

I S S N 1 8 8 0 - 0 1 1 4

国総研プロジェクト研究報告第46号

平成 2 6 年 8 月

国土技術政策総合研究所 プロジェクト研究報告

PROJECT RESEARCH REPORT of
National Institute for Land and Infrastructure Management

No.46

August 2014

沿岸域の統合的管理による港湾環境の保全・再生に関する研究

Research on Restoration of Environment for Port and Harbor Regions using Integrated Environmental Planning
and Management Systems

国土交通省 国土技術政策総合研究所

National Institute for Land and Infrastructure Management
Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism, Japan

沿岸域の統合的管理による港湾環境の保全・再生に関する研究

古川 恵太 (2011 年 4 月～2013 年 3 月) *

鈴木 武 (2013 年 4 月～2014 年 3 月) **

Research on Restoration of Environment for Port and Harbor Regions using Integrated Environmental Planning
and Management Systems

Keita FURUKAWA (2011.4～2013.3)

Takeshi SUZUKI (2013.4～2014.3)

概要

海の再生プロジェクトのさらなる推進、次期再生行動計画の策定を支援するためには、統合的な沿岸域管理による、多様で錯綜する利害・目的を超えた連携を可能とするような“海の再生”への取り組みを進展させる技術の開発が必要である。本研究では、沿岸環境への理解・環境情報の共有促進を図る手法、海の環境の特性を反映した問題解決プロセス改善のための手法、および海の再生活動の効果を総合的に評価する実用的な手法について検討を行った。その結果、市民参加型の調査を実施してその経験知をとりまとめることができた。また、統合的な沿岸域管理において重視すべき考え方が明らかになった。さらに、港湾構造物の付着生物やマハゼを使った海の環境評価の実施により、沿岸域環境を総合的に評価する実用的な指標や手法を提示できた。

キーワード：沿岸域，再生，統合的沿岸域管理，付着生物，マハゼ

Synopsis

New technologies are necessary to overcome the conflicts of interests and the pressure of human activities in coastal area in order to continue to advance “the Bay Renaissance Project”. Through this research, we considered a method of sharing information about coastal environments among stakeholders, a method of settling problems distinctive to coastal environments, and a method of comprehensively evaluating the effects of restoration activities. Coastal environment observations were carried out with citizen participation. A citizen-participation type coastal environmental monitoring method was summarized. And important concepts of coastal area restoration were organized from the viewpoint of integrated coastal management. In addition, new indexes and methods of comprehensively evaluating coastal environments were presented based on studies of the distribution of organisms attached to port structures and of the habitats of gobies.

Key Words: coastal area, restoration, integrated coastal management, attached organism, *Acanthogobius flavimanus*

* 前沿岸海洋新技術研究官 Former Research Coordinator for Coastal and Marine Affairs

** 沿岸海洋・防災研究部長 Director of Coastal Marine and Disaster Prevention Department

目次

1. はじめに.....	1
1.1 研究の背景と目的.....	1
1.2 研究内容・目指すアウトプット.....	1
1.3 研究体制.....	1
2. 研究成果.....	4
2.1 沿岸環境の理解・環境情報の共有促進を図るマップおよび手法の開発	4
2.1.1 東京湾環境マップの作成.....	4
2.1.2 市民参加型モニタリング技術の開発.....	7
2.2 海の特徴を反映した問題解決に向けた方向性の検討	14
2.2.1 東京湾シンポジウムおよびパネル展の開催.....	14
2.2.2 情報共有のための Web ページの開設	14
2.2.3 問題解決に向けた方向性の検討.....	17
2.2.4 包括的な評価手法の構築に重要な視点.....	25
2.3 海の再生活動の効果を総合的に評価する実用的な手法の開発	31
2.3.1 港湾構造物の付着生物の特性把握.....	31
2.3.2 海の特徴を総合的に評価する手法の開発.....	42
3. おわりに.....	53
謝辞.....	53

1. はじめに

1.1 研究の背景と目的

持続可能な社会の実現のために、沿岸環境の保全・再生と開発を両輪として推進する（以後、「海の再生」と略記）ことが必要であり、多くの主体が連携し共通の目標を持って海の再生を目指すことが必要である（古川, 2007; 国土交通省港湾局, 2005）。

その要請にこたえるために、多様な利用・利害が錯綜する海の再生における再生目標・具体的施策に関する考え方や技術情報を共有し、海の再生を実現する統合的な沿岸域管理の目標、計画を議論することが必須である。現在、海の再生プロジェクト（東京湾再生のための行動計画: H15.3～等）が実施されており、24年度以降、第1期の再生行動計画が順次終結していく中（第1期計画の終了：東京湾 H25, 大阪湾 H26, 伊勢三河湾・広島湾 H29）、いまだ行動計画の目標が達成されているとは言い難く、さらなる市民・関係者との連携・協働体制を整備し、分野、空間横断的な取り組みを推進し次期計画に反映し推進していく必要がある（全国海の再生プロジェクト：<http://www.kaiho.mlit.go.jp/info/saisei/>）。

一方、21世紀環境立国戦略（H19.6）では、「幅広い関係者間の連携・協働の必要性」が謳われているが、沿岸域環境に関する各種情報（環境データ、評価、効果、モデル）を、関係者（行政、事業者、NPO、市民等）間で十分に共有できているとは言い難く、関係者の理解が進まず、幅広い関係者間の連携・協働の広がりに限界を感じる場面も多い。議論のために必要な環境条件、社会条件を厳選し、有効に活用することができない状況であると言える（国土交通省国土計画局, 2008; 海洋政策研究財団, 2009）。

本研究では、「海の再生プロジェクト」の再生行動計画のさらなる推進、次期行動計画の策定を支援することを目標とし、統合的な沿岸域管理による、多様で錯綜する利害・目的を超えた連携を可能とするような「海の再生」への取り組みを進展させる技術（環境情報の共有化、問題解決のプロセス・考え方、環境評価）の開発を行うことを目的とした。

1.2 研究内容・目指すアウトプット

研究の内容としては、港湾環境（海辺の環境）再生を推進するための技術開発として、以下のサブテーマを実施した。

- ・沿岸環境の理解・環境情報の共有促進を図るマップおよび手法の開発
 - ・海の環境の特性を反映した問題解決の方向性の検討
 - ・海の再生活動の効果を総合的に評価する実用的な手法の開発
- 各サブテーマに対して、具体的には次の研究を実施した。
- ・沿岸環境の理解・環境情報の共有促進を図るマップおよび手法の開発
 - 東京湾環境マップの作成
 - 市民参加型モニタリング技術の開発
 - ・海の環境の特性を反映した問題解決の方向性の検討
 - 東京湾シンポジウムおよびパネル展の開催
 - 情報共有のための Web ページの開設
 - 問題解決に向けた方向性の検討
 - 包括的な評価手法の構築
 - ・海の再生活動の効果を総合的に評価する実用的な手法の開発
 - 港湾構造物の付着生物の特性把握
 - 海の環境を総合的に評価する手法の開発

1.3 研究体制

本プロジェクト研究を実施するにあたっては多様な研究領域の研究者との連携、行政・市民との協働を通じた実証的な研究推進が不可欠であり、国総研を中心に他機関との情報共有を随時図りながら、研究を推進した。主たる連携外部研究機関として以下の研究所、大学、NPO、自治体等との勉強会・情報

交換を通して、緩やかな連携の下、問題意識・成果を共有しながら研究を推進した。連携分野毎に連携機関を示す。

- ・ 港湾
国土交通省港湾局，各地方整備局，各技術調査事務所，沖縄総合事務局，港湾空港技術研究所
- ・ モニタリング
東京湾再生推進会議モニタリング分科会，九都県市首脳会議環境問題対策委員会水質改善専門部会，東京湾岸自治体環境保全会議
- ・ 水産
神奈川水産技術センター，東京都島しょ農林水産総合センター，東京湾漁業研究所，千葉県水産総合研究センター，中央水産研究所
- ・ 環境
国立環境研究所，東京都環境科学研究所
- ・ 地方自治体
神奈川県環境農政部，東京都環境局，東京都港湾局，千葉県三番瀬再生推進室，横須賀市港湾部，横浜市環境創造局，横浜市温暖化対策統括本部
- ・ エネルギー
電力中央研究所
- ・ 海洋政策
海洋政策研究財団
- ・ 地域再生
東京水産振興会
- ・ 再生技術
鹿島建設技術研究所，五洋建設技術研究所
- ・ 調査研究
東海大学，東京大学，東京海洋大学
- ・ 学術研究
土木学会海洋開発委員会
- ・ 市民活動
海塾，海辺つくり研究会，海をつくる会，ハマを想う会

また，以下の研究・調査グループに参加し分野横断的な課題について情報交換を行った。

- ・ 海域環境再生技術WG
国土交通省港湾局，港湾空港技術研究所，各地方整備局
- ・ 環境調和型研究会
海洋生物環境研究所，港湾空港技術研究所，国立環境研究所，水産工学研究所，中央水産研究所，電力中央研究所，日本NUS，農村工学研究所
- ・ 江戸前ハゼ復活プロジェクト
海辺つくり研究会，海塾，鹿島建設，神奈川県水産技術センター，関東地方整備局，港湾空港技術研究所，国立環境研究所，東京海洋大学，東京水産振興会，東京都環境科学研究所，東京都港湾局，東京都島しょ農林水産総合センター，しながわ水族館

参考文献

- 海洋政策研究財団（2009）：沿岸域圏総合管理計画策定に資する情報整備に関する研究報告書，海洋政策研究財団，77p.
- 国土交通省港湾局（2005）：港湾行政のグリーン化．国立印刷局，125p.
- 国土交通省国土計画局（2008）：沿岸域圏データベース構築検討基礎調査，国土交通省国土計画局，234p.

古川恵太 (2007) : 沿岸域の環境の保全・再生・創出の目標と, その管理手法を取り巻く最近の状況. 沿岸域学会誌, Vol. 20, No. 1, pp.4-11.

2. 研究成果

2.1 沿岸環境の理解・環境情報の共有促進を図るマップおよび手法の開発

2.1.1 東京湾環境マップの作成

東京湾環境マップは、東京湾を事例として、環境研究の成果の公表、共有のため、各種環境情報をマップ化したものである。体裁としては、基本的に表面にテーマとなるマップを配し、裏面に個別説明パネルを配したA2版のマップを8つ折りにしたものである（図-2.1.1）。

成果をこのようにマップ化するに際して、成果品およびその制作過程を通じて、次の3つの効果を期待し、マップの内容および制作手法の仕組みを検討した。

- ① 表面にマップの主テーマとなる大きな図面を配することで、効果的に成果を可視化（見える化）することができる。数値や個別の図表で示されている情報を1枚の図面に重ね書きすることで、相互の連関が直観的に理解しやすくなる。
- ② 図面を多用した個別の説明パネルを裏面に配することで、説明したい主題をより深く説明したり、動的なメカニズムなど1枚の図面だけでは示しにくい内容の解説をしたりすることができるなど、追加の説明を添付することができる。
- ③ 取りまとめに先立ち、ワークショップを開催し、内容に対する討論を実施した。その後、マップに掲載する内容の調整および作業分担を割り振る等の協働作業体制を構築することで、成果の共有がより明確な形で実施できる（古川ら, 2012）。

今回のマップを作成するためのワークショップでは、近年の東京湾の自然再生に関する課題として、「陸と海をつなぐ河口域・浅瀬」と「調査の発展」が挙げられ、次の6項目を選定した。東京湾マップの裏面には次の6項目について、それぞれ説明が示された。

1. 陸と海をつなぐ河口域・浅瀬：河口域・浅瀬の物資循環の概念図
2. 東京湾周辺における赤潮と貧酸素：赤潮と貧酸素発生の概念図
3. 河口循環と湾域の相互作用：河口域における堆積域形成の概念図
4. 生物調査に向けて：生物を介した物質循環・食物網の概念図
5. 透明度調査の可能性：透明度の支配要因の概念図
6. 市民参加型調査の可能性：市民公開調査の紹介

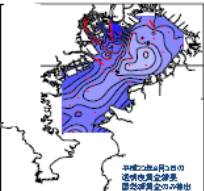
東京湾マップは1回完結型ではなく、シリーズ型（例えば年1回）を目指している。ワークショップを年に1回開催し、その年のメインテーマを決め、そのメインテーマに合った項目を裏面に掲載することによって、将来的には充実した個別解説集となることが期待される。

東京湾環境マップ

陸と海をつなぐ河口域・浅瀬、調査の発展

本マップ、東京湾水質一斉調査について

東京湾水質一斉調査は、2006年度から、国・自治体・民間企業・市民団体の協力を得て実施されています。この調査は、東京湾の水質を把握するための重要なツールとして活用されています。



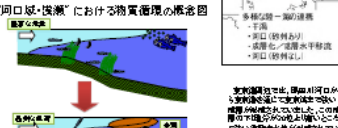
この調査は、東京湾の水質を把握するための重要なツールとして活用されています。

(1) 陸と海をつなぐ河口域・浅瀬

今世界で注目されている「河口域・浅瀬」は、河口付近の狭い範囲だけではなく、河川水の離岸も視野に入れた広い範囲で調査を進めています。特に、奥多摩川河口の調査は、東京湾が気候変動や海面上昇の影響を受けていることを示す重要な手がかりとなっています。

東京湾の「河口域・浅瀬」

「河口域・浅瀬」における物質循環の概念図

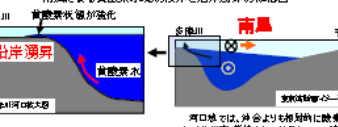


河口域では、海水と河川水の混合によって、様々な物質が運ばれてきます。この過程で、生物や物理的プロセスを通じて物質が循環しています。

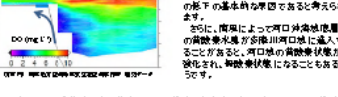
(3) 河口循環と湾域の相互作用

多摩川河口を中心とする湾域の循環。季節によっては、風向や潮流によって、奥多摩川河口から湾内へと物質が運ばれてきます。

南風による負酸素水域の沿岸と沿岸循環の概念図



9月3日の沿岸循環の観測結果




河口域では、南風によって奥多摩川河口から湾内へと物質が運ばれてきます。

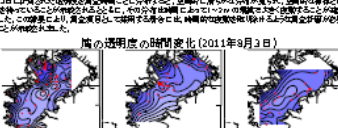
(5) 透明度調査の可能性

東京湾における透明度の調査は、過去には、主に、沿岸域の透明度を調査するにとどまっていた。しかし、近年は、湾内全域の透明度を調査することが可能になりました。


湾の透明度を測る概念図



湾の透明度の時間変化 (2011年9月2日)



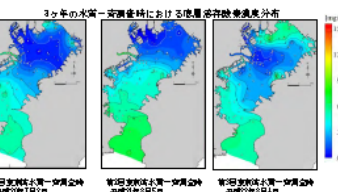
透明度の支配要因の概念図



今回調査のまとめ

本年度も、東京湾の水質調査の結果、東京湾の水質は、全体的に改善傾向にあることがわかりました。しかし、引き続き、水質調査の重要性を認識し、水質改善に取り組んでいく必要があります。

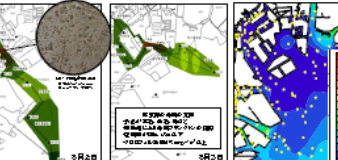
3ヶ年の水質一斉調査における物質循環動態分布



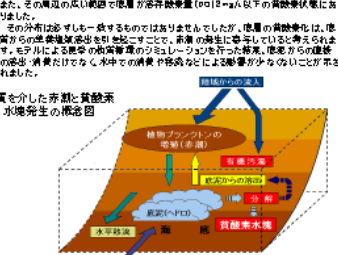
(2) 東京湾周辺における赤潮と貧酸素

2012年度、東京湾水質一斉調査において、東京湾内でも赤潮や貧酸素の発生が認められました。赤潮は、海洋生態系に深刻な影響を与えています。

9月2日、3日の赤潮分布状況と負酸素水域の広がり



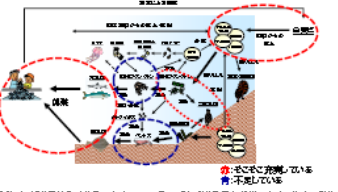
赤潮と貧酸素水域の発生を促進する要因



(4) 生物調査に向けて

東京湾再生の目標のひとつとして、生物の多様性の保全、漁獲量の増進などが挙げられます。生物調査は、生態系の健全性を評価するための重要なツールです。

生物を介した物質循環と食物網の概念図



(6) 市民参加型調査の可能性

東京湾の水質調査の一環として、市民参加型調査を実施しました。市民参加型調査は、水質調査の効率化と、市民の環境意識の向上に貢献しています。

市民参加型調査の様子

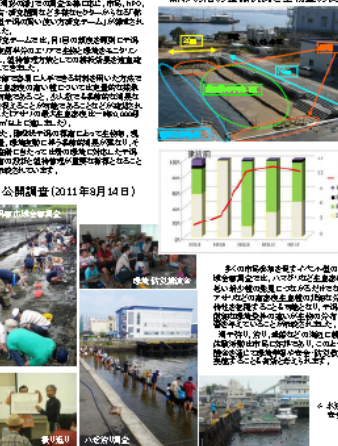


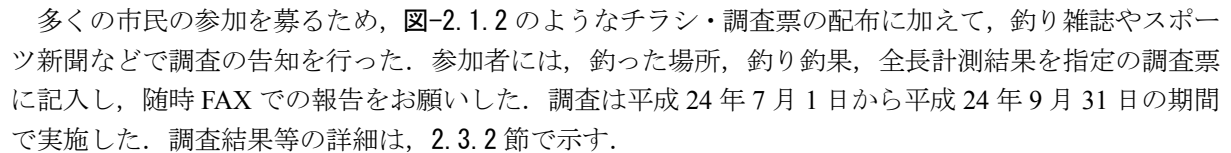
図-2.1.1 東京湾環境マップ (b) 裏面

2.1.2 市民参加型モニタリング技術の開発

(1) 市民参加型釣り調査の試み

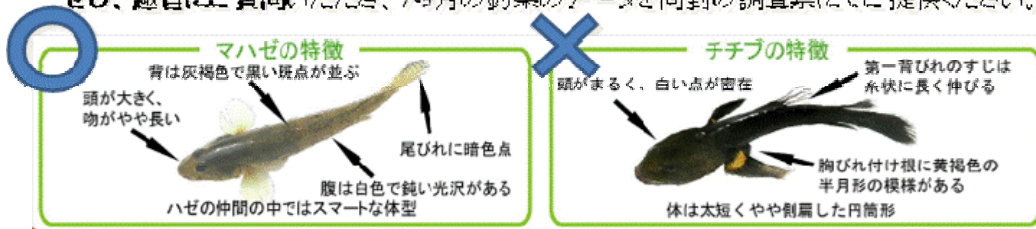
汽水を回遊する周縁性魚類であるマハゼは、我が国の内湾・汽水域の典型種である。内湾の環境変化を受け、その個体数は増減しながらも内湾一帯に生息している。その多くは一年魚として深場での発生、稚仔魚の汽水域への遡上、浅場砂泥域への移動、成熟といった内湾・汽水域を行動範囲とする生活史を繰り返し、底生魚類として底質・ベントスへの強い選好性を持っていると言われている。こうした特性を持つマハゼを復活させることが、東京湾の生物多様性の回復、ひいては環境の再生につながる一つの行動であると位置づけ、①マハゼの棲み処さがし、②再生の戦略検討、③マハゼの棲み処づくりに取り組むことを目的とした江戸前ハゼ復活プロジェクトを展開した。

本プロジェクトでは、主に芝浦アイランド、朝潮運河における釣り調査や勉強会などを介して、東京湾周辺のマハゼの情報交換、生息調査を行ってきた（吉田ら、2012；古川、2011）。平成24年度には、東京湾全体のマハゼのサンプルデータを集めるために、市民参加型の釣り調査であるマハゼの棲み処調査を実施した。

多くの市民の参加を募るため、図-2.1.2のようなチラシ・調査票の配布に加えて、釣り雑誌やスポーツ新聞などで調査の告知を行った。参加者には、釣った場所、釣り釣果、全長計測結果を指定の調査票に記入し、随時FAXでの報告をお願いした。調査は平成24年7月1日から平成24年9月31日の期間で実施した。調査結果等の詳細は、2.3.2節で示す。

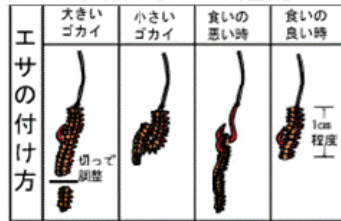
マハゼの棲み処調査へのご協力をお願い

国土技術政策総合研究所では、東京湾水質一斉調査に連携して東京湾全域でのマハゼの棲み処調査を実施いたします。これは、マハゼの大きさや分布から東京湾の環境をモニタリングし、東京湾の環境を診断し、再生に向けた目標を立てるための調査です。
ぜひ、趣旨にご賛同いただき、7-9月の釣果のデータを同封の調査票にてご提供ください。

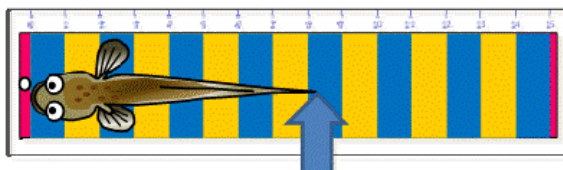


調査対象は、マハゼです。夏場は護岸前の「かけ上がり」の砂地にいることが多いと言われております。マハゼを目的とした釣りでも、チチブやウキゴリ、ビリンゴなどが東京湾ではよく釣れます。

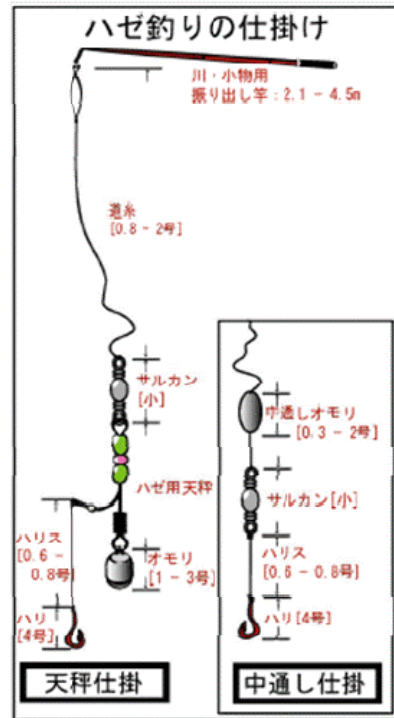
餌は、ゴカイやエビなどを針にちょんがけます。しかねは、「天びん」や「中通し」が一般的です。



ハゼ釣りをするときには、大人の人と一緒にいきましょう。柵を越えての釣りや、他の人に迷惑をかける釣りは禁止です。マナーを守りましょう。



ハゼの全長は、頭の先からしっぽの先までの長さを測ります。
東京湾奥部での全長は、7月:8.0 cm、8月:8.6 cm、9月:9.9 cmです。



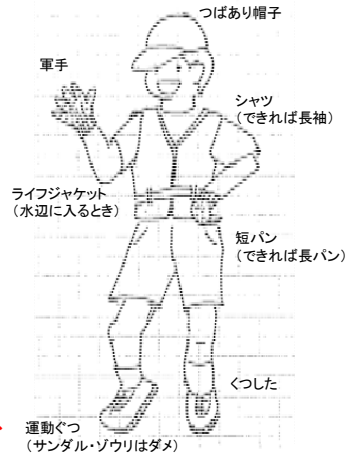
連絡先: 江戸前ハゼ復活プロジェクト事務局 国土技術政策総合研究所沿岸海洋・防災研究部 古川恵太
 電話 046-844-5026, E-mail: furukawa-k92t2@ysk.nilim.go.jp, Web: <http://www.meic.go.jp/mahaze>
 東京湾水質一斉調査については、東京湾再生推進会議のWebページをご覧ください。
http://www1.kaiho.mlit.go.jp/KANKYO/TB_Renaissance/

図-2.1.2 マハゼの棲み処調査 (a) チラシ表面

マハゼ釣り調査の手順

① 釣りに行く準備をする

- 調査は7-9月、東京湾(河川部も可)で実施してください。
- 帽子などの日よけ対策を万全に!
- 手や汗を拭くのに(ぬれ)タオルがあると便利だよ。
- 釣った魚を持ち帰るのであれば、氷やクーラーボックスも必要です。
- **大人の人と一っしょに行きましょう。**



② 釣り場に到着したら、周囲の安全を確認する

- 釣り・立ち入り**禁止の場所**ではないですか?
- 水辺に寄るときは、足元の状態をしっかりと確認しよう。
- 他の**人の迷惑にならないよう**気をつけましょう。

③ 調査票に場所と釣り開始時間を記入する

- 場所は、**住所**が判らなければ、**近くの橋や公園の名前、川、運河、港の名前**などもオッケーです。
- 定規をおもりにスナップで取り付けると水温も測れます。計った場合は、ご記入下さい。

④ 仕掛け・エサを準備し、釣りを開始する。

- **天候の急変に気を付けましょう**(雷が鳴ったら、すぐ水辺を離れ、建物のある場所まで避難してください)。
- できれば、ラジオなどで天気や地震などの情報を把握し、何かあったらすぐ水辺を離れましょう。
- **釣りの方法についても記録して下さい。**

⑤ 釣れた魚の全長を記録する(最大30匹まで)

- **平均より小さなハゼは逃がしてあげてください。**

⑥ 釣り終了時の時間、全釣果(匹数)を記入する。

- **親子づれ、グループの釣果をまとめて書いていただいても結構です。**その場合は、人数を書いてください。

⑦ 釣り場の後片付けをする

- **ゴミや残った餌**を置いて行かないようにしましょう。

⑧ 記入漏れがないか確認し、調査票を送付する

- 記入された調査票をFAXにてお送りください。
- お一人様**何通ご報告**いただいても**結構です**。
- ありがとうございます。結果は**Web**でお知らせします。
- <http://www.meic.go.jp/mahaze> をご覧ください。

図-2.1.2 マハゼの棲み処調査 (b) チラシ裏面

FAX送信先: 046-844-1145

平成24年度マハゼ釣り調査票

9月30日までにご送付ください

〒239-0826
横須賀市長瀬3-1-1

国土技術政策総合研究所
沿岸海洋・防災研究部
海洋環境研究室

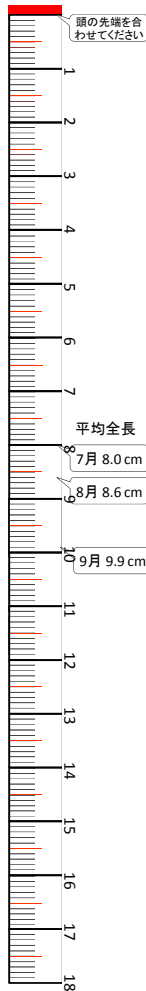
江戸前ハゼ復活プロジェクト事務局行

フリガナ		
お名前	姓	名
フリガナ		
ご住所	〒 <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/>	都道府県
	市区	郡
E-mail		
ご希望	江戸前ハゼ復活プロジェクトに参加 <input type="checkbox"/> する <input type="checkbox"/> しない マハゼグッズプレゼントを希望 <input type="checkbox"/> する <input type="checkbox"/> しない 関連情報の送付を希望 <input type="checkbox"/> する <input type="checkbox"/> しない	

マハゼスケール

※応募者ご本人の情報は、個人を特定しない統計的情報として利用させていただきます。

印刷により誤差が出る場合があります。ご注意ください(A4用紙に合わせて印刷してください)。



釣り日(月・日・時間:開始と終了時間を書いてください)

年 月 日 () 曜日

開始時間 時 分 終了時間 時 分

仕掛け(該当するものを○で囲んでください)

羊 しかけ はり

・のべ羊 ・天びん ・4、5、6、7、8号

・リール羊 ・中通し

・その他()

釣り場(住所もしくは、近くの公園や橋の名前など)

メモ(気の付いたことがあればメモしてください)

気温 °C 水温 °C

釣ったマハゼの全長	全釣果	匹 / 人
1	11	21
2	12	22
3	13	23
4	14	24
5	15	25
6	16	26
7	17	27
8	18	28
9	19	29
10	20	30

図-2.1.2 マハゼの棲み処調査 (c) 調査票

(2) 透明度調査の提案と先導的な実施

環境省は平成 22 年に閉鎖性海域中長期ビジョン(閉鎖性海域中長期ビジョン策定に係る懇談会, 2010) (以下, ビジョンとする) を発表し, 東京湾水質一斉調査の経験等を踏まえ, 生物の生息等における透明度や DO 濃度の計測の重要性を指摘した. 同ビジョンで整理された昭和 57-59 年と平成 18-20 年の透明度の平均値を比べてみると, 内湾域の透明度が湾奥の北部で低く, 湾口に近い南部で高いという分布をしていた昭和 50 年後半に比べて, 平成 18-20 年には透明度が都市域を中心とする西岸側で低く, 盤洲干潟のある千葉側(東側)で高くなっているように, 分布形状が変化するとともに, 値の幅も広がっていた(図-2.1.3). このように透明度の平面分布は長期的な環境の変化を示す指標として用いることができる可能性がある.

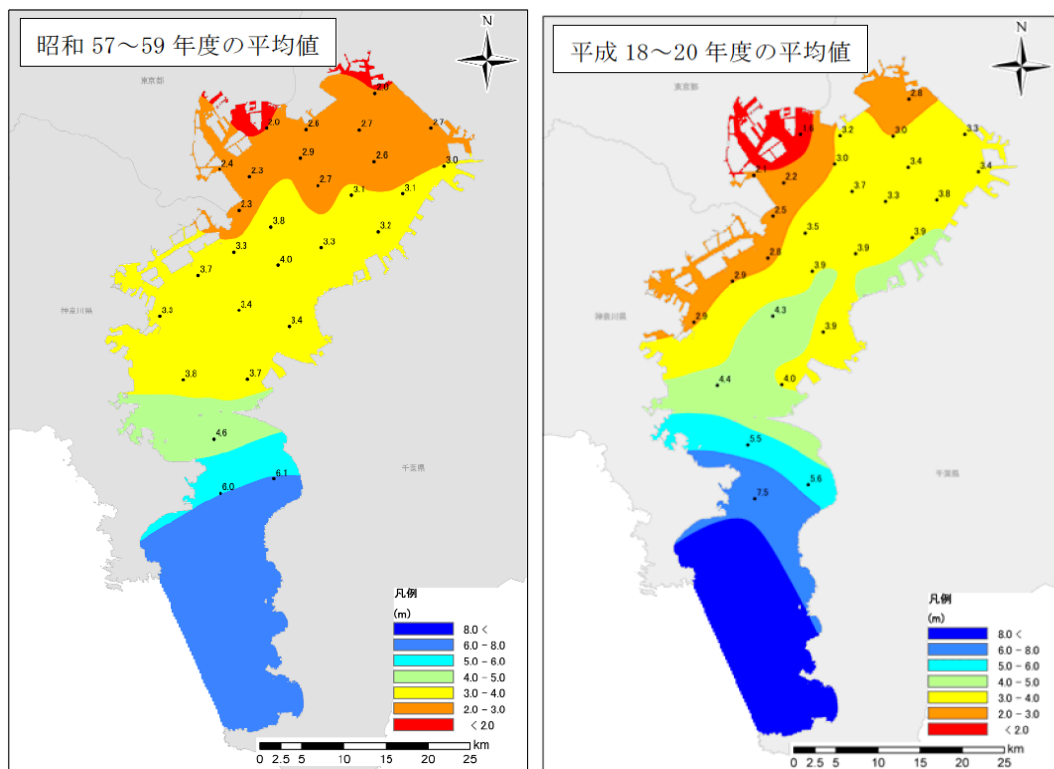


図-2.1.3 東京湾における透明度の分布

透明度と湾内環境の健全性を概念モデルで示すと図-2.1.4 のように示すことができる. 栄養塩の流入負荷が過多から適正に変化すると, 藻類の繁殖が制限され, 透明度が上昇し, DO 濃度の増加, 生物環境の改善を通して, 健康な湾が形成される. 逆に, 栄養塩の流入負荷が適正から過多に変化すると, 藻類の急激な繁殖により, 透明度が減少するとともに栄養塩の枯渇による藻類の枯死, 分解が進み, DO の減少, 生物影響を経て湾内環境が悪化する.

平成 23 年度の水質一斉調査に合わせ, 湾内および港湾域の 126 点において透明度調査を実施した. 平成 23 年 8 月 3 日の 8:00 から 16:00 の間に調査を実施した. 図-2.1.3 の長期平均とは異なり 1 日のスナップであるが, 西側の港湾域で高く東側(千葉側)で低くなる平面分布を示した(図-2.1.5).

透明度の支配要因を推定するために, 内湾での透明度測定データを目的変数とし, 水質一斉調査で得られた懸濁物(SS), クロロフィル量(Chl-a), 有機物濃度(COD)を説明変数として重回帰分析を行った. 著者らの透明度のデータ測定点と, 水質測定点異なるので, 各々のデータを, 湾内を 20×20 格子状に区切ったグリッドデータとして平滑化した後, グリッド点毎にデータを対応させて回帰分析を行った.

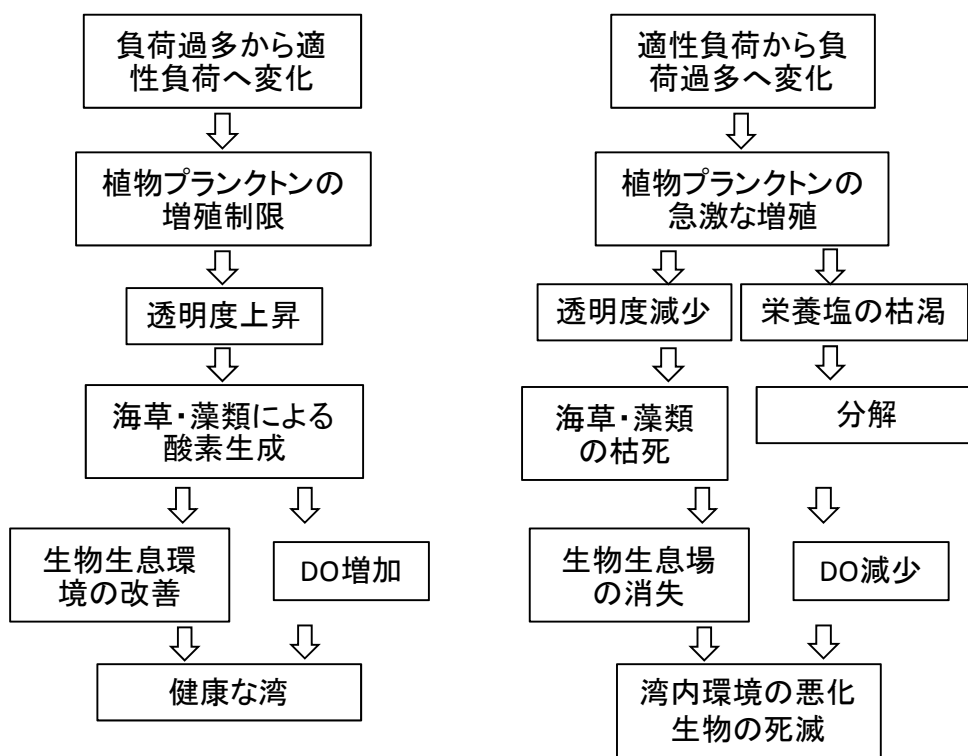


図-2.1.4 透明度と湾内環境の概念モデル

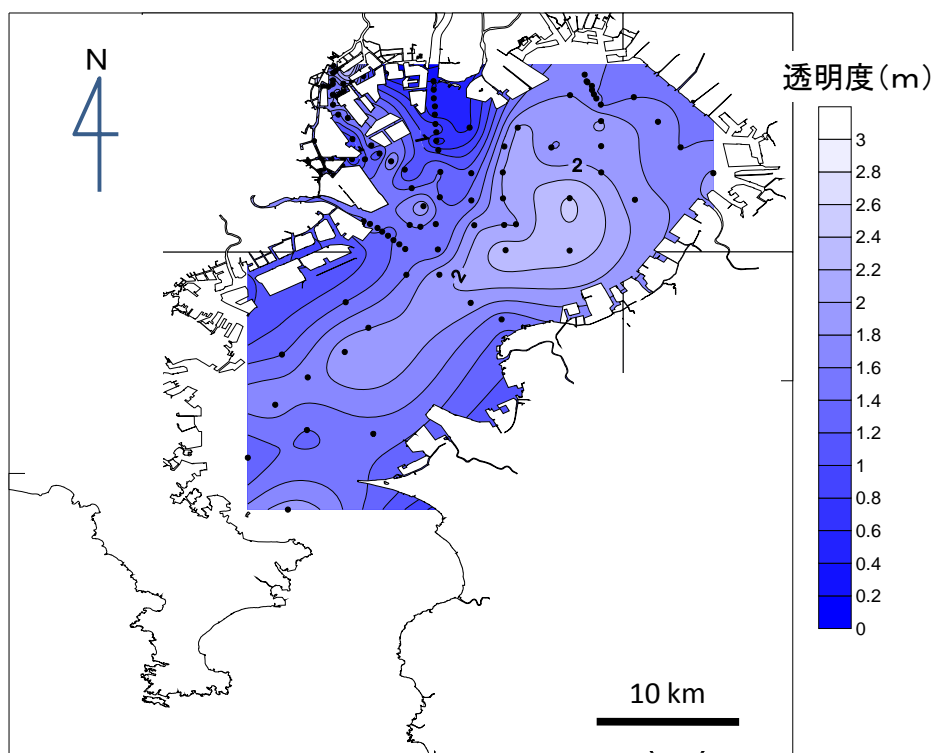


図-2.1.5 透明度調査地点と結果

回帰分析の結果は、COD の寄与率は低く、式(2.1.1)に示すように SS と植物プランクトン濃度(Chl-a)の関数に反比例することを示した。これは前出のビジョンで示されていた推定式(式(2.1.2))と同じ関数形だった。これから、透明度は、水域の SS と植物プランクトン濃度の大小を簡易的に示す指標として使うことができると考えられる。

$$\text{透明度 (m)} = 1.6 / (0.084 \times \text{SS} + 0.021 \times \text{Chl-a} + 0.12) \quad (2.1.1)$$

$$\text{透明度 (m)} = 1.6 / (0.139 \times \text{SS} + 0.04 \times \text{Chl-a} + 0.04) \quad (2.1.2)$$

参考文献

閉鎖性海域中長期ビジョン策定に係る懇談会 (2010) : 閉鎖性海域中長期ビジョン, 86p.

古川恵太 (2011) : 江戸前ハゼ復活プロジェクト, 第 11 回東京湾シンポジウム報告書, pp.21-26.

古川恵太, 岡田知也, 吉田潤, 上村了美 (2012) : 東京湾シンポジウム報告 (第 12 回 : 陸域~海域を総合的に考える海の再生を目指して), 国土技術政策総合研究所資料, No.705, 60p.

吉田潤, 古川恵太, 岡田知也, 上村了美, 梅山崇, 早川修 (2012) : 芝浦アイランド生き物の棲み処づくりプロジェクトの記録, 国土技術政策総合研究所資料, No.706, 98p.

Web ページは、研究情報・成果の配信、シンポジウムなどの告知、コミュニケーションツールとしての機能が期待できる。現在、港湾環境情報として稼働している Web サイトには、図-2.2.1 に示すようにメインのページと、プロジェクト毎の独立したページが配置され、プロジェクト毎のサイトには、活動目的、活動予定、活動記録・データ、発表成果などが随時掲載されるとともに、プロジェクトメンバー間の情報伝達のためのメーリングリスト（ML）が付随されている。それぞれの役割をまとめると、表-2.2.1 のようになり、情報対象者の特性を考えた記事の掲載をすべきである。

なお、Web ページには、不特定多数の訪問者が閲覧することから、特定の個人・団体の誹謗中傷や過剰な宣伝などにつながらないように配慮する必要があるとともに、いわゆる「免責事項」に関する記述が必要となる。主な項目としては、

- ・ 利用者責任（「掲載データの品質には細心の注意を払っていますが、データの精度を公的に保証するものではありません。データは利用者の責任において利用してください」といった記述）
- ・ 免責事項（「データの利用によるいかなる損害・不利益に関して一切の責任を持ちません。」といった記述）
- ・ 利用条件（「商用の利用は禁止します」「引用の場合には必要な許諾を得てください」といった記述）

などが挙げられる。

表-2.2.1 公開プロジェクトサイトの要素

要素	主な閲覧対象者	内容	注意事項
活動目的	一般	目的・背景・連絡先・免責事項等	一般の方に判りやすく示す
活動予定	メンバー、新規参加希望者	日程、集合場所	次回の活動の実施予定を検索しやすくしておく
活動記録・データ	メンバー、関係者	写真、採取データ、状況の説明	参加者人数、データの関連情報（場所、方法、時間、測定者等）、写真撮影者など関連情報をできるだけ網羅するように
発表成果	一般、メンバー	学会への発表論文、ポスター等	著作権に抵触しない引用形態に配慮する
メーリングリスト	メンバー	事務連絡、準備調整、情報共有等	メンバー全員への連絡であることを旨とし、極力個人同士の連絡に使わない大きな添付ファイルを送らないなど、ネット・エチケットに配慮する

港湾環境情報のサーバーで構築したプロジェクトサイトの例を列挙する。

- ・ 干潟創造実験／生物生息実験プロジェクト： <http://www.meic.go.jp/higata/>
- ・ 芝浦アイランド「海の生き物」棲み処つくりプロジェクト： <http://www.meic.go.jp/shibaura/>
- ・ 都市型干潟の賢い／楽しい使い方研究チーム： <http://www.meic.go.jp/wiseflat/>
- ・ 全国アマモサミット： <http://www.meic.go.jp/amamo2008/>
- ・ 東京湾シンポジウム他： <http://www.meic.go.jp/tokyo20XX/> (XX: 09~12)
- ・ 東京湾水質一斉調査ワークショップ： <http://www.meic.go.jp/kyjobs/main.html>
- ・ PIANC EnviCom WG14： http://www.meic.go.jp/pianc_wg14/

また、こうしたプロジェクトサイトには、メーリングリスト（ML）によるメンバーとの情報交換の機能が付与されており、事務局側からメンバーに向けた活動の案内、メンバー側からの参加登録、関係者間の成果の共有、メンバー相互の意見交換などが実施されている（図-2.2.2）。MLでは、そのMLのメールアドレスが設定され、そこに送信されたメールが、登録者全員にBCCで到達する。MLのシステムによっては、送信されるメッセージに自動で通し番号付きのヘッダーがメールタイトルに付され、どのMLからの情報なのか識別できるとともに、見落としの情報がないかどうか連番で確認することができる。登録メンバーの加除、修正は、システム管理者により行われ、MLのメンバーは送信先のアドレスを管理・意識することなく、情報を送信することができる。

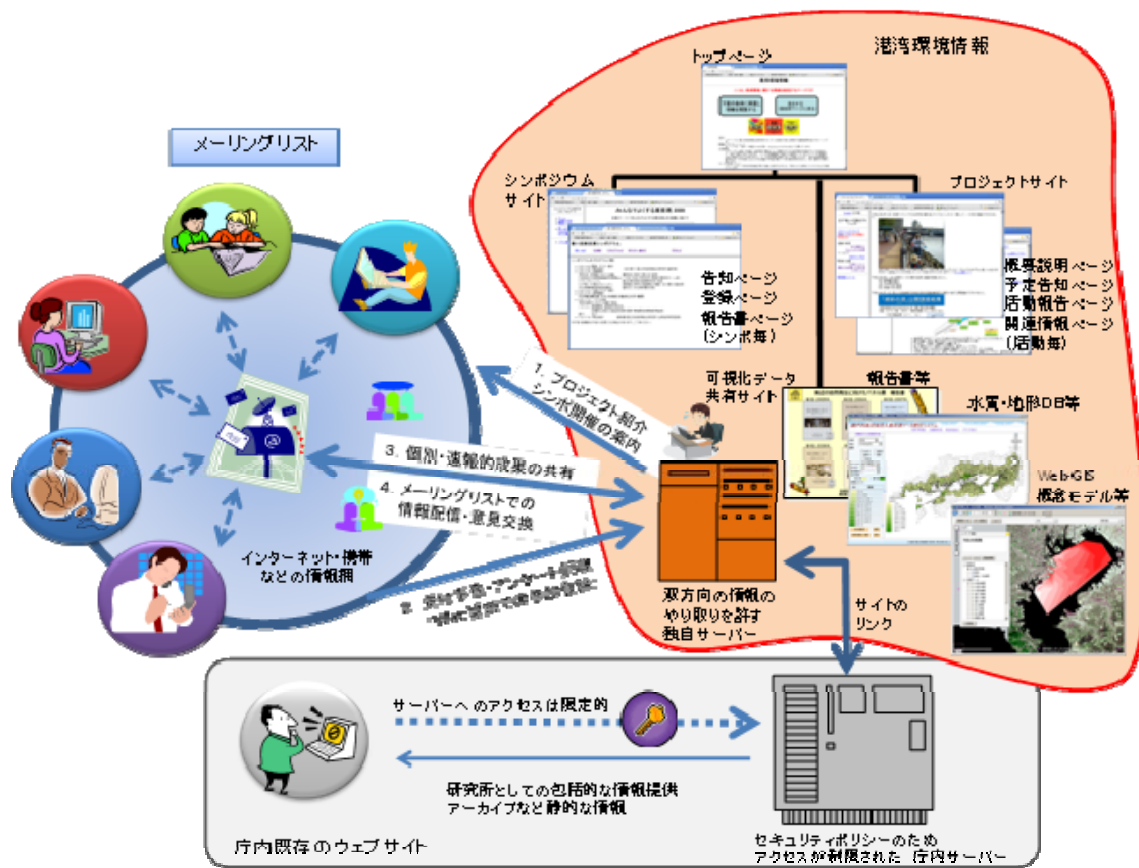


図-2.2.2 双方向の情報共有システムとしてのメーリングリスト

2.2.3 問題解決に向けた方向性の検討

(1) 問題解決に向けた4つの視点

古川（2007）が指摘しているように、海辺の自然再生を考える上で、4つの視点が重要である。それは、海の自然、生態系の特性について考える「場の理解」を始めとし、そうした視点に立って、適切な目標の設定「目標設定」、その目標を実現するための科学・技術の適用「手法開発」と、そうした取り組みを事業として関係者と体制・技術を総合化・システム化して取り組む「システム化」である（図-2.2.3）。

これら4つの視点を取り込んで、自然再生の事例を海域毎に整理したのが図-2.2.4である。海辺の自然再生に向けた取り組みの事例は、東京湾で29事例があり、実施主体が多岐にわたり、多くの主体が連携した取り組みも数多くみられた。場の理解のための環境データベース、情報マップ等も数多く報告されている。伊勢湾・三河湾では、9事例が報告され、干潟・湿地・浅場の事例が7割を占めた。平成以前からの取り組みが見られることも特徴であり、早くから自然再生への取り組みが積極的になされてきたことがうかがえた。大阪湾では、5事例が報告され、パイロット事業、研究プロジェクト等、民間企業や行政、大学が連携した手法開発の取り組みが6割（3事例）を占めていた。築磯・共生護岸の事例は関西国際空港における藻場造成の取り組みである。瀬戸内海では、10事例が報告され、国土交通省、民間企業によるパイロット事業、個別技術開発としての干潟、浅場、藻場の再生事例が数多くみられた。有明・八代海では、5事例が報告され、いずれも平成11年以降の取り組みが取り上げられた。干潟・湿地・浅場の事例が8割（4事例）を占めており、それらはいずれも研究プロジェクト、個別技術開発の取り組みであった。沖縄では5事例が報告され、沖縄ならではのサンゴ礁の再生事例が取り上げられた。これらの取り組みは昭和55年代に始まっており、マングローブ植栽という沖縄特有の事例もあった。

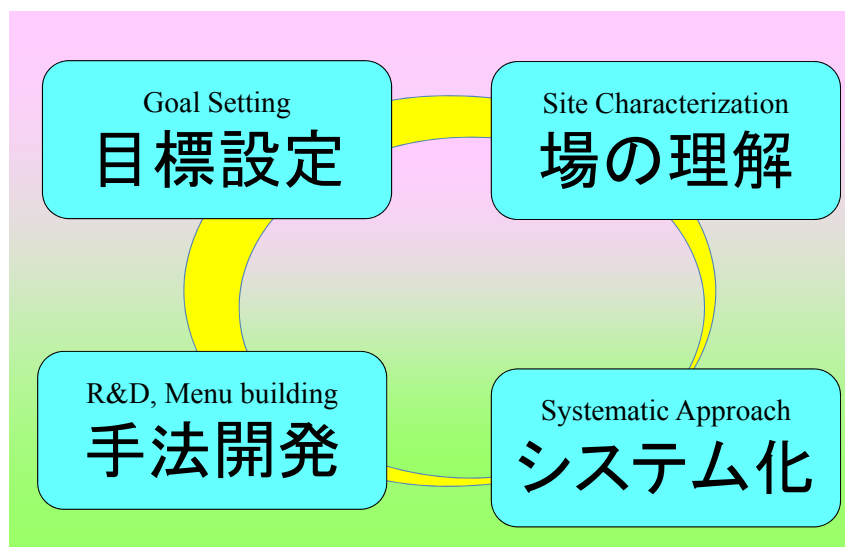


図-2.2.3 海辺の自然再生の4つの視点

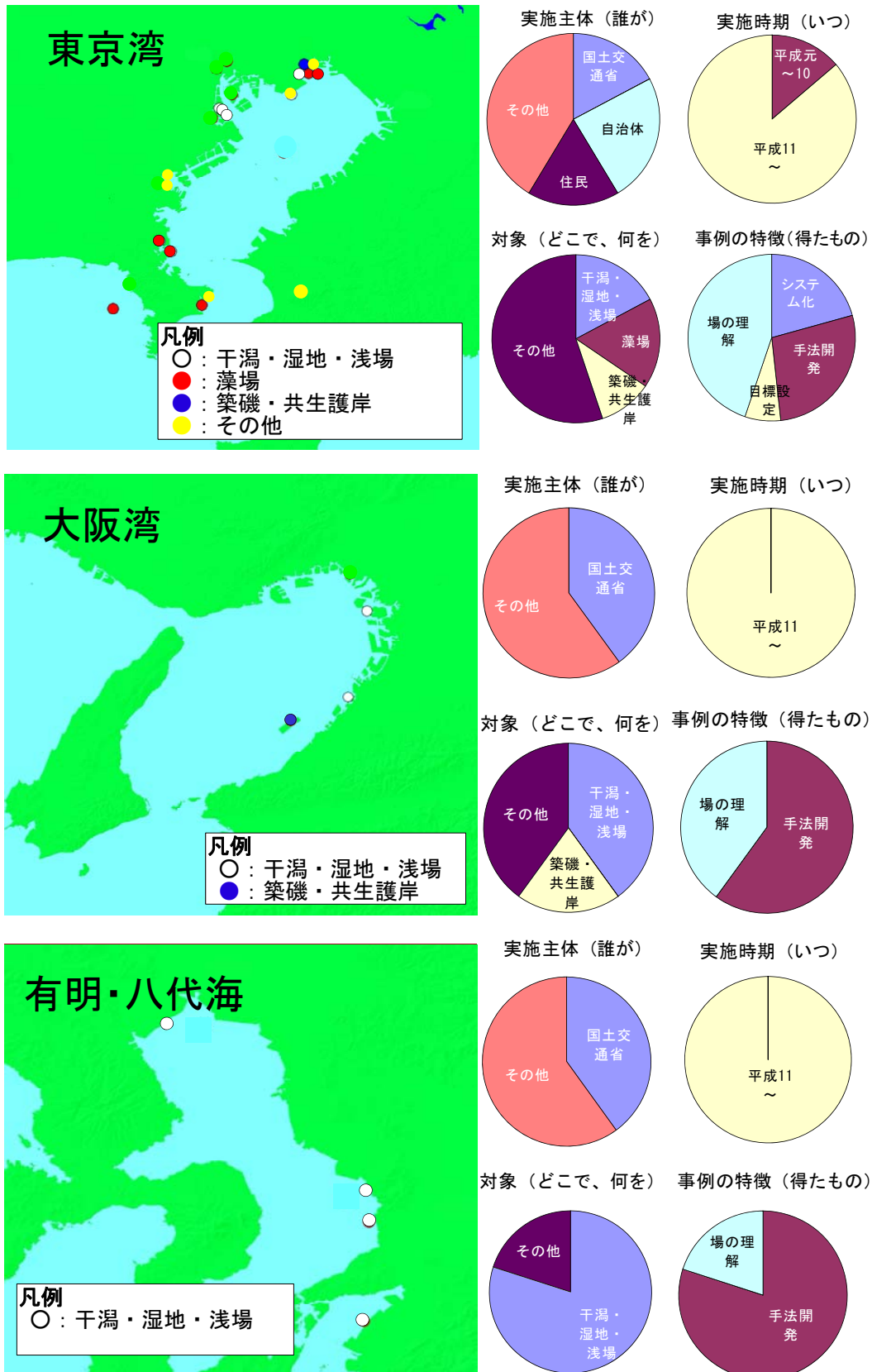


図-2.2.4 海域毎の海辺の自然再生の事例整理 (1) (国総研, 2011b)

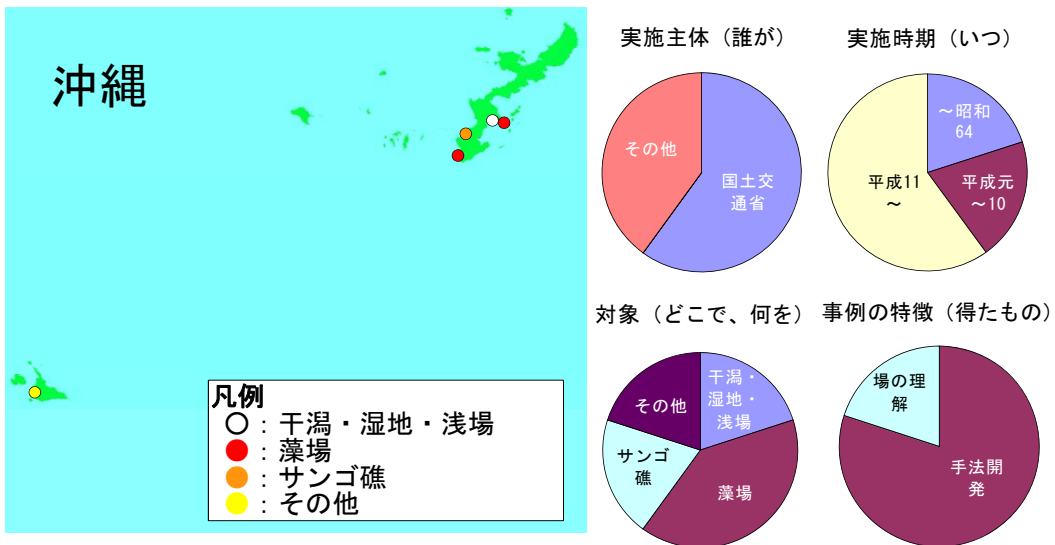
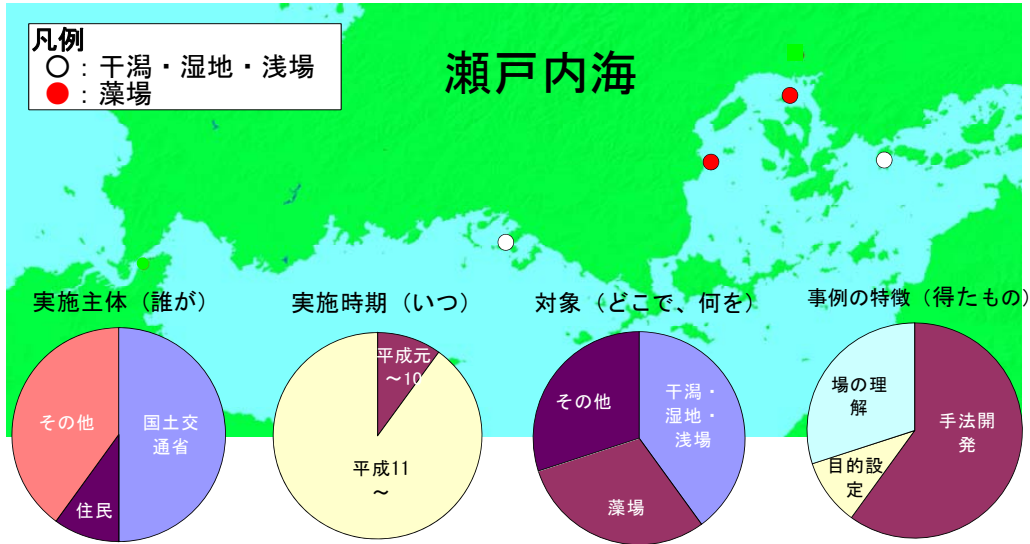
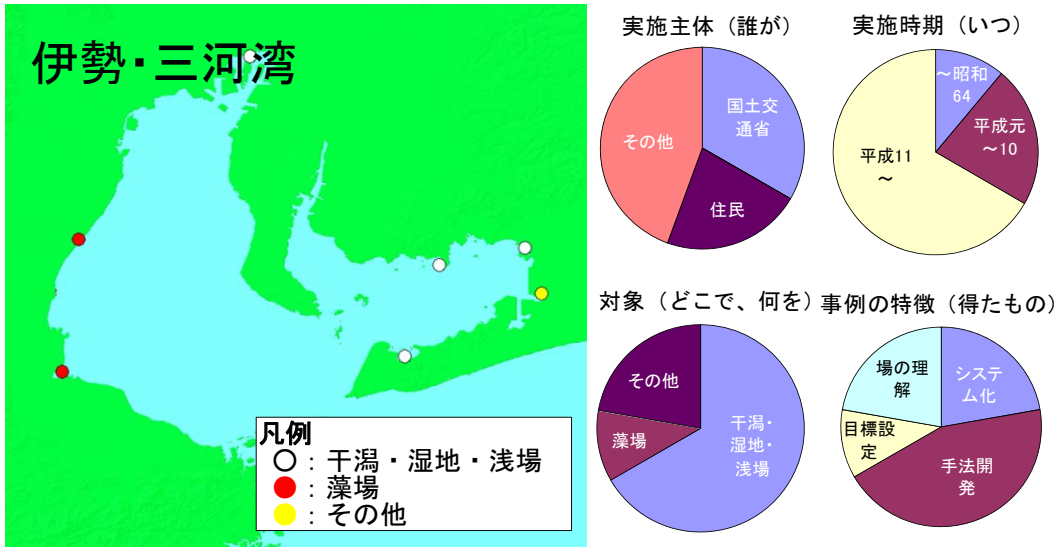


図-2.2.4 海域毎の海辺の自然再生の事例整理 (2) (国総研, 2011b)

(2) 問題解決へのアプローチの検討

a) 役割分担

自然共生型事業に関して、役割分担の課題の明確化を行うために、「関係者の役割とその分担」を模式化した図を用いて問題に関係する人と施策・行動の連関を整理した(図-2.2.5)。「専門家」の果たす役割の重要性・立場の難しさ、「科学的議論」への関与の仕方・情報共有のあり方、専門家同士の連携の仕方、専門家としての民間の技術者の立場・活用の必要性等、次のような課題が明らかとなった(古川・清水, 2004)。

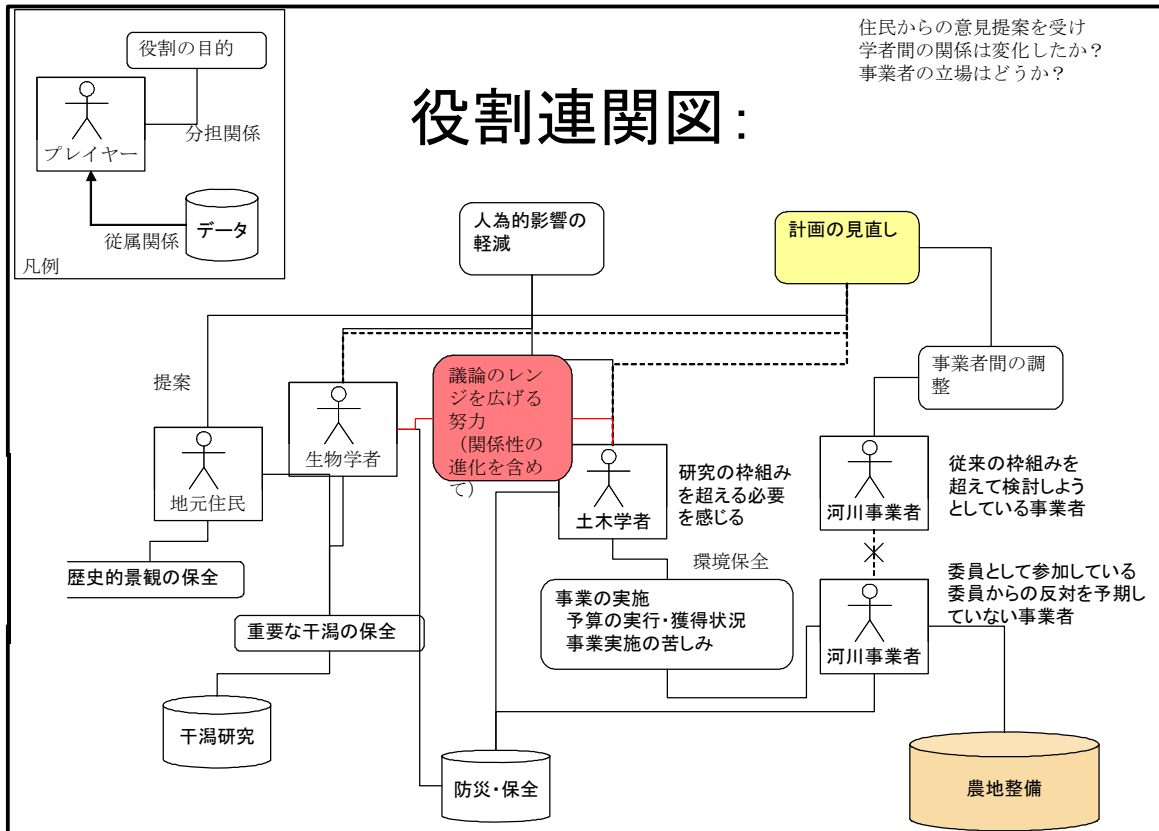


図-2.2.5 問題解決のための「役割分担図」

- ① 自然再生の進め方(包括的計画)について、従来の委員会形式ではなく、十分に議論が深められる仕組みにすることが大事であり、その際、議論に対して、立場を超えた、科学的な、真摯な姿勢が必要である。また、議論の経過・データをできる限り公開する必要がある。
- ② 総合的判断を行うためには、工学、生物など様々な学問分野の専門家は勿論、現場に最も近い調査会社や NGO など民間の専門家、さらには予算・法制度など行政の専門家が活躍できる場・組織を創出することが大切である。それが財政的な基盤を持った財団であれば民間の専門家も参加しやすい。
- ③ 専門家の議論を事業に反映させていくために、議論の見直し(順応的管理)をどのようにするかシステムのルール作りが必要であり、かつ、議論の枠組みについて、タブーを作らない努力が必要である。

b) 順応的管理手法

沿岸環境に関する順応的管理手法は、予測不能な変動や遷移を含む地形・生態環境の中で、海洋開発における海洋環境・水産資源の保全・再生ために多くの関係者と協働し、目的と方法を合理的に柔軟に統合して実行するシステムの一部である（図-2.2.6）。したがって、長期的視点を持った目標設定技術、事業評価技術、環境改善技術について、先進事例を参考にしながらの技術開発が必要である。また、順応的管理が、多くの関係者ととも、柔軟に目標の達成に向けて事業を実行する手段であることに鑑み、理念を明確にするとともに、目標設定、事業評価、環境改善等の技術として、以下に示す配慮事項が必要である（古川ら, 2007）。

- ① 個別具体的な自然再生事業等においては、包括目標（理念）と個別目標の間に大きなギャップが生じる場合がある。理念と個別目標の間に、上位目標（事業実施方針）を設定し、理念から個別目標までの流れを段階的にスムーズに繋ぐ工夫も必要である。
- ② 目標設定においては、期間や対象の明確化が不可欠である。例えば、特定の対象生物を選定することや、その生物を取り巻く環境との関わりに着目すること等が有効である。
- ③ 事業評価においては、モニタリングと評価を分けずに議論をすることが大切であり、モニタリングの成果を事業の中間評価および発展の方向付けを考えるような場面において活用し、積極的に適用することが望ましい。
- ④ 環境改善手法においては、単にある技術を単独で適用するだけでなく、総合的に活用することへの配慮が必要である。特に、目標設定のためのコミュニケーションプロセス、事業評価のためのモニタリングとモデル化の統合、生態系の変動や遷移を考慮した生物生息場の保全・造成・維持管理に関する環境改善技術等の研究テーマへの取り組みが期待される。

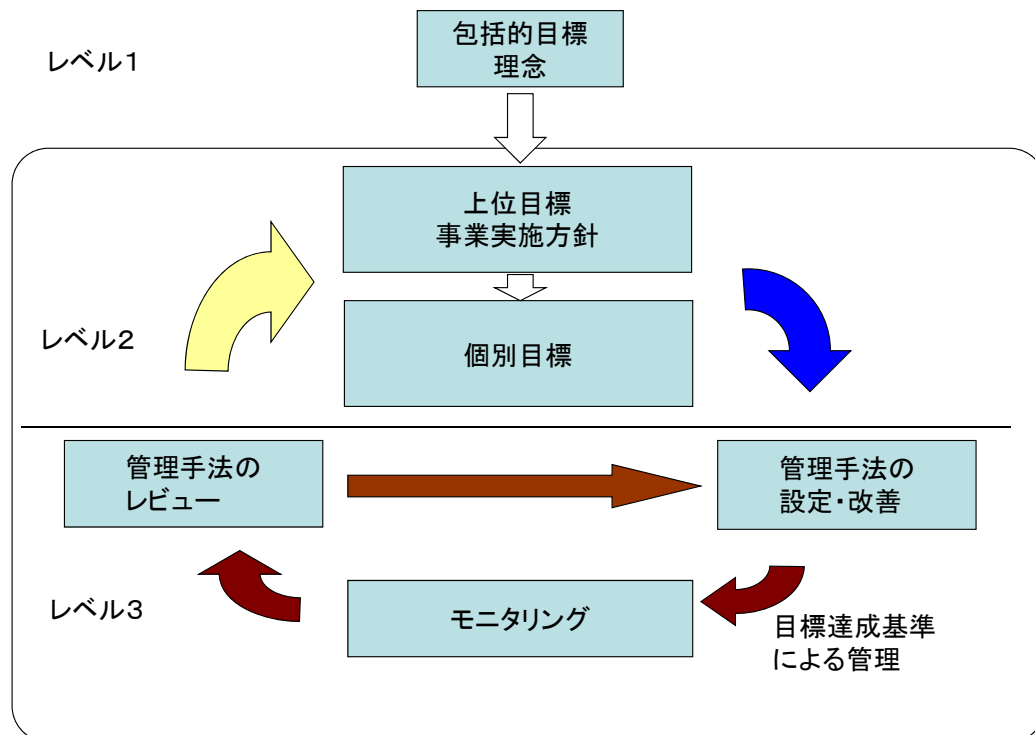


図-2.2.6 順応的管理のイメージ図

c) 技術開発のロードマップ

閉鎖性海域における環境改善技術の必要性について以下のように整理した。

「陸域・海域で分野を超え、統合的に、底質改善・水質改善・負荷削減・生物生息促進を図り、変わりゆく社会・自然環境に対応し、多様な関係者を巻き込み、コスト・便益の定量的な観点に配慮した住民の健康と生物生息環境の改善等の環境改善を目指す」

さらに、個別技術の類型化および、現状に合わせたロードマップについて、原案をもとに意見交換を進め、技術の類型化（分類）毎に、現状、アクション（短期的になすべきこと）、目標（将来的になすべきこと）を整理した。

個別技術の類型化については、いわゆる①従来型の底質・水質の改善、負荷削減の技術が依然として大きな割合を占める中で、新たに注目されている技術分野として②生物生息促進技術や、③アメニティ向上技術、さらには、そうした技術を計画に位置付け、構想立案、評価をサポートする④計画技術、住民へのサービスなど、環境改善技術のアウトカムを明示していく⑤可視化技術などがあることを抽出した。こうした技術開発の方向性としては、必要技術を個別具体的に開発している現状から、短期的には、個別技術の高度化・汎用化・コストの削減をめざし、安全の確認を怠らず、効率の定量化とともに、適用範囲の明確化を行っていくことが期待されるとともに、将来的には、防災や利用といった側面との総合化を目指していく必要があると考えられる。

(3) 問題解決の標準手法

場の理解に基づく目標の設定や適用手法の選択、システム化の骨格をロードマップとしてまとめ上げることが、問題解決プロセスに他ならない。こうした問題解決の手法を標準化したものの一つが、Project Cycle Management (PCM)手法である。PCM手法は、元々、国際援助などの場面で、援助する側がより効率的かつ効果的な事業を行うために開発された手法であり、関係者間との情報共有、話し合いを基調として、プロジェクトの推進体制である PDM (Project Design Matrix) を構成することを目的とする。

JICA (2007) では、事業マネジメントハンドブックを発行し、その中で、PCM手法についての簡潔な紹介を行っている。また、外務省にも開発教育・国際理解教育のために PCM 手法を含む教材の開発を行っている（開発教育教材制作委員会、2001）。以下は、港湾環境施策の推進のためのプロジェクト策定のために PCM 手法を適用して PDM を構成した例を示す。

表-2.2.2 プロジェクト・デザイン・マトリックス (PDM) のイメージ

プロジェクトの概要	指標	指標を得る手段	外部条件
上位目標	(波及効果)※	(経済評価・センサス)※	(外的なリスクとしての前提や制約など)
プロジェクトの目標	(個別目標)※	(総合評価)※	
成果	(直接的なアウトプット)※	(計測)※	
活動	(誰が、何をするのかに関する具体的な投入リソースやタイミング)※		

※例として記載しており、実際には、プロジェクトに対応した具体の項目が記載される

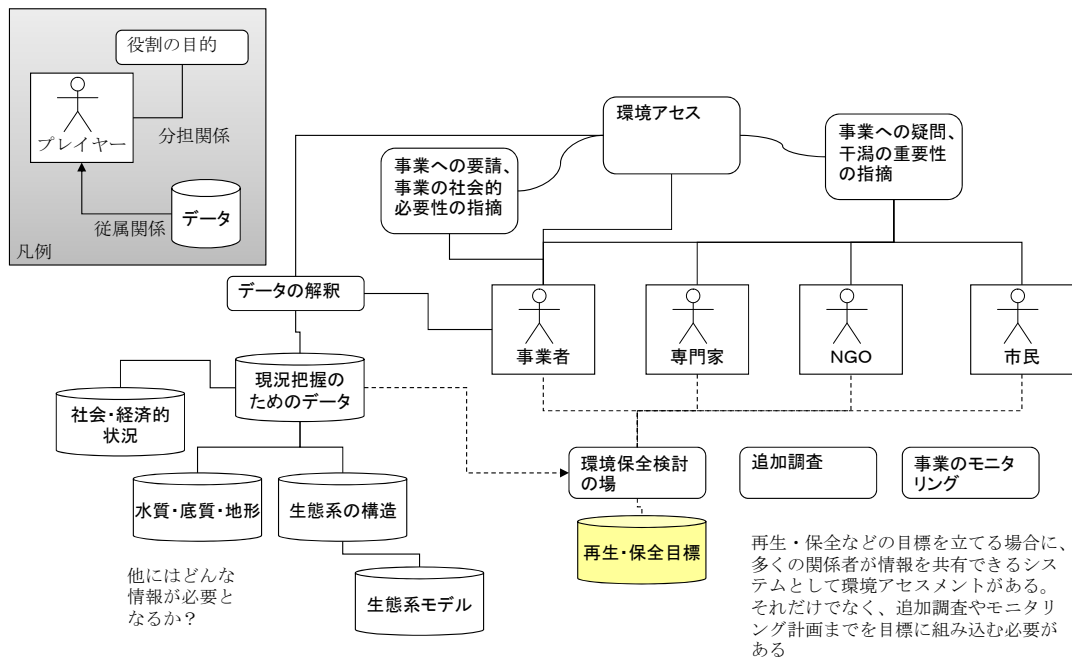


図-2.2.7 沿岸の環境政策をめぐる役割連関図 (イメージ)

PCM手法は、参加型の計画手法であり、最終アウトプットとしてPDMを得る。PDMには、表-2.2.2に示されるように、上位目標（効果：アウトカム等）、プロジェクト目標、成果（アウトプット）、活動を縦軸に、それらを評価する批評や実行手段（投入するリソース等）、外部条件（制約条件等）を横軸に配した表を基本とするが、プロジェクトの概要を示すという位置づけであり、様々なバリエーションが考えられる。

こうしたPDMを得るために、まずは関係者分析、問題分析を行う。例えば、港湾環境施策を例にとると、関係者としては、図-2.2.7のように、事業者、専門家、NGO、市民などが挙げられる。そうした関係者のそれぞれの立場を想定しながら、中心問題を設定し(図-2.2.8)、上位に向かって波及する効果、下位に向かってその原因を列挙していく。これを問題分析と称し、出来上がった樹形図の最下端が根本の原因、最上端が波及効果ということになる(古川・清水, 2004)。こうして問題解析図が明らかになれば、その最下段の原因を解消・反転させる活動が明らかになるので、それらを、PDMの左端に個別目標として挿入し、その実施可能性、外部リスクなどを関係者間の議論の中で埋めていく作業となる。

ここに、PDMの利点としては、階層別の目標、指標、外部条件、投入といった、プロジェクトの主要な構成要素を端的に示すことができるとともに、上位目標（アウトカム）との関係が明示され、プロジェクトの枠組みが示しやすいことなどが挙げられる。しかし、一方で、PDMの限界として、計画段階で予測可能な範囲でしか計画を構成できないために、順応的なアプローチが不可欠であるとともに、目的ドリブンな計画であるので、目的そのものの十分な議論・合意を得ることが大前提であり、そこに十分な時間をかける必要がある。また、プロジェクト実施段階においては、活動計画線表やリソース（人間、予算、機材）の管理表など必要に応じた文書（や取り決め）が必要となる。

本研究の枠組みを構築する過程をPCM手法に則り再現すると、以下ようになる。まずは、海の再生プロジェクトに関係するプレイヤーは、事業者と企業関係者、NPO、市民、水産関係者などである。その間に存在するコンフリクトとして、図-2.2.8に示すように「港湾環境施策への理解が進まない」を中心問題に据えて問題解析を行った。この場合、3つの原因（環境の複雑さ、プロセスの不透明さ、効果の不明確さ）が海の再生プロジェクトの停滞を生んでいる可能性が示された。それを解消する技術開発として、表-2.2.3の左列に示すような3つの個別目標が設定され、それらを包含するプロジェクトとして「統合沿岸域管理による港湾環境の保全・再生プロジェクト」が構築された。

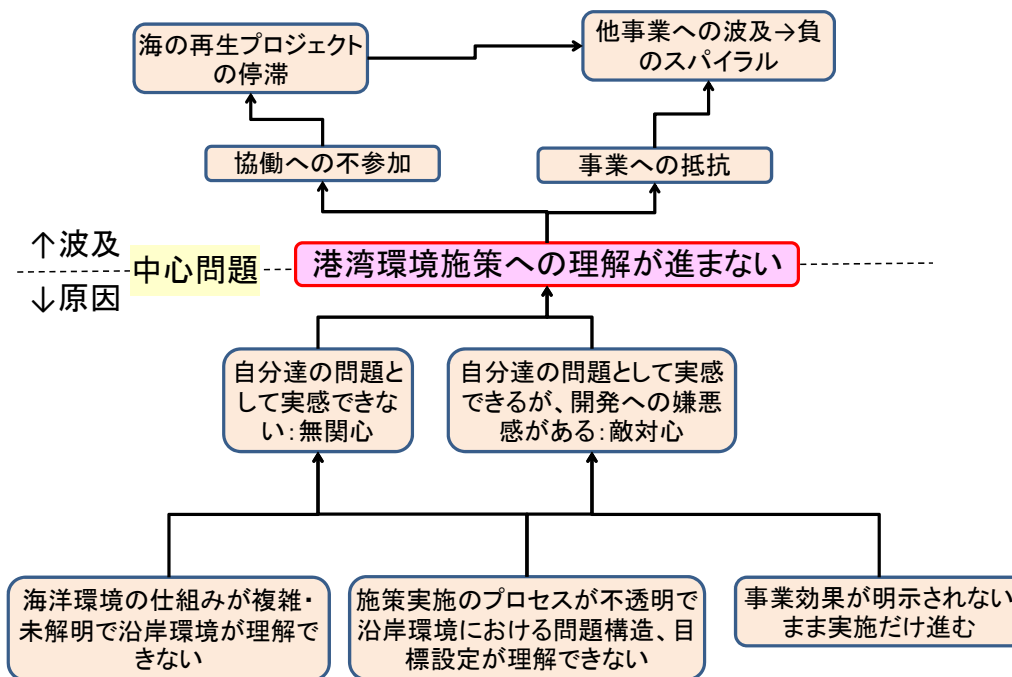


図-2.2.8 港湾環境施策を中心問題に据えた場合の問題解析例

表-2.2.3 統合沿岸域管理による港湾環境の保全・再生プロジェクトのPDM

研究の個別内容	指標	指標の評価方法	手法・参考となる視点
統合沿岸域管理による港湾環境の保全・再生プロジェクト	海の再生プロジェクトの推進	事業・イベントへの積極的参加の増加	
プロジェクトの目標	1) 沿岸環境の理解を助ける技術の開発 2) 施策実施のプロセスを「見える化」し、沿岸環境における問題構造、目標設定の理解を助ける技術の開発 3) 沿岸環境の対策事業の効果を明示するための技術の開発	・モニタリングデータの可視化技術の開発 ・NPO、市民への参加的モニタリング技術の開発 ・データベースとして公開し、その利用者を獲得 ・一斉調査・市民調査等への市民参加者数の増加 ・計画・設計・施工時の検討プロセス共有手法開発・考え方の提示 ・個別事業の評価指標の構築 ・再生活動等の効果を分かり易い形で提示する手法の開発	・データベースとして公開し、その利用者を獲得 ・一斉調査・市民調査等への市民参加者数の増加 ・ワークショップ・検討会での評価 ・事業の評価への採用 ・NPOの活動発表等での採用 ・海の天気図、海のゲージマップ、環境マップ ・一斉調査、環境学習体験、釣り調査、モニ1000 ・PCM手法、順応的管理、統合沿岸域管理、概念モデル化、港湾環境図、フードマイレージ、コミュニケーション戦略 ・シーブルー事業、ブルーカーボン、生物多様性、指標生物 ・江戸前ハゼ復活プロジェクト
成果	・技術の開発 ・ガイドラインの策定 ・市民活動への波及	包括的評価手法	・生態系サービス ・里海
活動	調査研究の実施		各関係機関、研究者、NPO、市民との協働

2.2.4 包括的な評価手法の構築に重要な視点

(1) 生態系サービス

人と環境の係わりに関する国際的な規範は、1992年の地球サミットの行動計画であるアジェンダ21に記載された「持続可能な開発」に端を発している（「持続可能な開発」については、1987年に環境と開発に関する世界委員会が公表したOur Common Futureの中心的概念として、「将来の世代の要求を満たしつつ、現在の世代の要求も満足させるような開発」と定義されたのが国際社会での初出と考えられる）。

その後、ラムサール条約の締約国会議などを通して、「湿地を特徴づける生態系サービス、プロセス、生態系要素の総体を、生態学的アプローチを用いて管理することで、人の幸せや生物多様性への利益をもたらすように生態系サービスを持続的に利用する（抄訳）」と定義されたWise Use（2005年：COP9）などにより、より明確に人の利用という観点で見た生態系の共通認識が示されている。

近年、こうした考え方を制度的な面から支えてきた法律・政策・戦略から概観すると、①国際的な環境規範の提示（1990年代：持続可能な開発、生物多様性）、②個別法の改正による自然再生の推進（2000年代：防護、環境、利用の調和、生態系の保全）、③海洋基本法の制定による総合的取り組みの推進（2010年代：沿岸域の総合的管理）といった流れが見て取れる（表-2.2.4）。

現在、自然再生の目標として掲げられている「生態系サービス」については、人間が自然から受けている恵みとして定義され、ミレニアム生態系評価（MEA, 2005）など示された4分類（供給・調整・文化・基盤）を基準に検討されるのが主流となっている（図-2.2.9）。

Ramsar convention secretariat（2007）には、生態系サービスの直接、間接の変化要因がまとめられており、直接の変化要因は、主に自然科学の範疇での影響伝搬であり、間接の変化要因は、主に社会科学の範疇での影響伝搬である（図-2.2.10）。

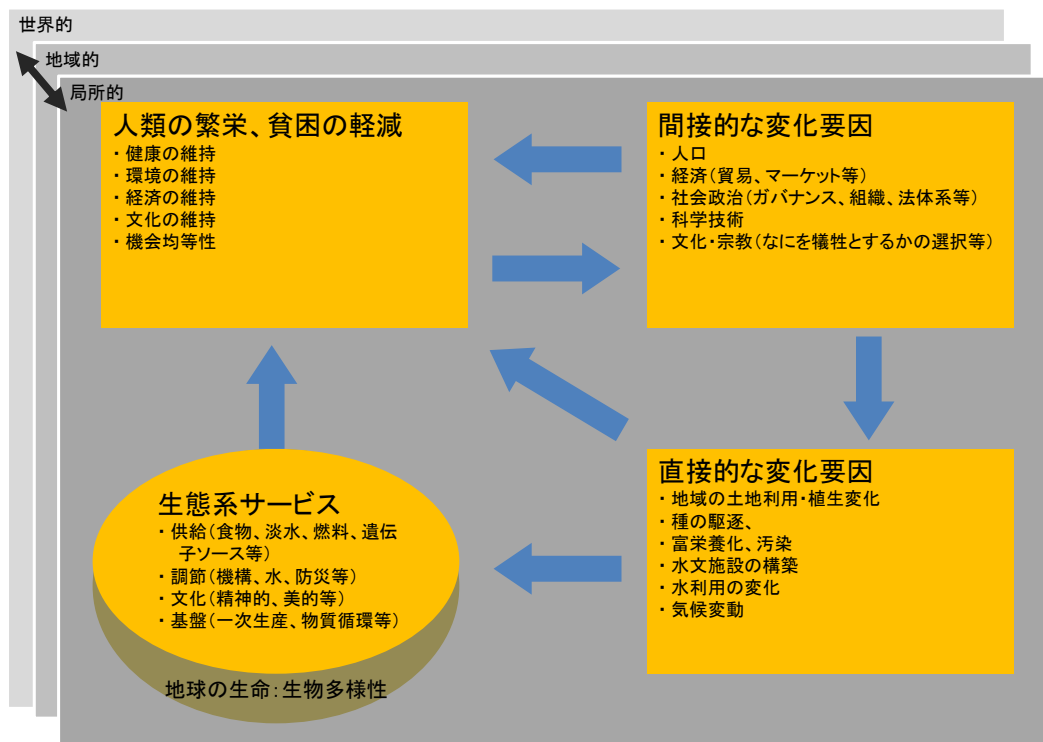
我が国では海洋の生態系サービスの長期的な利用を目的として、平成23年3月に海洋生物多様性保全戦略が策定された。この中では、海洋の生物多様性が我々の「いのち」と「暮らし」を支えていることが明確に記述されている。

表-2.2.4 環境関係の法律・政策・戦略の変遷

年	国内での取り組み	海外での取り組み
1991	第3次水質総量規制(目標年次、平成6年)	
1992		地球サミット開催(リオデジャネイロ)(持続可能な開発)
		生物多様性条約の採択
		Habitat Directives (EU、保護区の設定)
1993	生物の多様性に関する条約締結、「環境基本法」制定(「参加」「共生」「循環」国際的取り組み)	生物多様性条約が発効
1994	「環境基本計画」閣議決定	
1995	「生物多様性国家戦略」設定	「国際サンゴ礁イニシアチブ」構築
	「水環境ビジョン懇談会」報告(人と水との関係回復)	
1996	第4次水質総量規制(目標年次、平成11年)	「アジア・太平洋地域渡り性水鳥保全戦略」策定
	「ナホトカ号大量油流出事故」	
1997	「河川法」改正(河川環境の整備と保全等)	
1999	「海岸法」改正(海岸環境の整備と保全を規定)	
	「環境影響評価法」施行	
2000	「港湾法」改正(法目的に環境の保全を明記、基本方針の記載事項に環境の保全を追加)	「Natura2000」策定(EU)
2001	第5次水質総量規制(目標年次、平成16年、COD、窒素、りん)	「ミレニアムエコシステムアセスメント」開始
2002	「新・生物多様性国家戦略」策定(保全の強化、自然再生、持続可能な利用)	地球サミット開催(ヨハネスブルク)
	「自然再生推進法」成立(多様な主体による自然再生の推進)	第8回RAMSAR条約締約国会議(統合沿岸域管理)
	「有明海八代海再生特別措置法」(海域環境の保全と再生)	
2005	「今後の港湾環境政策の基本的な方向」答申(港湾行政のグリーン化、開発・利用と保全・再生創出を両輪)	第9回RAMSAR条約締約国会議(Wise-Use再定義)
		「ミレニアムエコシステムアセスメント」報告書発行(生態系サービス)
2006	第6次水質総量規制(目標年次、平成21年)	
	「有明海・八代海干潟等沿岸海域の再生のあり方」のとりまとめ	
2007	「海洋基本法」施行	
2009	生物共生型港湾構造物実証実験(全国5か所)開始	
2010	「第7次水質総量規制の在り方について」答申(底層DO、透明度)	生物多様性条約第10回締約国会議(名古屋)(里海)

<p>基盤サービス</p> <p>供給・調整・文化の各サービスの供給を支えるサービスのことを言う。例えば、光合成による酸素の生成、土壌形成、栄養循環、水循環などがこれに当たる。</p>	<p>供給サービス</p> <p>食料、燃料、木材、繊維、薬品、水など、人間の生活に重要な資源を供給するサービスを指す。このサービスにおける生物多様性は、有用資源の利用可能性という意味で極めて重要である。現に経済的取引の対象となっている生物由来資源から、現時点では発見されていない有用な資源まで、ある生物を失うことは、現在及び将来のその生物の資源としての利用可能性を失うことになる。</p>
	<p>調整サービス</p> <p>森林があることによって気候が緩和されたり、洪水が起こりにくくなったり、水が浄化されたりといった、環境を制御するサービスのことを言う。これらを人工的に実施しようとする、膨大なコストがかかる。このサービスの観点からは、生物多様性が高いことは、病気や害虫の発生、気象の変化等の外部からのかく乱要因や不測の事態に対する安定性や回復性を高めることにつながると言える。</p>
	<p>文化的サービス</p> <p>精神的充足、美的な楽しみ、宗教・社会制度の基盤、レクリエーションの機会などを与えるサービスのことを言う。多くの地域固有の文化・宗教はその地域に固有の生態系・生物相によって支えられており、生物多様性はこうした文化の基盤と言える。ある生物が失われることは、その地域の文化そのものを失ってしまうことにもつながりかねない。</p>
<p>生物多様性: 上記のサービスを作り出す源</p>	

図-2.2.9 生態系サービスの4分類



Ramsar Convention Secretariat, 2007 より作成

図-2.2.10 生態系サービスの直接、間接の変化要因の概念図

(2) 生物多様性

自然再生を支えるもう一つの視点として「生物多様性の保全」および、そのための「生物の保護」という視点がある。海洋の生物多様性は多様な生態系サービスが発揮される元となるものであり、その多様性が人の影響を受けて危機に瀕している状況においては、「保護」という観点で人為的影響を排除・最小化する領域の設定が必要と考えられており、例えば、1993年に発行された生物多様性条約の条約締約国会議（CBD-COP）では、海洋保護区という考え方が議論され、2010年のCBD-COP10において、いわゆる海洋保護区の設定目標（生物多様性に重要な地域（陸域の17%、海域の10%）が効果的に管理、保全されること）が記された。ただし、実際に海洋保護区を設定することを考えると、対象とする生物同士でのトレードオフが生じる恐れもあり、実行にあたっては、包括的な議論と目標設定や生態「系」としての取扱いに配慮された検討が行われていくことを期待したい。

(3) 里海

沿岸漁業、養殖のような産業として海を利用する立場からすれば、瞬間の生態系の状態ではなく、長い時間における累積的な結果として、より多くの収益を得るということが大切な視点となる。そうした累積的な影響を評価するためには、物質と生物の多様度、円滑な物質循環、優占生物の安定的生産などを指標として海辺の自然を見る視点が重要である。

人の利用という点から見た海辺の再生に関しては、「里海」という考え方があり「人手が加わることで、生産性と生物多様性が高くなった沿岸海域」と定義されている（瀬戸内海研究会議, 2007）。

里海は、比較的小規模な生態系を対象として、村単位で実施される沿岸域の総合的管理のひとつ（例えば、森から海までを一体としてとらえた活動）としても位置付けられる。多様な里海の形態を持ち、多様な生態系のサービスをより良く受けるための、一つのモデルとして考えることができる（図-2.2.11）。



図-2.2.11 里海の類型化（環境省，里海ネットより）

(4) 沿岸域の総合的管理

沿岸域では影響が広域に伝搬する。また、広域の環境条件に影響を受け、自分のところで制御できない（陸上に比べて好きなどところにビオトープを作ることは難しいし、作ったビオトープが他の環境に影響を与えることが懸念される）。

こうした環境の広域伝搬性、被広域影響により、総合的に考えることが必須である。それは、空間的な見方だけでなく、異なる目的で場を重層的に利活用するといった視点も含め、多様な視点からの管理の総合化が必要である。

沿岸域の総合的管理（ICM: Integrated Coastal Management, 統合沿岸域管理）とよばれる管理手法は、1992年のリオサミットで採択されたアジェンダ 21 に「沿岸域の総合的な管理計画」の必要性として記述され、我が国においても、第5次全国総合開発計画（1998年、閣議決定）や沿岸域の総合的管理計画策定のための指針（2000年、国土庁）などの策定を経て、2007年の海洋基本法において「海洋の総合的管理（第6条）」、「沿岸域の総合的管理（第25条）」に位置付けられている。総合的な管理の実施手法には様々な方法が考えられているが、我が国においては図-2.2.12に示されるように、場の広がりや事業の広がり、産学民官をはじめとする多様な関係者が有機的に管理の計画、施行、維持に関与することで、その場の特性に応じたオーダーメイドの環境保全・再生を実施していく枠組みとしてとらえることが望ましいのではないかと考えられる。

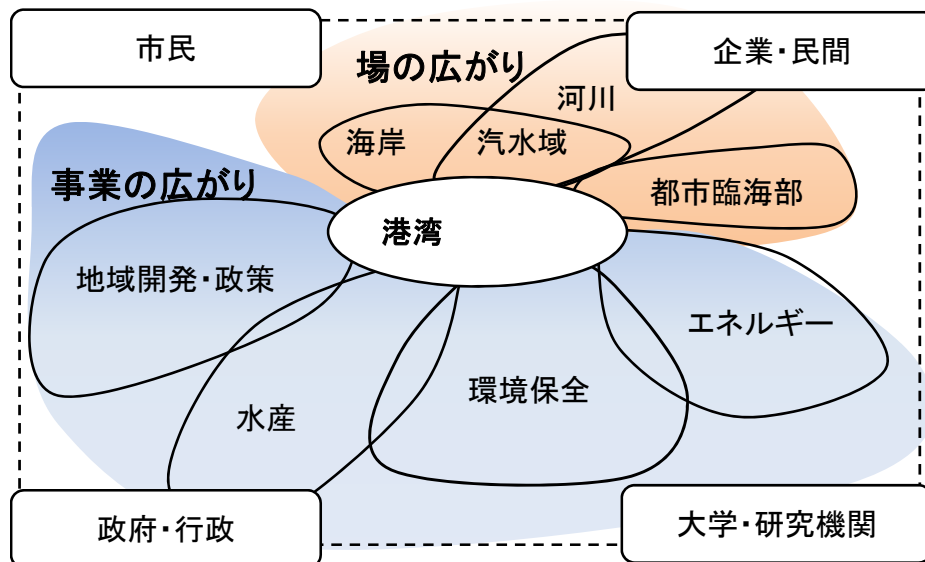


図-2.2.12 総合的管理のフレームワーク（仮に港湾が中心の図として示しているが、他の事業、場が中心となる様々な形態の総合的管理を考えることが可能である）

このような総合化には、海洋生態系の保全・再生目標の共有が不可欠であり、海洋生態系の機能を人類への利益といった視点で整理し直した「生態系サービス」という考え方と相まって、海洋生態系と人間活動を総体として捉える視点が必要であり、前述のような分析的なアプローチだけでなく、その特性を十分に考慮した包括的・統括的なアプローチが必要である（例えば、海洋政策研究財団, 2009 など）。

参考文献

- JICA（2007）：事業マネジメントハンドブック，JICA，Web 資料（http://jica-ri.jica.go.jp/IFIC_and_JBICI-Studies/jica-ri/publication/archives/jica/field/200712_aid.html）
- Millennium Ecosystem Assessment (2005) : Ecosystems and Human Well-being Synthesis（日本語版：横浜国立大学 21 世紀 COE 翻訳委員会(2007)生態系サービスと人類の将来，オーム社）
- Ramsar Convention Secretariat (2007): Wise use of wetlands: A Conceptual Framework for the wise use of

- wetlands. Ramsar handbooks for the wise use of wetlands, 3rd edition, vol. 1. Ramsar Convention Secretariat, Gland, Switzerland, 26 p.
- 開発教育教材制作委員会 (2001) : 改訂開発教育国際理解教育ハンドブック, 国際協力推進協会, Web 資料 (<http://www.mofa.go.jp/mofaj/gaiko/oda/edu/kyouzai/handbook/>)
- 海洋政策研究財団 (2009) : 沿岸域圏総合管理計画策定に資する情報整備に関する研究報告書, 海洋政策研究財団, 77p.
- 清野聡子, 清水隆夫, 加藤史訓 (2003) : 干潟などを中心とした自然共生型事業の展開, 海洋開発論文集, Vol.19, pp.123-125.
- 瀬戸内海研究会議(2007) : 瀬戸内海を里海に. 恒星社厚生閣.
- 古川恵太 (2007) : 沿岸域の環境の保全・再生・創出の目標と, その管理手法を取り巻く最近の状況. 沿岸域学会誌, Vol. 20, No. 1, pp.4-11.
- 古川恵太 (2008a) : 東京湾シンポジウム報告 (第1回~第6回 : 環境のランドデザインを目指して), 国土技術政策総合研究所資料, No.447, 23p.
- 古川恵太 (2008b) : 海辺の自然再生に向けたパネル展報告 (第1回, 第2回), 国土技術政策総合研究所資料, No.448, 10p.
- 古川恵太, 明田定満, 鈴木高二朗, 木村克俊, 五明美智男 (2012) : 特別セッション「閉鎖性水域における環境改善技術について」を終えて, 土木学会論文集 B3 (海洋開発), Vol.68, No.2, pp. I_1286-I_1290.
- 古川恵太, 岡田知也, 吉田潤, 上村了美, 梅山崇, 早川修 (2011a) : 東京湾シンポジウム報告 (第7回~第11回 : 協働の推進), 国土技術政策総合研究所資料, No.640, 307p.
- 古川 恵太, 岡田知也, 吉田潤, 上村了美, 梅山崇, 早川修 (2011b) : 海辺の自然再生に向けたパネル展報告 (第3回, 第4回, 第5回, 第6回), 国土技術政策総合研究所資料, No.639, 149p.
- 古川恵太, 小島治幸, 加藤史訓 (2007) : 特別セッション「自然共生型事業—順応的管理の実現に向けて—」を終えて, 海洋開発論文集, Vol.23, pp.57-62.
- 古川恵太, 清水隆夫 (2004) : 特別セッション「自然共生型事業 —社会的合意形成に向けて—」のまとめ, 海洋開発論文集, Vol.20, pp.69-71.

2.3 海の再生活動の効果を総合的に評価する実用的な手法の開発

2.3.1 港湾構造物の付着生物の特性把握

これまで各港湾域における付着生物の生息状況（多様度や群集）と環境条件（波浪や構造物の形状等の物理条件等）との関連性について調査・研究成果が蓄積されつつあるが、こうした個々の事例に着目するだけでなく、複数の海域における共通性や特異性を整理しておくことは、新たに事業をする場合の目標設定や事業の評価において不可欠な情報である。しかし、全国規模の調査としては、防波堤の藻場機能を整理した浅井ら（1997）、干潟等湿地の類型化を試みた国立環境研究所（2003）、フジツボの系統分布に着目した Yamaguchi (1973)、生物群集に着目した Asakura and Suzuki (1987)、Okuda ら(2004) などの報告は見られるものの、全国各地の港湾域を対象に調査・解析した例は少ない。

そこで、本研究では、日本全国の概況を把握するために、三大湾（東京湾、伊勢・三河湾、大阪湾）および地方の主要港湾域（苫小牧港、秋田港、新潟港、舞鶴港、洞海湾）を調査対象とし、1)全国の人工水際線における付着生物の現状を統一的な手法により把握し、2)様々な空間スケールにおける変異、勾配と局所的な環境要因との関係性について検討するため、各海域の付着生物種組成・群集構造・多様度指数の共通性と特異性について基礎的解析を実施すること、を目的として調査・検討を実施した。

(1) 方法

a) 現地調査

調査地点は各湾・各港の護岸や防波堤とし、東京湾(T-P01～15)、伊勢・三河湾(M-P01～15)、大阪湾(O-C05,O-P02～15)において 15 箇所ずつ、苫小牧港(H-R01)、秋田港(A-C03)、新潟港(N-C02)、舞鶴港(Mi-R01)、洞海湾(D-R01)においては代表的な場所を各 1 箇所ずつ設定した（図-2.3.1）。調査は 2009 年 12 月から 2010 年 2 月の間に 1 回行った。

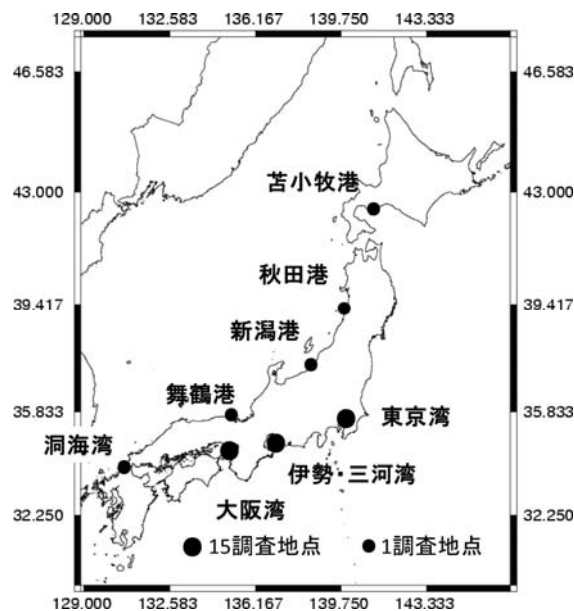


図-2.3.1 調査地点

各調査地点において、水深の上中下の 3 測点と同水深で 3 コドラート（1 コドラートあたり(33 cm×33 cm)）の合計 9 コドラートを調査対象とした。生物採集は、コドラートにサーバーネットをかぶせ、スクレイパーを用いて枠内の生物をすべてかきとり回収した。凹凸のある岸壁については、面積一定で形状の変更可能な治具を作成し、定量的に採取できるよう配慮した。

回収した生物は船上に引き上げて 1 mm 目のふるいにかけ、ふるい上に残ったものをエタノール固定し、実験室に持ち帰り、同定した。種ごとに個体数を計数し、湿重量を測定した。貝類やフジツボ類な

どの殻をもつ生物については、殻つきの状態で湿重量を測定した。

また、生物を採集した付近で多項目水質計により水深、塩分、水温、クロロフィル、濁度、DO 濃度を計測した。水深は潮汐観測資料等(気象庁, <http://www.data.kishou.go.jp/kaiyou/db/tide/genbo/index.php>)を用いて潮位補正を行い、測定高さの基準を平均水面とした。

b) 解析

すべての種について、コドラート毎の優占度 (P_i)、調査地点毎の優占度 (P_{i_st}) は式(2.3.1), (2.3.2)により計算した。

$$P_i(\%) = \left\{ \frac{\text{種 } i \text{ の個体数}}{\text{全種の総個体数}} \right\} \times 100 \quad (2.3.1)$$

$$P_{i_st}(\%) = \left\{ \frac{\text{種 } i \text{ の総個体数}}{\text{全種の総個体数}} \right\} \times 100 \quad (2.3.2)$$

また、最も高い優占度を示した種を第一優占種とした。

種の多様性を表す種数および多様度指数について、種数は、各海域に出現した種の総数と各調査地点に出現した種の平均値を求めた。多様度指数は Simpson 多様度指数 (Krebs, 1999) を用いることとし、コドラート毎の多様度指数 (D_q) および調査地点ごとの多様度指数 (D_{st}) を式(2.3.3), (2.3.4)により計算した。

$$D_q = 1 - \sum_{i=1}^S P_i^2 \quad (2.3.3)$$

$$D_{st} = 1 - \sum_{i=1}^S P_{i_st}^2 \quad (2.3.4)$$

ここに、 P_i はコドラートあたりの各種の優占度、 P_{i_st} は調査地点における各種の優占度、 S は全種数である。

上層・中層・下層における多様度は各層における 3 つのコドラート毎の多様度 D_q の平均値を用いて算出した。また、東京湾、伊勢・三河湾、大阪湾の各湾の多様度 (D_γ) については、調査地点レベルの多様度 (D_α) と調査地間の種組成の差すなわち調査地点間の多様度 (D_β) の和として式(2.3.5)により計算した (Lande, 1996 ; 総説として 宮下ら, 2003 ; 向井, 2003)。

$$D_\gamma = D_\alpha + D_\beta \quad (2.3.5)$$

ここに、 D_α は各湾内の D_{st} の平均値、 D_β は Bray-curtis 指数を用いて同湾内の各地点の総当たりで非類似度 (D_b) を計算し、その平均値を D_β とした。Bray-Curtis 指数 (D_b) は式(2.3.6)により計算される (小林, 1995)。

$$D_b = \frac{\sum_{i=1}^S |n_{Ai} - n_{Bi}|}{N_{Ai} + N_{Bi}} \quad (2.3.6)$$

ここに、 n_{Ai} は調査地点 A の i 番目の種の個体数、 N_A は調査地点 A の全個体数とし、添え字 B は調査

地点 B に関する同様の諸量である。

群集の類似性については、種組成の類似度と群集構造の類似度（出現頻度を加味した類似度）を比較するため、出現の有無データおよび個体数密度を用いて、それぞれで群平均法によるクラスター解析を行った。この結果をもとに、樹形図の最大の高さの 80% を目安とし、種組成の樹形図では分岐点の高さ 0.6 以上、群集構造では 0.8 以上の場合にグループ分けを行った。Simpson 多様度や Bray-Curtis 指数の計算、およびクラスター解析は、統計解析ソフト R のパッケージ *vegan* および *stats* を用いた。

(2) 結果

a) 東京湾

生物分布の特性

湾全体で出現したのは 159 種、調査地あたりの平均種数は 44.5 種で、他の調査海域に比べ最も出現種数が少なかった（表-2.3.1）。東京湾内ではムラサキイガイが顕著に見られ、T-P15（湊川河口）を除く 14 地点で出現し、そのうち 11 地点で第一優占種であった（表-2.3.2）。

表 - 2.3.1 出現種数

調査海域	東京湾	伊勢・三河湾	大阪湾	苫小牧港	秋田港	新潟港	舞鶴港	洞海湾
調査地点数	15	15	15	1	1	1	1	1
海域に出現した種数	159	185	264	112	65	118	100	114
調査地点あたりの平均種数	44.5	48.7	96.9	112	65	118	100	114

表 - 2.3.2 各地の優占種

東京湾			伊勢・三河湾			大阪湾		
調査地点	第一優占種	優占度(%)	調査地点	第一優占種	優占度(%)	調査地点	第一優占種	優占度(%)
T-P01	ムラサキイガイ	68.3	M-P01	ケガキ	17.2	O-G05	タテジマフジツボ	16.3
T-P02	ムラサキイガイ	77.3	M-P02	イソヨコエビ	40.8	O-P02	ヒバリガイモドキ	16.6
T-P03	イボニシ	34.7	M-P03	イワフジツボ	54.0	O-P03	カンザシゴカイ科	27.4
T-P04	ムラサキイガイ	91.2	M-P04	イワフジツボ	64.0	O-P04	ウズマキゴカイ科	13.8
T-P05	ムラサキイガイ	82.5	M-P05	ヨーロッパフジツボ	22.2	O-P05	チリハギガイ	10.1
T-P06	ムラサキイガイ	84.6	M-P06	ムラサキイガイ	34.6	O-P06	ムギガイ	17.0
T-P07	ムラサキイガイ	94.7	M-P07	コウロエンカワヒバリガイ	80.1	O-P07	チビクモヒトデ科	56.2
T-P08	チビクモヒトデ科	46.8	M-P08	モクズヨコエビ属	20.8	O-P08	ムラサキイガイ	43.4
T-P09	イワフジツボ	44.1	M-P09	イワフジツボ	55.0	O-P09	イソギンチャク目	13.8
T-P10	ムラサキイガイ	75.8	M-P10	ムラサキイガイ	31.2	O-P10	ムラサキイガイ	21.0
T-P11	ムラサキイガイ	40.5	M-P11	チビクモヒトデ科	14.5	O-P11	ムラサキイガイ	26.5
T-P12	ムラサキイガイ	53.4	M-P12	イワフジツボ	37.6	O-P12	イワフジツボ	22.5
T-P13	ムラサキイガイ	61.6	M-P13	イワフジツボ	41.4	O-P13	イワフジツボ	55.6
T-P14	ムラサキイガイ	47.8	M-P14	メリタヨコエビ属	43.0	O-P14	イワフジツボ	45.3
T-P15	イワフジツボ	53.1	M-P15	ヒメベンケイガニ	18.6	O-P15	サンカクフジツボ	24.6

多様度の空間分布

調査地点ごとの多様度 (D_{st}) は、T-P03（野島堤防）が最も高く（0.799）、T-P07 が最も低い値（0.103）を示した（図-2.3.2-a）。T-P07 から T-P01（観音崎）にかけての西側（神奈川県側）は、T-P03 を除いて、多様度が 0.5 以下と低い傾向にあった（図-2.3.2 a）。一方で、T-P11 から T-P15 の千葉県側は 0.6 以上と湾内では高い値であった。東京湾の D_{α} と D_{β} はそれぞれ、0.509、0.647 であり、伊勢・三河湾や大阪湾よりも低く、結果として D_{γ} も低い値であった（図-2.3.3）。上層・中層・下層と、それぞれの多様度を計算したところ、多様度が 0.2 以下だった T-P04 や T-P07 では、上層では 0.2 以下と低いが（図-2.3.2 b）、中層・下層につれて多様度は高くなる傾向がみられた（図-2.3.2 c, d）。

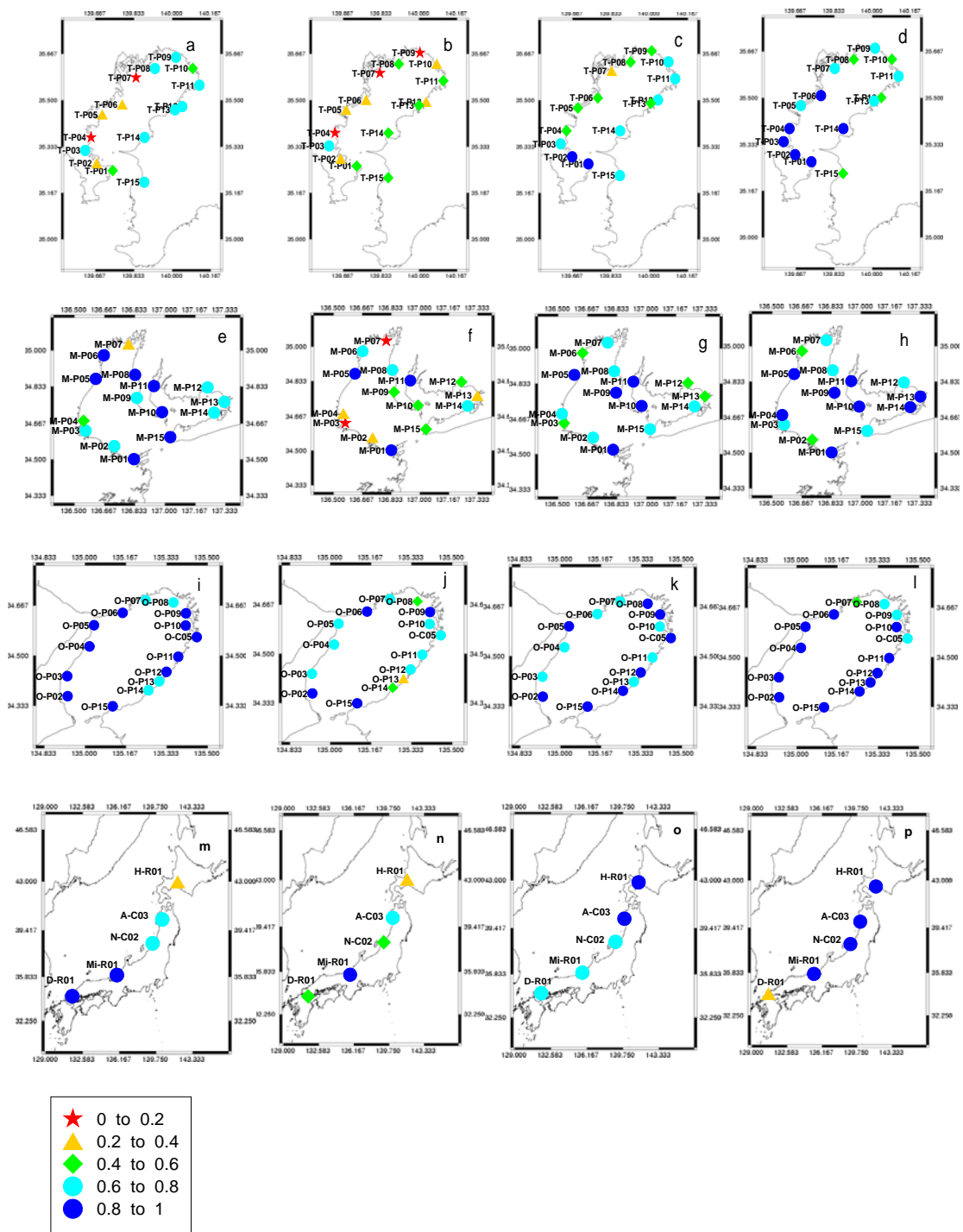


図-2.3.2 各海域における多様度の空間分布

(最上段：a, b, c, d：東京湾，最左列：a, e, i, m：調査地点の多様度，
 第2段：e, f, g, h：伊勢・三河湾，第2列：b, f, j, n：上層の多様度，
 第3段：i, j, k, l：大阪湾，第3列：c, g, k, o：中層の多様度，
 最下段：m, n, o, p：その他の港湾，最右列：d, h, l, p：下層の多様度)

群集の類似性

種組成の類似度は、東京湾の群集は3グループに分かれ、T-P03とT-P15は異なるグループとなり、その他がまとまって1グループを形成した。群集構造の類似度は、4グループに分かれ、T-P03、T-P09、T-P15がそれぞれ異なるグループを形成し、その他の12調査地点は類似の群集としてまとめられた。類似した12調査地点の群集は、ムラサキイガイが第一もしくは第二優占種となっていた(表-2.3.2)。T-P03はイボニシが第一優占種であったが優占率は低く(34.7%，表-2.3.2)，T-P09およびT-P15はイワフジツボが第一優占種となり(表-2.3.2)，さらにT-P15ではムラサキイガイが出現しないことが特徴的であった。T-P09に類似した群集は伊勢・三河湾や大阪湾にもみられた。また、種組成が類似していた群集の多くは、群集構造の類似度においても同グループに属していた(図-2.3.4 a, b)。

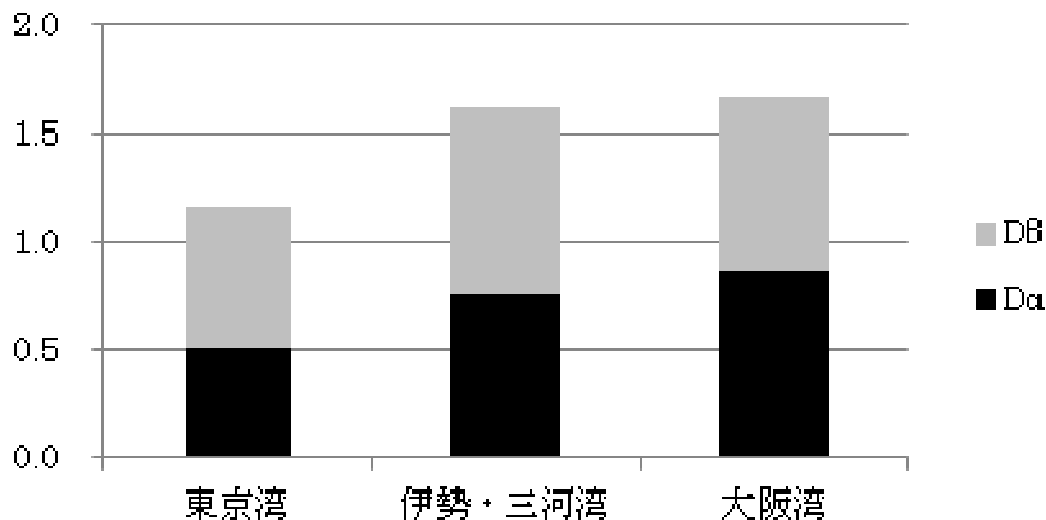


図-2.3.3 三大湾の α 多様度の平均値 (D_{α}) と β 多様度 (D_{β})

b) 伊勢・三河湾

生物分布の特性

湾全体で出現したのは185種、調査地点あたりの平均種数は48.7種で、東京湾よりやや多くの種が出現した(表-2.3.1)。湾内ではイワフジツボが8地点で出現し、最大平均個体数はM-P09の2304個体(33cm×33cm)で、湾内の5地点で第一優占種として出現した(表-2.3.2)。その他の第一優占種では、蔓脚類(フジツボの仲間)や端脚類(ヨコエビの仲間)など、甲殻類が多くみられた(表-2.3.2)。

多様度の空間分布

各調査地点の多様度(D_{st})は、M-P11(衣浦港防波堤)が最も高く(0.930)、最も低いのはM-P07(0.354)であった(図-2.3.2e)。M-P07では第一優占種コウロエンカワヒバリガイの優占度が80.1%と高い値であった(表-2.3.2)。多様度の高い場所や低い場所が空間的にばらつき、まとまりはみられなかった。 D_{α} と D_{β} はそれぞれ、0.763、0.852であり、 D_{α} は大阪湾よりもやや低いものの、 D_{β} は伊勢・三河湾の方が高い値であった(図-2.3.3)。上層、中層、下層の多様度は、M-P07では特に上層の多様度が低く、一方で多様度の高いM-P05では水深毎の変化はあまり見られなかった(図-2.3.2 f, g, h)。またM-P06では、中層と下層の方が多様度は低くなる傾向が見られた。

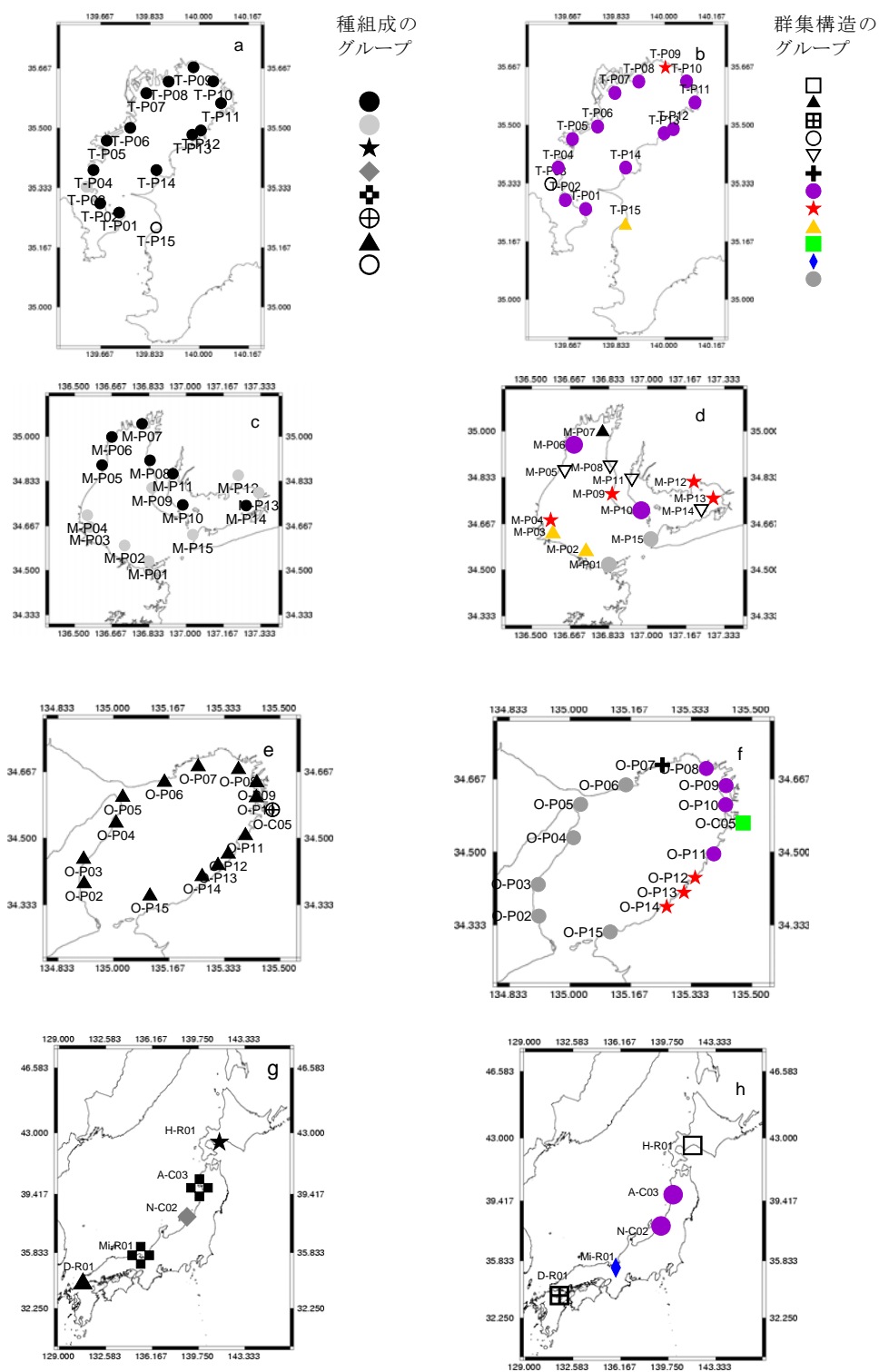


図-2.3.4 種組成の類似度と群集の類似度の空間分布
 (最上段：a, b：東京湾，
 第2段：c, d：伊勢・三河湾，
 第3段：e, f：大阪湾，
 左列：a, c, e, g：種組成の類似度，
 右列：b, d, f, h：群集組成の類似度
 最下段：g, h：その他の港湾)

群集の類似性

種組成の類似度は、伊勢湾奥 (M-P05~08)、知多半島の三河湾側 (M-P10 と M-P11) および M-P14 が同グループで、その他が 1 グループにまとまり、計 2 グループに分かれた。特に伊勢・三河湾の湾口から中央部に種組成の類似した空間的なまとまりがみられる (図-2.3.4 c)。また、群集構造の類似性は種組成より細分化して 6 グループに分けられ、M-P07 が単独のグループであった他は、湾口に近い M-P01 と M-P15 が同グループ、伊勢湾の M-P02 と M-P03 が同グループ、伊勢湾中部の M-P04、M-P09 および三河湾奥の M-P12、M-P13 が同グループ、M-P06 と M-P10 が同グループとなり、その他がまとまって 1 グループを形成した。M-P06 と M-P10 は東京湾でもみられたムラサキイガイ優占型の群集である。また、M-P04、M-P09、M-P12、M-P13 はイワフジツボが第一優占種となっており、M-P07 は先述のようにコウロエンカワヒバリガイが優占していることが特徴的であった。

c) 大阪湾

生物分布の特性

湾全体で出現したのは 264 種、調査地点あたりの平均種数は 96.9 種と東京湾、伊勢・三河湾に比べ多くの種が出現した (表-2.3.1)。第一優占種は主に蔓脚類や二枚貝類であったが、O-P03 ではカンザシゴカイ科の 1 種、O-P04 ではウズマキゴカイ科の 1 種が優占するなど、多毛類が第一優占種となる地点もあった (表-2.3.2)。O-P10 ではコウロエンカワヒバリガイの密度が高く、他の海域を含め、最も高い平均個体数で出現し (903.1 個体/(33 cm×33 cm))、湾内では合計 8 地点において生息が確認された。O-P07 ではチビクモヒトデ科の 1 種の密度が高く、他の海域も含めて最も高密度で出現していた。

多様度の空間分布

湾内の多様度 (D_{st}) は、O-P05 (岩屋港近く) が最も高く (0.953)、O-P07 (神戸港, 0.644) が最も低い値を示した (図-2.3.3 i)。O-P02 と O-P15 を含む湾口から O-P06 までの淡路島側と、O-P09 から O-P12 の大阪府側の多様度がいずれも 0.8 以上と高い値であった。 D_{α} と D_{β} はそれぞれ、0.861、0.797 であり、 D_{α} は東京湾および伊勢・三河湾よりも高く、 D_{β} は伊勢・三河湾とほぼ同じ値であった (図-2.3.3)。上層・中層・下層の多様度は、O-P07 では上層よりも下層の方が低い値であったが、O-P13 では上層の多様度が低く、水深が下がるにともない多様度が高くなる傾向が見られた (図-2.3.2 j, k, l)。

群集の類似性

種組成の類似度は、O-C05 が単独のグループであった他は、ひとつにまとまったグループを形成した。群集構造の類似性は、種組成より細分化して 5 グループに分かれ、O-C05 が単独のグループ、湾奥の O-P07 ~10 が同グループ、湾中央部の O-P11~14 が同グループ、淡路島側の O-P02~06 と本州の湾口部 O-P15 が同グループとなり、空間的なまとまりが見られた (図-2.3.4-f)。淡路島側と本州の湾口を含むグループは、多様度の高かった空間配置と一致した。O-C05 はタテジマフジツボが第一優占種であるが優占率は低く (16.3%、表-2.3.2)、多様度が 0.918 と高い値であることが特徴的であった。

d) 苫小牧港

苫小牧港に出現した種数は 112 種であり (表-2.3.1)、第一優占種ハナフジツボの平均個体数は 3722.6 個体/(33 cm×33 cm)、優占度は 81.8% であった (表-2.3.3)。多様度は、最も低い値 (0.327) を示していた (図-2.3.2 m)。苫小牧港においては出現した種数は多いが、第一優占種の優占度が高いため、多様度が低かったと考えられる。多様度を上層・中層・下層に分けたところ、上層の多様度が、中層・下層よりも低い傾向にあった (図-2.3.2 n, o, p)。種組成および群集構造では、類似する群集はなく、他の海域とは明確に異なる群集であった (図-2.3.4 g, h)。

表 - 2.3.3 5湾の第一優占種と優先度

調査地点	第一優占種	優占度(%)
苫小牧港	ハナフジツボ	81.8
秋田港	ムラサキイガイ	47.2
新潟港	ムラサキイガイ	56.5
舞鶴港	チャツボ	26.6
洞海湾	ミズヒキゴカイの1種	28.3

e) 秋田港

出現した種数は65種で(表-2.3.1), 第一優占種はムラサキイガイであり, 平均個体数は678.9個体/(33cm×33cm), 優占度は47.2%であった(表-2.3.3). 多様度は上層よりも中層・下層の方が高い傾向が見られた(図-2.3.2 n, o, p). 種組成では舞鶴港の群集と類似しており, 群集構造では東京湾に多い群集(ムラサキイガイ優占型群集)と同じグループに属していた(図-2.3.4 g, h).

f) 新潟港

出現した種数は118種で(表-2.3.1), 第一優占種ムラサキイガイの平均個体数は419.8個体/(33cm×33cm), 優占度は56.5%であった(表-2.3.3). 上層の多様度が低く, 水深が下がるにつれて高くなる傾向が見られた(図-2.3.2 n, o, p). 種組成では類似する群集はみられなかったが, 群集構造では, 秋田港と同様に東京湾に多い群集(ムラサキイガイ優占型群集)と同じグループに属していた(図-2.3.4 g, h).

g) 舞鶴港

出現した種数は100種で(表-2.3.1), 第一優占種チャツボの平均個体数は112.6個体/(33cm×33cm), 優占度は26.6%であった(表-2.3.3). チャツボは小型の巻貝であるが, これが第一優占種である場所はほかに見られなかった. 調査地点の多様度は三大湾を除いて最も高い値であった(0.896, 図-2.3.2 m). 種組成では秋田港の群集と類似していたが, 群集構造では類似する群集はなかった(図-2.3.4 g, h).

h) 洞海湾

出現した種数は114種で(表-2.3.1), 第一優占種ミズヒキゴカイの1種の平均個体数は1798.1個体/(33cm×33cm), 優占度は28.3%であった(表-2.3.3). また第一優占種ではないものの, コウロエンカワヒバリガイの平均個体数が高く(689.1個体/(33cm×33cm)), 全国的には大阪湾のO-P10について高い密度であった. 多様度は舞鶴港に次いで高い値であった(0.849, 図-2.3.2 m). 種組成では大阪湾の群集と類似していたが, 群集構造では類似する群集はなかった(図-2.3.4 g, h).

i) 各海域の比較

各海域の特色を比較すると以下ようになる. 調査地点あたりの種数は東京湾が最も少なく, 苫小牧港, 新潟港, 洞海湾がほぼ同数で多い種数であった. 東京湾のほとんどの調査地点と秋田港, 新潟港において, ムラサキイガイが第一優占種であったが, 伊勢・三河湾, 大阪湾, 苫小牧港, 舞鶴港, 洞海湾においては, ムラサキイガイの他にも, 他の二枚類や甲殻類, 多毛類などが第一優占種であった. 苫小牧港や舞鶴港の第一優占種は, 他の調査地点ではあまり出現しない種であった. 三大湾において, 多様度が最も低い調査地点はいずれも湾奥にあり, 東京湾ではムラサキイガイ, 伊勢・三河湾ではコウロエンカワヒバリガイ, 大阪湾ではチビクモヒトデ科の1種がそれぞれ著しく高い個体数で出現した.

全国的な多様度や種数の分布傾向として, 三大湾を除き, 他の主要な港湾域の多様度は, 緯度が上がるとともに多様度が下がる傾向(緯度勾配)がみられた(図-2.3.5)ものの, 種数については明確な傾向はみられなかった(図-2.3.6).

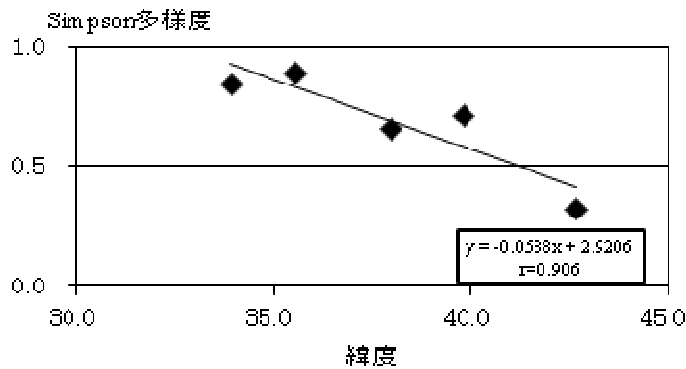


図-2.3.5 主要港湾における多様度と緯度

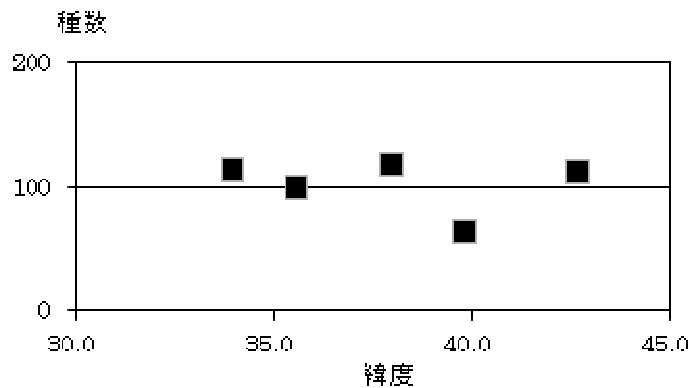


図-2.3.6 主要港湾（1港湾9コドラート中）に出現した種数と緯度

湾規模の多様度についてまとめると、東京湾および大阪湾では湾スケールの大規模な空間構造を持つという特徴が見られたが、伊勢・三河湾ではそうした大規模な構造は顕著ではなく湾内に複数の分布構造を持っていることが示唆された。また、湾全体としての多様度の構成について D_α (各地点の多様度)、 D_β (地点間の多様度) および D_γ (全体の多様度) を指標として比較すると、東京湾がいずれの多様度も低く、 D_γ は大阪湾と伊勢・三河湾ともほとんど同じ値であったが、 D_α は大阪湾、 D_β は伊勢・三河湾が高い値であった。この結果は、湾全体の多様度が同等であった場合でも、それが各地点の多様度が支配的なのか、あるいは調査地点間の多様度が支配的なのか、といった多様度の支配要因が湾によって異なることを示唆している。また、東京湾全体の多様度が比較的低いのは、各地点の多様度および地点間の多様度が共に他の2湾に比べて低いことによるものである。

局所的な多様度については、上層・中層・下層に分けた場合には、上層が高い場合や下層の方が高い場合など、調査地点ごとに異なる傾向が見られた。

種組成および群集構造については、類似度による解析により、種組成は7グループ（東京湾と伊勢・三河湾には共通する2つのグループ、大阪湾は洞海湾と共通するグループ、秋田港と舞鶴港が同グループ、新潟港と苫小牧港がそれぞれ単独のグループ）を形成した。群集構造は12グループ（東京湾のほとんどは類似した群集構造、それと同じグループの群集が伊勢・三河湾、大阪湾、秋田港および新潟港でも見られた）を形成した。東京湾では類似した種組成の群集は、群集構造でも同グループに属していたが、伊勢・三河湾では種組成が類似しても群集構造の異なる場所が多くみられ、多様度と同様に独立の

空間構造が見られた。また、大阪湾では、調査地点のほとんどが類似した種組成であったが、群集組成はより細かいグループに分かれ、類似した群集構造を持つ調査地点は空間的にまとまり、淡路島側と本州湾口部は1グループを形成し、多様度の高い調査地点の空間配置と一致していた。苫小牧港の種組成および群集組成は、他の海域においては類似する群集はなかった。

(3) まとめ

本研究では我が国の港湾構造物（防波堤や護岸）に生息する付着生物の分布状況を把握するため、北海道から九州にわたる多くの場所で付着生物調査を行った。本文で示したように、多様な環境要因と、それに対応する様々なスケールの種組成・群集構造・多様度が生じていることから、調査時期や調査方法が異なるデータの単純な比較は容易ではない。本研究では、ほぼ同時期に同じ手法による調査を行ったことによりこの問題点を克服した。特に、すべての調査地点でかきとりを行い、実験室に持ち帰った後に種を同定する方法を採用したことにより、目視による被度調査や写真撮影による調査では得られない小型甲殻類の個体数等も把握することができ、港湾域に生息する付着生物に関し、各海域の各地点および地点間の多様度、群集構造、局所的な種組成に関して以下のような基礎的知見が得られた。

- 広域の多様度や群集構造、種組成について三大湾（東京湾、伊勢・三河湾、大阪湾）においては湾規模の構造が見られることなど、共通性を持ち、その他の港湾（苫小牧港、秋田港、新潟港、舞鶴港、洞海湾）では全国規模の緯度勾配がある
- 3大湾の湾全体の多様度 D_{α} については、 D_{α} （各地点の多様度）と D_{β} （地点間の多様度）に分離して多様性の構造を解析し、湾毎の特性を比較したところ、三大湾のそれぞれで湾全体の多様度の発現様式が異なる

こうした知見は、生物共生型港湾構造物の企画、立案時の目標設定や施工、管理時の評価に資する情報としての活用が期待される。特に、対象とする生物の特定、その生物の個体数の増加を目指すのか、多様性の向上を目指すのかといった、目的の明確化や、それに対応する構造形式やモニタリング計画の立案に資する等、自然再生の施策を考える上で重要な基礎情報としての活用が期待される。

参考文献

- 秋田県（1990）：秋田港港湾計画資料
秋田県（2006）：秋田港港湾計画資料
浅井正・小笹博昭・村上和男（1997）：付着生物群集の着生に及ぼす物理的環境条件の影響，港湾技研資料，No. 880.
朝倉彰（2003）：生物地理 in 海洋ベントスの生態学，日本ベントス学会（編），東海大学出版会，pp. 303-359.
五十嵐学・古川恵太（2007）：東京湾沿岸域における付着生物および底生生物の空間分布特性，海洋開発論文集，Vol.23，pp.459-464.
海の自然再生ワーキンググループ（2007）：順応的管理による海辺の自然再生，環境配慮の標準化のための実践ハンドブック，国土交通省港湾局，294p.
梅山崇・古川恵太・岡田知也（2010）：生物生息に配慮したテラス型護岸の造成に際して考慮すべき視点，国土技術政策総合研究所資料，No. 586，55p.
運輸省港湾局（1999）：港湾の技術上の基準・同解説（下），日本港湾協会，595p. 655p. 664p.
運輸省港湾局（1999）：港湾の技術上の基準・同解説（上），日本港湾協会，88p.
岡田知也・古川恵太（2007）：テラス型干潟におけるタイドプールのベントス生息に対する役割，海洋開発論文集，Vol. 22，pp. 661-666.
海上保安庁潮汐推算：http://www1.kaiho.mlit.go.jp/KANKYO/TIDE/tide_pred/index.htm
海洋環境研究室（2006）：東京湾環境マップ，国土技術政策総合研究所沿岸海洋研究部海洋環境研究室
梶原武（1994）：横浜港における潮間滞付着生物の種類組成と現存量，付着生物研究 11，pp. 1-9.

- 梶原葉子・山口真知子 (1997) : 洞海湾における付着動物の出現特性と富栄養度の判定, 水環境学会誌, 20, pp. 185-192.
- 気象庁気象統計情報 : <http://www.jma.go.jp/jma/menu/report.html>
- 気象庁潮汐観測資料 : <http://www.data.kishou.go.jp/kaiyou/db/tide/genbo/index.php>
- 木村妙子・角田出・黒倉寿 (1995) : 淡水および汽水域に生息するイガイ科カワヒバリガイ属の塩分耐性と浸透圧調節, 日本海水学会誌, 49, pp. 148-152.
- 木村賢史・土屋隆夫・稲森悠平・奥富重幸・西村修・須藤隆一(1998) : 東京都内湾における付着動物の分布と水質浄化機能, 日本水環境学会誌, 21-1, 35-40.
- 久保田信 (2007) : 和歌山県田辺湾およびその周辺海域におけるムラサキイガイ個体群の激減とミドリイガイの増加, 南紀生物, 49 (1), pp. 81-82.
- 九州地方整備局気象・海象データ: <http://www-2.pa.qsr.mlit.go.jp/>
- 国土交通省港湾局環境整備計画室 : <http://www.mlit.go.jp/kowan/ecoport/index5-3-2.htm#K-02>
- 国立環境研究所(2003) : 干潟等湿地生態系の管理に関する国際共同研究, 国立環境研究所特別研究報告, SR-51-2003, 71 p.
- 小濱剛・門谷茂・梶原葉子・山田真知子 (2001) : ムラサキイガイおよびコウロエンカワヒバリガイの個体群動態と過栄養海域における環境との関係, 日本水産学会誌, 67 (4), pp. 664-671.
- 小林四郎 (1995) : 生物群集の多変量解析, 蒼樹書房, 東京, 194p.
- 古川恵太・Stephanie WALLACE (2006) : 生息場適性指標 (HSI)による沿岸域の統合的環境評価の試行, 海洋開発論文集, Vol.22, pp. 229-234.
- 古瀬浩史・風呂田利夫 (1985) : 東京湾奥部における潮間帯付着生物の分布生態, 付着生物研究, 5, pp. 1-6.
- 宮下直・野田隆史 (2003) : 群集生態学, 東京大学学術出版会, 東京, 187p.
- 三好真千・上月康則・山中亮一・山口暢洋・坂下広大・田中千裕・山口奈津美 (2009) : 港湾構造物壁面からのムラサキイガイ脱落と塩分・水温変化に関する研究, 土木学会論文集 B2, Vol. 65, No. 1,
- 向井宏 (2003) : 群集の構造と動態 in 海洋ベントスの生態学, 日本ベントス学会 (編), 東海大学出版会 pp. 195-243.
- 安田徹・日比野憲治 (1986) : 原子力発電所の温排水が生物に与える影響 - 内浦湾におけるムラサキイガイの生存と温排水 -, 付着生物研究, 6 (1), pp. 35-39. pp. 1246-1250.
- Craçiu C. (1980): Effect of high temperatures on the ultrastructure of Leydig cells in *Mytilus galloprovincialis*, Mar Biol, Vol.60, pp.73-79.
- His, E., Robert R., Dinet A. (1989): Combined effects of temperature and salinity on fed and starved larvae of the Mediterranean mussel *Mytilus galloprovincialis* and the Japanese oyster *Crassostrea gigas*, Mar Biol, Vol.100, pp.455-463.
- Krebs, C.J. (1999): Ecological Methodology., 2nd ed, Benjamin/Cummings, Canada, 624p.
- Kurihara T., Kosuge T., Takami H., Iseda M., Matsubara K. (2009): Evidence of a sharper decrease in a non-indigenous mussel *Mytilus galloprovincialis* than in indigenous bivalves from 1978 to 2006 on Japanese rocky shores. Biological Invasions. DOI: 10.1007/s10530-009-9673-3
- Lande R. (1996): Statistics and partitioning of species diversity, and similarity among multiple communities. Oikos, Vol.76, pp.5-13.
- Okuda, T., T. Noda, T., Yamamoto, N., Ito, M. Nakaoka (2004): Latitudinal gradient of species diversity: multiscale variability in rocky intertidal sessile assemblages along the Northwestern Pacific coast., Population Ecology, Vol.46, pp.159-170.
- Yamaguchi, T. (1973): On the Megabalanus in Japan. Publication of Seto Marine Biology Laboratory, Vol. 21, No. 2, pp. 115-140.
- Wilson, B. (1968): Survival and reproduction of the mussel *Xenostrobus securis* (Lam.) (Mollusca: Bivalvia: Mytilidae) in a Western Australian estuary. Journal of Natural History, Vol.2, No.3, pp.307-328

2.3.2 海の環境を総合的に評価する手法の開発

本研究では、内湾域から干潟を含む浅海域までの汽水域を対象に、そうした場を回遊する生物としてマハゼ (*Acanthogobius flavimanus*) をとりあげ、沿岸域の広域的な環境を包括的・横断的に評価する指標としての活用可能性について検討した。

(1) マハゼの特性

マハゼは我が国の内湾・汽水域の典型種であり、漁獲種として、また遊漁・釣りの対象魚として広く親しまれてきた(宮崎, 1940)。マハゼはその多くが1年魚であり、沿岸水深15 m以浅を生息域とし、内湾域と河口域を行き来する特性を持っている。その生活史は、春に深場(水深8 m~15 m)で発生し河口域へ遡上し、春から夏にかけて浅場砂泥域(水深0 m~3 m)で生活し、秋に成熟とともに徐々に深場へ移動し、冬に深場で産卵する(図-2.3.7)。また、マハゼは底生魚類として底質・ベントスへの強い選好性を持っており(宮崎, 1940; 道津ら, 1955; 星野ら, 1993)、底質の変化に敏感であること、また、貧酸素水塊の忌避(中瀬ら, 2010)や水温による昼夜の活動期の変化(宮崎, 1940)などの水質要因による行動形式が観察されている。

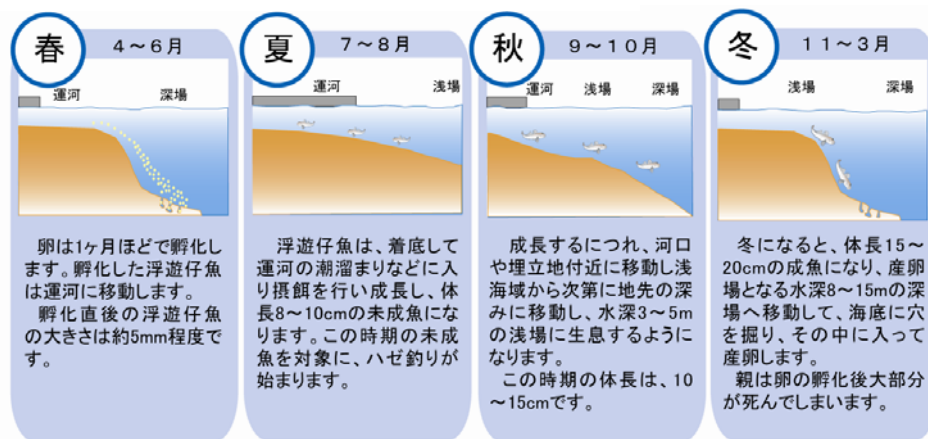


図-2.3.7 マハゼの生活史(国土技術政策総合研究所, 2008)

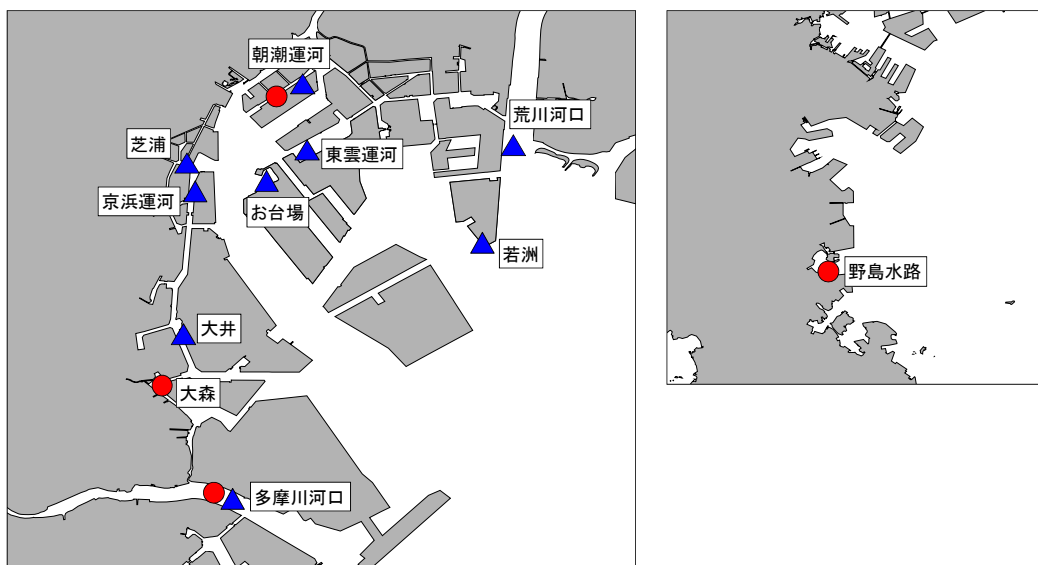


図-2.3.8 調査地点図(左; 東京湾奥部, 右; 神奈川県側)(●: 全長組成分布解析地点, ▲: 耳石解析地点)

(2) 耳石解析を用いた沿岸域の広域的な環境評価

a) 手法

2009年7月～10月にかけて採取された多摩川河口、大井ふ頭中央海浜公園（大井）、京浜運河、芝浦アイランド南護岸（芝浦）、お台場海浜公園（お台場）、東雲運河、朝潮運河、荒川河口、若洲海浜公園（若洲）の計9地点（図-2.3.8）の各地点5～10個体について、輪紋数、輪紋幅、耳石のSr、Ga含有量（EPMA法により3μm毎）を測定した（図-2.3.9）。耳石の輪紋の日周性（上村，2012）を用いて、採集日から輪紋数をさかのぼることでマハゼのふ化時期の推定を行った。また、海水と淡水を行き来する魚類は、高塩分下では耳石のSr/Ca（カルシウムに対するストロンチウム比）が高く、低塩分下では低い値を示すことが知られている（新井，2002）。つまり、深場で産卵し浅場へ移動して生活することは一般的に塩分が高い場所から低い場所へ移動したことになり、Sr/Caも高い値から低い値になることが推測される。その事を利用して輪紋幅、輪紋数から日齢ごとのSr/Ca値を抽出し塩分環境を推定した。

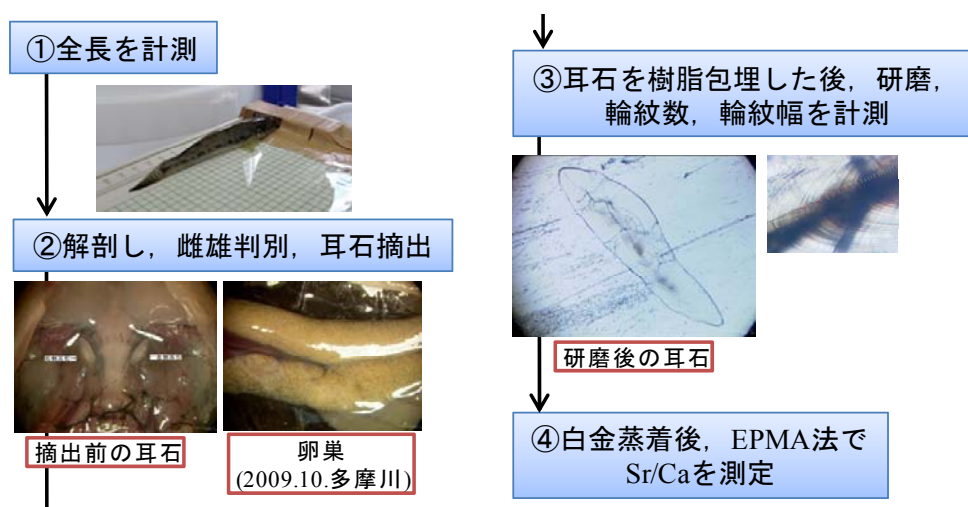


図-2.3.9 耳石解析の流れ

b) 結果

採集日と輪紋数から推定されたふ化時期を図-2.3.10に示す。全体では1月から2月にふ化した数が最も多く、次いで4月に再びピークが見られた。多摩川河口と朝潮運河について地点別にみると、多摩川河口のふ化時期は12月から2月にふ化した個体と5月から6月にふ化した個体があったのに対して、朝潮運河は3月から5月にふ化した個体のみだった。

個体毎にふ化直後を0日齢とし、その後捕獲されるまでの日齢毎のSr/Caの値の変動を、目視によって比較したところ、パターン1：高塩分→低塩分（定説）、パターン2：低塩分→高塩分、パターン3：一定の3パターンとその他があった（図-2.3.11）。

図-2.3.12に、その変動パターンを採取地点別に示す。パターン別にみると、マハゼ生活史の定説であるパターン1は多摩川河口、大井、芝浦、荒川河口、若洲では各地点の4割から6割を占めていたが、朝潮運河は2割しか存在しておらず、京浜運河、お台場、東雲運河は存在していなかった。また定説と真逆であるパターン2は多摩川河口以外の地点で存在していて、京浜運河は6割、お台場、東雲運河、朝潮運河、荒川河口、若洲では4割、大井、芝浦では2割を占めていた。さらにどちらにも属さないパターン3は若洲以外の地点で存在していて、お台場が6割、東雲運河が4割、多摩川河口、大井、京浜運河、芝浦、朝潮運河、荒川河口が2割から3割を占めていた。

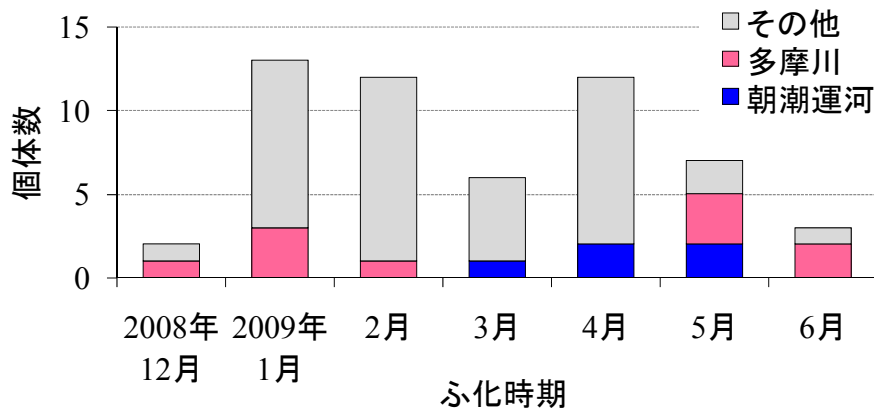


図-2.3.10 輪紋数から推定されたふ化時期

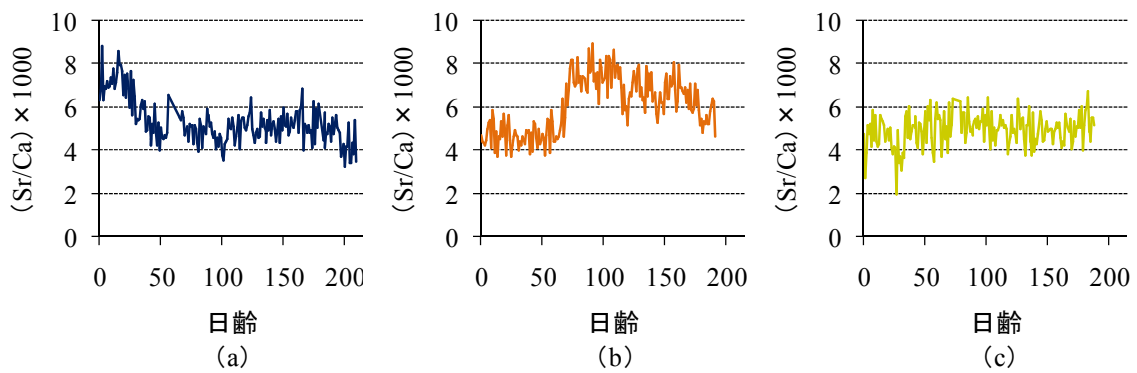


図-2.3.11 日齢に伴う耳石の Sr/Ca の変動パターン. (a) パターン1: 高塩分→低塩分, (b) パターン2: 低塩分→高塩分, (c) パターン3: 一定

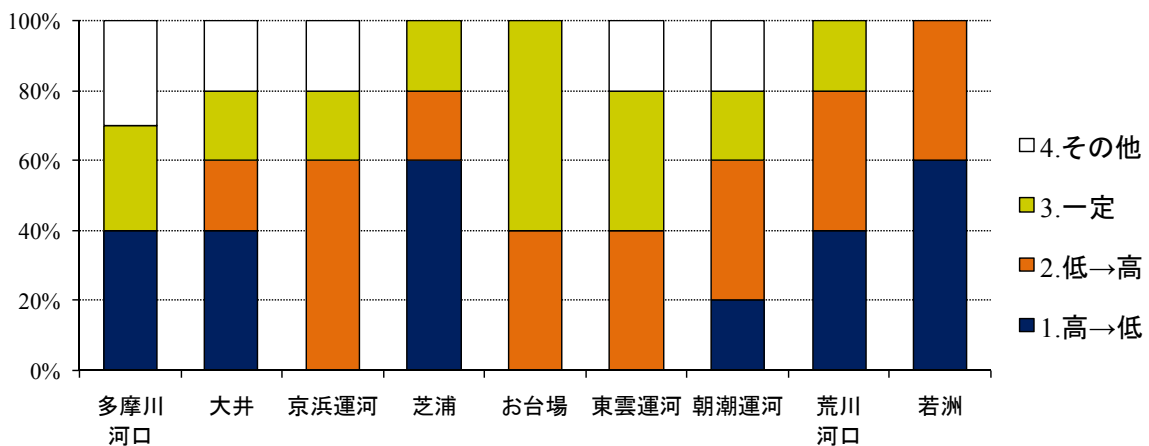


図-2.3.12 採取地点別の変動パターンの割合

地点別にみると大井, 芝浦, 朝潮運河, 荒川河口はパターン1からパターン3の全てが混在していた。ただし, 朝潮運河では, パターン1の割合は20%と小さかった。京浜運河, お台場, 東雲運河はパターン2とパターン3が混在していた。多摩川河口はパターン1とパターン3の個体が混在しており, 若洲はパターン1とパターン2が混在していた。

c) 考察

耳石の変動パターンには大きく2つのグループがあった。定説の行動パターンが主体である（パターン1が40%以上）多摩川河口、大井、荒川河口、若洲と定説のパターンがほとんどない（パターンが20%以下）京浜運河、お台場、東雲運河、朝潮運河の運河域のグループである。（ただし芝浦は例外的であった。）運河域のグループにおいて、パターン1が少ないことは、運河域のマハゼは本来の生活史に沿う移動があまりできていないことを示す。この要因は、11月まで続く貧酸素水塊の影響（岡田、古川、2010；岡田、2012）や周辺の深場がヘドロであり産卵場として利用できないことが容易に考えられる。逆に、多摩川河口、大井、荒川河口および若洲のようにパターン1が存在する水域は、周辺に産卵場として機能し得る深場が存在し、その深場からの移動が保たれていることを示す。

このように内湾域から河口域までを生息場とするマハゼの耳石解析は、生態系ネットワークの評価といった沿岸域の広域的な環境を表現できる指標として利用できる可能性がある。

(3) 全長組成を用いた生態系ネットワークに関する検討

a) 手法

マハゼを2009年から2012年にかけて東京湾の東京湾奥部ならびに神奈川県側において採取した（図-2.3.8）。採取方法は、各調査時期のマハゼの生息場所に応じて、釣りや投網、刺網等の漁具を利用して採取を行い、採取された全個体の全長計測をおこなった。

採取されたマハゼの個体データとして、全長と重さの計測を行った。全長（Total Length）は計測用シートやノギスを用いて1mm単位で、重さについては湿重量をはかりを用いて0.1g単位で計測することを基本とした（図-2.3.13）。尚、全長とは体の前端から尾鰭の後端までの長さのことである。



図-2.3.13 全長計測（計測用シート）（左）と湿重量計測（右）

観測データをもとに得られた全長組成分布は、11月～8月までの各ふ化月群の全長頻度分布が混合した分布となる。生物の年齢別サイズや個体数等を知る方法としてコホート解析がよく使われ、一般的に体長等の度数分布を正規分布に分解する手法が用いられている。本研究では条件設定と操作が容易な表計算ソフトのMS-Excel（(株)マイクロソフト社）のSolverによる最小二乗法（相澤ら、1999）を採用し、年齢をふ化群月、体長を全長に置き換えて計算を行った。

b) 結果

図-2.3.14は延べ112地点から採取したマハゼの全長組成分布に対して、横軸に採取月、縦軸にその時の分散値をプロットした分散時系列図である。多摩川河口の2009年7月、10月、11月、野島水路の2011年7月、9月、10月、11月、朝潮運河の2011年9月、10月、11月、大森の2012年4月、5月、6月、8月、9月、10月については凡例を区別し、時系列の変化を検討した。また、各場所・各時期のふ化群組成図を図-2.3.15に示した。

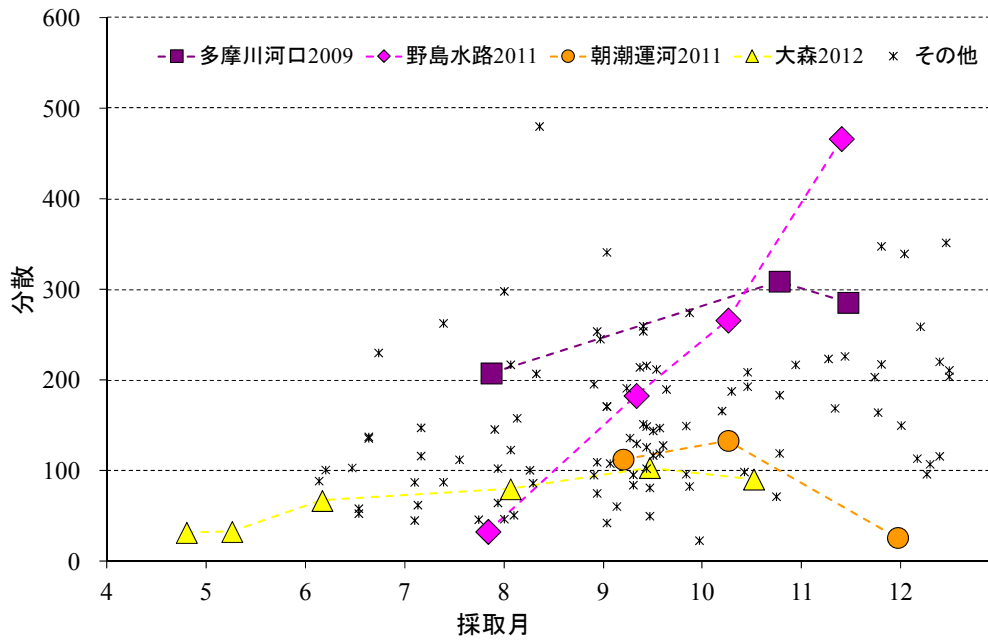


図-2.3.14 分散時系列図

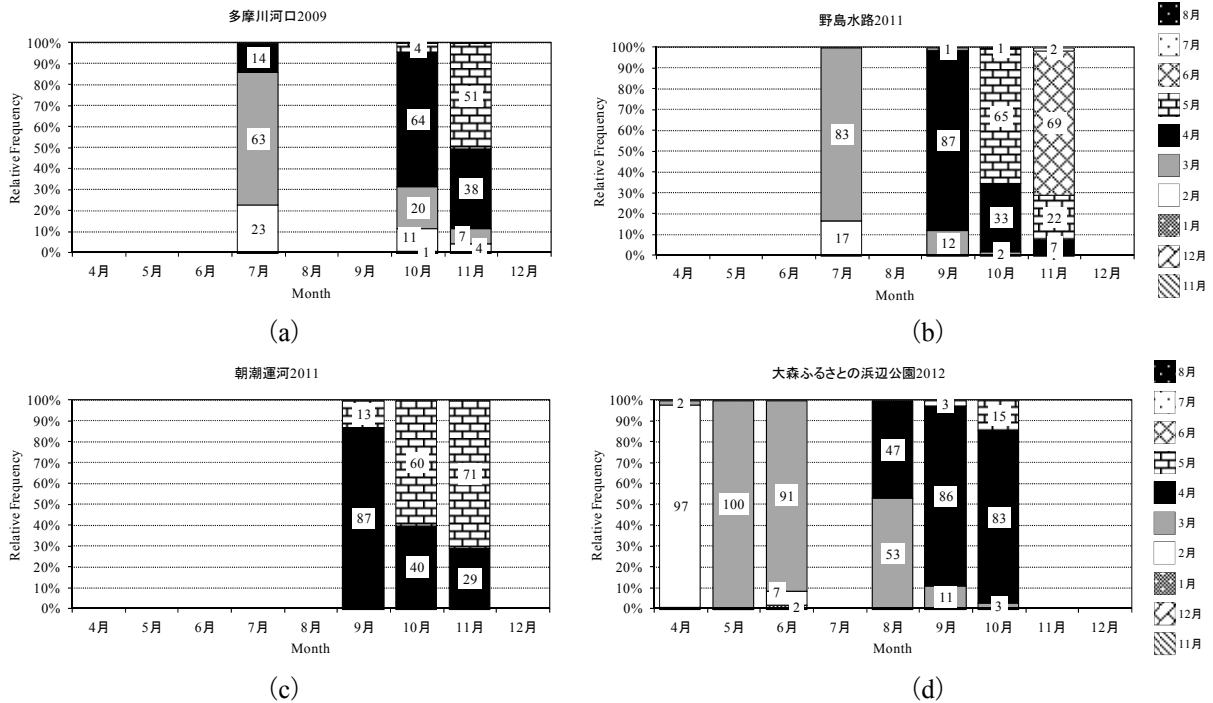


図-2.3.15 ふ化群組成図. (a), 多摩川河口 2009 (b), 野島水路 2011 (c), 朝潮運河 2011 (d) 大森 2012

図-2.3.14の分散時系列図においては分散値の分布幅は、採取月が6月までは約50~230であったが、採取月が11月-12月では約100~470までとその幅は大きくなっていった。ここで、各採取月に対する最大の分散値を最大分散値とすると最大分散値は採取時期が遅くなるに従って直線的に増加していた。多摩川河口や野島水路は分散値が時間の変化とともに増加していた。一方、朝潮運河や大森は時間の変化とともに分散値が増加せず横ばいであった。

図-2.3.15の4地点におけるふ化群組成図より、ふ化群混合率1%以下を除外して検討を行った。

多摩川河口の7月の集団には2~4月の3ヶ月分のふ化群、10月と11月の集団には2~5月の4ヶ月分のふ化群が混合しており、時間の経過とともにふ化群数が増加していた。また、全体の過半数を占めていたふ化群月が7月の集団は3月ふ化群、10月の集団は4月ふ化群、11月の集団は5月ふ化群と時間の経過とともに入れ替わっていた。

野島水路の7月の集団には2月と3月の2ヶ月分のふ化群、9月の集団には3月と4月の2ヶ月分のふ化群、10月の集団には3~5月の3ヶ月分のふ化群、11月の集団には4~7月の4ヶ月分のふ化群が混合しており、多摩川河口と同様に時間の経過とともにふ化群数が増加していた。また、全体の過半数を占めていたふ化群月が7月の集団は3月ふ化群、9月の集団は4月ふ化群、10月の集団は5月ふ化群、11月の集団は6月ふ化群とこれも多摩川河口と同様に時間の経過とともに入れ替わっていた。

朝潮運河は9月、10月、11月全ての時期の集団において、4月と5月の2ヶ月分のふ化群が全長組成を構成しており、時間の経過に伴う変化はなかった。また、全体の過半数を占めていたふ化群月が9月の集団は4月ふ化群、10月と11月の集団は5月ふ化群であり、時間の経過に伴う入れ替わりは顕著ではなかった。

また、大森の4月の集団には2月と3月の2ヶ月分のふ化群、5月の集団には3月の1ヶ月分のふ化群、6月の集団には1~3月の3ヶ月分のふ化群、8月の集団には3月と4月の2ヶ月分のふ化群、9月および10月の集団には3~5月の3ヶ月分のふ化群のふ化群が混合しており、時間の経過に伴う顕著な増加は見られなかった。また、全体の過半数を占めていたふ化群月が4月の集団は2月ふ化群、5月と6月と8月の集団は3月ふ化群、9月と10月の集団は4月ふ化群であり、2~3ヶ月に1回程度の入れ替わりであった。

以上の結果より、多摩川河口や野島水路では顕著にふ化群の混合数が変動していたが、朝潮運河ではふ化群数の変動がなくその数も少なかった。大森については朝潮運河よりもふ化群数が多い時期があったが、ふ化群の混合数の変化は多摩川や野島水路ほど顕著ではなかった。

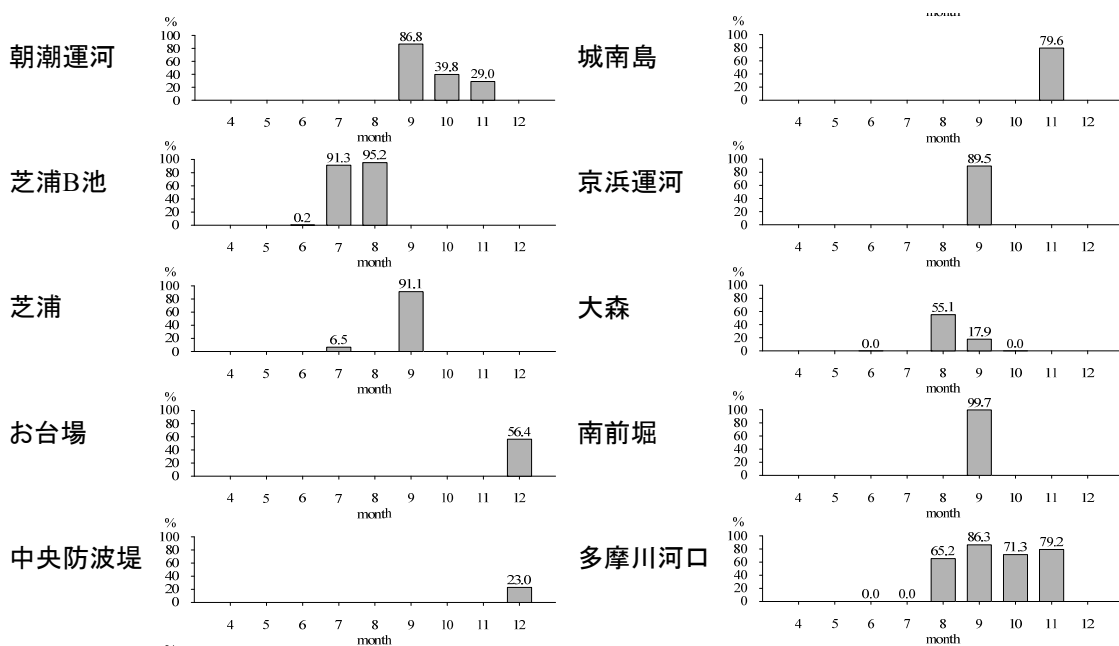


図-2.3.16 ふ化群出現頻度 (2011年4月ふ化群)

ある時期にふ化した群が、各場所・各時期にどれくらい出現するのかを推定するため、2009年～2012年の全長組成データから、2月～5月のふ化群を推定・抽出し、それらの出現頻度を求めた。図-2.3.16はその中でも多地点かつ多くの時期においてデータが得られた2011年の4月にふ化した群を抽出し、その出現頻度を場所毎・月毎に整理した「ふ化群出現頻度」の一例であり、2009年～2012年の2月～5月の同一のふ化群を抽出したふ化群出現頻度を求めた。

2011年9月の集団における4月ふ化群の割合は、朝潮運河は86.8%、芝浦は91.3%、京浜運河は89.5%、南前堀は99.7%、多摩川河口は86.3%と高かったのに対して、大森は17.9%と他の地点に比べて小さかった。また、朝潮運河は9月→10月→11月にかけて86.8%→39.8%→29.0%と減少していた。同様に大森も8月→9月→10月にかけて、55.1%→17.9%→0.0%と減少していたが、多摩川河口は8月→9月→10月→11月にかけて、65.2%→86.3%→71.3%→79.2%と一定であった。このように同一のふ化群でも場所によって出現の時期と頻度が違っている様子が示された。

c) 考察

多摩川河口や野島水路では、全体長組成分布の分散値は時間に伴い増加していた。これは、これらの場は、新規ふ化群が複数時期に加入してくる場であり、かつ成長した群が他の水域に移動しない場であると考えられる。マハゼは一般的には、成長に伴って生活の場を、浅場から深場に変える(図-2.3.7)。成長した群がその場に居続けることは、この場は、マハゼの成魚にとって十分な深さをもつ場があることを示す。また、稚子魚がその場で成長することができるということは、稚子魚生活に適した浅場があることを示している。これらのことから、これらの場は、成魚の生活に適した深場から稚子魚の成長に適した浅場までが複合的に組み合わせさせた地形的条件の場であることが推測される。一方、朝潮運河や大森については時間の変化と共にふ化群の混合数も常に少数であったことから分散値も増加しなかった。これは、マハゼにとってごく限定的な期間にしか利用できない場であることを示す。このことから、これらの場は、比較的単調な生活環境の場であることが推測される。

図-2.3.17は2011年4月ふ化群を対象に空間的に示したものである。4月ふ化群の生息場所を線で繋ぐと、図中の点線矢印となった。また、その深場の移動の先は、過去のマハゼの産卵場調査(国土技術政策総合研究所, 2009; 国土技術政策総合研究所, 2010)で産卵生息孔が見つかった地点と一致していた。この浅場から深場への移動行動および移動のタイミングは、図-2.3.7に示すマハゼの生活史とほぼ一致していた。したがって、この4月ふ化群の生息場所を繋いだ線は、マハゼの生活史に伴う移動を捉えていると考えることができ、ふ化群の出現頻度を月毎に広範囲に把握することによって、移動経路・範囲を推測できる可能性があると考えられる。

(4) 広域的なマハゼの成長と DO 空間分布

a) 手法

2012年7月～9月にかけて、東京湾全体のマハゼの分布データを集めるためにマハゼの棲み処調査を実施した(図-2.3.18)。調査方法は前述した市民調査の方法を用い、場所毎の釣果および全長のデータを収集した。

b) 結果

マハゼの棲み処調査で得られた結果について、東京湾を大きく7地点(盤洲周辺と小糸川は1つのエリアとした)に分け、7月、8月、9月の平均全長についてまとめた(表-2.3.4)。その結果、7月～9月の調査期間において8,642個体の情報が報告され、その内3,223個体の全長計測が報告された。平均全長は110mmであった。月別に見ると、7月調査分は1,384個体中456個体の全長計測データが集まり、平均全長は91mmであった。8月調査分は1,966個体中1,040個体の全長計測データが集まり、平均全長は101mmであった。また、9月調査分は5,292個体中1,727個体の全長計測データが集まり、平均全長は120mmであった。

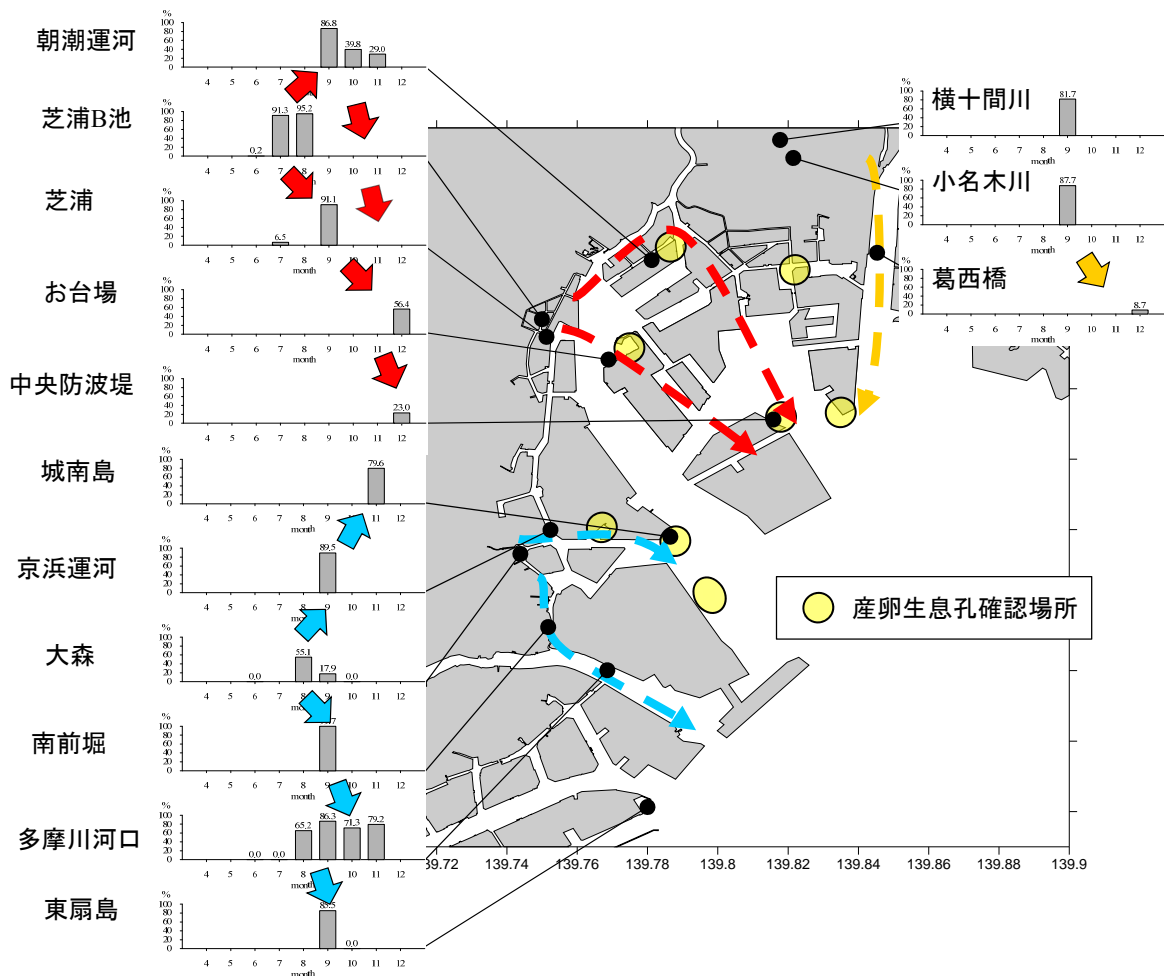


図-2.3.17 ふ化群出現頻度（2011年4月ふ化群）の空間分布

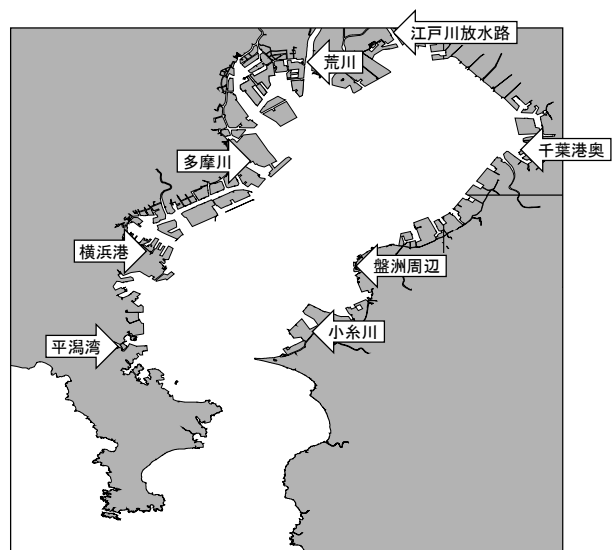


図-2.3.18 マハゼの棲み処調査地点

表-2.3.4 マハゼの棲み処調査結果

エリア	平潟湾			横浜港			多摩川		
計測月	7月	8月	9月	7月	8月	9月	7月	8月	9月
全個体数	25	81	12	-	10	52	5	-	30
計測分個体数	25	80	12	-	10	52	5	-	30
平均全長(mm)	77	85	116	-	103	122	76	-	114

エリア	荒川			江戸川放水路			千葉港奥		
計測月	7月	8月	9月	7月	8月	9月	7月	8月	9月
全個体数	100	387	3,282	925	666	469	-	54	30
計測分個体数	35	277	810	62	434	376	-	54	30
平均全長(mm)	90	105	131	99	105	112	-	109	127

エリア	盤洲周辺・小糸川			その他		
計測月	7月	8月	9月	7月	8月	9月
全個体数	250	310	72	79	458	1,345
計測分個体数	250	30	72	79	155	345
平均全長(mm)	87	94	115	-	-	-

	全体			総計
計測月	7月	8月	9月	
全個体数	1,384	1,966	5,292	8,642
計測分個体数	456	1,040	1,727	3,223
平均全長(mm)	91	101	120	110
平均釣果時速(1人1時間あたり)	20.3	13.6	25.0	20.1

地点別に全長の変化を見てみると、江戸川放水路と盤洲周辺・小糸川については大きさの変化が少なく、7月が87～99 mm、8月が94～105 mm、9月が112～115 mmであった。平潟湾と多摩川は、成長は良いが全長が小さく、7月が76～77 mm、8月が85 mm、9月が114～116 mmであった。横浜港と荒川、千葉港奥は成長が良く、全長も大きく、7月が90 mm、8月が103～109 mm、9月が122～131 mmであった。

詳細な調査結果については、港湾環境情報（2012，国土技術政策総合研究所，<http://www.meic.go.jp/mahaze/>）において公開されている。

また、各釣果実績時間より1人1時間あたりの平均個体数を算出した結果、7月は20.3個体、8月は13.6個体、9月は25.0個体で、全体では20.1個体であった。

c) 考察

マハゼの成長と底層 DO の関係を考察するため、同じ時期に行われた東京湾水質一斉調査（2012年8月）の底層 DO の平面分布図にマハゼの成長結果を示した（図-2.3.19）。9月の全長が本調査の7か所の平均よりも大きかった荒川、千葉港奥の周辺の海域の DO 濃度は、4 mg/l 以下で貧酸素化していた。横浜のマハゼの全長も平均よりも大きかったが、図-2.3.19 では DO 濃度は4 mg/l 以下になっていなかった。これは、横浜港内に調査地点がなかったため、外挿の結果として横浜港内の DO 濃度は比較的高濃度になっていた。2011年の東京湾水質一斉調査の DO 濃度の平面分布図（図-2.3.20）が示すように、通常、夏期の横浜港は貧酸素化状態である。また、マハゼ調査時における調査地点の前面水域の DO 濃度は、2.7 mg/l（8月）、0.3 mg/l（9月）と貧酸素状態だった。これらから、マハゼ調査時において、横浜港の調査地点の前面水域に加えて周辺の海域の DO 濃度も貧酸素化していたと推測できる。一方、9月の全長が平均よりも小さかった平潟湾、多摩川、江戸川放水路、盤洲周辺・小糸川の周辺の海域の DO 濃度は4 mg/l 以上で貧酸素化していなかった。

図-2.3.7で示すように、マハゼは9月頃から成長に伴い深場に徐々に移動し始めることを考慮すると、周辺海域が貧酸素化している生息場では、成長に伴い周辺の深場に移動したくても、貧酸素水塊の影響により移動を妨げられていると考えられる。このことから、9月以降に大型のマハゼが生息している浅

場の周辺海域は貧酸素化していると推測できる。このように、釣りによって広域的に得られたマハゼの全長データは、周辺水域の貧酸素水塊の状況を示す環境指標として利用できる可能性があると考えられる。

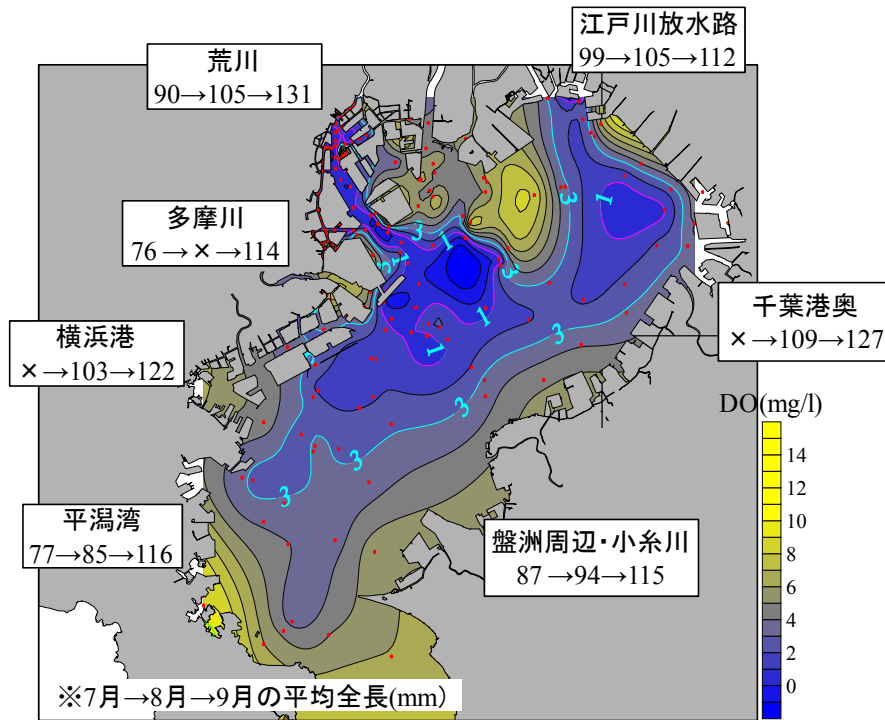


図-2.3.19 マハゼの成長と DO 濃度（2012 年 8 月）の空間分布図

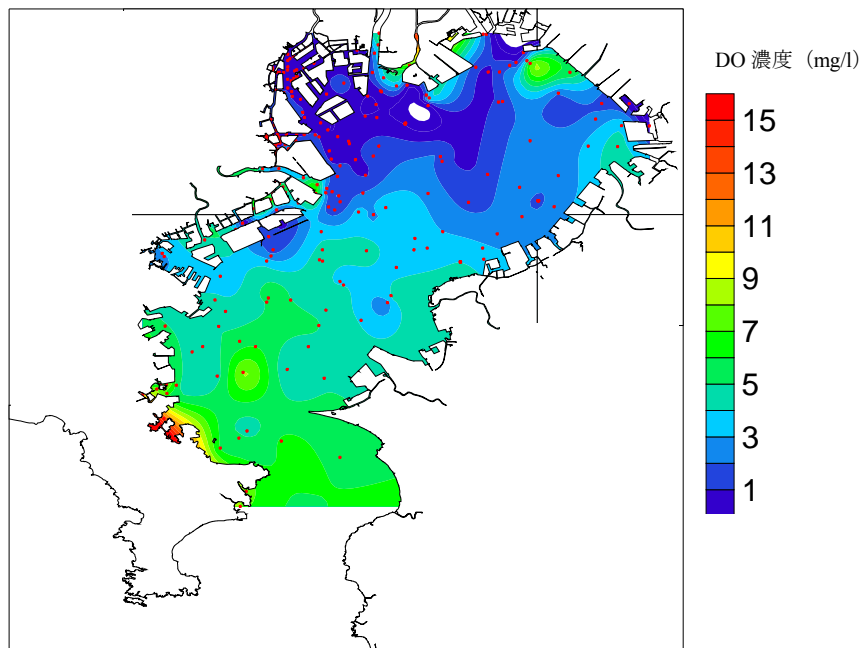


図-2.3.20 DO 濃度の空間分布（2011 年 8 月）

(5) まとめ

本研究により、マハゼの耳石解析および全長計測を用いた解析手法は、沿岸域の生態系ネットワークの広さや強さの評価といった沿岸域の広域的な環境を表現できる指標として利用できる可能性があることが示された。

参考文献

- 新井崇臣 (2002) : 魚類の回遊履歴 : 解析手法の現状と課題, 魚類学雑誌 49, pp.1-23
- 相澤康・滝口直之 (1999) : MS-Excelを用いたサイズ度数分布から年齢組成を推定する方法の検討, 水産海洋研究, 63(4), pp.205-214.
- 岡田知也, 古川恵太 (2010) : 運河部の貧酸素水塊に及ぼす内湾部の貧酸素水塊の影響, 海洋開発論文集, Vol.26, pp.663-668.
- 岡田知也 (2012) : 東京湾の海辺の自然再生に向けた取り組み, 公益法人日本水環境学会, 水環境学会誌 第35巻第5号, pp.151-154.
- 上村了美 (2012) : マハゼの耳石が語ること, 海洋調査協会報, No.107, pp.15-19.
- 国土技術政策総合研究所 (2009) : 平成21年度冬季アピールポイント環境調査業務報告書
- 国土技術政策総合研究所 (2010) : 平成23年度海洋指標生物調査業務報告書
- 国土技術政策総合研究所 (2012) : 港湾環境情報, <http://www.meic.go.jp/mahaze/>

3. おわりに

本研究の成果は、海域の環境に関係する横断的な組織・分野をまたがった対応策・適応策の検討、実施に向けた行動計画の策定に活用することが可能である。利用と保全のバランスを持った海域の Wise Use の推進、生物多様性の向上を通して、生態系サービスを得ることにより、地域経済の活性化に資することが期待される。

第二期の再生行動計画が H25 年から開始した東京湾、再生行動計画が H26 年に終了する大阪湾、H29 年に終了する伊勢湾および広島湾に対して、本プロジェクトによって得られた市民調査方法、指標、評価手法等に関しては、積極的な技術支援を行い、海の再生プロジェクトのさらなる推進を図っていききたいと考えている。また、本研究で得られた環境データの積極的活用や市民参加型イベントが有効に活用されるよう、国・地方自治体等の行政機関、民間企業、一般市民、大学と連携しながら取り組んでいきたいと考えている。

謝辞

本研究を進めるにあたり、各種調査・検討に多くの方々のご協力、議論が不可欠でした。1.3節で列挙した機関、組織の方々とともに、調査にご協力いただいた関係各位に深く感謝の意を表します。特に(財)東京水産振興会渥美雅也氏、東京湾遊漁船業協同組合飯島正宏氏、日本ミクニヤ(株)市村康氏、認定NPO法人海塾榎本茂氏、(株)釣り情報社沖籾武彦氏、日本エヌ・ユー・エス(株)勝山一郎氏、東海大学木村賢史教授、NPO海辺つくり研究会木村尚氏、神奈川県水産技術センター工藤孝浩氏・秋元清治氏、東京都島しょ農林水産技術センター小泉正行氏、(独)水産技術センター中央水産研究所児玉真史博士、NPO海をつくる会坂本昭夫氏、鹿島建設(株)柵瀬信夫博士、東京海洋大学佐々木剛教授、(株)つり人社鈴木康友氏、(株)海洋リサーチ高橋実氏、東京大学多部田茂教授、東京湾漁業研究所鳥羽光晴博士、五洋建設(株)中瀬浩太氏、新日本環境調査(株)中村義治博士、(株)東京久栄森田健二博士、ハマの海を想う会吉野生也氏(関係者氏名を50音順に紹介)などとは、沿岸域の統合的管理について、また関連の調査について有益なご指導、ご助言を賜りました。記して心からのお礼を申し上げます。

国土技術政策総合研究所プロジェクト研究報告

PROJECT RESEARCH REPORT of N I L I M

No. 46 August 2014

編集・発行 © 国土技術政策総合研究所

本資料の転載・複写の問い合わせは

〒239-0826神奈川県横須賀市長瀬3-1-1

国土技術政策総合研究所 管理調整部企画調整課