

港湾技研資料

TECHNICAL NOTE OF
THE PORT AND HARBOUR RESEARCH INSTITUTE
MINISTRY OF TRANSPORT, JAPAN

No.961 June 2000

内湾での人工島建設にかかる環境影響評価に対する2,3の考察

鶴	谷	廣	一
細	川	恭	史
栗	山	善	昭
中	村	由	行
鈴	木		武
日	比	忠	史
古	野	恵	太
中	川	康	之
岡	川	知	也
桑	田	朝	比
	江		呂

運輸省港湾技術研究所



目次

1. まえがき	4
2. 環境影響の予測と評価の考え方	4
2.1 環境影響評価の目的	4
2.2 不確実性に対する対応	5
2.3 沿岸環境が構造的な性質を持っていることを踏まえ、計画・施工・管理 の各段階を意識した環境影響評価の視点と支援技術	5
3. 伊勢湾の環境と中部国際空港計画	7
3.1 伊勢湾の環境の理解	7
3.2 中部空港の計画概要	13
4. 各 論	14
4.1 内湾に設置する人工島などの建設における沿岸環境影響評価上の技術課題	14
4.2 海浜変形予測モデル適用にあたっての注意事項	16
4.3 人工島周辺の泥化予測	18
4.4 物質循環の把握と水質変化の予測	20
5. あとがき	24
参考文献	26

Discussion on the Environment Impact Assessment for the Construction of Artificial Islands in Ise Bay

Hiroichi TSURUYA¹⁾
Yasushi HOSOKAWA²⁾
Yoshiaki KURIYAMA³⁾
Yoshiyuki NAKAMURA⁴⁾
Takeshi SUZUKI⁵⁾
Tadashi HIBINO⁶⁾
Keita FURUKAWA⁶⁾
Yasuyuki NAKAGAWA⁶⁾
Tomoya OKADA⁷⁾
Tomohiro KUWAE⁸⁾

Synopsis

The article published from the Oceanographic Society of Japan criticized some prediction and evaluation methodologies applied to Environment Impact Assessment (EIA) for the construction of a man-made island in the Ise Bay. Understanding of the currently available prediction-technologies is needed for the suitable choice of the evaluation methods. Social requirements for the prediction-technologies often result in the use of an over-detailed, unnecessary-complicated and low-accurate model. Even a succeeded model for predicting a shallow water environment cannot ensure the following success in the use for the other coastal environments due to the variability of coastal nature and impacts on them.

In this paper, we pointed out the importance of the structural understanding of hydraulics and environmental systems in inner part of bays. Moreover, we discussed the use of state-of-the-art prediction models for anticipative impacts including changes in topology, grain size, and water quality by sediment-water interactions. Our conclusion was as follows: (1) one-line models are still superior to 3-D models for a long-term prediction of topology. (2) The hydrodynamic model, which can estimate the shear stress at sediment surface caused simultaneously by tidal currents and waves, would be a key solution for predicting the granulometric changes occurred in shallow water environments. (3) The water column depth of predicting sites is important for the determination of necessity of the model considering the effect of sediments on nutrient concentrations in the overlying water.

Key word : Environment Impact Assessment, Enclosed bay, Reclamation, Shore line, Sediment, Water quality, Ecosystem

1)Director of Marine Environment Division 3-1-1,Nagase,Yokosuka 239-0826 Japan tel:0468-44-5015 Fax:0468-44-5065

2)Chief of Environmental Assessment Laboratory, e-mail : hosokawa@cc.phri.go.jp

3)-8)Chiefs, Senior Researchers and Researchers of Marine Environment Division

内湾での人工島建設にかかる環境影響評価に対する2, 3の考察

鶴谷廣一¹⁾
細川恭史²⁾
栗山善昭³⁾
中村由行⁴⁾
鈴木 武⁵⁾
日比野忠史⁶⁾
古川恵太⁶⁾
中川康之⁶⁾
岡田知也⁷⁾
桑江朝比呂⁸⁾

要 旨

伊勢湾に人工島方式で設置される中部国際空港の環境影響評価書に対し、日本海洋学会海洋環境問題委員会から見解が出され「海の研究」に掲載された。見解には、影響評価に際して適切な手法が選択されていないのではないかという疑問も含まれていた。これを契機に、内湾に人工島などを設置する際の、環境影響予測の手法、評価の方法などを現在の知見をもとに考察した。

内湾での物質の輸送の視点からは、岸近くでの波を主たる外力とする輸送のシステムから、やや沖合での潮流や吹送流などを主たる外力とする輸送のシステムを経て、内湾の大きな循環構造による水塊間の輸送システムなどに到る、ある種の構造的性を持っている。生物相も、潮間帯、浅場、沖合、外海と様相を変え、それぞれつながりを持っているものの独自の振る舞いを示している。このような仕組みに対する理解に立って、人工島の設置位置や規模、周辺環境の様態に応じ、影響予測や評価が行われることになる。

人工島設置に伴う沿岸の汀線地形の変化予測、人工島周辺での底質粒度の変化予測、人工島周辺での水質の変化予測の予測評価の手法を取り上げ、予測技術の現状と手法選定上の留意点を整理した。予測評価の目的に応じた手法の選定のためには、個々の手法の持っている特性に対する理解がまず必要である。また、ある特定海域での適用手法を、他の海域において適用することは必ずしもふさわしくないこともあり、内湾環境の構造的性に配慮し、立地位置の自然条件に応じた手法の選定が重要であることを指摘した。そのうえで、今後の技術開発の方向について提示している。環境影響予測に際しては、汎用化された予測モデルの機械的な適用で済ませることなく、その場の自然環境や環境影響の機構に関する十分な調査と理解がまず必要である。

キーワード：環境影響予測、内湾域、構造的性、汀線地形、底質、水質

1) 港湾技術研究所海洋環境部長

〒239-0826 横須賀市長瀬3-1-1 tel:0468-44-5015, fax:0468-44-5065

2) 同部環境評価研究室長 (e-mail:hosokawa@cc.phri.go.jp), 3) 漂砂研究室長, 4) 海水浄化研究室長, 5) 機械技術部機械作業システム研究室長, 6) 海洋環境部主任研究官, 7) 同部環境評価研究室, 8) 海水浄化研究室

1. まえがき

平成11年6月12日に環境影響評価法が全面施行されることとなった。今後の一定規模以上の開発については、法の手続きに沿った環境影響評価が実施されることになる。また、中部国際空港のように計画作業時期が全面施行以前であるため、環境影響評価法の適用外であっても、その手続きに準じた環境影響評価が進められてきたものもある。

大規模な開発事業等の実施前の環境影響評価は、環境悪化を未然に防止し、持続可能な社会を構築していくための極めて重要な手続きである。

しかし、環境影響の評価あるいは環境への配慮といった、個別の検討課題に関する予測評価技術や対策技術については、関係者や技術者・研究者の立場の違いや視点の違いがあるために、議論に食い違いが見られる場合がある。ここでは、環境影響評価を実施するにあたって注意すべき点や予測・評価技術の現状について最近環境影響評価手続きが終了した中部国際空港を例にとりて検討している。

中部国際空港は、法律に基づき中部国際空港株式会社伊勢湾の常滑沖に人工島形式で建設することになった。環境影響評価に関しては、愛知県の実態と飛行場設置と海面埋立に対する運輸省および建設省の要綱（閣議了解に基づくアセス）に基づき、必要な手続きが踏まれていった。地元に対する説明や意見の聴取などを経て、平成11年6月に環境影響評価書が公告され、環境影響評価手続きが終了した。

これに対して、日本海洋学会海洋環境問題委員会の5名の学者研究者の連名により、日本海洋学会の機関誌である「海の研究」平成11年10月号に、「閉鎖性水域の環境影響評価に関する見解－中部国際空港人工島建設の場合－」と題された見解が掲載された。同時に、マスコミはアセスの不備が指摘されたとした報道をはじめた。

運輸省港湾技術研究所（港研）は平成7年4月にその組織を改組し、海洋環境部を新たに設け、4研究室体制により沿岸環境の改善や創出に向けた研究をより強化してきた。科学的知見の蓄積と必要な技術の開発を通じ、我が国沿岸の有効な利用と環境の改善とに寄与し、国民のよりよい生活に役立つことが、海洋環境部の使命であると考えている。中部国際空港に対しては、国の関与の大きい第1種空港であることや、閉鎖的な伊勢湾に設けられる大型海上空港となることから、計画の段階よりその環境配慮に対しての技術的な相談に添えてきた。人工

島護岸の経済的かつ藻場の形成にも寄与できる構造形式の検討、周辺の海水流動に与える影響が少なくなるような人工島埋立法線の曲線化の効果の評価手法の開発などを行い、成果は空港計画に反映されてきた。また、平成8年度と9年度には、人工島設置による周辺海域における底泥粒径の細粒化の検討を行った。この検討のなかで、伊勢湾における底泥の粒径分布とその影響機構を調査解析し、開発した数値モデルを援用しながら細粒化や微細泥堆積の可能性を検討してきた。運輸省が公共事業を担務し、海に手を加えてきた経験から学んだことや、地道な技術蓄積の上に初めて提案できた工夫もあった。また、科学的に今後解明しなければならない研究課題もいくつか発見できた。

港研は、研究を通じて国の施策に寄与する立場にあり公共事業の事業主体ではない。開発した技術や新たな科学的知見は、事業の実施など国の施策の実現の中で採用され活用される。中部国際空港株式会社は、埋め立て法線の曲線化や傾斜護岸の採用など、港研の研究成果の活用に取り組んできたところである。

こうした時期に発表された日本海洋学会海洋環境問題委員会諸先生の見解は、これまでの関与のいきさつから、港研海洋環境部の研究者の大きな関心を引いた。見解は、いかなる科学的知見に基づき、いかなる問題点を指摘しようとしているのか、中部空港建設における環境配慮を考えてきた者にとって、良く理解しておくべきことと考えた。もし、見解での指摘が我々の気づかない点を教えてくれているのであれば耳を傾ける必要があるし、万一我々の知見やアプローチのしかたに錯誤があればその誤りを正さなければいけないと考えた。そこで、この分野に関連のある研究者を中心に、それぞれ分担をしながら、科学的にこの見解を検討し、技術的課題等についてとりまとめた。

2. 環境影響の予測と評価の考え方

2.1 環境影響評価の目的

中部国際空港計画は、環境影響評価法（1997年6月13日法律第81号）の施工よりも早くから進められたため、同法の適用対象とはならなかったが、非常に大規模な開発計画であるため、環境影響評価法の手続きに準じて環境影響評価が進められた。これは中部国際空港株式会社をはじめとする開発サイドの関係主体が、環境影響評価法に定められている手続きが環境影響評価についての時代の要求水準であると認識したことによる。そして、この観点に立ち中部国際空港計画の環境影響評価は完了され

た。

環境影響評価法では第2条で、環境影響評価を「事業の実施が環境に及ぼす影響について環境の構成要素にかかる項目ごとに調査、予測および評価を行うとともに、これらを行う過程においてその事業にかかる環境の保全のための措置を検討し、この措置が講じられた場合における環境影響を総合的に評価することをいう。」と定義している。そして、同法第33条においては、許認可等にあたり「評価書の記載事項および免許等を行うものの意見書に基づいて、当該対象事業につき、環境の保全について適正な配慮がなされるものであるかどうかを審査しなければならない。」とあり、環境影響評価の結果を当該事業の許認可等の意思決定に適切に反映させることを求めている。

このように環境影響評価は、開発事業の環境影響を総合的に評価し、その結果を事業の許認可等の意思決定に適切に反映しようとする手続き体系である。この中で、事業の可否を判断するための判定基準は、大まかにいえば、環境面では「環境の保全について適正な配慮がなされるものであるか」ということになる。これは、「環境を全てそのままに保全することができること」が要件なのではない。環境を全てそのままに保全することができることは望ましいことであるが、大規模な開発には必然的に何らかの無視しえない環境の改変を伴うので、環境を全てそのままに保全するという条件の下では実行可能な解は存在しない。このような認識の下に、環境保全と開発の必要性を比較考量し、必要な環境をそのままに保全し、失われることがやむをえない環境は可能な範囲で代償し、必要な範囲で開発を行うという思想の下に開発を進めようとしていることを、この法律の判定基準等は述べていることができる。

2.2 不確実性に対する対応

環境は非常に多くの構成要素を持ち、しかもそれらが複雑に影響し合う極めて複雑な系である。加えて、それらの要素や機構は不可視的で観測が困難なものが多く、環境についてわれわれが有する知識は決して十分なものではない。この環境という系に対して複雑な社会経済的バランスの上に展開される開発事業の実施というインパクトを与えた場合、その予測結果と実現結果の間には自然科学的・社会経済学的に予想外の乖離が生じる可能性がある。同じことが保全措置の効果についてもいえる。これらの乖離を総称して不確実性という。不確実性に対する対応の考え方は、環境影響評価法第13条に基づき環境庁長官が定めた「環境影響評価法第4条第9項の規定に

よる主務大臣及び建設大臣が定めるべき基準並びに同法第11条第3項及び第12条第2項の規定による主務大臣が定めるべき指針に関する基本的事項（1997年12月12日 環境庁告示第87号）」の中で、第三、二、(6)において「選定項目にかかる予測の不確実性が大きい場合、効果にかかる知見が不十分な環境保全措置を講ずる場合等において、環境への影響の重大性に応じ、工事中および供用後の環境の状態等を把握するための調査（以下「事後調査」という。）の必要性を検討するとともに、事後調査の項目および手法の内容、事後調査の結果により環境影響が著しいことが明らかとなった場合等の対応の方針、事後調査の結果を公表する旨等を明らかにできるようにすること。（以下略）」と定められている。これを受けて定められた主務大臣が定める環境保全のための措置に関する指針においてもほぼ同じ内容が定められている（農林水産省・運輸省・建設省令第1号、1998）（運輸省令第36号、1998）。

事後調査は、①環境影響評価実施時の予測と実際が一致するか、②一致しない場合はどの項目がどれだけ一致しないか、③それらが一致しない原因は何か、を調べるものである。その調査結果を用いて「必要な事後対策を適時適切に計画・実施して行くこと」および「予測手法や対策技術の改善を進めること」が、事後調査が必要とされる所以である（堀江・細川、1999）。事後調査はこのような意味で評価自体にひけを取らないほど重要な行為なのである。

2.3 沿岸環境が構造化を持っていることを踏まえ、計画・施工・管理の各段階を意識した環境影響評価の視点と支援技術

(1) 沿岸環境の構造化

前節までに紹介されたように、環境影響評価法では、評価項目の選択が重要なプロセスとして存在する。それが、偏った視点で評価されたりすることが無いようにするためには、体系的な視点の整理が必要である。また、しらみつぶしの評価でなく、必要な論点を十分に掘り下げたメリハリの利いた評価を行うためには、調査・予測手法の適用範囲をしっかりと整理・把握し、適材適所の技術を用いて評価する必要がある。

上記2つの視点から、環境影響評価を行う際の項目として、埋立地造成、人工島建設の計画・施工・管理の段階で生じる環境影響を想定し、評価項目を立てると共に、その評価項目による環境影響評価を実行するために適用可能な支援技術の列挙を行う。

沿岸環境の環境影響評価項目の抽出の際にポイントと

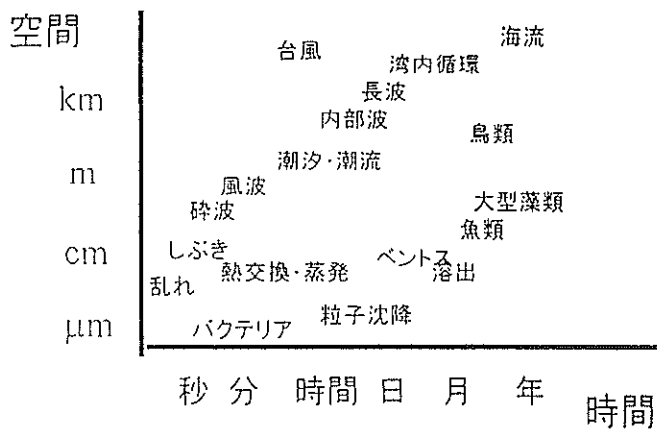


図-1 沿岸環境のスケール構造

なる視点は、それを支配する外力とその時空間スケールである。図-1は、沿岸環境における各事象の時空間スケールを概観したものである。一般的に、大きな空間構造を持つ現象は、長い時間スケールに支配されており、小さな空間構造を持つ現象は、短い時間スケールに支配されている。そして、環境の受け皿となる物理過程に関する現象は、その環境の構成員である生態的過程に関する現象より、1-2オーダー大きいスケールを持つことが特徴である。

こうした沿岸環境の構造的性（空間スケール、時間スケールによる階層性）と、環境影響評価の段階（計画・施工・管理といった時間軸にそった事業実施）を対応させて考えていくと、各段階で何に注目した影響評価をする必要があるのかが浮かび上がってくる。湾内における全体の配置計画などを検討する計画段階では、大きな空間スケールの現象と計画との関連を明確にする必要があり、広域的・長期的な影響の評価をする必要があるであろうし、個々の施設の配置計画や、細部構造が決定されていく施工段階や、管理段階においては、順次小さな現象に着目していく必要がある。例えば、個々の施設を管理する段階での影響評価は、施設近傍で発生している小さな現象を抽出できる必要がある。もちろん、これらの例示は、特に力点を置くべきところを示しているもので、管理段階においても、大きなスケールの現象を見落としてしまわないように注意することは言うまでもない。

ただし、すべての外力や環境を予測したり、検討したりすることは不可能に近いので、対象とする現象のもつ時空間スケールを支配する外力の中から、何が支配的であるのかを抽出し、その支配外力を精度良くモデル化することにより、全体の予測精度を向上させていく努力が必要であり、そうした状況の中で、時空間スケールを整理軸とした環境影響評価項目の抽出が有効であろう。

(2) 計画段階（大スケール）

埋立、人工島の配置計画（対象港湾の選定・現況の把握・整備方針の設定）に関わるような段階では、大きなスケールに対する環境影響評価を行う必要がある。

例えば、その港湾域において、その人工島が周辺海域の海象・漂砂・物質循環にどのような影響を与えるのかを予測し、期待される人工島の役割・機能と照らし合わせて妥当な変化であるのかを評価することが必要である。

影響評価項目としては、空間的、時間的な環境の連続性が事業によりどの程度変化するかという点から、

- ・ 長期の地形変化
 - ・ 淡水、栄養塩、浮遊懸濁物などの湾内循環（年変動から季節変動）
 - ・ 歴史的遺産の有無、海域の位置づけ（利用状況、地域特性等）
- などを検討する必要がある。

その検討を支援する技術としては、

- a) 埋立地、人工島を考慮できる湾規模の計算（波・流れ・漂砂）
- b) 物質循環のモデル化
- c) 経済評価指標による環境の価値判断材料の提供
- d) その海域に特有の現象の理解（青潮、赤潮、泥化）などが考えられる。

(3) 計画段階（中スケール）

計画された埋立地・人工島の平面形状・護岸配置を決定する、いわゆる基本計画のゾーニングを行うような段階においては、個々の護岸断面や周囲の場における生態系の維持機構を明らかにし、どのような生態系があり、どのような役割を果たすのかを予測するような、中規模のスケールに対する環境影響評価に重点を置く必要がある。

影響評価項目としては、埋立地・人工島の立地で失われる環境の機能と、埋立地・人工島の立地で新たに創造される環境の機能を、それを取り巻く環境との関連で説明するという視点から、

- ・ 場の評価としての、波・流れといった外力の分布
- ・ 水質・底質の計画規模サイズの分布と季節変動
- ・ 生息生物の構成種・量の分布と季節変動
- ・ 生息生物の生活史への影響

などを検討する必要がある。

その検討を支援する技術としては、

- a) 埋立地・人工島規模での波・流れ・漂砂の計算
- b) 外力条件によるゾーニングと生物分布の予測
- c) 生物分布から予測される生態系の特性とその役割（海

水浄化)機能の予測
などが考えられる。

(4) 計画段階 (小スケール)

計画された埋立地・人工島の断面形状・細部構造を決定する段階においては、小規模なスケールの現象に対する環境影響評価を重点的に考慮する必要がある。例えば、その埋立地・人工島にどのような生態系が成立するのかを想定しながら、定着する生物の環境要請を実現するために、塩分・水温・流れ・波・漂砂の構造物レベルでのコントロール方法、生物の環境適応性に関する知見をまとめておくことは、そうした小さいスケールでの環境を評価するための重要な視点である。そして、環境条件と生物の棲み分けに関する知見をもとにした生物配慮型構造物の断面設計事例をまとめておくことが、計画立案の際の助けとなる。

影響評価項目としては、埋立地・人工島の立地で期待する環境の機能が発現するかどうかを構造物・断面形レベルでチェックするという視点から、

- ・ 構造物の安全性・基本機能(防災)の評価
- ・ 目標とする生物定着の可能性

などを検討する必要がある。

その検討を支援する技術としては、

- a) 港湾周辺生息生物の環境要請の整理
- b) 波流れ等の外力条件の制御方法の確立
- c) 生息生物の定量評価手法の開発

などが考えられる。

(5) 施工・管理段階 (複合スケール)

計画の段階、施工の段階、施工後の段階におけるモニタリングでは、計画時に考慮した様々なスケールの現象をモニタリングし、計画・施工・維持管理方法にフィードバックすることが目的となる。そのためには、大スケールから小スケールの影響評価を支援するための技術の蓄積と、そのモニタリング結果を反映させるためのためのタイミングと質に配慮したモニタリング方法の検討が必要である。

モニタリング項目は、

- a) 計画段階で必要なモニタリング
- b) 施工段階で必要なモニタリング
- c) 維持管理段階で必要なモニタリング

といった、時間的なタイミングを考慮した項目と、スケールに対応した項目から抽出していくことが望ましい。そして、モニタリングを支援する技術として、

- a) 現象抽出技術(観測手法等)
- b) 予測技術(数値モデル等)
- c) 対策技術

といった技術を利用していくことを考えなくてはならない。

環境影響評価では、予測技術が着目されがちであり、その予測結果が一人歩きしてしまうことがある。懸念される現象があるのかないのかを現場で知るための現象抽出技術(それは、現地観測技術、観測機器の開発、解析法、プレゼンテーション法等による)や、影響を知った上で、それを軽減・回避するための技術を語らずに、予測の結果のみに固執するのは、視点を自ら狭めていると言える。つまり、予測できない不確定要素の存在を、全ての評価の否定要因としてしまう危険性がある。予測に頼れない現象の解明を、現象の抽出(モニタリング)や、対策技術(フィードバック)を利用して対応していく方法を確立し、影響の軽減・回避方法が真剣に議論できる環境を整備することが重要である(表-1参照)。表-1の三番瀬の事例については千葉県(1998)、千葉県土木部(1999)および古川ら(1999)を参照した。

3. 伊勢湾の環境と中部国際空港計画

3.1 伊勢湾の環境の理解

(1) 流れの状況

伊勢湾の流れ場に関して図-2~4に示す観測結果が得られている。

表層の水平循環流は海上保安庁水路部で1971年に伊勢湾潮流図(図-2、湾奥部・湾中央部は時計廻り、湾口部に反時計廻り)を刊行、1995年に改版している。図-3は改版時に用いたデータ(5~9月が285データ、延べ観測日数1518日、10~4月が262データ、延べ観測日数2122日)をもとに佐藤(1996)が成層期と非成層期にわけて示した恒流図である。5~9月(成層期)には図-3に示した3つの循環流が存在しているが、10~4月(非成層期)では、湾奥の循環流のみが存在し、知多半島沿いに大潮の潮流に匹敵する南下流が存在している。

杉山ら(1994)は1990年春季~1991年春季にかけての15昼夜連続観測を行ったデータから、湾奥では時計廻りの循環流(図-4)がいずれの季節も存在すること、秋季・冬季は常滑沖の南下流が顕著に現れる(北西風の影響)ことを示している。

これらの図で共通するのは湾奥には四季を通して時計廻りの循環流が存在していること、非成層期に常滑沖を南下する流れが卓越することである。

柳ら(1998)は現地観測データ(1996年7月12日~17日の広域観測結果)をもとに、診断モデルを用いて夏季における湾中央の残差流場を推定している。湾中央には夏季、上

表-1 三番瀬、中部空港での事例研究

検討の段階	検討項目	三番瀬	中部空港
空間的、時間的な環境の連続性 基本計画 (グローバル)	長期の地形変化	場が小さいので未検討	汀線変化予測 (1ライン)
	淡水循環	未検討	塩分変化の長期観測
	栄養塩循環	底質分布の詳細な観測と、底質・底生生物の活性による物質循環を含めた検討	伊勢湾全体としての海水循環機構の解明
	浮遊懸濁物循環	濁りの発生状況を調査 (港研)	底質分布の観測と泥の堆積予測 (港研)
	その他の特記事項	青潮の発生状況・原因の検討	貧酸素水塊の発生成の確認
尖られる環境の機能と、新たに創造される環境の機能 平面計画 (ローカル)	波・流れ	詳細な観測と数値計算による予測 (港研)	泥化の影響評価のための波・流れの計算 (港研) 法線の曲線化による流れ・対流域の変化予測 (港研)
	水質	連続観測、季節変動の観測、数値計算による再現	浮遊系を中心とした物質循環計算と観測
	底質	生物分布と関連付けた調査と、予測手法の提案 (港研)	堆積速度の分布、底質粒径の分布観測 (港研)
	生息生物の構成種・尿	底質分布と関連付けた調査と、予測手法の提案 (港研)	藻場の分布調査
	生息生物の生活史への影響	干潟の幼生育成作用	現場での藻場着生調査
期待する環境の機能が発現 断面計画 ディテール	構造物の基本機能の評価	特に検討されていない	空港島としての機能
	目標とする生物定着の可能性	平面的な生息生物の予測がされている	高基堤成堤による藻類着生促進工法の提案と水深の設定に関する検討 (港研)
計画遂行の監視 モニタリング (メソッド)	測定手法の開発	底泥の酸素消費速度測定 (港研) 生物サンプリング	堆積速度測定
	解析手法の提案	生物分布と底質条件・外力条件の整理 (港研)	
	予測手法の開発	底泥・底生生物の物質循環モデルへの組み込み	波・流れを考慮した泥化予測手法 (港研)
	計画段階での配慮	計画段階での追加環境調査の実施	泥化・流れに関する予測を地形・配置に反映

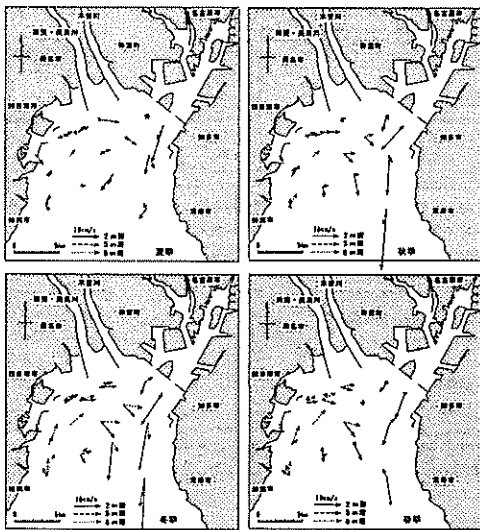


図-2 伊勢湾潮流図

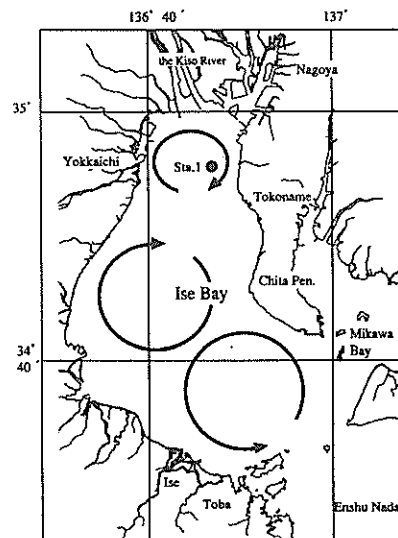
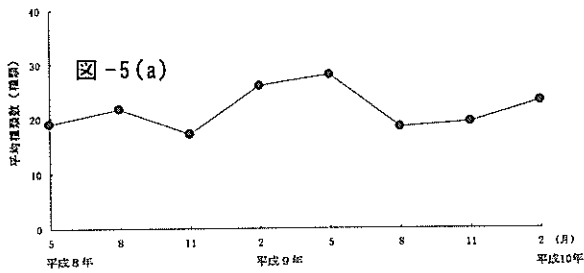
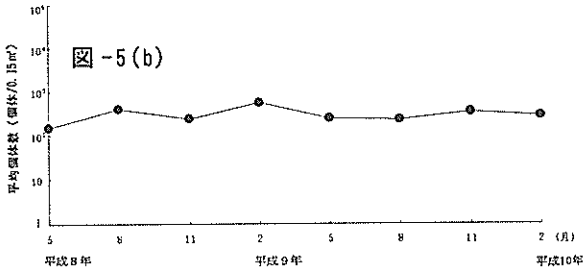


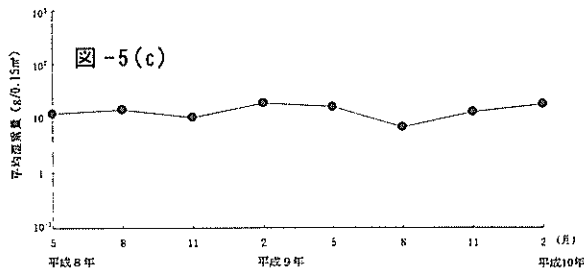
図-3 伊勢湾恒流図



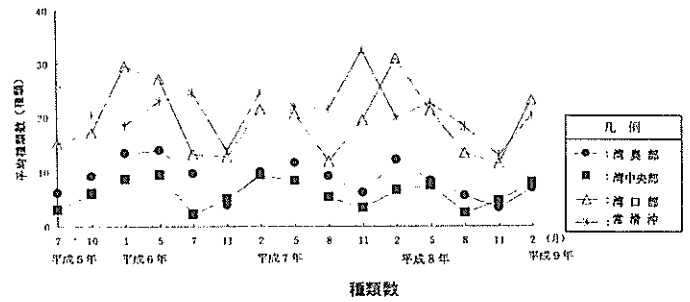
種類数



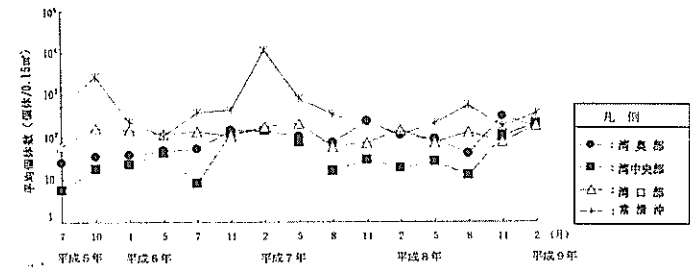
個体数



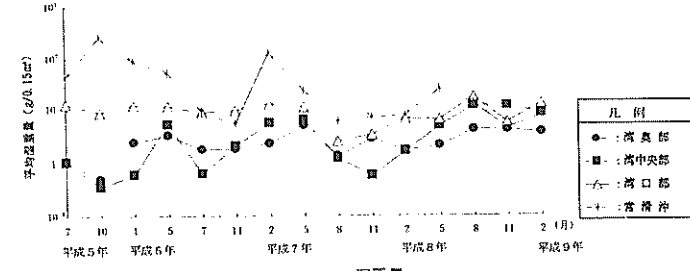
湿重量



種類数



個体数



湿重量

図-5(a)-(c) 空港島周辺(左)およびその他(右)の現存底生生物

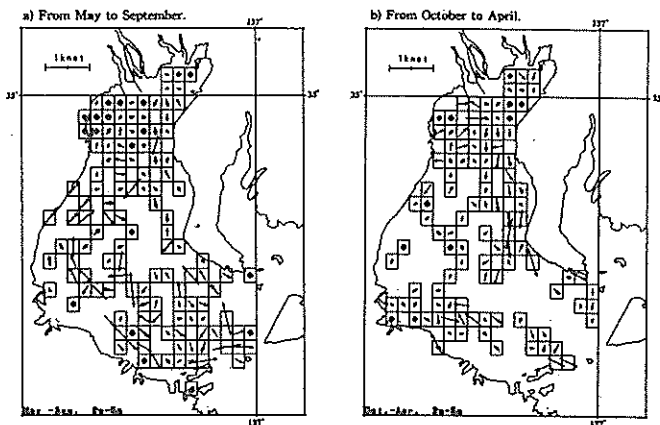


図-4 湾奥では時計回りの循環流

層で時計廻り、中層で反時計廻りの傾圧の残差循環流が存在することを指摘している。

(2) 生態系の状況

a) 底生生物

中部国際空港株式会社・愛知県(1999)の環境影響評価書によれば、空港島周辺は、湾口部および常滑沖と並んで、伊勢湾の中でもっとも種類数・個体数・湿重量の大きい海域である(図-5(a)-5(c))。季節変動をみると、基本的にどの季節も常に、空港島周辺における種類数・

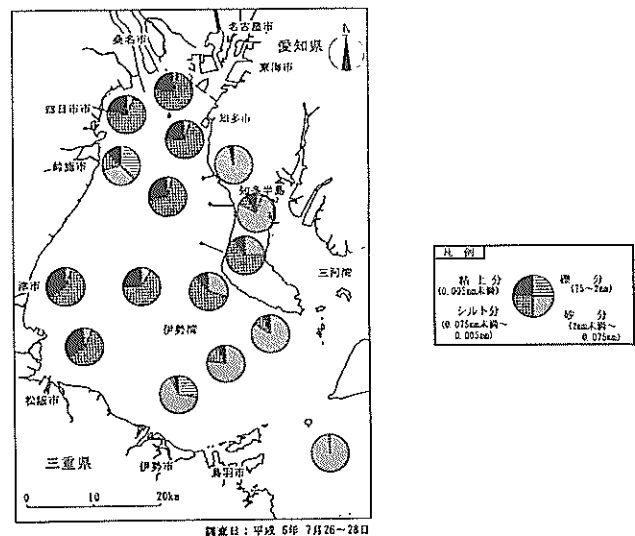


図-6 粒度の空間分布図

(評価書(1999)をもとに作成)

個体数・湿重量は湾中央・湾奥を上回っている。個体数でみた優占生物はすべての海域において多毛類である。

底泥が砂質である常滑沖および空港島周辺は、伊勢湾の中でもっとも底生生物の現存量が多く、さらに多様性が高い場所となっている。この理由について、常滑沖および空港島周辺が他の海域より浅いため、夏期底層の貧

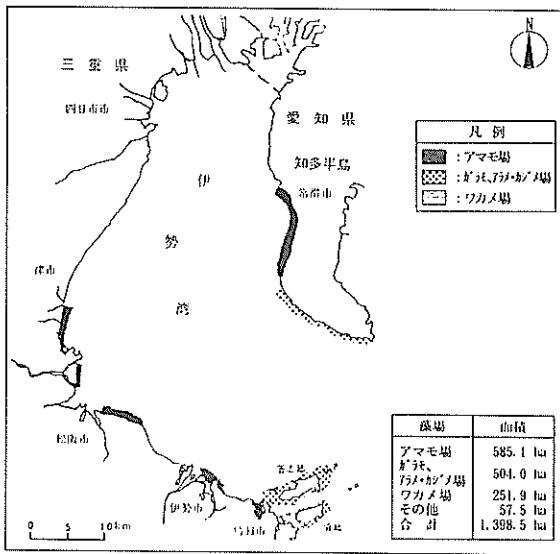


図-7 アマモ場のある場所

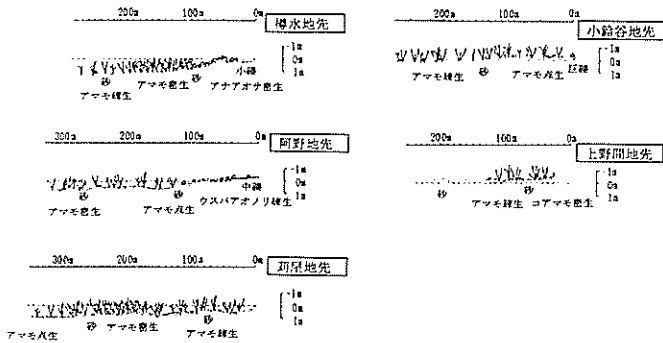


図-8 アマモの生育している水深と底質

酸素化が起きにくいことが考えられる。一方、現存量および多様性の高い場所と、粒径の粗い場所とがよく一致していることから(図-6), 砂分が多い底質も底生生物の分布に大きく寄与していると考えられる。とすれば、もし空港建設によって周辺海底泥の泥化が起きると、底生生物の現存量および生物相に大きな影響を与える可能性がある。

b) 藻場

水深2m以浅の砂質の場所のみアマモ場がみられる(図-7 ~ 図-8)。また、ホンダワラ類、アラメ類の群落がある、岩礁基質の場所にみられる。アマモ場には、葉の上にかかなり多くの付着生物が生息しており、面積あたりでは、他海域の底泥中とほぼ同程度の生物量となっている(図-9(a))。さらに、他海域の底泥よりやや少ないが、アマモ場の底泥中にも底生生物が生息している(図-9(b))。アマモ場が砂質であることを反映して、底泥中にはアサリを主とした二枚貝(軟体動物)が多く生息しており、湿重量でみた場合には、超優占している。葉上お

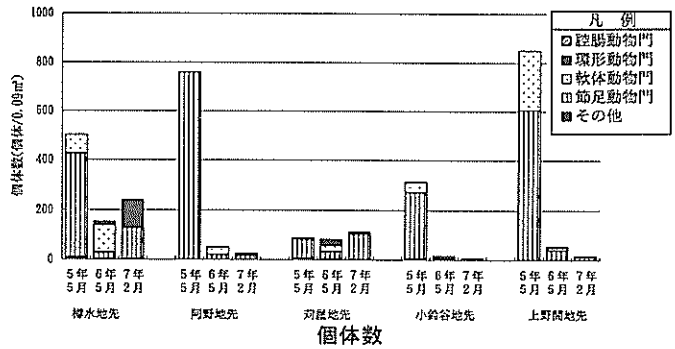


図-9(a) アマモの葉上にすむ生物

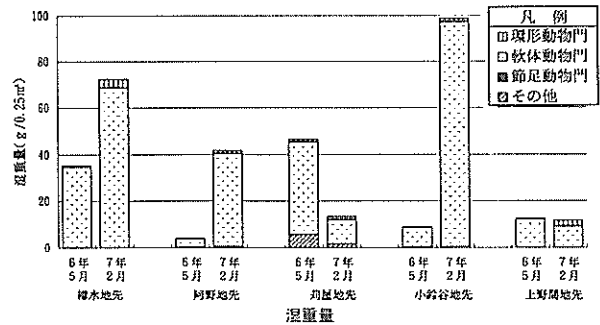


図-9(b) アマモ場底泥の生物

よび底泥の両方を加えた藻場全体としての生物個体数は、他海域の底泥の約2倍、種類数はおそらく3倍以上と見積もられる(葉上の生物相が泥中のそれとかなり違うため)。

アマモ場の成立要因の一番大きな要因は、光量が十分に届く場所といわれている。アマモは海藻ではなく、いわゆる陸上植物に近い海草であるため、生理的に他の海草よりも多くの光量を要求する。水深2m以浅にのみアマモ場がみられた結果は、このことを支持している。

次に大きな要因として、アマモは泥質よりも砂質を好むといわれている。これについて、評価書(1999)の調査結果からは判断できないが(泥質のところは水深が深く光量不足となっているため)、アマモの地下茎が、泥質の底泥の還元的環境に弱いという説がある(新崎ら, 1976)。また、泥質底泥の場所では、巻き上げなどにより砂質の場よりも光環境が不利になることも影響していると思われる。いずれにせよ、現存のアマモ場の維持のためには、好適な生育基盤と光の確保が一番重要である。つまり、地形変化により、①アマモ場周辺の地盤高が低下する、また、外力の低下によって②泥化が起きる、ことを避ける必要があると思われる。

c) 干潟

伊勢湾に存在する干潟のうち(図-10)、建設予定地に近い2つの干潟の底生生物の生息状況(湿重量)をみると(図-11)、砂質の底質を反映して①二枚貝が圧倒的に優

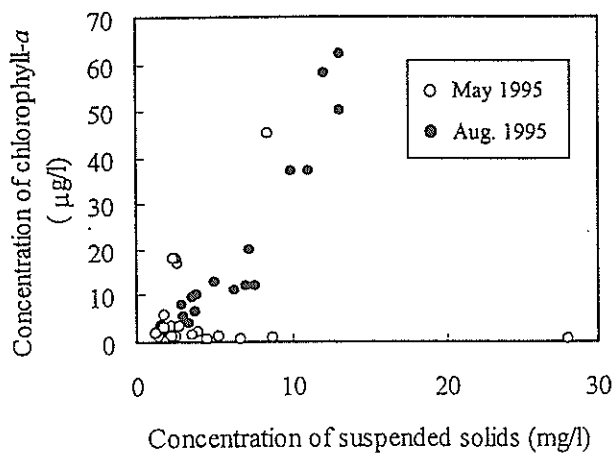


図-13 浮遊懸濁物濃度とクロロフィルa濃度との関係

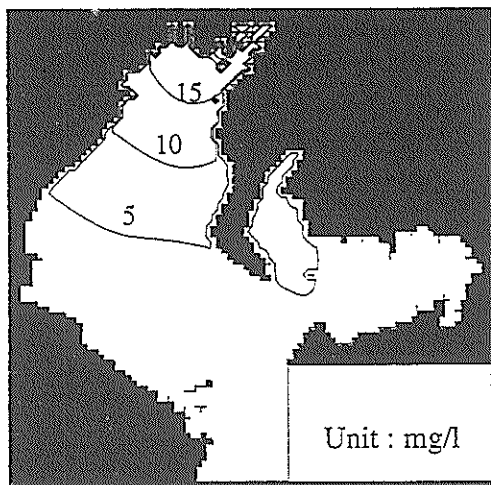


図-14 夏期の懸濁物濃度の平面分布

クロロフィルa濃度との関係を図-13に示す。夏期の観測結果においては特に両者の相関が高く、濁りの原因が主にプランクトン起源の懸濁物であることがわかる。また、このときの懸濁物濃度の平面分布は図-14に示すように、湾奥ほど高いものとなる。

c) 底質分布と支配因子

伊勢湾内の底質分布について、底質中の砂、シルト、粘土それぞれの含有率の分布を示したものが図-15である。これは中部空港調査会が、同図中に示す黒点の地点で平成7年7月に採取した底質サンプルの分析結果から求めたものである。湾内で砂分が主となる底質の分布域は湾の東岸部常滑沖および湾口部であり、これに対し湾奥および湾西部さらに湾中央部ではシルトや粘土等の泥質物が多く堆積していることがわかる。このような底質分布の形成には、懸濁物（河川からの土砂、巻き上げられた泥質物、一次生産に基づく懸濁物）の供給と、懸濁物の輸送あるいは沈降・堆積を阻止する外力（潮流や波

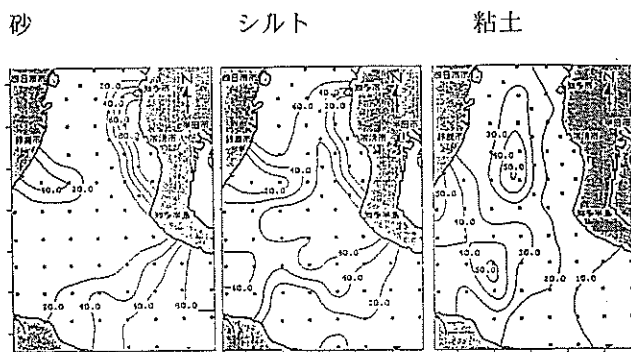


図-15 底質中の砂、シルト、粘土の含有率分布

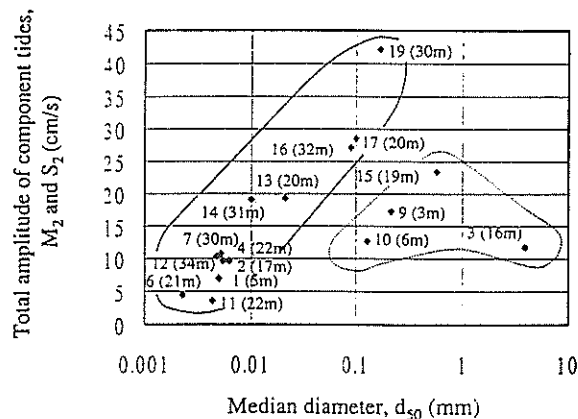


図-16 潮流振幅と底質粒径との関係
(図中の番号は図-12の観測点を示す)

浪)の平面分布が深く関与しているものと考えられる。そこで、底質粒径と外力との関係を調べるため、潮流観測と同地点で採取された底質の分析結果を利用して、潮流振幅の大きさと底質粒径の関係について調べたものが図-16である。この図からわかることは、潮流振幅が大きくなるほど底質粒径が粗くなる関係が存在することである。しかし、潮流振幅が比較的小さいにも関わらず、底質粒径が粗い領域がわずかに存在することも同図は示しているが、その理由としては、細かい粒径の懸濁物の供給そのものがこれらの領域には少ないか、あるいは堆積を妨げる他の外力、たとえば波浪の影響が大きい場所であるとされる。

d) 常滑近傍海域の特性

常滑近傍海域の水質、特に濁りの発生要因については、常滑沖に設置された海上観測局（図-12中MTと記された地点）で計測された濁度の時系列データ（図-17）と、同時期に観測された他の水質データ（溶存酸素、塩分等）との比較を通じて検討した。その結果によると、夏期の一次生産に起因する懸濁物の発生が、当該海域における濁度上昇の主要な原因のひとつであることがわかった（中川, 1998）。一方、伊勢湾への主要な懸濁物供給源となる木曾三川からの出水の影響は、濁水経路が湾西

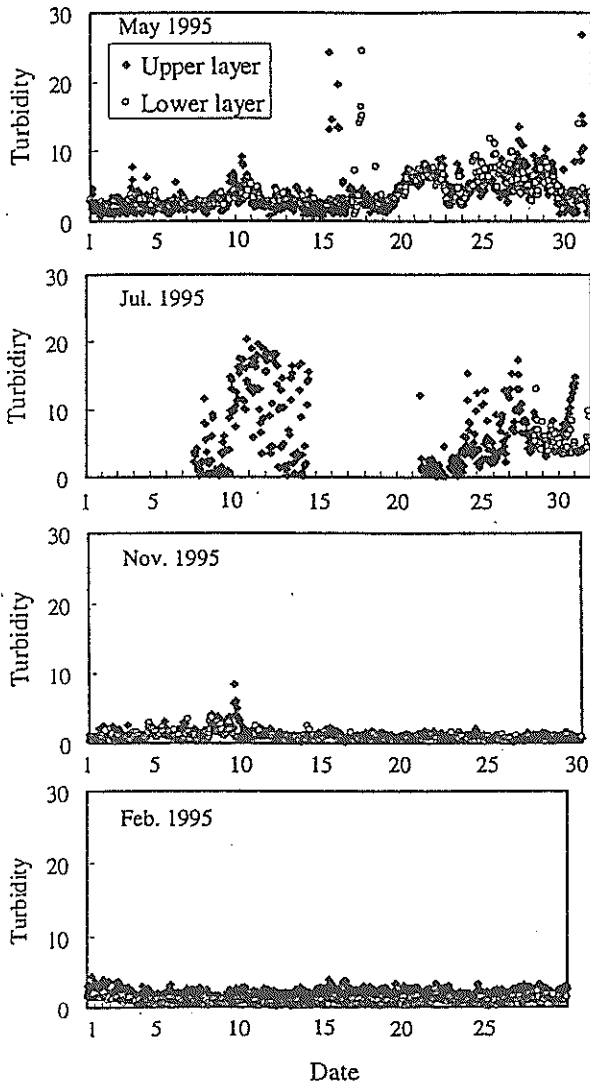


図-17 常滑沖海上観測局での濁度の変化

部に偏向することもあり、常滑沖での河川出水に伴う濁度の上昇量は一次生産起源の場合と同程度であるものの、その上昇期間は1日以下と非常に短いことがわかった。

3.2 中部空港の計画概要

(1) 位置と規模

いわゆる中部空港建設事業は、中部国際空港用地の埋立造成によって飛行場を設置する事業である「中部国際空港建設事業」（事業主体：中部国際空港株式会社）と、空港隣接部の埋立造成によって空港支援・補完機能を図る「空港島地域開発用地埋立造成事業」（事業主体：愛知県）に分けられる。事業規模として、「中部国際空港建設事業」が約470ha、「空港島地域開発用地埋立造成事業」が約110haの埋立が計画されている。これにより、大型機の発着が可能な3,500m滑走路1本が整備され、年

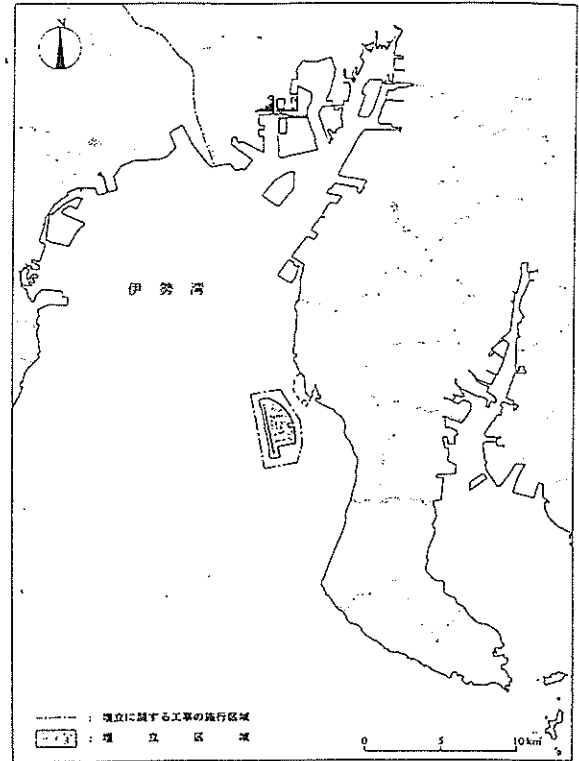


図-18 事業実施区域

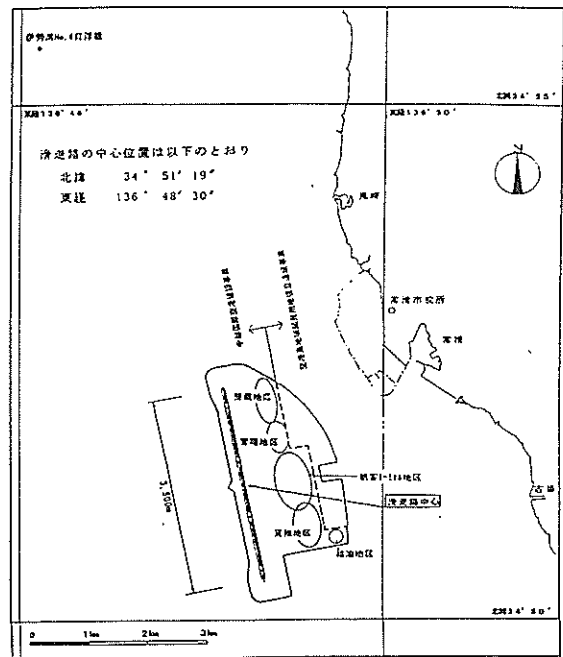


図-19 埋め立ての場所および形状

間離着陸回数約13万回に対応できるとされている。さらに、対岸部の埋立も予定されている。また、将来構想として滑走路2本、総面積約700haの埋立が計画されている。

計画場所は愛知県常滑市沖であり、図-18に示す。より詳細な場所と形状を図-19に示す。

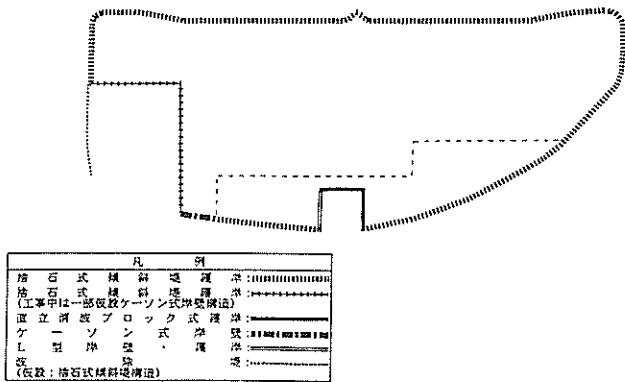


図-20 護岸・岸壁の様式と配置及びそれぞれの代表的な標準断面

(2) 形状

空港島の存在に伴う周辺海域の環境変化の影響を低減する目的で、基本構想段階で、空港の形状について、以下の対策がとられた。

対策①：空港島と対岸部との最小海域幅を約1.1kmとした。

対策②：空港島の形状に曲線を取り入れ、空港島と対岸部との海域幅を広くした。

対策③：隅角部を曲線にした。

これらの対策は、まず、空港島と対岸部に挟まれた海域を広くとること、特に北側の海域を広くとることによって、常滑沖南下流をできるだけ妨げないようにする事が考慮された。また、空港島の曲線化によって、空港島背後の流速が低下する停滞域の発生を小さくすることが考慮されている。さらに、隅角部の曲線化によって渦の発生を抑制することが期待されている。

(3) 護岸

空港島の護岸は、海域環境に配慮して捨石式傾斜護岸を主に用い、一部には緩傾斜護岸を施工して、海域生物の生息・生育場を創出することが予定されている。また、空港島西側護岸及び南側護岸(延長約6.5km)に、幅10mの自然石を用いた岩礁性藻類の生育基盤を造成し、藻場を造成することが図られている。護岸・岸壁の様式及び配置を図-20に示す。

(4) 工事工程

工事工程は、表-2に示す通りである。

4. 各 論

4. 1 内湾に設置する人工島などの建設における沿岸環境影響評価上の技術課題

(1) 日本海洋学会海洋環境問題委員会メンバーの「海の研究」寄稿記事

表-2 工事工程

項目	年	1年次	2年次	3年次	4年次	5年次	6年次
護岸工事							
埋立工事							
施設建設工事等							

閉鎖性内湾である伊勢湾に中部国際空港を人工島形式で建設することが特別法で決められている。この人工島建設にあたっては、事業主体により環境影響評価などの所定の手続きが行われてきた。一方、これら手続きにおける環境影響評価書の内容に関し、住民意見とは別に日本海洋学会海洋環境問題委員会から見解が海洋学会誌に寄稿(日本海洋学会海洋環境問題委員会(1999))されている。寄稿は、「閉鎖性水域の環境影響評価に関する見解—中部国際空港人工島建設の場合—」と題されている。

寄稿は、1. はじめに、2. 中部国際空港の経緯、3. 伊勢湾と空港計画区域の生態系の特徴、4. 中部国際空港に関わる環境影響評価の課題、5. おわりに、の5章から構成されている。中部空港の環境影響評価に関する批判として、4. の章に5つの課題を挙げている。

「見解」の意見は、環境影響の予測手法に関する批判、予測結果の評価に関する批判、環境影響評価における制度に関する批判などから構成されている。予測手法に対する批判の部分では、採用された手法とは別の手法を提案している部分もある。また、それぞれの課題に関して、「抜け落ちた視点」や「配慮の少ない事項」を指摘し、それが重要な課題であるもしくは重大な影響に繋がる恐れがあると述べている。内容を検討すると、日本海洋学会側の独自観測資料や独自の計算結果を提示し、環境影響評価書との差異を論じているわけではない。また、事業地周辺海域の調査データが事実と違うという具体的指摘はない。つまり、事業者の検討手続き中における瑕疵(使用したデータが不適切であるとか計算間違いがあるなど)と言うよりも、採用した手法そのものが適切ではなかったのではないかと指摘を含んでいる。

寄稿の第4章の5つの課題(4. 1~4. 5)は、おおまかに言えば次のようなものである。

①. 「4. 1海岸線と海底地形の変化の予測」：人工島背後の陸域浅海部側に漂砂が堆積しトンボロができるのではないかと、こうした地形の変化予測に対し、1次元汀線変化予測モデルを使って予測しているが、適用には問題があり、3次元海浜変形モデルの適用をすべきでないか。

②. 「4. 2底質変化の予測」：人工島の遮蔽域で流れや波が変化するため、底質が細粒化し底生生物などに影響が及ぶのではないかと、千葉県が三番瀬に対して適用した

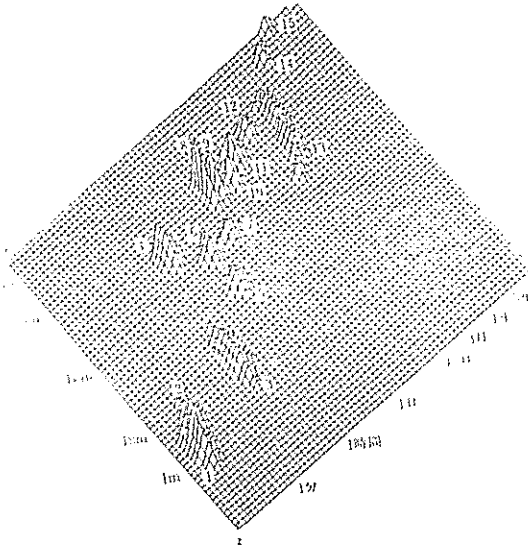


図-21 沿岸海域の流動スペクトル模式図

1. 風波, 2. うねり, 3. 港内静振, 4. 津波, 5. 灘内静振,
6. 地形性渦流, 7. 1/4日周潮流, 8. 半日周潮流, 9. 日周潮流,
10. 洪水・高潮, 11. 吹送流, 12. 潮汐残差流,
13. 密度流, 14. 季節変動, 15. 経年変動

ように、底面摩擦速度を評価し、粒径変化を予測し、もって底生生物相の変化を評価すべきではないのか。

③. 「4. 3物質循環の把握と水質変化の予測」：人工島周辺での浄化作用の減少が考慮されていないのではないか。底質が変化することにより、アマモ場など生物作用にも影響し、ひいては水質の変化をもたらすのではないか。浅海域生態系や底生生態系を組み込んだ物質循環モデルを適用し、浄化機能を評価し、水質予測すべきではないのか。

④. 「4. 4環境と漁業資源との関係解析、漁業資源への影響予測」：上記4. 1から4. 3の事態が起これば、生物相の大きな変化に伴い漁業にも影響が大きいのではないか。アマモ場への大きい影響が懸念され、それによる漁業資源への影響も大きい。

⑤. 「4. 5環境影響の回避、低減策と代償措置の厳密な評価」：いくつかの回避低減策が提示されているが、それによっても4. 1から4. 3の懸念が消えない。傾斜護岸の採用による藻場の創成が、埋立による消失生態系の代償として提示されているが、砂浜生態系の代わりに岩礁生態系を創出しても代償措置にならず、創出岩礁域の面積は埋立面積に比べて小さい。

5. おわりに、の章では、「総じて、地形、水、底質、アマモ場、砂浜浅海域生態系に及ぼす影響について、極めて楽観的な評価をしている」とまとめている。また、漁業影響の検討については、特に不十分であると指摘がされている。

(2) 沿岸環境のもつ構造性と環境予測の手法

内湾の環境は、背後陸地と外洋とに囲まれ、陸からと大洋からとの両方の影響を受けている。こうした影響は、沿岸部・沖合部や湾奥部・湾口部といった場を経て内湾を伝搬することになる。物質を運ぶのに寄与する外力やプロセスは、図-21 (柳, 1982) に示すように時間空間スケールによって卓越現象が交代する。岸近くの浅い場所では、主に波によって物質が運ばれたり混合したりするが、沖に出るにつれて主に潮汐や吹送流などにより物質が運ばれ拡散するようになる。内湾では、湾奥から湾口にかけていくつかの大きな循環流が形成され、陸からの流入物は循環流によって水域を循環しつつ徐々に湾口に向かうことになる。このように、内湾ではスケールによって種々の輸送現象が階層的に重合し、物質を運び・拡散させ・水が入れ替わっている。

生息生物を考えてみよう。潮間帯には、乾燥に対する耐性に応じ標高毎に生息種の棲み分け分布が横帯状に見られる。泥質干潟や砂浜では、底質粒径や水深に応じて特有の生物生息が見られ、潮汐や波によって流入する栄養塩や有機物を利用した物質循環系が形成されている。沖合に向かっては、浮遊系生態系の物質循環と底生生態系の物質循環とが、徐々に結びつきを薄くしてゆく。表層生物や表層水質は、底泥の影響よりも、密度成層や有光層といった表層数mまでの深さの水塊自身の影響をより強く受けるようになってくる。

内湾に人工島などを構築するとき求められる環境影響の予測評価は、場所や規模や構築物によって当然異なるが、加えて、時代とともに予測評価が要求される事象や精度も変化してきている。環境影響評価法が制定され、住民関与が深まるにつれ種々の懸念が提出され、それにつれて予測評価に際しても、細部にわたる詳細な検討が求められる方向にある。時空間のスケールが小さくなるに従って、従来の扱いではカバーできなくなる事象も出てくると同時に、客観的な予測が技術的に不可能であるにもかかわらずある種の傾向判断が求められるようになってきている。

しかし、内湾浅海域のある局所的水域に適用し環境影響の予測評価に成功した手法が、他の場所で適用可能かどうかは、上記の海域環境の構造性を考えるとただには判断できない。また、数値予測モデルの差分時間や差分空間を小さくさえすれば、局所的短期的な変化が予想できるようになるものでもない。多くの素過程を含んだ複雑なモデルになるほど、それぞれの素過程を表現する式が増えるだけでなく与えるべきパラメーターも増えてくる。こうしたパラメータは、場所の特性や影響事業の

表-3 汀線変化予測モデルと平面地形変化予測モデルの適用ケース

適用ケース	沖の地形変化が汀線近傍の地形変化と比較的一致することが予想される場合(防波堤、離岸堤背後や突堤周辺における主として沿岸漂砂によって生ずる地形変化など)	航路・泊地の埋没	潜堤、離岸堤、防波堤などの構造物周辺の局所的な地形変化
モデル			
汀線変化予測モデル	適している。	場合によっては、利用できる。	適していない。
平面地形変化予測モデル	計算は可能であるものの、計算量が多いので不経済なことが多く、また、モデルの再現性の判断が難しい。	適している。	適している。

特性に応じ変化してくることもあり、予測評価結果に大きく影響する場合もないわけではない。各種パラメータ値の測得に多大の労力と経費がかかり、その割には予測の精度が向上しないこともしばしば経験するところである。また、予測評価の目的や対象事象の機構によって、検討の時間スケールや作用外力・卓越作用環境変動が異なることもしばしば見られる。モデルの表現している機構そのものが、そこでの予測評価にはふさわしくなく、新たなモデル構築が必要になることもあり得る。従って、環境の影響評価や予測にあたっては、自然をよく調べ、よく把握することから始めるべきである。

そこで、中部国際空港建設の環境影響予測や評価に対する日本海洋学会海洋環境問題委員会の見解提出を機に、どのような場合にはどのような手法がふさわしいのかを科学的に検討し、手法採用の考え方の整理を試みる。また、現在の予測技術に対し、従来知見が不足がちであった点を把握し、今後の技術開発の方向性についても考えてみる。

こうした要請の中で、環境影響評価の技術の現状と今後の技術課題を整理しておくことは、詳細部分への際限のない予測要求や無理な注文の前で、ただ「現時点では不可能」とあきらめてしまうことよりも重要であるし、社会的にもより必要であることは明らかである。また、予測手法に関していえば、「内生変数をいたずらに増やしさえすれば細部の現象も含んで予測ができる」という社会的な誤解が、一部の科学者も含め、広がっているようである。「何をどう予測することが、その事業の環境影響評価にとって重要なのか」の議論とともに、現在の手法に関して「影響の予測評価手法の限界」を踏まえた適切な使い方を考えておくことが重要である。ここでは、近年特に話題になっている以下の3点を中心に考えてみた。すなわち、「沿岸汀線地形変化」、「底質の泥化・微細粒子化」、「底泥系の作用の浮遊系水質予測への反映」である。

4. 2 海浜変形予測モデル適用にあたっての注意事項

海浜変形予測モデルには、海浜の平面地形変化を予測する平面地形予測モデル（3次元海浜変形モデル）と汀線の変化のみを予測する汀線変化予測モデル、岸沖方向の断面地形の変形を予測する縦断地形予測モデルがあり、これらのモデルの概要や特徴、適用範囲は清水（1996）や土木学会 海岸工学委員会 研究レビュー小委員会（1998）によって詳細に記述されている。本検討では、これらのモデルのうち平面地形予測モデルと汀線変化予測モデルを取りあげ、その適用にあたっての注意事項を検討する。

(1) 汀線変化予測モデルと平面地形変化予測モデルの概要と適用範囲

まず、両モデルの概要を簡単に述べる。汀線変化予測モデルは沿岸漂砂の不均一によって生ずる汀線変化を予測するものである。その基となる沿岸漂砂量は砕波点の波高、周期、波向によって求められ、沿岸漂砂量公式としては以下に示す式（1）（小笹・Brampton, 1979）が用いられることが多い。

$$Q = (EC_g)_b (K_1 \sin \alpha_b \cos \alpha_b - \frac{K_2}{\tan \beta} \cos \alpha_b \frac{\partial H_b}{\partial y}) \quad (1)$$

ここに、 Q は沿岸漂砂量、 $(EC_g)_b$ は砕波点における波のエネルギーフラックス、 α_b は砕波波向、 $\tan \beta$ は海底勾配、 H_b は砕波波高、 y は沿岸方向距離であり、 K_1 、 K_2 は係数である。

本モデルは岸沖漂砂を考慮していないので、時化による短期の汀線変化の予測には向かない。したがって、本モデルが通常対象とするのは、長期の（数年以上の）汀線変化予測である。また、汀線変化予測モデルは後述する平面地形変化予測モデルに比べて計算量が少ないので、平面地形変化予測モデルよりも広い範囲の予測が可能である。なお、汀線変化予測モデルは沖合人工島などの沖合構造物背後のトンボロの発達予測には問題があるとの指摘（日本海洋学会海洋環境問題小委員会、1999）があるけれども、田中・灘岡（1982）や清水（1996）、清水ら（1997）などからも明らかのように、

汀線変化予測モデルはトンポロの発達を良好に再現できる。

平面地形変化予測モデルは計算領域の各地点の水深変化を予測するものであり、モデル内では沿岸漂砂だけではなく岸沖漂砂も考慮される。平面地形変化予測モデルとしていくつかのモデルが提案されているものの、計算の手順としては、どのモデルも、まず波浪場を計算し、続いて海浜流場を計算し、最後に地形変化を求める。海浜流場としては断面平均の海浜流場を求める場合とその鉛直分布をも求める場合とがある。

地形変化の予測方法によって、平面地形予測モデルは大きく二つに分類される。一つは、いわゆる局所漂砂量を基にする方法であり、水理諸元や底質粒径などから計算される局所漂砂量の流入と流出の差によって地形変化を求める。もう一つのタイプは底質の移流・拡散を考慮するもので、浮遊砂の舞き上げ量と沈降量との差が地形変化を引き起こすと仮定している。局所漂砂量公式としてはBailard (1981) や渡辺ら (1984) などがいくつか提案しており、浮遊砂の舞き上げ量を計算する際に用いる、ある基準点における浮遊砂濃度を求める式としてはBijker (1980) や樫木ら (1984) などが実験式などを提案している。

平面地形変化予測モデルの主な適用ケースとしては、航路・泊地の埋没問題や大規模潜堤背後の地形変化などのように沖の地形変化が重要となるような場合である。

(2) モデル適用にあたっての注意事項

式(1)もそうであるように、汀線変化予測モデルの基礎となるいくつかの沿岸漂砂量公式は、物理法則を基に厳密に導かれたものではなく経験的に得られたものである。当然含まれるはずの底質粒径の影響が陽な形で式に含まれておらず、これらの影響が全て式中の係数に含まれることになる。したがって、田中・灘岡 (1982) に述べられているように、汀線変化予測を精度良く行うためには公式に含まれる係数を現地データに基づいて検討対象海岸ごとに決定する必要がある。

汀線変化予測モデルの適用にあたってのもう一つの注意事項は、代表波浪諸元の設定方法である。汀線変化予測モデルでは(平面地形変化予測モデルでも)、通常、一つから数個の代表波浪を用いて予測を行う。代表波浪の波高、周期としては現地の波浪データあるいは推算値を基にエネルギー平均を行うことによって求めた値を用いることが多いものの、波向は汀線変化に大きな影響を与えるためにエネルギー平均で求めた値をそのまま使うことはまれである。予測計算では、過去に起こった現地の汀線変化を再現できるよう微修正した値を用いること

が多い。波向を微修正しなければならない原因の一つは、波高や周期に比べると波向き観測の精度がやや低いことにある。例えば、計器設置角度の誤差は波高や周期の観測誤差にはつながらないものの、波向の誤差に直接影響する。また、水深の大きい地点において、底面近傍の流速測定によって波向を推定している場合には、短周期波成分は長周期波成分に比べて往復流成分の水深方向の減衰が大きいいため短周期波成分の波向を過小評価している可能性がある。

代表波浪の数については、通常は一つか二つで済ませることが多いものの、最近では数方向の波を用いて計算精度を向上させようとする試みがある(例えば、粕谷など、1997)。

平面地形変化予測モデルに用いられる漂砂量公式や基準点浮遊砂濃度公式の中には、底質粒径の効果を陽に含むものが多くあり、それらは汀線変化予測モデルに用いられている沿岸漂砂量公式よりも汎用性が高いと考えられる。しかし、公式中に含まれる係数は経験的に求められたものが多く、それらの係数の妥当性の検討、および場合によっては的確な係数の選定は汀線変化予測モデルの場合と同様に現地の地形変化データを基に行わなければならない。

モデルの現地再現性の検討は、地形変化量の予測結果と実測値とを比較することによって行う。汀線変化予測の場合、検討対象が1次元量の汀線であるため、計算値と実測値との比較によるモデルの現地再現性の判断は比較的容易である。しかしながら、平面地形変化予測の場合は比較対象が2次元であるため、再現性の判断が容易ではない。通常は、侵食・堆積のパターンを比較したり、計算対象領域をいくつかの領域に分割し、各領域における土量の変化量を比較することによって、現地再現性を判断する。ここで、注意しなければならないことは、領域の分け方である。領域分けは現地の地形変化に基づいて、その特徴が現れるような領域分けを行う必要がある。例えば、現地で顕著な堆積と侵食が起こっていた区域をひとつの領域に含めることは避けなければならない。

シミュレーションモデルを用いて将来の地形変化を予測する場合には、どのモデルを使用する場合でもそのモデルが対象となるケースに対して適切であるか否かを検討する必要があるけれども、特に、平面地形変化予測モデルを使用する場合には、十分な検討が必要であると考ええる。平面地形変化予測計算は汀線変化予測計算に比べると時間がかかる。すなわち、費用がかかる。また、モデルの現地再現性の判断も前述したように汀線変化予測

モデルに比べると平面地形変化予測モデルの方が困難である。したがって、汀線の変化を把握することによってその沖の地形変化もある程度予測が可能である場合には、平面地形変化予測モデルを使用するよりも汀線変化予測モデルを使用する方が経済的でしかも精度の高い予測が可能となることが多い。例えば、突堤や離岸堤背後の地形変化の予測がこれに含まれると考えられる。場合によっては、汀線変化予測モデルによって航路や泊地の埋没量を推定することも可能である (Rodoriguez and Katoh, 1994)。したがって、地形変化を予測する場合には、やみくもに平面地形変化予測モデルを使うのではなく、対象となる現象を十分に把握したうえで、適切なモデルを選択する必要がある。汀線変化予測モデルと平面地形変化予測モデルの適用ケースを簡単にまとめると表-3のようになる。

4. 3 人工島周辺の泥化予測

(1) 構造物の設置と底質の変化

内湾域における底質粒径の平面分布は、河川や外海から供給される土砂の粒径と、潮流・波浪等の輸送外力との関係により決まるものと考えられる。このため、沿岸構造物の設置に伴うこれらの要素に変化が生じれば、そこでの底質粒径は将来的に変化していくことが予想される。特に、人工島を設置する場合には流れの滞留域や波浪の遮蔽域が生じ、外力の低減に伴う細粒懸濁物の堆積、すなわち底質の泥化が懸念される。一般的に閉鎖性内湾域では底質中の泥（シルトおよび粘土分）の含有率と有機物濃度との間に高い相関が見られ（谷本ら, 1984）、（中川, 1998）、底質の泥化は水質や底性動物の棲息環境の変化にも大きく影響する。したがって、このような問題が懸念される沿岸域開発に対して、底質性状の変化を適切に予測するための手法の開発が望まれる。

(2) 内湾域における泥化の予測手法

内湾域における泥化を検討するには、対象とする海域での懸濁物の供給源（河川からの流出土砂、再懸濁物、一次生産起源等）とそれらを輸送する外力（潮流、波浪等）の特性について十分把握した上で、数値モデル等による予測を行う必要がある。例えば、河川からの洪水流出に伴う河口部の土砂の堆積が顕著な場合には、宇多ら（1999）が検討しているように、二次元不定流計算による洪水流の計算から河口部での土砂堆積範囲について推定することが一つの方法として考えられる。しかし、この場合には適用対象が河口付近に限られ、河川供給土砂の影響が小さい海域や、外力として潮流や波浪の影響が

大きい海域を対象とすることはできない。一方、内湾域では多様な懸濁物の供給源や供給量を把握することが困難なことが多い。そこで、堆積物の供給については変化がないものと仮定して、現状の底質粒径と作用外力との相関関係から、埋立に伴い変化する作用外力のもとでの底質分布を予測する試みもみられる（千葉県, 1999）。ただし、対象とする海域内の底質が平面的に均質であったり、多方向からの波浪が作用外力として重要となる場合等、作用外力と底質性状との相関関係がうまく得られない場合には本方法による予測は困難である。

これらの例にみられるように、各海域の特性に合わせた合理的な計算方法もそれぞれに適用限界があり、内湾域での泥化予測手法として一般性があるわけではない。したがって、対象とする海域の特性を十分反映したモデルを選定し、場合によってはいくつかのモデルを組み合わせ、泥化予測に使用することが必要と考えられる。以下では、伊勢湾内に計画されている沖合人工島周辺海域を対象として、現地データに基づく懸濁物供給源の推定、潮流計算に基づく泥質物供給量の変化予測、さらに波浪変形計算を基にした泥質物の堆積可能性を検討することにより泥化予測を実施した例を示す。

(3) 伊勢湾における泥化予測に関する検討

a) 潮流による懸濁物の移流拡散計算

濁度連続観測データの解析によると、空港島周辺海域では一次生産を主要因とする懸濁物が卓越することがわかっている。そこで、ここではクロロフィル *a* 濃度と相関がある夏期の浮遊懸濁物濃度の平面分布を初期条件として、 M_2 潮および木曾三川からの淡水流入を考慮した3次元潮流計算と移流拡散計算による泥質物堆積計算を行った。またモデルの検証としては、本来ならば堆積量に関する計算結果を現地底泥の堆積速度等と比較すべきであるが、本計算では湾内生産起源の懸濁物のみを対象とし、河口付近で重要となる河川からの土砂供給が考慮されていないことや、懸濁物を計算の初期条件としてのみ与えていることなどから、定量的な評価は困難である。これに対し、対象とする懸濁物の特性を反映した有機物濃度と堆積量の計算結果を比較すると図-22の関係が得られる。ここで、底質中の含泥率（特に粘土分）と有機物濃度との間には高い相関が見られることを考慮すると、図-22の関係は計算結果から泥の堆積状況を推定するのに利用できることになる（中川, 1998）。

このような計算手法に基づき、伊勢湾常滑沖に建設が予定されている空港島周辺での泥化予測を行った結果が図-23である。図中には空港島北東岸および南岸付近に、空港島設置に伴う堆積量の増加範囲が矢印で示されてい

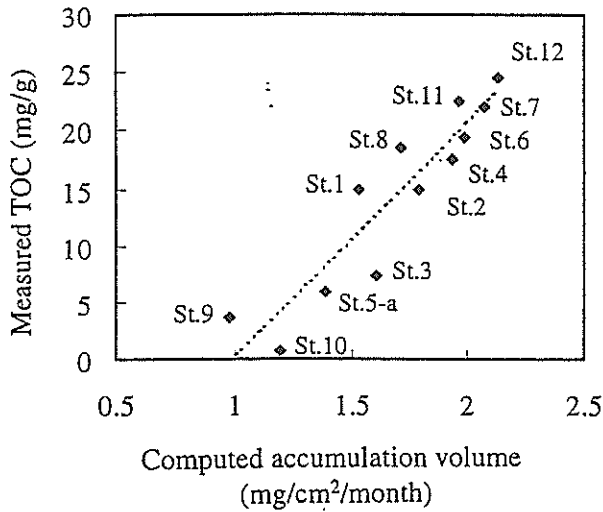


図-22 潮流計算に基づく懸濁物の堆積量と現地底泥中の有機炭素 (TOC) 濃度との関係

る。さらに、図-22の関係を用いてこれら堆積量の増加について検討すると、ここでの堆積速度の変化は元来1.3 mg/cm²/monthであったものが高々1.5mg/cm²/monthへの上昇であり、これは依然として含泥率の低い領域に相当し、湾内の泥質域と同様な泥の堆積は生じないことを意味する。一方、ここでは外力として潮流等の流れのみを考慮した泥質物の堆積予測計算結果を示したが、対象海域には水深10m以下の浅海域が多く含まれることから、波浪による浮泥の巻き上げの効果がさらに浮泥の堆積を妨げることが考えられる。そこで、波浪変形計算に基づく浮泥堆積の可能性について検討した結果を以下に示す。

b) 波浪の影響に関する検討

エネルギー平衡方程式を用いた波浪伝播計算結果を基に、人工島周辺での波浪による底面せん断応力の分布から浮泥の堆積について検討した。波浪の入力条件として、湾内で観測される未超過出現率99%に相当する波高80cmの湾内発生波(周期4秒)の進入を想定している。また、湾内での風の卓越方向を考慮して、波向きとしては北西および南からの2ケースをここでは考えるものとした。図-24はそれぞれのケースに対応する人工島周辺での底面せん断応力の分布を示したものである。なお、せん断応力の算定には摩擦係数0.03を仮定している。ここで、先の潮流計算に基づく懸濁物の堆積量増加範囲について注目してみると、人工島北部に対しては北西からの波浪来襲時に、また人工島南部の堆積増加域には南からの波浪により、0.1Paを越える大きな底面せん断応力が作用していることがわかる。底泥の巻き上げに必要なせん断応力は現地底泥の圧密状態により異なるが、現地底泥試料を用いた実験(村上ら, 1989)や現地

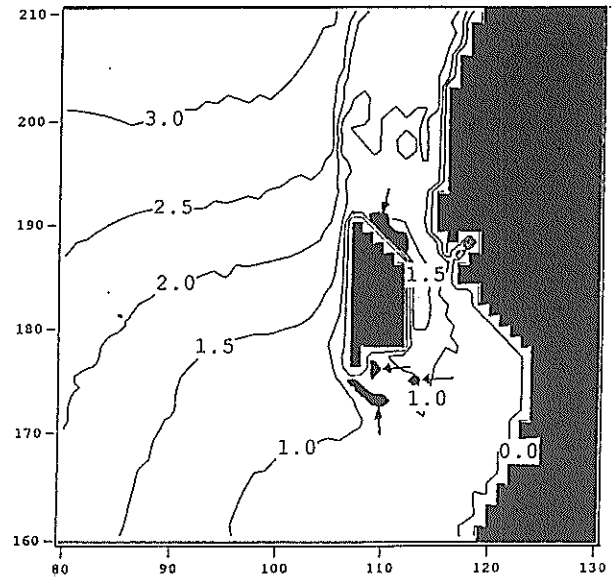


図-23 潮流計算に基づく懸濁物の堆積量増加範囲の推定結果

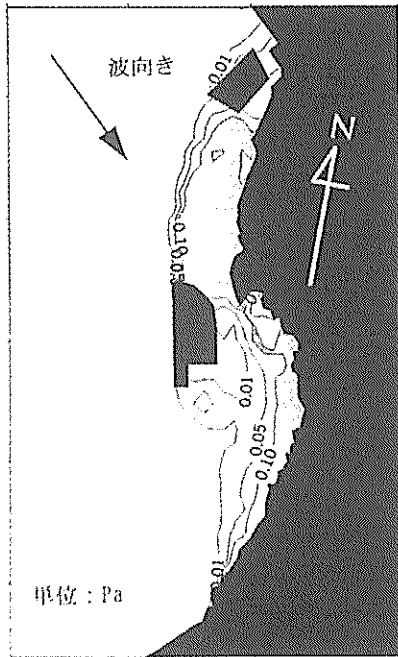
実験(Maaら, 1998)によるといずれも0.1Paであることが報告されている。ただし、Maaらの現地実験では、浮泥層が存在する場合には0.05Pa程度の小さなせん断応力で巻き上げが生じることが確かめられている。これに対し、ここで検討しているのは圧密泥の巻き上げではなく、砂地盤上に新しく沈降してきた懸濁物による浮泥の巻き上げなので、それらは0.1Paよりも小さなせん断応力で巻き上げられる可能性が十分ある。したがって、潮流計算により懸濁物堆積量の増加がみられた人工島北部および南部の海域では、来襲波浪による再懸濁により泥質物の堆積の可能性はさらに低くなるものと思われる。

(4) 泥化予測における今後の技術的課題

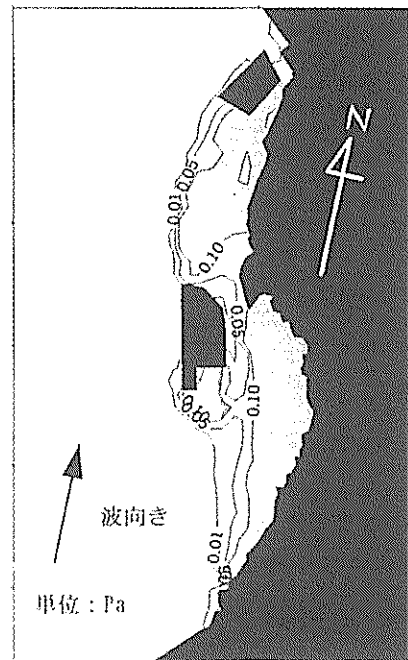
懸濁物の供給源が多様であることや主な供給過程が洪水や季節的なプランクトンの増殖のように極めて非定常的であること、さらにはこれらの懸濁物がゆっくりと時間をかけて堆積し、また生物・化学的な分解作用等も影響することから、泥質物の堆積量を定量的に予測することは現状では極めて難しい。しかし、ここで示してきたように、対象海域の特性を理解し、主要な現象のモデル化あるいは境界条件の設定により、かなりの程度まで予測を行うことが可能である。今後は、泥化という現象そのものが長期的な時間スケールを有することから、それに合わせて事業実施後の長期的なモニタリングを実施することが望ましく、現状では不完全なモデルの高精度化を図るためにも重要である。

4. 4 物質循環の把握と水質変化の予測

(1) 物質循環のモデリング



(a) 波向き条件：北西



(b) 波向き条件：南

図-24 空港等周辺での主な波向き条件に対する底面せん断応力の分布

a) 物質循環モデルによる現象の基本的な取り扱い

物質循環の素過程は、生物・化学過程を含む非線形性な現象であるが、ある空間スケールもしくはある時間的スケールで平均化して考えれば線形とみなせる現象がほとんどである。よって、モデルを構築する際には基本的に非線形現象を単純化して線形現象として取り扱うことが多い。また、植物プランクトンや動物プランクトンの様に多種類からなるモデルの構成要素に対しては、一つ一つの種ごとに独立に取り扱うことはせずに、統合的な取り扱いをしている。さらに、複雑な化学過程は非常に単純化して取り扱われている。このように、物質循環モデルとは、複雑な諸現象をできる限り簡潔に記述することによって、解明したい現象をできる限り明快に表現できるものが望ましい。

b) モデルの精緻化

線形で扱っている過程を非線形型で表現すること、植物プランクトンを珪藻や渦鞭毛藻等に種に分けること、動物プランクトンをピコ動物プランクトンとメゾ動物プランクトンに分けること、成長段階に応じて分けること、また化学過程を細分化すること等のモデルの精緻化によって、精度向上も期待できる。しかし、細部を精緻化したモデルが必ずしも精度が良いわけではなく、不確定パラメータが増えることによってかえって精度が悪くなる場合もある。計算時間の増大など技術的・コスト的に意味が無い場合も多い。また、手法として確立しておらず、個別の過程の精度に信頼性が無い場合もある。例

えば、浅海域のアセス手法としてベントス系の取り込み方は現時点では定式化されておらず、今後の技術開発が求められる領域である。特に干潟等の極めて浅い海域ではベントス系のモデルへの取り込みは非常に重要であり、海水の物理的な流れのプロセスとのバランスのとれたモデルが求められている。

c) オーダー評価

あるプロセスの精緻化が妥当かどうかは、対象とする水質指標に対する寄与度を評価（オーダー評価）して慎重に検討すべきである。（ただし、寄与度の大小は絶対的基準ではなく、採用したモデルのパラメータの感度に対する相対的なものであり、その判断はモデル使用者が慎重に行うべきである。）オーダー評価の結果、対象水域に対するそのプロセスの寄与度が大きく、現象が支配的であるとみなせる場合には、そのプロセスを精緻にモデル化することは妥当である。寄与度がそれ程でもなく現象も支配的では無いがその現象を無視できない場合には、精緻なモデルとしないまでも、あるパラメータでその現象を表現するのも一つの妥当な手法である。ここで注意しなければならないことは、寄与度の値が判断基準の全てではなく、そのモデルによって何を見たいのか、何を解明したいのかが極めて重要である。解明したい現象に対してその精緻化されたプロセスが重要であるならば、たとえ寄与度が多少小さくともモデル化して詳細に検討すべきである。

例えば、中部空港建設予定地周辺におけるアマモ場に

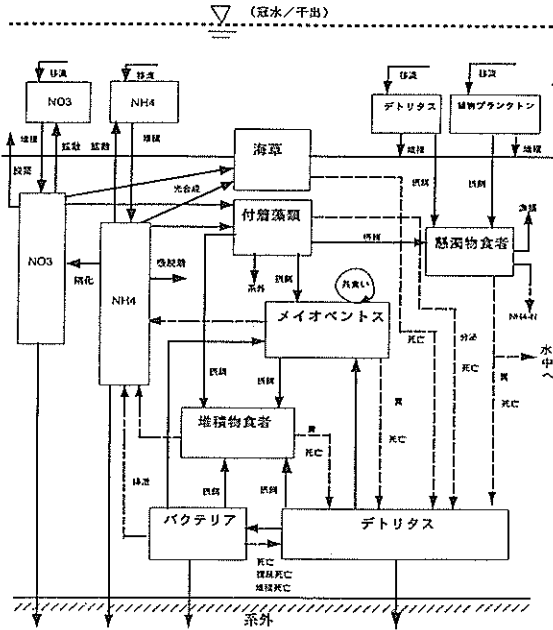


図-25 浅場系モデルの概念図 (中田, 畑, 1994)

関して考えてみると、4. 2のトンボロおよび4. 3の泥化の2つの検討からアマモ場がトンボロ現象によって徐々に消失する状況や泥化が年々促進される状況が想定されないようである。したがって、周辺のアマモ場に関しては、寄与度が小さいのならば特に注目して解明すべき必要性はそれ程ないと思われる。

d) モデル化が困難な現象・機能

ところでアマモ場の役割として魚類の産卵場としての働きがあるが、この点に関しては未だ不明な点が多く、適正な影響予測はできない。このような機能に対しては、的確なモニタリングと、その結果に対する対応策は考えておく必要がある。

(2) サブモデルとして浅場モデルを考えた場合のモデルの精緻化

干潟や藻場を含む浅場 (以下、浅場系と呼ぶ) は、多様な生物・化学・物理過程により物質が形態を変化させながら循環する非常に複雑な系である (図-25参照)。したがって、内湾水中系の水質を検討することを最終目的とした場合、浅場系における物質循環モデルは内湾水中系の物質循環モデル (主モデル) に対して副モデルとして位置付けられる。このような精緻なモデルは、浅場における物質循環および浅場の水質浄化能力 (窒素摂取量等) を明らかにすることを目的として構築されており、内湾水中系の物質循環モデルとは切り離して独立に用いられている。その結果、浅場における物質循環および水質浄化能力の機構は次第に明らかになりつつあるものの、それらの機構が内湾水中系の物質循環にどのよう

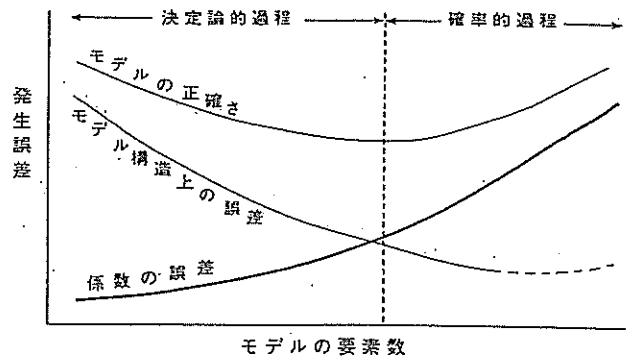


図-26 決定論的数理モデルの複雑さと誤差発生 (楠田, 1998)

に働くかに対して定式化されていないのが現状である。

そこで、浅場における物質循環の影響を内湾水系の物質循環に取り入れるためには、少なくとも以下に挙げる事項をまず検討しておく必要がある。

a) 主モデルに対する副モデルの構造および精度

図-25で示したような浅場における物質循環モデルは非常に精緻に構成されているが、一方で不確実な内生変数 (パラメータ) が増えるため、結果として精度が保証されない場合がある。内生変数の多くは、実測結果から求められるにもかかわらず、内生変数の決定およびモデルの検証に役立つ実測を頻繁に行うことは困難であり、時・空間的にはある程度平均化されたモデルとしてしか得られない。また、生物変化は生物変化特有の揺らぎを内包しており、内生変数のある値で代表させることは精度的に限界がある。

主モデルと副モデルを同時に解く場合には、副モデル (浅場系モデル) に対して主モデル (内湾水系) は境界条件を与えるものとなる。例えば、図-25中で、直上水の NO_3 、 NH_4 、デトリタス、植物プランクトンは内湾水系の計算値が用いられる。よって、コンパートメントの精度および時間スケールに対して、内湾水系の計算値と浅場系モデルとの整合性がとれていなければ、副モデルの精緻化は無意味である。楠田 (1998) は、上述の関係を発生誤差とパラメータ数の関係として図-26のように示している。

b) 副モデルの結果の主モデルへの取り込み方

1) で述べたとおり、モデル検証には実測結果が不可欠であるが、図-25のようなモデルに対応した測定は現実的には非常に困難を伴い、最頻で1、2ヶ月に1回程度、通常で年2回も行われれば良い方である。そのため、浅場モデルのアウトプットは季節平均もしくは年平均の値としての精度しか得られず、日・時間的に変化する境界条件に応じて適した値を一年を通じて時々刻々アウトプッ

表-4 内湾水の水質予測に対する浅場系の取り込み手法

手 法	浅場系からのフラックスの時間変動	長 所	短 所	備 考	参考文献
内湾水・浅場系同時解法	時間変動	浅場系と内湾水系の相互作用を考慮できる	モデル化が確立されていない		
浅場系からのフラックス一定(表-2)	一定	比較的容易に浅場系を内湾水系へ取り込むことができる	浅場系と内湾水系の相互作用は考慮できない	フラックスの一定値を算定するのに、物質循環モデルを用いるものと、実測値を用いる手法がある	中田・畑(1994) 名古屋市(1996) 千葉県(1998) 青木・鈴木(1996)

表-5 浅場からの一定フラックスを求める手法

手 法	長所	短所	参考文献
物質循環モデル(干潟モデル)	浅場系内の物質循環を考慮した上で物質収支を算定	物質循環を考慮 適切なモデル化、パラメータ値の決定が困難	中田・畑(1994) 名古屋市(1996) 千葉県(1998)
直接測定	実測値から直接フラックスを算定	算定は比較的容易	空間的、時間的な代表性が乏しい 青木・鈴木(1996)

ト(同時解法)する精度には至っていない。このような精度の下においては、浅場系の内湾水系の物質循環への働きを、季節平均もしくは年平均を定数値として与える取り扱い(フラックス一定法)の方がむしろ安定かつ信頼度の高い結果を得ることができる(表-4参照)。

また、浅場からのフラックスの季節平均値もしくは年平均値の算出法としては、図-25のモデルを用いて算出する手法(中田ら, 1994)(楠田, 1998)(名古屋市, 1998), (千葉県, 1998)に加えて、例えば干潟では一潮汐間の実測結果を用いた物質収支から直接算出する手法(直接測定法)がある(青山ら, 1996)。浅場系内の物質循環を細かい過程にまで立ち入って明らかにする必要がない場合には、不確実な内生変数を含んだモデルを用いて求める手法よりも、直接測定法の方が信頼度の高い値を得ることができる。ただし、この物質収支の計算結果を時・空間的な代表値とみなすためには、ある程度多くの測定頻度(時間的・空間的)が求められる(表-5参照)。

図-27に上述の内湾水系への浅場系の組み込み手法を空間・時間スケールに対して簡単に分類したものを示す。ここで、フラックス一定法は大きな時間スケールに対してのみでなく、大きな時間スケール(年・月)から小さな時間スケール(時間・日)にまで適用可能である。これに対して、同時解法は検証データおよび不確実性を伴う内生変数の問題から小さな時間スケールでの適用に限界と思われるが、手法が確立された場合にはフラックス一定法より時間変動において優位性を持つ。一方、空間スケール(内湾水面積/浅場面積)に対しても同様で、フラックス一定法は小さなスケールから大きなスケールま

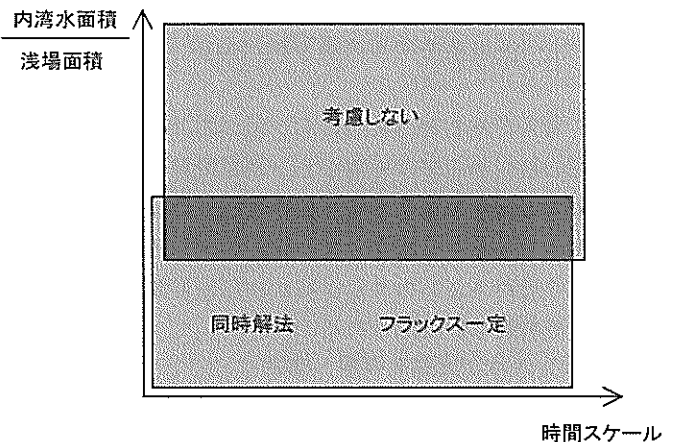


図-27 空間・時間スケールに対する浅場系取り込み手法の分類

で適用可能である。ただし、空間スケールが非常に大きく浅場系の内湾水系への寄与が小さい場合には、浅場系を考慮する必要性は必ずしもない(後述の(3)参照)。

c) 浅場における移流・拡散計算の高精度化

浅場は湾内水系の計算領域内では常に壁面境界に位置し、かつ、水深が非常に浅いため、浅場は定量的に実現象と一致させるのは非常に困難を伴う領域である。しかしながら、浅場における移流・拡散が精度良く解かれなければ、浅場における水質浄化能力が定量的にたとえ明らかになったとしても、湾内水系に対して浅場の影響が空間的(面的)にどのように及ぶかを精度良く見積もることはできない。また、浅場直上水の移流・拡散の計算精度は浅場の物質収支の精度に直結している。浅場における物質循環モデルの精度が今後向上した場合には、移流・拡散計算の精度がモデル全体の精度の制約条件となる可能性も考えられる。実際、干潟を考慮した湾内水系

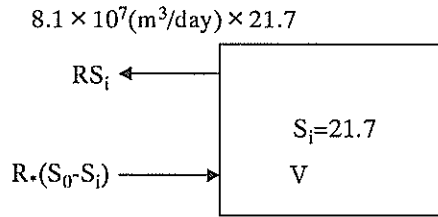


図-28 伊勢湾の塩分収支モデル

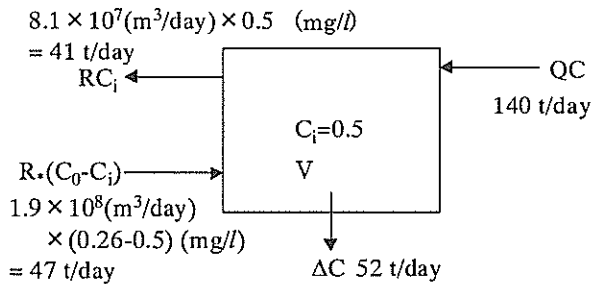


図-29 伊勢湾の窒素収支モデル

の水質予測に対しては、既に移流・拡散計算の精度が制約条件となる段階になりつつある。

浅場系の影響を考慮して内湾水系の水質計算を行う場合、以上3つ事柄は密接に関連しているものである。たとえ一つが精度良くなっても他の精度が上がらなければ、全体的な精度はそれほど上がらない。3つのことを念頭においたモデルの構築およびモデルの適用が不可欠である。

(3) オーダー評価計算

ここでは、あるプロセスの精緻化が妥当かどうかの検討のためのオーダー評価の事例として、アマモ場の水質浄化能力の大きさ、および、種々の面積・水深に対する浅場の水質浄化の寄与について検討を行う。

a) 伊勢湾に対する常滑沖のアマモ場の水質浄化能力

伊勢湾におけるアマモの水質浄化能力としての窒素摂取量を考える。常滑港南部(230ha:平成5年)におけるアマモ場(118ha:平成5年)の窒素摂取量は、平成5年のデータから算出すると、472kg/dayであった(中部新国際空港空港島建設技術検討委員会, 1997)。それでは、この窒素摂取量は伊勢湾の水質に対してどの程度の寄与を与えるものだろうか。

図-28-29に伊勢湾における塩分と窒素の物質収支モデルを示す。ここで、 R は流出量、 Q は淡水流入量、 R は海水交換量、 S_o は外海の塩分、 S_i は湾内の平均塩分、 C_o は外海の窒素濃度、 C_i は内湾の平均窒素濃度、 V は体積、 Q_c は河川からの流入負荷量、 ΔC は非保存性物質の生成・消費量である。 ΔC には光合成、摂食・捕食、死亡、分解、堆積、溶出など全ての化学・生物過程による物質収支が含まれている。夏期の伊勢湾のデータによると、 $Q=8.1 \times$

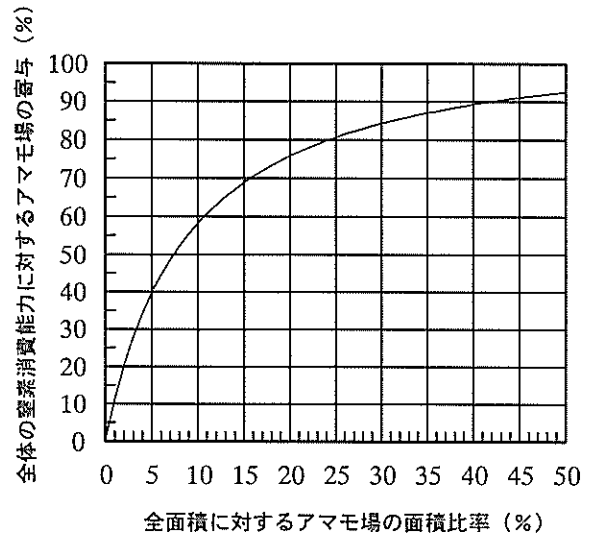


図-30 アマモの面積比率とアマモの水質浄化に対する寄与度の関係

$107 \text{ m}^3/\text{day}$, $S_o=30.9$, $S_i=21.7$, $C_o=0.26 \text{ mg/l}$, $C_i=0.5 \text{ mg/l}$ である。なお、 $R=Q$ と仮定する。

次式で示される塩分収支から海水交換量 R は $1.9 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{day}$ となる(図-28)。

$$V \frac{dS_i}{dt} = -RS_i + R*(S_o - S_i) = 0 \text{ (定常)} \quad (2)$$

また、次式で示される窒素収支にこの海水交換量 R を用いると、 ΔC は 52 t/day となる(図-29)。

$$V \frac{dC_i}{dt} = QC - RS_i + R*(C_o - C_i) - \Delta C = 0 \text{ (定常)} \quad (3)$$

したがって、この ΔC に対するアマモ場の窒素摂取量は $472 \text{ kg}/52 \text{ t} \times 100 = 0.9\%$ である。

次に単位面積当りに換算して考える。伊勢湾の単位面積当りの窒素の生成・消費量は $52 \text{ (t/day)}/1620 \text{ (km}^2) = 32 \text{ kg/km}^2/\text{day}$ である。それに対して、アマモ場の単位面積当りの窒素摂取量は $472 \text{ (kg/day)}/118 \text{ (ha)} = 400 \text{ kg/km}^2/\text{day}$ である、したがって、アマモ場における窒素摂取量は伊勢湾の平均的な窒素の生成・消費量と比較すると12.5倍の能力があることになる。

b) 浅場の水質浄化能力の寄与度

① 対象水域に対するアマモ場の面積比と水質浄化寄与度の関係

1)で見たように、伊勢湾の単位面積当りの平均的な窒素生成・消費量 ΔC は $32 \text{ kg/km}^2/\text{day}$ であった。それに対して、アマモ場の窒素消費量 S_A は $400 \text{ kg/km}^2/\text{day}$ である。

(ここで、このアマモ場の窒素摂取量はアマモの生育している底質と水塊をも含めた窒素摂取量として考える。)アマモ場の面積 A 、全体の面積を A_T とすると、水域

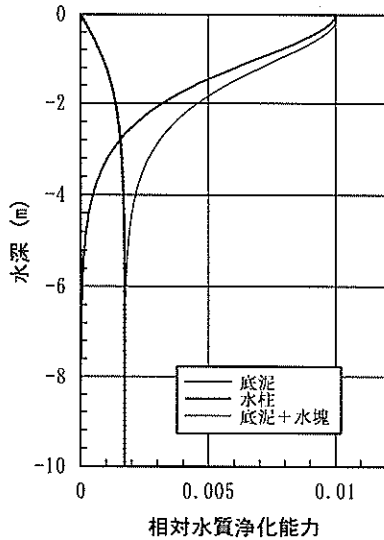


図-31 水深と水質浄化能力の関係

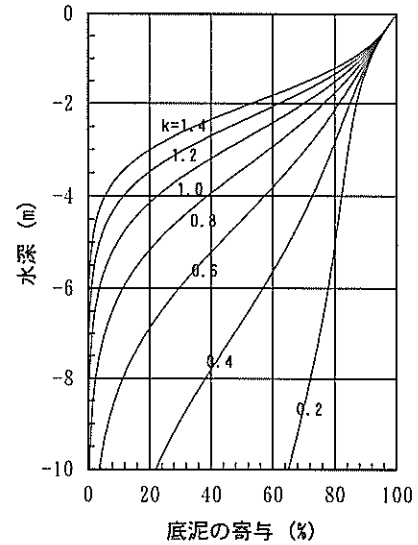


図-32 水深と水質浄化能力に対する底泥の寄与の関係

全体の窒素摂取能力 S_T は $S_A \times A + \delta C \times (A_T - A)$ 。アマモ場の寄与は $(S_A \times A) / S_T$ で表すことができる。図-30はアマモ場の面積比率とアマモ場の水質浄化に対する寄与の関係を示したものである。当然のことながら、アマモ場の割合が増せばアマモ場の水質浄化に対する寄与は大きくなる。

2%の面積比率以上の場合には、水質浄化に対するアマモ場の寄与が20%を超え、面積比率が1%未満の場合にはアマモ場の影響はおよそ10%以下となる。

② 水深に対する底泥の水質浄化寄与度

底泥表層はクロロフィル含有量が非常に多く、単位体積当りに換算すると、底泥のクロロフィル含有量は水塊中のクロロフィル量の1000倍に相当すると一般に言われている（中部新国際空港空港島建設技術検討委員会，1997）。また、その層厚はおよそ1cm程度であり、底泥表層における光合成は全てこの層厚1cmの底泥で行われていると言ってよい。底泥の浄化能力（栄養塩摂取量） F mg/ m^3/day は次式で表すことができるとする。

$$F = F_0 \frac{I}{I_{opt}} \exp\left(1 - \frac{I}{I_{opt}}\right) \quad (4)$$

$$I = I_0 \exp(-kz) \quad (5)$$

ここで、 F_0 ；水深0 mにおける F 、 I_{opt} ；最適光量、 I ；水深 z mにおける光量、 I_0 ；水深0 mにおける I 、 k ；消散係数(1/m)である。簡単のため、強光阻害は起きず $I_{opt} = I_0$ とする。また、水表面における水柱の単位体積当りの浄化能力 S_0 はクロロフィル量の関係から

$$S_0 = \frac{F_0}{1000} \quad (6)$$

とすると、水深 H mにおける水柱の浄化能力 S は次式で表す

ことができる。

$$S = \int_0^H S_0 \frac{I}{I_{opt}} \exp\left(1 - \frac{I}{I_{opt}}\right) dz \quad (7)$$

したがって、底泥（層厚1cm）と水柱を合わせた水質浄化能力は

$$0.01F + S \quad (8)$$

で表すことができ、それに対する底泥の寄与率は

$$\frac{0.01F}{0.01F + S} \quad (9)$$

である。

図-31は消散係数 $k=1.0$ の場合の、底泥による水質浄化能力、水柱による水質浄化能力および底泥と水柱による水質浄化能力を水深に対して示したものである。底泥による水質浄化能力は、水深の増加に伴い光量が指数関数的に減少する為、水深の増加に伴い減少する。図-32は両者の水質浄化能力に対する底泥の寄与度と水深の関係を消散係数 k をパラメータとして示したのものである。図-33は消散係数 k の違いによる光量の減衰を参考として示したものである。底泥の寄与度は消散係数の違いによって大きく異なる。富栄養化した内湾の消散係数 k はおおよそ0.5~1.5の範囲であるので、代表として $k=1.0$ のデータを見てみると、底泥の寄与は水深3mで50%程度であり、水深4.5m以上では底泥の寄与は20%以下となる。このように、水深が増えるにつれて底泥の寄与が小さくなる。

5. あとがき

日本海洋学会海洋環境問題委員会が「海の研究」に寄

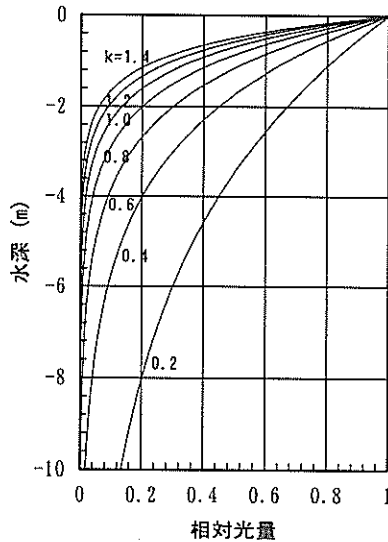


図-33 水深に対する光量の減衰

稿した中部国際空港建設に対する「見解」は、社会制度としての環境影響評価の手続きに対して、科学者が評価書を見る視点と議論する場合の立脚点とについて、我々に多くの示唆を与えてくれた。

社会制度としての環境影響評価とは、事業者が事業を企てたとき、環境影響評価が環境の保全上極めて重要であるとの認識から、その時点で最も有効な手段を用いて環境への影響を評価し、事業により達成される社会的な価値と環境への影響とを比較考量し、事業を行うべきか否か・行うとしたらどのような点に配慮して行うべきかを検討し、地域の理解を得て事業を行うための手続きである。環境への影響予測の手段は日進月歩の進展を見せしており、環境影響評価の手続きの中で、事象の科学的な解明研究や新たな予測評価の技術開発が付随して進展することは望ましい。そのための仕組みとして、方法書や準備書などへの意見提出の機会が制度的に設けられてもいる。

また、社会制度としての環境影響評価の手続きは、一種の社会的な約束（人の作ったルール）としてある。沿岸域での環境事象は、様々な個別過程が重複錯綜して重層的に生起していることで成立している事象であることが殆どである。一方、現実の影響予測では、突き詰めていけば「ある条件下で、ある手法で予測すると、こうなる。」といった以上のことが厳密には言えないことが多い。それでも、従来からの予測技術が社会的に一応の役割を果たしてきたのは、その予測結果が影響の評価判断に大いに参考になり、社会的合意形成に寄与していたからと思われる。「環境事象の解明や予測評価手法の十分な発達が無きままに終わってはいなければ、環境影響評価手続きをしてはいけない」という制度ではないように思わ

れる。

このような事情から、環境予測評価技術に関わる研究者は、常に（プロジェクトの有無に関わらず）環境影響予測評価の既往技術の不十分な点を認識し、改良し、よりよい手法の開発の努めることが要請されている。現実の沿岸現象を観測している研究者は、予測技術が不十分であるとの認識は常に持っていると思われる。技術の改良を試みるためには、事象のより深い理解が不可欠である。その場合、個別の過程が重層的に現れる点に注意し、沿岸での種々の現象の構造的（時空間スケールによる卓越現象の交代や、個別過程の相互のつながりなど）への配慮が不可欠になる。その上で、大きな寄与で影響をもたらす事象について、技術的に容易な方法で予測評価する手法を開発することが望まれる。環境への寄与の小さい諸々の現象を取り上げ「あれも抜けている、これも抜けている」という指摘と、「影響の大きな大事な現象を見落としている」という指摘とは区別して考えなければならない。また、現象の時間スケール、すなわち、影響をもたらす事象はどの程度の時間を必要とするのかという視点を持つことも重要である。

このような視点で、「見解」の指摘した3つの技術課題を検討してきた。まず、沿岸に構築される人工島などによる汀線の変化は、主に沿岸漂砂によって生じ（機構の理解）、その数年を超える長期的な予測（時間スケールの同定）には、汀線変化予測モデルが現実には最も妥当であることを確認した（手段の評価）。3次元海浜変形モデル（平面地形予測モデル）の開発の動向と、このモデルが持っている本来的な特性（岸沖漂砂現象の扱いに優れている点や地形変化を伴う長期変動予測には新たな地形による再計算が頻繁に必要になるといった点）やモデルの適用上の課題（計算結果検証用の地形変化データが不可欠である点や大きな波がいつどの方向からどの程度の継続時間で来襲するとすればよいのかといった外力の与え方）を併せて検討した。また、人工島構築などによる周辺底質の広域長期的変化（時空間スケールの同定）に関しては、物理外力として波と流れとの考慮が必要である点を確認し（機構の理解）、同時にではないものの両者を考慮した予測評価手法の提示を試みた（手段の評価）。この手法においても、予測結果検証用の底質データ取得や作用外力の観測が重要である。人工島建設にあたっての、ていねいなモニタリングが手法開発にも有効と思われる。底泥系プロセスの浮遊系水質モデルへの組み込みという課題に関しては、両者の時間スケールの相違や底泥系プロセスの影響空間スケールが不明である点を踏まえ、簡易な概念モデルでの水質影響を評価し

てみた。浅海域内の開発や浅海域での生物活性が極めて高い場合などでは、組み込みが望ましい（寄与の評価）。しかし、その組み込み手法に関しては従来種々の技術的課題が指摘されており、両者の関係性に対する更なる研究が必要である。以上のように、人工島に対する環境影響評価手法の課題は、「見解」で示された方向とはやや異なる検討結果となった。また、時空間スケールや構造的・階層性といった視点が、内湾の環境理解にとって重要であることが再確認できた。

ここでは、「見解」を契機に、内湾での人工島建設に対する環境影響評価のための「よりよい手法」とはどのような手法かを考えたものである。それぞれの現象や課題を研究している研究者が分担して執筆している。特に、4.2は栗山喜昭が、4.3は中川康之が、4.4は岡田知也が分担している。沿岸環境科学や環境配慮技術における今後の研究課題についても新たな発見を心がけながら、比較的短時間で整理してみたものである。検討内容に掘り下げ不足の点や概念整理の未熟な点などがあるかもしれないが、研究者として現在の自分たちの位置がどこにあるのかを確認することにより力点を置いている。我々は、執筆者全員で議論を重ねて作り上げているが、最終的なとりまとめの責任は、鶴谷広一と細川恭史とにある。今後沿岸での現象の階層性や構造的性を継続的に解明しつつ、社会的に役立つ環境影響評価の技術開発を進めていきたいと考えている。環境影響評価法を尊重しつつ、その解釈と手続きが今後健全に発展することを願うものである。

本資料のとりまとめにあたっては、海洋環境部環境評価研究室中山恵介研究官の協力を得た。記して深く感謝いたします。

(2000年3月31日提出)

参考文献

- 青山裕晃・鈴木輝明(1996)：干潟の水質浄化能の定量的評価，愛知県水試試験所研究報告，第3号。
- 宇多高明・清野聡子・真間秀一・山田伸雄，(1999)、台風9719号に伴う洪水による八坂川河口沖干潟の地形変形の現地観測、水工学論文集、第43巻、pp. 437-442。
- 運輸省令第36号(1998)：飛行場及びその施設の設置又は変更の事業に係る環境影響評価の項目並びに当該項目に係る調査、予測及び評価を合理的に行うための方法を選定するための指針、環境の保全のための措置に関する指針等を定める省令(平成10年6月12日)、第17条。
- 小笹博昭・Brampton, A.H. (1979)：護岸のある海浜の汀線変化数値計算，港湾技術研究所報告，第18巻，第4号，pp. 77-104。
- 粕谷晋一・藤間 稔・片野明良・川又良一・土屋義人(1997)：異常波浪を考慮した長期汀線変化予測モデル—上越地域海岸の場合—，海岸工学論文集，第44巻，pp. 511-515。
- 環境影響評価法(平成9年6月13日)(1997)。
- 楠田哲也：水質・生態系モデルの本質と予測限界(1998)，環境保全のための水環境講座，水環境学会九州支部，pp. 249-274。
- 佐藤敏(1996)：伊勢湾表層の循環流について，沿岸海洋研究，第33巻，第2号，pp. 221-229。
- 榎木 亨・李 宗燮・出口一郎(1984)：河口周辺の高浜流及び地形変動モデルに関する研究，第31回海岸工学講演会論文集，pp. 411-415。
- 清水琢三(1996)：海浜変形シミュレーション，水工学に関する夏期研修会講義集，pp. B-5-1~pp. B-5-26。
- 清水琢三・高木利光・佐藤勝弘・山田晶子(1997)：海浜変形モデルの相互比較，海岸工学論文集，第44巻，pp. 506-510。
- 新崎 盛敏・堀越増興・菊池泰二(1976)：海藻・ベントス，東海大学出版会。
- 杉山陽一・藤原建紀・中辻啓二・水鳥雅文(1994)：伊勢湾北部海域の密度成層と残差流，第41回海岸工学論文集，pp. 291-295。
- 田中則男・灘岡和夫(1982)：汀線変化予測モデルの開発と現地への適用，港湾技研資料，No. 436，40p。
- 谷本照己・川名吉一郎・山岡到保(1984)、瀬戸内海における底質の粒度組成と有機物、中国工業技術試験所報告、第21号，pp. 1-11。
- 千葉県(1998)：市川二期地区・京葉港二期地区計画に係る環境の現況について。
- 千葉県土木部、千葉県企業庁(1999)、市川二期地区・京葉港二期地区計画に係る補足調査結果報告書・予測編。
- 中部国際空港株式会社・愛知県(1999)：中部国際空港建設及び空港島地域開発用地埋立造成事業に関する環境影響評価書。
- 中部新国際空港空港島建設技術検討委員会(1997)：中部国際空港に関する漁業影響調査結果。
- 土木学会海岸工学委員会研究レビュー小委員会(1998)：海浜変形モデル，漂砂環境の創造に向けて，土木学会，pp. 217-277。
- 中川康之(1998)：内湾域における泥質物の堆積過程に関する研究、港湾技術研究所報告、第37巻第4号、

- pp. 113-133.
- 中田喜三郎・畑 恭子(1994) : 沿岸干潟における浄化機能の評価, 水環境学会誌, Vol.17 No.3.
- 名古屋市・名古屋港管理組合(1996) : 庄内川, 新川及び日光川河口に広がる干潟—その機能と地形特性—.
- 新崎 盛敏・堀越増興・菊池泰二(1976) : 海藻・ベントス, 東海大学出版会, pp88-91.
- 日本海洋学会・沿岸海洋研究部会編(1992) : 日本全国沿岸海洋誌, 1106p.
- 日本海洋学会海洋環境問題委員会(1999) : 閉鎖性水域の環境影響評価に関する見解—中部国際空港人工島建設の場合—, 海の研究, 8 (5), pp. 349-357.
- 農林水産省・運輸省・建設省令第1号(1998) : 公有水面の埋立て又は干拓の事業に係る環境影響評価の項目並びに当該項目に係る調査, 予測及び評価を合理的に行うための手法を選定するための指針, 環境の保全のための措置に関する指針等を定める省令(平成10年6月12日), 第17条.
- 古川恵太・桑江朝比呂・細川恭史(1999) : 干潟環境調査—環境条件と生物分布—, 港湾技術研究所資料, no. 946, 23p.
- 堀江毅・細川恭史 : 環境アセスメントの現状, 明日の沿岸環境を築く(1999) : 日本海洋学会編, 恒星社厚生閣, pp. 4~18.
- 村上和男・菅沼史典・佐々木均(1989) : 円形回転水路による底泥の巻き上がりと沈降に関する実験的研究, 港湾技術研究所報告, Vol. 28, No. 1.
- 柳哲雄(1982) : 沿岸海洋研究ノート, 20, pp. 12-18.
- 柳哲雄・黒田誠・石丸隆・才野敏郎(1998) : 伊勢湾の夏季の残差流, 沿岸海洋研究, 第35巻, 第2号, pp. 185-191.
- 和田清・杉山陽一(1995) : 伊勢湾における木曾三川洪水の流出過程と残差流, 海洋開発論文集, Vol. 11, pp. 393-398巻, pp. 291-295.
- 渡辺 晃・丸山康樹・清水隆夫・榊山 勉(1984) : 構造物設置に伴う三次元海浜変形の数値予測モデル, 第31回海岸工学講演会論文集, pp. 406-410.
- Bailard, J.A.(1981) : An energetics total load sediment transport model for a plane sloping beach, *J. Geophys. Res.*, Vol.82, No.C11, pp.10938-10954.
- Bijker, E.W.(1980) : Sedimentation in channels and trenches, *Proc. 17th Coastal Eng. Conf., ASCE*, pp.1708-1718.
- Fujiwara, T., Sanford, L.P., Nakatsuji, K. and Sugiyama, Y. (1997) : Anti-cyclonic circulation driven by the estuarine circulation in a gulf type ROFI *A Journal of Marine Systems*, Vol.12, pp.83-99
- Maa, J.P. , Sanford, L. and Halka, J.P.(1998) : Sediment resuspension characteristics in Baltimore Harbor, Maryland, *Marine Geology*, 146, pp.137-145
- Rodriguez, J.G.P and Katoh, K.(1994) : Control of littoral drift in Caldera Port, Costa Rica, *Hydro-Port '94*, pp.1019-1040.

港湾技研資料 No.961

2000.6

編集兼発行人 運輸省港湾技術研究所

発行所 運輸省港湾技術研究所
横須賀市長瀬3丁目1番1号

印刷所 株式会社 東京プリント

Published by the Port and Harbour Research Institute
Nagase, Yokosuka, Japan.

Copyright © (2000) by P.H.R.I

All right reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Director General of. P.H.R.I

この資料は、港湾技術研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本資料の全部又は一部の転載、複写は、港湾技術研究所長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。