な発展の実現の根底には、広義の自然環境との共生という理念が存在する。先進国の多くは、開発行為が発生するとそれぞれ独自の環境影響評価システムにより環境に対する事業影響を予測し、資源の消費や環境負荷を最小限にとどめようと努めるが、開発と環境保全という全く相反する両者をいかに

両立させ、環境共生させるかが、持続可能な発展を実現できるか否かの分かれ目となる。また、この判断はいつも客観的に正しくなくてはならない。先の環境省の意見も実は、必要以上の開発がないか、すなわち適正な開発量であるかを問うものであり、開発サイドへ計画見直しという譲歩を促したものである。

こうした中で環境コンサルタントである我々は、環境共生の実現への方向性を科学的に、客観的に打ち出していくことが社会に対する使命と考えている。環境共生の観点での科学的、客観的な判断はいかにして得られるのだろうか。開発の必要性と環境保全の重要性を直接比較することはできないが、開発を行った場合の環境の変化を科学的に予測する上で両者の相互関係を明らかにすることは可能である。

そこで、我々はこれらの因果関係を科学的に解き明かしていくことが、環境影響評価や環境改善技術を検討する上での客観的な判断根拠となると同時に、我々技術者集団のレベル向上につながると考え、これまで専門家を交えた討議や自主研究を重ねてきた。研究テーマは、環境改善技術の検討など業務の中でその対策手法の提案を直接要求されるものの、最近の環境アセスメントにおいて特に注目されている生態系に対する予測評価手法や

* (財)九州環境管理協会 環境部環境技術課課長代理

調査手法の開発など幅広い範囲にわたっており、いずれも今後の環境施策の計画・実施には不可欠なプロセスである。なかでも、生態系に係る研究は、その複雑さゆえにアプローチすべき側面が多い。概していえば、生態系は生物とその生息基盤から成りたっており、生物学的な知識と工学的な発想の連携による解析姿勢が効果的であるが、これらの複雑な構造を一体的に解き明かすことは容易ではなく、段階を追った検討が必要と考えている。また、このような自然の現象面を対象としたテーマだけではなく、都市づくりにおける環境共生のあり方など、地域に密着した環境問題をテーマとする研究にも取り組んでいる。特に、都市域に残された自然環境は、人々にとって身近であるため、存在価値が高いものとして認識されているが、その存在価値の程度は、人によって様々であり、基準となる尺度がない。そのため地域開発においては、これまでに環境保全に対する意志統一がなされないまま、無秩序な開発や立地を許してきた経緯もある。地域住民にとって身近な自然環境は、心豊かな生活環境を与えてくれるものであり、残されたわずかな自然環境を大切にしていくための何らかの行動が必要ではなかろうか。今後は、都市計画と環境保全計画を両立させた施策の実現のため、このような研究内容を踏まえた環境保全の意志決定システムを、関係行政機関に対して積極的に提言していきたい。

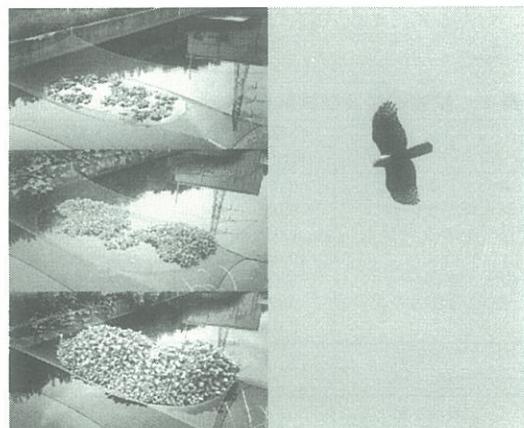
これらの研究成果の一部は、論文、学会等で発表し、それなりの評価を受けてきたものもある。本誌では、以下に示す我々の研究の概要を紹介するが、それらの一部はまだ研究の途中段階であり、今後さらに検討を進め、将来はこれらの研究で得られた技術を業務の

中に適用していく考えである。

研究テーマ

1. 水生植物による水域の窒素浄化技術
2. 集落内クリークにおける水質浄化技術
3. GISの環境影響評価における生態系予測への適用
4. 猛禽類調査手法の研究
5. 博多湾口部における物質フラックス
6. 海上遮へい構造物が底生生物の分布に及ぼす影響
7. ベントスモデルによる沿岸生態系の定量的評価
8. 環境アセスメントにおける生態系評価の試み
9. 博多湾における内部生産特性
10. 博多湾の汚濁負荷構造
11. 超高感度トレーサー(HST)を用いた水の流動調査法の開発
12. 热帯域における湖沼の汚濁機構の研究
13. 都市近郊における開発と環境保全の意志決定システム

水生植物による浄化試験



生態系の予測評価

1 水生植物による水域の窒素浄化技術

末津和典, 柿本大典, 内田唯史

1. 1 研究の目的

自然環境重視へと世論がシフトする中, 水処理技術の分野では, 生態系の循環システムを利用した様々な技術が検討されている。なかでも水生植物を利用した方法は, 栄養塩の削減効果が見込めることから多くの研究が行われており, 処理水量が少ない場合には良好な結果も得られている。

本研究は, 河川を対象とした水生植物の窒素除去試験から, 窒素除去に伴う処理費を試算し, 植物浄化方法の河川等環境水への適用性について検討したものである。

1. 2 研究の内容

(1) 現地浄化試験

水生植物の窒素除去能を確認するため, 数種の植物を用いて浄化試験を行った。各水生植物の窒素除去速度は, 季節によって植物の生育が異なるため変動しているが, いずれも $1.0\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{日}$ 以下の範囲にある。本試験に用いた水生植物の中では, シュロガヤツリ, ホティアオイ, パピルスが比較的高い値を示した。

表 1 試験結果及び試験条件

植物種	窒素除去速度 ($\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{日}$)	
	現地試験結果	既存文献値
ホティアオイ	0.05~0.61	0.21~1.73
シュロガヤツリ	0.08~0.93	2.1~2.5
パピルス	0.07~0.59	0.66~1.48
カラー	0.04~0.48	0.22~0.87
シュンギク	0.12~0.32	0.32~0.87
オランダガラシ	0.07~0.32	0.18~0.44
ケナフ	0.04~0.41	2.0~2.7
栽培密度	28~63 株/ m^2	
試験水槽	有効容量 900L	
処理水量 対象水の窒素濃度	0.2L/min $\text{T-N } 12.0\text{mg/L}$ (平均値)	

(2) コスト評価

試験結果をもとに水生植物を利用した浄化法の処理費用を算出し, これとほぼ同等の除去が可能な工学的処理技術 (下水道高度処理: 循環式硝化脱窒法) と対比した。表2に示すところ窒素 1kg を除去するための費用は, ホティアオイでは下水道の高度処理よりも 1.5 倍高く, シュロガヤツリでは 2/3 程度であることから, 水生植物を利用した浄化法は, 下水道の高度処理と比較した場合, 利用する植物によっては, 決して低成本とは言えない技術である。

表 2 窒素除去技術の処理費用比較

処理技術	処理水質 原水→処理水 (mg/L)	窒素 1kg 当たり 処理費 (円/kg)
循環式硝化脱窒法	20→10	1,640
水生植物 浄化法	ホティアオイ	2,430
	シュロガヤツリ	12→5 1,030

注) 処理水量は $4,000\text{m}^3/\text{日}$ として試算。

(3) 水生植物による窒素浄化法の適用性

ホティアオイ, シュロガヤツリ, パピルスは, 最大で $0.6\sim 0.9\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{日}$ 程度の窒素除去能力を示し, 植物による窒素浄化では適用性が高い植物といえる。しかし, 河川等の環境水を大量に処理する場合には, 水生植物による浄化法では, 栽培のための広大な面積が必要となり, 植物体の処分にも多額の費用を要する。植物には, 生態系の基盤としての機能があり, また景観要素としての価値も高いことから, 水生植物を利用した浄化法は, 比較的水量が小さい水域における補助的な水質浄化技術として, あるいはアメニティ性の向上の手段として適用することが望ましい。

1. 3 研究成果の公表

2000.3 第34回日本水環境学会年会

2000.6 第7回シンポジウム 環境用水の汚濁とその浄化, 環境技術研究協会

内田唯史, 末津和典 (1999) : 中日環境問題学術検討会, 浄化技術及び水環境管理論文集, p121-128.

2 集落内クリークにおける水質浄化技術

末津和典, 辻 勝也

2. 1 研究の目的

近年, 平野部に位置する農村地域では, 生活形態の変化や農業の近代化に伴う水利用形態の変化に伴い, 縦横に張り巡らされたクリークの機能低下が問題となっている。本研究は, 水質汚濁が著しいクリークの水質浄化技術を確立するため, 農村集落内のモデル地区において水質浄化試験を実施し, 水域保全方法の検討を行ったものである。

2. 2 研究の内容

(1) 現地浄化試験の概要

本研究では, 集落内クリークに適用可能と考えられる水質浄化技術を選定し, モデル地区で水質浄化試験を実施した(図1)。選定した浄化技術及び試験条件等は, 表1に示すとおりである。

表1 現地浄化試験の条件等

水質浄化技術		試験条件等
直接方式	底泥改善法 (浚渫法)	試験対象クリーク内の堆積泥 (約130m ³)をバックホウで除去。
	ばっ気付接触酸化法	木炭を充填した浄化ユニットを 水中に設置。送風量60L/min
分離方式	機械式ろ過法	処理水量20m ³ /hr, 対象クリーク水の回転率2日/回
	トレンチ法	トレンチ長60m, 滞留時間7.4hr
	バイオジオフィルター法	植物: シュロガヤツリ ろ材: ゼオライト 滞留時間2.2hr

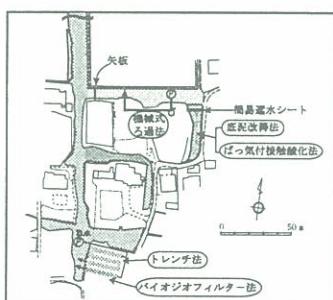


図1 現地浄化試験位置図

(2) 試験結果

浄化試験では, 直接方式の浚渫法とばっ気付接触酸化法については, 明確な水質改善効果は得られなかった。一方, 分離方式では, 表2に示すとおり, 浄化技術によって, 各汚濁物質の除去率に差異がみられた。このうち, SSは, いずれの浄化法も60%程度の除去率が得られているが, CODの浄化は難しいことが分った。また, T-N, T-Pに関しては, 植物を用いたバイオジオフィルター法が, 他の方法と比較して高い除去率を示した。

表2 汚濁物質の除去率(平均値, %)

分離方式	COD	T-N	T-P	SS
機械式ろ過法	18	18	50	61
トレンチ法	4	21	15	60
バイオジオフィルター法	24	42	69	62

(3) まとめ

本研究では, 各浄化技術により汚濁物質の除去特性があるため, 画一的な手法によってクリークの水質改善を図ることは困難であることを示した。適用にあたっては, 対象とするクリークの水質特性等を考慮して, 各種の浄化技術を組み合わせていくことが重要であろう。広い敷地の確保が容易であるという農村地帯の地域性を考えると, 動力源のいらないトレンチ法やバイオジオフィルター法は, 当該地域の実状に則した方法といえる。また, クリーク地帯の水質保全のためには, 人による積極的な維持管理が必要である。環境教育を兼ねた植物浄化システム等の導入により, 地域住民の意識高揚やコミュニティ作りを図っていくことも不可欠であると考えられる。

2. 3 研究成果の公表

1999.2 日本国水環境学会九州支部研究発表会
Lee, I.C., Uchida, T. (2000) : Application of Water Purification Techniques using Aquatic Plants at an Inland Water Body, 韓国水質保全学会誌, p345 - 356.

3 GISの環境影響評価における生態系予測への適用

入佐英紀, 中野裕香子

3. 1 研究の目的

環境アセスメントにおいて、これまで自然環境分野に係る環境要素についての予測・評価は、定性的なものがほとんどであったが、今後取り組まれていく予測・評価については、円滑な意思決定や合意形成を行うために、客観的・定量的な手法を用いることが望ましい。

本研究は、「生態系」を定量的に予測するための支援システムとしてGIS(地理情報システム)の適用性を検討したものである。

3. 2 研究の内容

(1) 研究方法

生態系への影響の予測は、基盤環境と生物群集との関係を整理して生態系の構成を把握し、これに事業インパクトを与えて予測・評価する(図1)。GISは、①調査データの入力(主題図の作成)、②基盤環境の類型区分図の

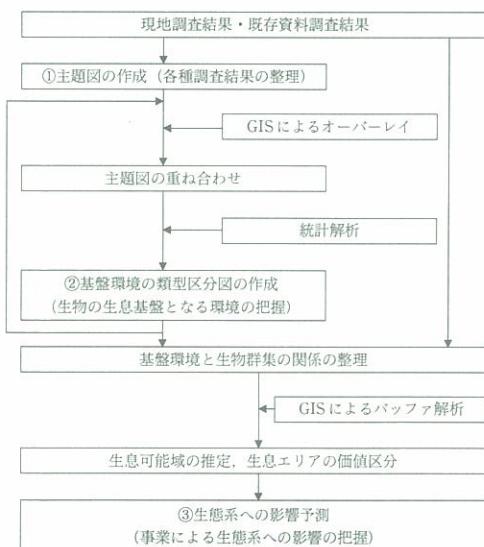


図1 GISを用いた生態系予測の流れ

作成、③生態系への影響予測の各過程に活用できるものと考え、海沿いの丘陵地(2km×2km)を研究対象に、①と②についてその適用性を検討した。

検討にあたっては、地形、植生、表層地質、傾斜度区分、傾斜方向の各々の主題図を作成した後、GISの空間演算処理機能(オーバーレイ解析)と統計解析を用いて複数の主題図の組み合わせを試みた中から、生物群集との関係を把握するのに最も適したもの選び(図2)、生物の生息条件を整理した。

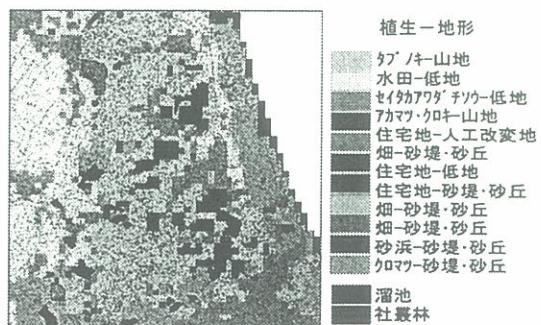


図2 基盤環境の類型区分図

(2) GISの適用性

検討の結果、GISは、1) 環境情報を定量的に処理できること、2) 類型区分図作成のための主題図の組み合わせの検討が容易であること、3) 類型区分図と生物群集の生息状況の関係を視覚的に捉えやすいうことから、定量的生態系予測において非常に有効な手段であることがわかった。

(3) 今後の課題

今後は、GISが有するバッファ解析機能等を用いて、対象種の生息可能域の推定や生息エリアの価値区分を行い、GISを生態系への影響の予測に導入していく予定である(図1、③)。さらに、事前にGISを用いた対象地域の現況把握を行う等、効率的な現地調査計画の立案方法についても検討する予定である。

4 猛禽類調査手法の研究

藤原佐保子, 大杉智美

4. 1 研究の目的

イヌワシ, クマタカ, オオタカなどの猛禽類（ワシタカ類）は地域生態系の頂点に位置し, 山林開発など生息環境の悪化により, 生息域, 個体数の減少が懸念されている。このような現状から, 猛禽類に対しては生息環境の保全をも含む広い視野での環境保全措置の検討が急務となっている。猛禽類の生息環境は複雑な地形や樹林地の場合が多く, また生息数も少なく, 目視による個体の確認が非常に難しいことから, 保全措置の検討にあたっては, 行動や生息範囲の異なる繁殖・非繁殖期毎に適切な調査を行って現状の生息状況を推定しなければならない。

本研究では, クマタカを対象として, その生息域や生息状況を推定するための調査手法の検討を行った。

4. 2 研究の内容

(1) 調査の視点

猛禽類は, 生息域（行動圏）を利用目的や利用時期に応じて, 他の個体群と競合関係を

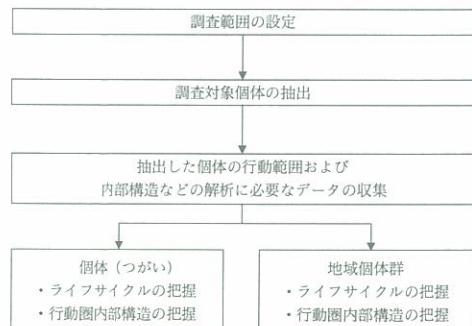


図 調査フロー

保ちながら使い分けているため, 着目した個体（つかい）の生息状況だけではなく, 地域個体群としての生息状況を明らかにする必要がある（図）。

(2) 調査範囲の設定

地元からの聞き取りにより猛禽類の生息の有無を得ると同時に, 林班図, 植生図などを用いて営巣木や狩り場となる地域を推定し, 調査範囲を設定する。河川流域の上昇気流が発生しやすい地形や樹冠のまばらな林, 大径木は巣への出入りが容易なため, 営巣木となる可能性が高い。また, 営巣木より標高の高い地域の伐跡地, 草原は, 餌の運搬のし易さから狩り場となる可能性がある。さらに, 人の出入りが少なく餌となる小動物が多い地域も狩り場として利用される。

また, 環境アセスメント調査など事業影響を予測する場合は, 事業予定地近傍に生息する猛禽類は, 他の個体群との競合により行動圏が規定されていることも考慮して, 調査範囲を広く設定する必要がある。

(3) 調査方法

猛禽類の生息状況は, 威嚇, 造巣, 求愛行動等の指標行動に着目して観察を行い, 行動が確認された場所の地形や植生, 時刻なども同時に記録する。なお, 解析においては, これらの出現傾向からライフサイクルにおける時期の設定や, 行動圏を推定することとなる。

4. 3 まとめ

本研究では, 各個体の生息条件の他に, 地域個体群間の相互関係を明らかにするために調査手法を検討した。今後は, さらに, 猛禽類の生息状況変化の予測手法を検討し, 環境アセスメント等に適用する考えである。

5 博多湾口部における物質フランクス

高崎剛広, 中嶋雅孝, 内田唯史

5.1 研究の目的

博多湾では、赤潮や貧酸素などの発生が慢性的化し、水質改善に対処すべく多くの水質シミュレーションによる検討がなされているが、流況や水質の再現性の点から、解決すべき点が多い。本研究は、開境界条件の再検討によるモデルの精度向上を目的として、湾口部における流況や有機物、栄養塩類などの物質移動状況の調査を行ったものである。

5.2 研究の内容

(1) 研究方法

博多湾湾口部（図1）で実施した夏季、冬季の潮流、水質観測結果をもとに、湾口部における流況特性、水質分布、物質フランクスの検討を行った。

(2) 研究結果

1) 流況特性

玄界島東側では、夏季、冬季とも上げ潮時に海水が湾内へ流入し、下げ潮時に湾から流出するが、玄界島西側断面では、これとは逆方向への流向が卓越している。このように外海の海流と潮汐流が相互に影響し、各断面において複雑な流況構造を形成していることが

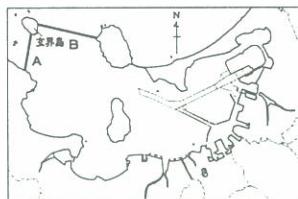


図1 調査位置



図2 流況特性

明らかとなった（図2）。

2) 水質分布

栄養塩、有機物は外海の影響で濃度が低く、断面分布の季節的、経時的な変化はほとんどなかった。水温やDO、塩分は、断面分布において質の異なる水塊が確認されるなど、季節や潮時の違いによって特有の断面分布を持つ

ことが明らかとなった（図3）。

3) 物質フランクス

物質フランクスを試算した結果、1潮汐あたりT-N、T-Pは各季節とも湾外へ流出し、CODは夏季には流出、冬季には流入していることがわかった。いずれのフランクスも、玄界島西側では流入、東側では流出が多かった（表1）。

表1 物質フランクス (t/tidal)

項目	玄界島西側		玄界島東側		合計
	流入	流出	流入	流出	
COD	115 (97)	14 (43)	62 (136)	174 (178)	11の流出 (12の流入)
T-N	14 (22)	2 (12)	14 (35)	27 (50)	1の流出 (5の流出)
T-P	0.9 (1.4)	0.2 (0.7)	0.7 (2.2)	2.1 (3.2)	0.7の流出 (0.3の流出)

備考：() は冬季、それ以外は夏季の値である。

4) 水質シミュレーションモデルへの適用

従来の数値モデルでは、開境界条件として湾口部の各断面における流向の違いを表現することは考慮していなかった。今後は、本研究によって得られた知見をもとに、モデルの境界を外海側へ拡大して湾口部における複雑な流況構造を再現し、水質予測の精度向上に反映させていく考えである。

5.3 研究成果の公表

1999.1 平成10年度日本水環境学会九州支部総会・研究発表会

6 海上遮へい構造物が底生生物の分布に及ぼす影響

藤井暁彦, 大場崇臣, 中嶋雅孝, 内田唯史

6.1 研究の目的

現在のアセスメントにおける環境保全措置は、その有効性が定かでないまま慣例的に適用する例が多い。特に、生物・生態系保全に係るミティゲーション手法において、その傾向は顕著である。

本研究は、開発行為に伴う水環境保全措置の一環として、水質汚濁の軽減に有効とされる汚濁防止膜の敷設が、閉鎖的な内湾海域の生物相に与える影響について調査し、その敷設による水域環境保全措置としての有効性について検討を行ったものである。

6.2 研究の内容

(1) 調査方法

博多湾奥部の埋立地周辺には、濁り拡散防止のため汚濁防止膜（以下、膜）が敷設されている（図1）。膜による生物相への影響を多角的に把握するため、膜内外の底生生物、およびその新規世代である幼生プランクトンの分布状況を調査した。

さらに、生物の分布を規定する要因を明らかにするため水底質調査を併せて実施した。

(2) 結果と考察

図1 調査地点

底生生物は、膜の沖側が陸側に対して個体数で約3倍、湿重量で約40倍多く、陸側の閉鎖的水域で生物量の減少が著しい（図2）。底泥の酸化還元電位は、各深度ともに陸側が沖側より概ね150mV低く、膜の陸側は底生生物の生息環境として不適であることがわかつ

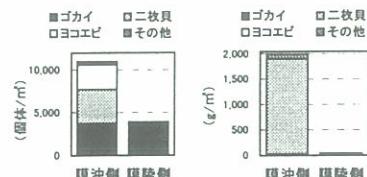


図2 底生生物の分布

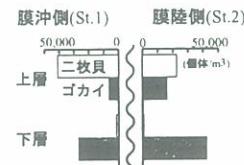


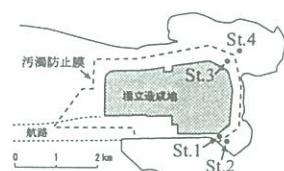
図3 幼生プランクトンの分布

た。また、膜両側の幼生プランクトンの鉛直分布をみると、ゴカイは下層に多く、二枚貝は上層に偏った分布を示していた（図3）。二枚貝の成体は陸側で少なく、表層に幼生が分布する二枚貝に対して、膜の存在は水交換性の低下に伴う底質環境の悪化以上に、生物に対する移動阻害や加入阻害が大きいと考えられた。

(3) 汚濁防止膜の効果

一般に海上工事では、周辺海域への水質汚濁防止のため、汚濁防止膜を敷設し、その効果は大きいとされている。しかし、本研究ケースのように、閉鎖的水域では膜の存在が生物の加入を阻害し、底生生物相を貧弱化させることが明らかとなった。その結果、底生生物を餌とする魚類や海鳥に影響を与え、水底質環境に対しても物質循環を損なわせるなど、海域生態系としてその機能や構成が弱小化すると考えられた。

したがって、ミティゲーションの実施にあたっては、水質保全の観点のみでなく、生物の生態特性や生活史、地域特性に応じた生態系の構造を明らかにした上で、適切な対策を選択する必要がある。



6.3 研究成果の公表

2000.3 日本国水環境学会

7 ベントスモデルによる沿岸域生態系の定量的評価

大場崇臣, 藤井暁彦, 山本聰, 中嶋雅孝

7.1 研究の目的

沿岸域における開発は、水底質環境を変化させ、それを生息基盤とするベントスやベントスを餌とする魚類及び鳥類の生息状況を変化させる。持続可能な開発・環境共生実現のためには、このような生態系における生物の生息状況を定量的に予測する「生態系モデル」を開発する必要がある。本研究では、沿岸域生態系の構成要素であるベントスに着目し、これらの個体数モデルの構築を試みるとともに、従来の流況水質モデル、野鳥モデルとを統合した生物生態系評価モデルの可能性を検討した。

7.2 研究の内容

(1) ベントスモデルの概念

研究対象範囲とした博多湾東部海域は、二枚貝類（懸濁物食者）、ゴカイ類（堆積物食者）が優占しており、モデル化に際してはこれらの2種類の個体数を目的変数とした。さらに本モデルでは、貧酸素に代表される水質変化、加入（幼生が着底し親になる過程）や寿命といった生活史、鳥類による捕食といった食物連鎖をそれぞれ考慮した（図1）。

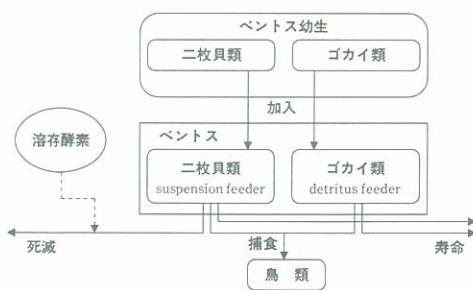


図1 ベントスモデルの概念

(2) モデルの定式化

ゴカイ類、二枚貝類の個体数（N）の時間変化は、次式のように定式化した。

$$\frac{dN}{dt} = R - P - D - F$$

(N:個体数)
(R:加入個体数)
(P:捕食個体数)
(D:死滅個体数)
(F:寿命個体数)

- ①加入個体数は、浮遊幼生個体数、生残率、着底成功率、貧酸素死亡率から設定した。
- ②捕食個体数は、海ガモ生息個体数と必要餌量（580g／羽／日）から設定した。
- ③死滅個体数は、二枚貝類のみ下層DOが6mg/L未満の場合に死滅すると設定した。
- ④寿命は、着底後1年と設定した。

(3) 計算結果

ゴカイ類、二枚貝類とも観測値をほぼ再現しており、水質変化、生活史、食物連鎖を反映したベントスの個体数変動を表現できた（図2）。これにより、従来の水質モデルや野鳥モデルとを統合した生態系評価モデルの可能性が示された。今後は底質性状との関係などを検討し、モデルの精度を高める必要がある。

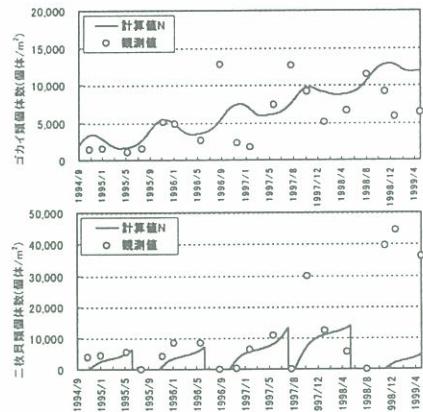


図2 計算結果(上：ゴカイ類、下：二枚貝類)

7.3 研究成果の公表

2000.3 日本国水環境学会九州支部研究発表会

8 環境アセスメントにおける生態系評価の試み

中嶋雅孝、内田唯史

8.1 研究の目的

これまでの環境アセスメントでは、自然環境に係る環境要素への予測は自然環境そのものが複雑な系をなしているため、定量的な予測は非常に難しく、客観性に欠ける定性予測にとどまらざるを得なかった。そこで、本研究では、様々な生態系がある中で、海域沿岸部の生態系を検討の対象として、この系の頂点に位置する野鳥への開発影響を定量的に予測する手法を検討し、環境アセスメントにおける生態系の評価手法を示した。

8.2 研究の内容

(1) 野鳥生態系評価の概念

開発に伴い野鳥の生息に影響を与える要因には、野鳥の採餌場、休息場などの生息域に対する改変（1次的影響）と、底生動物など野鳥の餌生物の生息域の消滅や水質、底質など環境の変化による餌生物の変動（2次的影響）があり、この両視点の変化から野鳥生態系への影響を定量的に予測評価するものとした（右図）。

(2) 野鳥の評価方法

鳥類が生息するために必要な面積の最小値（最小必要面積、 S_1 ）と開発事業などの完了後において残存する生息可能面積（ S_2 ）を量的に比較し、 $S_2/S_1 > 1$ の関係を満足するか否かにより野鳥およびこれを中心とする海域沿岸部生態系の1次的影響を評価することができる。また、2次的影響評価では、生息期間における野鳥の総摂餌量と餌生物残存量の比（ F/B_f ）、開発に伴う餌生物量の減少量と現存量の

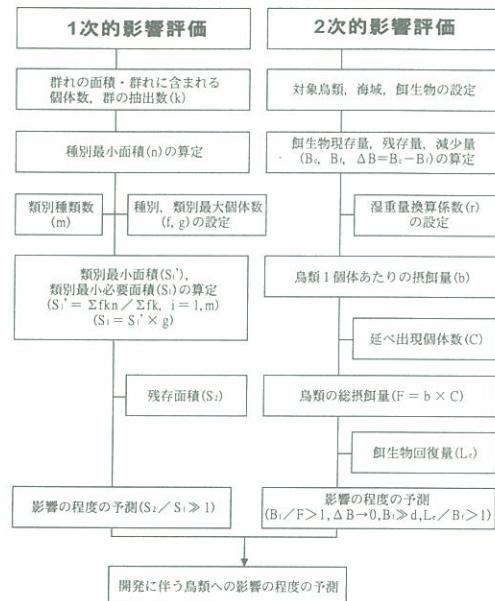


図 予測評価フロー

比（ $\Delta B/B_c$ ）、野鳥の1日あたりの摂餌量と餌生物残存量の比（ B_f/d ）を定量的に求め、開発後も①餌生物残存量（ B_f ）が野鳥の総摂餌量（ F ）を十分に満足すること（ $B_f/F > 1$ ）、②餌生物の減少量（ ΔB ）を極力小さくすること（ $\Delta B/B_c \rightarrow 0$ ）、③残存量（ B_f ）が野鳥の1日当たりの摂餌量（ d ）を十分に満足すること（ $B_f/d > 1$ ）、いいかえれば餌生物の生産維持の指標である d/B_f が十分に小さいことを判断軸とすることにより、1次的影響評価と合わせて事業実施後の野鳥への影響の程度を評価することができる。すなわち、野鳥の保全の観点からは2次の影響評価では ΔB が小さく、 $B_f > d$ の関係を満足することが必要である。

8.3 研究成果の公表

2nd Sino - Japanese Joint Symposium On Environmental Sciences,Gulin,China,1999.

中嶋雅孝、岡部求美、内田唯史（1998）：環境アセスメントにおける野鳥の評価方法（その2），環境技術，Vol.27，No.2，71-78。

1998.10 アセスセミナー in 福岡。

9 博多湾における内部生産特性

中嶋雅孝

9.1 研究の目的

背後に都市域を擁する博多湾では、陸域からの多量の栄養塩負荷により、富栄養化や赤潮などに伴う水質汚濁が深刻な問題となっている。また、近年では水温が低い冬季にもかかわらず赤潮が慢性的に発生している状況にある。海域の水質予測においては、植物プランクトンの基礎生産、有機物の分解などの物質循環過程を取り入れた様々な数値生態系モデルが多くの中湾で適用されているが、これらの大部分では、植物プランクトンの生態特性によって予想される内部生産ポテンシャルの季節変動と水質との応答性については論じられていない。そこで、本研究では、冬季における植物プランクトンの環境適応性に着目した簡易内部生産モデルを作成し、博多湾の富栄養化過程における内部生産の季節的な変動特性と冬季の水質汚濁機構について検討を行った。

9.2 研究の内容

(1) モデルの定式化

本モデルでは、水質汚濁の主要原因と考えられる植物プランクトンの増殖速度 (μ) 式に光吸収エネルギー吸収効率 (ε) を導入し、内部生産過程を定式化した。光エネルギー吸収効率は、栄養塩吸収過程における NH_4^+ の共存による NO_3^- 吸収抑制効果 (F) で定義され、 F が NH_4^+ 濃度 (S) の季節変化に応じて変動するため、間接的に水温の関数となっている。

$$F = 1 / (1 + S_{\text{NH}_4} / K_i)$$

$$\varepsilon = \alpha_1 \exp(1 - \beta_1 F)$$

$$\mu = \mu(S) f(T) f(I) \varepsilon$$

ここで、 K_i は NH_4^+ による NO_3^- 吸収阻害係数、 $\mu(S)$ は栄養塩依存項、 $f(T)$ は水温依存項、 $f(I)$ は照度依存項、 α_1 と β_1 は定数である。

(2) 内部生産量の季節変化

植物プランクトンの現存量（内部生産量）の計算結果は、4月から5月までの春季に最大値を、6月と8月に最小値を示し、年間を通して観測値とほぼ一致した。また、冬季（1月～3月）における細胞数密度は、水温が低いにもかかわらず、夏季と同様に高い値を示した（下図）。

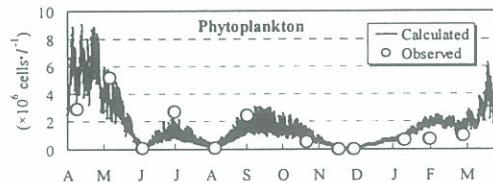


Fig. Seasonal variations in Phytoplankton population

(3) 冬季の水質汚濁機構

冬季の植物プランクトンによる内部生産過程では、小さな光エネルギーでも夏季と同様に一次生産が可能となっていることが示された。これより、植物プランクトンの環境適応性は、冬季にも高い内部生産効率を示すことにより、低水温、低照度下でも内部生産を可能とし、さらに低水温に伴う分解抑制効果により細胞外分泌物などの水中DOC濃度が安定的に維持されるため、生物活動にとって不利な条件である冬季においても高い有機汚濁を誘因していることがわかった。

9.3 研究成果の公表

Nakashima,M.,Lee,I.C.,Kusuda,T.(1999) : Proceedings of the Joint Conference of MEDCOAST'99 and EMECS'99, Vol.1, 195 - 206.

Nakashima,M.,Lee,I.C.,Kusuda,T.(2000) : Proceedings of 1st World Water Congress of the International Water Association (IWA), Vol.5, 247 - 254.

10 博多湾の汚濁負荷構造

内田唯史, 坂口貴志

10. 1 研究の目的

富栄養化海域の水質改善の解決策としては、要は海域に流入する負荷を削除すればよいのであるが、合理的な削減方法を検討するためにはまず流入負荷の構造と水質との関連を十分に把握しておく必要がある。

本研究は、博多湾流域を対象として、水域の水環境を制御する上で欠くことのできない流域からの流入負荷量を経年的に求め、水質の変移と合わせて海域の汚濁機構について解析を行ったものである。

10. 2 研究の内容

(1) 研究方法

1955年から1995年にかけて、5年ごとに博多湾への流入負荷量を原単位法により推算した。汚濁負荷算定項目はCOD, TN, TPである。

(2) 研究結果

①昭和45年までは、各流入汚濁物質とも急激な人口の増加と生活排水処理体系の遅れから急激に増加しているが、昭和50年以降は汚濁防止政策による負荷の減少と無リノ化、下水普及率の増加等によりCOD, TPは横ばいにあることが分かった(図1)。

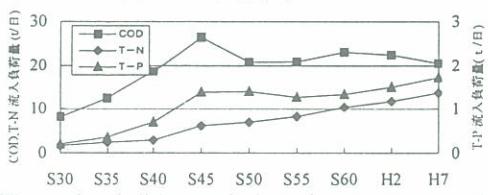


図1 流入負荷量の経年変化 (COD, TN, TP)

②下水道を含めて生活系の流入汚濁負荷量は全体の2/3以上を占めており、下水道の普及が進むに従って、全流入負荷に対する下水道

の割合が高くなっていることを経年の変化として明らかにした(図2)。

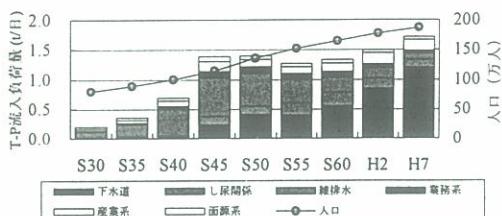


図2 発生源別流入負荷量

③流入汚濁負荷量と水質の関係は図3により示され、両者の間には非線形性があること、このため、栄養塩類を単に削減するだけでは期待するほど水質が改善されない場合があることが分かる。すなわち、負荷近傍の海域においては、栄養塩の削減により水質保全効果を得るためにかなり思いきった削減策を講じる必要があり、既定の手法では限界があることを示したものである。

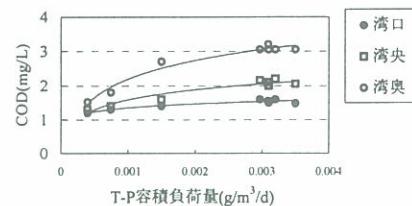


図3 容積負荷量と水質の関係

④流入負荷量と水質の経年的な関係から、簡易な水質予測が可能であること、水域の許容負荷量が算定できること等を示した(簡易変換法)。

10. 3 研究成果の公表

内田唯史, 浮田正夫, 中西弘(1993):閉鎖性海域の水質管理システム, 環境システム研究, Vol.21, p244-239.
内田唯史, 浮田正夫, 中西弘(1994):富栄養化海域の水質の非線形特性とそのモデリング, 土木学会論文集, No.503/II-29, p187-195.

中西弘, 浮田正夫, 関根雅彦, 内田唯史(1995):富栄養化水域の簡易水質予測モデル, 水処理技術, Vol.36, No.7, p327-333.

11 超高感度トレーサ（HST）を用いた水の流動調査法の開発

小野 孝，松本真弓

11. 1 研究の目的

近年、工場や廃棄物処分場等からの排水や浸出水による地下水汚染が進み、資源としての水の枯渇問題が深刻化している。このようないくつかの現状において、地下水汚染防止や水資源開発等における水の流動調査は、流出経路等を把握する上で非常に重要である。そこで、本研究では“見えない水”的動きを探るための手段として、超高感度トレーサ法を開発し、その有用性を確認した。

11. 2 研究の内容

（1）超高感度トレーサ法の開発

従来のアクチバブルトレーサ法は、希土類元素等のDTPA錯体溶液をトレーサ物質として用いる手法であり、水の流れを最も良く反映できるとともに、中性子放射化分析により、最も高感度で検出できるという点で優れている。しかし、中性子放射化分析は、原子炉中性子が必要な上に放射線を扱うことから、分析操作が煩雑で時間も要する。そこで、トレーサの分析にICP-MSを採用した超高感度トレーサ法を開発し、分析時間の短縮化を実現した。

（2）超高感度トレーサ法の適用例

浸出水の漏水が懸念されていた廃棄物埋立処分場において、漏水経路等を確認するために超高感度トレーサ法を適用し、調査を実施した。食塩や蛍光物質等の一般的なトレーサ法では、トレーサ物質が廃棄物層に吸着されやすく、また、廃棄物由来の分析妨害物質のために定量性が悪くなる可能性がある。しか

し、ここでは超高感度トレーサ法を適用することにより、数10日から2年以上に及ぶ定量的な追跡が可能となり、浸出水の流出速度や流出経路が速やかに解明された（Fig.1, 2）。

（3）超高感度トレーサ法の有用性

他のトレーサ法と比較すると、超高感度トレーサ法には、以下の優れた特徴がある。

- ①長期間・広範囲の追跡ができる。
- ②同時に複数のトレーサが使用できる。
- ③検出が超高感度で定量性がある。（したがって、使用量が少量で済むため、環境への負荷が少なく経済的である。）
- ④操作性・迅速性に優れている。

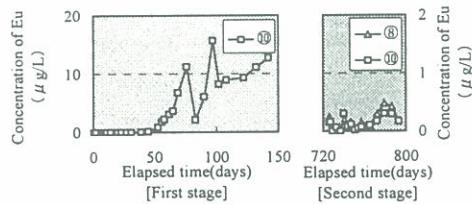


Fig.1 Detection of Eu at monitoring points after injection.

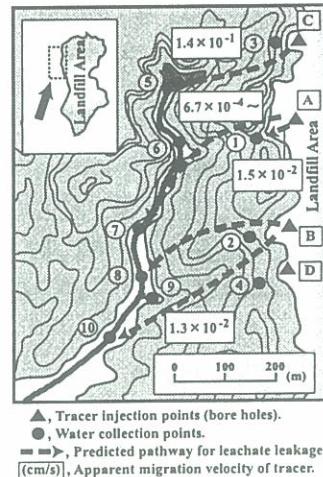


Fig.2 Pathways predicted for leachate leakage.

11. 3 研究成果の公表

Ono,T.(KEEA) (2000) : Investigation of the Water Flow Using High Sensitive Tracers .Exhibition Poster of the Asian Pacific Landfill Symposium Fukuoka 2000.

[特許第2899258号「水文調査トレーサ及び水文調査法」]

12 热带域における湖沼の汚濁機構の研究

内田唯史

12. 1 研究の目的

熱帶域における湖沼の中には、水質汚濁が著しく進行し、利水や水産養殖に対して、深刻な被害を及ぼしているところが少なくない。特に、開発途上国では経済活動が優先されるあまり、環境面への配慮は立ち遅れているのが実状である。本研究は、インドネシアのジャワ島西部に位置し、汚濁が著しいサグリン貯水池を研究対象として (Fig.1)，流域の水環境調査、及び汚濁負荷解析を実施することにより、水域の汚濁機構を明らかにすると共に水域改善の方策について論じたものである。

12. 2 研究の内容

(1) サグリン貯水池流域の概要

本流域には、バンドン市を中心に繊維産業が発達し、多くの工場が操業している。これら工場群からの排水は、本流域を貫流するチタルム川へ直接流入するため、河川は非常に荒廃しており、河川水質は常に嫌気状態を示している。また、河川沿いには投棄されたゴミが山積しており、河川環境は劣悪を極めている。この河川水は農業用水や生活用水として使用さ

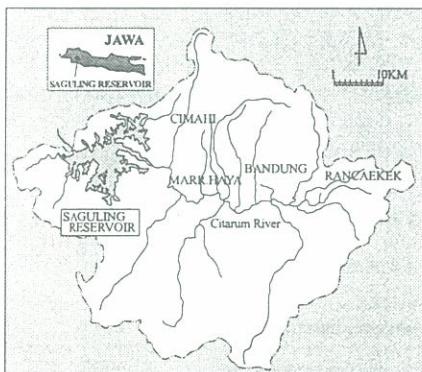


Fig.1 Location of the Saguling Reservoir

れており、健康被害が懸念されている。

(2) 研究方法

年間4回の水域環境調査(1996－1997)および数値モデルによるケーススタディにより、水質汚濁機構並びに保全対策の検討を行った。

(3) 研究結果

①汚濁負荷の構造解析により、流入負荷量の約80%が繊維工場からの負荷であることを明らかにした。

②雨季、乾季における河川水質汚濁の変動パターン、およびこれに伴う都市インフラの問題点を指摘した。

③雨季、降雨による高密度水塊が水域表層に流入し、これが底層へと加入するとき、底層の貧酸素水塊が表層へと輸送される水域循環機構を明らかにすることにより、多発する水産養殖魚への被害の実態を説明した (Fig.2)。

④数値モデルによるケーススタディの結果、貧酸素水塊を解消するためには、少なくとも現況の流入負荷量を2/3程度削減する必要があることを示した。

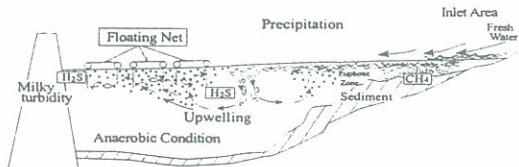


Fig.2 Mechanism of fish damage in Saguling

本研究は、インドネシア陸水学研究開発センターにおいて継続して解析が進められており、今後、当局による有効な保全措置の導入が期待される。

12. 3 研究成果の公表

Uchida, T. (2000) : Research on a Water Pollution Mechanism in Saguling Reservoir and Its Modeling. Rep.Suwa Hydrobiol.,12,39 - 48.

1St World Water Congress of the International Water Association (IWA), Paris,France,2000.

内田唯史 (2000) : サグリン貯水池における汚濁機構の研究、水資源開発利用に関する環境問題国際学術検討会論文集, 244 - 239.

13 都市近郊における開発と環境保全の意思決定システム

内田唯史, 中嶋雅孝, 銀花美砂子

13. 1 研究の目的

我々の生息空間を巨視的にみれば、都市域、緩衝域、自然域に分けることができる。このうち緩衝域は、環境共生空間としての役割も大きく、自然環境保全にとっても重要なエリアと言える。この領域において、開発と保全の規範を定め、それをシステムとしていかに社会の中に根付かせるかは、持続的発展の視点からも避けてとおれない課題である。本研究は、この緩衝域の機能維持のために、当該エリアをどのような規範の基に管理していくべきよいかについて議論したものである。

13. 2 研究の内容

(1) 研究方法

緩衝域を中心とする領域の自然環境および社会環境情報を地理情報(GIS)として整理し、それぞれの事象ごとに環境価値の重要性を数量化することを試みた。数量化にあたっては、当該地域を正方メッシュに分画し、評価項目の重要度に応じて5段階で得点(β_i)を与える。さらに評価項目間の相対的な重み付けを5段階(α_i)で設定し、各メッシュの評価値を次式により求めた。

$$\text{メッシュ配転} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (\alpha_i \times \beta_j)$$

次に自然環境と社会環境の評価値をオーバーレイし、さらにクラスター解析を施すことにより当該地域のゾーニングを試みた。

(2) 研究結果

①既存の自然環境、社会環境情報を基に客観的なエリア評価手法を示した。②統計手法を用いたゾーニングにより、当該地域を自然環境保全ゾーン、環境共生ゾーン、都市利用ゾーンの各セグメントに分割し、ゾーン毎に環境保全と開発に対する管理の規範を提案した(下表)。

(3) 今後の課題

都市近郊の利害が交錯する地域で残された自然環境をどのように管理していくかは非常に難しい。本研究では、環境保全と開発との調整を図るための共通の議論の場を作る手法について示した。しかし、現代社会システムの中にあって、こうした考え方を取り入れていくには、まだまだ解決すべき課題が数多く残されている。目先の利害を乗り越え、未来世代に対し、どのようにふるまえばよいのか、真剣に議論していくことが望まれる。

13. 3 関連文献

内田唯史、浮田正夫、中園真人、中西 弘(1993) : アンケート調査による海岸アメニティ資源の経済評価に関する考察、環境システム研究、Vol.20、310-317。

区分	自然環境保全ゾーン	環境共生ゾーン		都市利用ゾーン
	コア／コア保全エリア	生態系機能維持エリア	生活機能エリア	都市機能エリア
管理規範	・自然環境を喪失するような開発行為の抑制 ・開発行為の回避低減を図る。開発に際しては環境保全のため、同等のミティゲーションが必要	・まとまった緑地の保全を念頭に開発との調整 ・開発に際しては、生態系機能維持のため、周辺と調和したミティゲーションが必要	・農地利用等、自然的土地利用エリアとして機能維持を図る ・貴重種保全のため最大限の配慮、生物の生息阻害防止のため環境配慮、ミティゲーションが必要	・都市形成にあたって、生活環境の維持向上を図る ・都市景観等、アメニティ向上に配慮する ・環境負荷の低減に最大限の配慮を行う
開 発	抑制			緩やか
調査・予測・評価	自然環境重視			生活環境重視
ミティゲーション	生態系機能の維持			生活環境の保全