

# 海洋政策研究

第6号 2008年

海洋政策研究財団



各研究は、競艇交付金による日本財団の助成金を受けて実施したものである。ここに  
関係各位に対し深謝申し上げます。

These projects were carried out under the patronage of The Nippon Foundation from the  
proceeds of motorboat racing. We would like to thank all those who made this possible.

***Ocean Policy Studies***

No.6 (November 2008)

Ocean Policy Research Foundation  
Kaiyo Senpaku Bldg.,  
1-15-16 Toranomon, Minato-ku, Tokyo 105-0001 Japan  
Phone: +81-3-3502-1828  
Facsimile: +81-3-3502-2033  
E-mail: [info@sof.or.jp](mailto:info@sof.or.jp)  
URL: <http://www.sof.or.jp>

Copyright

Ocean Policy Research Foundation

All rights reserved

No part of this publication may be used or reproduced in any manner whatever without  
written permission except in the case of brief quotations embodied in critical articles and  
reviews.

ISSN 1880-0017

## アワビ陸上養殖システムの開発

### ー船用冷凍コンテナを利用したアワビ陸上養殖システムー

菅原 一 美\*

わが国の海産物養殖業は内湾水域を利用した養殖が主流であったが、水域の水質悪化、赤潮などの発生により、現在は沖合養殖が比率としては増加の一途を辿っている。しかし、内水、沖合養殖とも養殖魚の排出物や残餌、薬剤散布がもたらす海洋環境汚染や設備費、管理費などのコスト増加により採算が悪化し、養殖業は昭和 60 年をピークとして以降年々漸減している。

養殖は、海上であれ陸上であれ自然環境に何らかの悪影響をもらさない状況下で行なう必要がある。そのことを念頭に本研究では、環境への負荷を最小限に留め得る可能性のある海産物陸上養殖技術に着目し、平成 9 年 8 月に陸上養殖の先進国の一つである欧州を中心に養殖技術調査<sup>1)</sup>を行い、先ず、その実現性、採算性などについて調査を実施した。

その後、平成 10 年度には、産官学が一体となった「マリノフォーラム 21」が陸上養殖技術について研究を行い、技術的にはほとんど問題ないが、低迷する魚価、特に初期投資、ランニングコストの面で、陸上養殖が広く普及されるには今一步の観があるとの結論を得た。

そこで、当財団では、平成 17 年度から環境保全と採算性の改善を基本的課題としたアワビ陸上養殖システムについて調査研究を進め、中古船用冷凍コンテナ内にアワビの養殖システムを収納して、初期投資・ランニングコストを抑え、環境にやさしい「アワビ陸上養殖システム (SOF 養殖システム)」を開発し、実用化システムの実証実験を進めてきた。

本稿は、その成果の概要を述べ、今後更に検討すべき課題について述べたものである。

キーワード：陸上養殖、アワビ、中古冷凍コンテナ、バイオフィルター

#### 1. 研究開発の背景

の一次生産力と当該海域の環境収容力の評価である。海洋の一次生産力については、1980年代に研究が進み、純一次生産量は年間 48.5PgC (ペタグラム炭素, Field et al. 1998) である。

##### 1.1 海洋生産力

養殖産業において最も重要なことは、海洋

\*海洋政策研究財団

あり、陸域生産量の85%に相当する。藻類の生産量は全体の2%に過ぎず、生産量の殆どは植物プランクトンが担い手である。基準となる地球規模での海洋の純一次生産量と生物量の信頼に足る資料が不可欠であるが、幸い年代は聊か古い国際生物学事業計画（IBP）が1964年から1974年に掛けて行われ、様々な海洋生態系における動植物の生産量と純生産量の網羅的調査結果が公表されている。IBPによれば、海洋における一次生産速度は、有光層への栄養物質の供給に依存し、湧昇域及び沿岸域では、海洋下層からの栄養物質が表層付近に回流し易いことから一次生産量が大きくなる。単位面積当たりの生産速度は、藻場、サンゴ礁、入り江が高く、湧昇域、沿岸域、外洋域の順に低くなる。

環境収容力については、持続可能な開発並びに生物資源利用に関して様々な分野において多くの研究、議論が展開されてきたが、養殖産業における論旨は、その多くが単一あるいは複数の有用水族の最大養殖規模を求めることを目的としたものであり、当該海域の長期的スケールでの生態系全体を視野に入れたものは少ない嫌いがある。多くの場合、養殖海域はその他産業との共生状態に置かれ、環境収容力の評価において多様な人為的な影響を無視することはできず、これが、特定海域に対する合理的な環境収容力評価確立の一つの障害となっている。

水産資源需要は、我が国のみならず世界的な規模で増大しつつあり、とりわけ近年では中国を始め開発途上国における需要が急増している。しかし、地球上においてその凡そ70%を占める海洋と言えども、市場原理に基づく漁労可能海域は限られており、その総生産量は自ずから一定量を超え得るものではなく、沿岸域における海面養殖産業の発展は必然の結果である。海産物資源への依存度が伝統的に高い我が国では、早くから無給餌養殖

の典型であるノリ養殖が行われ、その対象種を次第に拡大しつつ、無給餌養殖から給餌養殖へと海面養殖業を発展させてきた。採算性の観点からは当然の帰結ではあるが、単一種の高密度養殖への移行傾向は顕著であり、魚類を典型とする給餌養殖では、残餌、糞、死骸等の堆積、可溶成分の溶解、更には堆積物の微生物作用による変容・変質と有害物質の溶出、抗魚病薬及び成長促進等のための薬剤散布などのため、養殖海域は、慢性的な汚濁負荷に晒されてきた。そもそも、自然の生態系には余剰生産力はなく、養殖とは、平衡状態にある海域空間へ平衡を阻害する恐れのある数量の生物を投入することであり、とりわけ過剰な高密度養殖は、自然の生態系に悪影響を及ぼし、延いては養殖生物の正常な生育の妨げとなる海洋環境を醸成する恐れがあることを認識しなければならない。

養殖環境悪化のため、養殖海域は沿岸から沖合へと移動することも少なくないが、養殖場を含めた周辺海洋環境の改善策とはならず、拡散希釈の原理によって当座の養殖環境は改善されるものの、長期的には汚染海域拡大を齎す懸念が高い。

持続的養殖生産確保法は、このような背景の上に1999年に施行され、異なる栄養段階及び生態系機能を有する養殖水族の複合的な組み合わせにより、栄養物質回収利用、物質循環機能の活性化などを行い、生物機能を積極的に活用して、海洋養殖におけるゼロエミッションを遠望したものである。また、2001年には、水産基本法が制定され、水産動植物の生育環境の保全、改善の施策を講ずることが定められている。

## 1.2 水産物自給率

わが国の年間の水揚げ高総量は地球温暖化や200海里問題も加わって年々減少し、実質的に我が国市場に登場する水産物は様々な媒

体を介して供給され、水産物に関する自給率の定義が難しくなっているため注意を要するが、公称自給率も年々減少し続けている。

しかし、水産資源の世界的需要増加については配慮しなければならないが、我が国においても高齢者社会を迎え、健康的な、とりわけ高齢者にとっては必須の動物性タンパク質供給源としての水産物の重要性は益々増大するものと予想され、自給率の向上が望まれるところである。

自給率の向上には、沿岸海域における養殖生産量の増加が先ず検討されようが、多くの養殖海域において、既に当該海域における海洋環境収容能力の限界値に達する高密度養殖が行われており、増産には新たな養殖海面を模索、開発する必要がある。しかし、これまで養殖業が試みられなかった海域は、その海域が少なくとも近年までの市場原理に叶う自然・社会条件に満たさなかったからであり、新たな養殖海面の開発は容易ではないと推測される。ただし、極域エネルギー資源開発同様、水産資源単価の高騰と高値水準が推移すれば、従来不適とされた海面も養殖海面として採算性を満たす可能性は否定できない。

海産物養殖が環境に与える負荷は、一般的には餌料転換効率が30%以下であるため、養殖開始時の稚魚状態では給餌量総量が少なく負荷量が少ないが、収穫時には魚体が最大になるので給餌量総量が増え負荷量が最大となる場合が多い。あらゆる産業がゼロエミッションを目指している今日、水族の自給率向上のためとは言え、現状の水族養殖はこのような目標からは程遠く、更なる増産、発展を期待し得る環境にはない。

### 1.3 陸上養殖

近年、海洋環境保護は、その生態系保護と景観保全の視座から、多くの関心を集めるようになり、加えて、過剰養殖の累積影響が次

第に顕在化するに及んで、水耕栽培同様の発想から陸域における海産物養殖の試みが加速されるようになった。水耕栽培においては、工場内で、発光ダイオードによる植物の成長段階に対応した最適スペクトル人工光を照射する栽培法が開発されている。これに比して、陸域における海産物養殖は、現況では揺籃期をようやく脱した状態にあると言えよう。

当初は、汚染周辺海域から隔離することを目的として、沿岸陸上に水族養殖施設を作り、良質な海水を汲み上げ飼育水槽へ注入、回流させて放流する掛け流し養殖が行われ、現在でも一部稼働中である。このような養殖法は、海洋環境汚染の観点からは、海面養殖と何ら変わるところはなく、寧ろ公的空間への廃棄物投棄として糾弾される懸念のある養殖法と言える。

これに対して、「陸上養殖」は、可能な限り海洋への環境負荷を減ずることを目途として、様々な研究、開発が国内外で行われている。その一つに、市場への出荷を目的として、飼育水槽水を外部に排出することなく浄化処理しつつ循環し、陸上において高密度で水族を飼育する閉鎖循環式陸上養殖がある。

閉鎖循環式陸上養殖についても多くの研究がある。この方式では、想定最大生産量、出荷方式及び出荷量によって養殖設備は異なるものとなり、また、どの程度最新の技術、装置、機器を複合的に使用するかによって、その初期投資額には大きな差異が生ずる。初期投資が嵩めば、その償却は容易ではないのが一般である。

運用資金が潤沢ではない小企業あるいは個人企業では、初期投資額の低減が最大の課題となる。小規模陸上養殖では、開発経費を零レベルに抑え、流通度の高い一般商品及び中古品の活用が不可欠となる。また、養殖水族の選定では市場価値、販路の確保等に配慮する必要がある。

## 2. アワビ陸上養殖システムの開発

当面は小規模生産、出荷を前提として、初期投資・ランニングコストを抑え、環境にやさしい閉鎖循環式陸上養殖によるアワビ陸上養殖設備（SOF 養殖システム）の研究、開発を行い、その実用化を達成した。

養殖水族としてのアワビの選定では、漂泳性が低く大型の飼育水槽が不要なこと、海域での養殖経験があること、既存の本体（飼育水槽収納建屋）が入手できること、出荷市場が確保できることなどを考慮した。

### 2.1 アワビ陸上養殖システムの特徴

本システムの主な特徴は次のとおりである。

- 1) 養殖システムを収納する建屋に使用済み船用冷凍コンテナを使用。
- 2) アワビの飼育水槽、飼育水の浄化装置、エアコンなどに市販品を使用。

- 3) 海藻による光合成浄化を行い飼育水処理装置の負担を軽減し小型化を実現。
- 4) 飼育水の温度管理には普及型エアコンを利用。
- 5) 飼育水槽の残餌、排泄物の清掃などの飼育管理が容易なシステム。
- 6) コンテナ室内から排出する塩水、汚水などの外部漏出を防ぐ汚水槽管理。
- 7) 食品安全衛生対策に配慮したコンテナ室内の衛生管理。

標準化された寸法、形式の船用冷凍コンテナの利用により、陸上養殖のユニット化が実現され、所要養殖生産量は、想定最大生産量にもよるが、ユニットの複数利用で拡大・選択することが可能となっている。

### 2.2 システムの概要

図1に本システムのフローを、アワビ陸上養殖実用化システムの主要緒元を表1に示す。

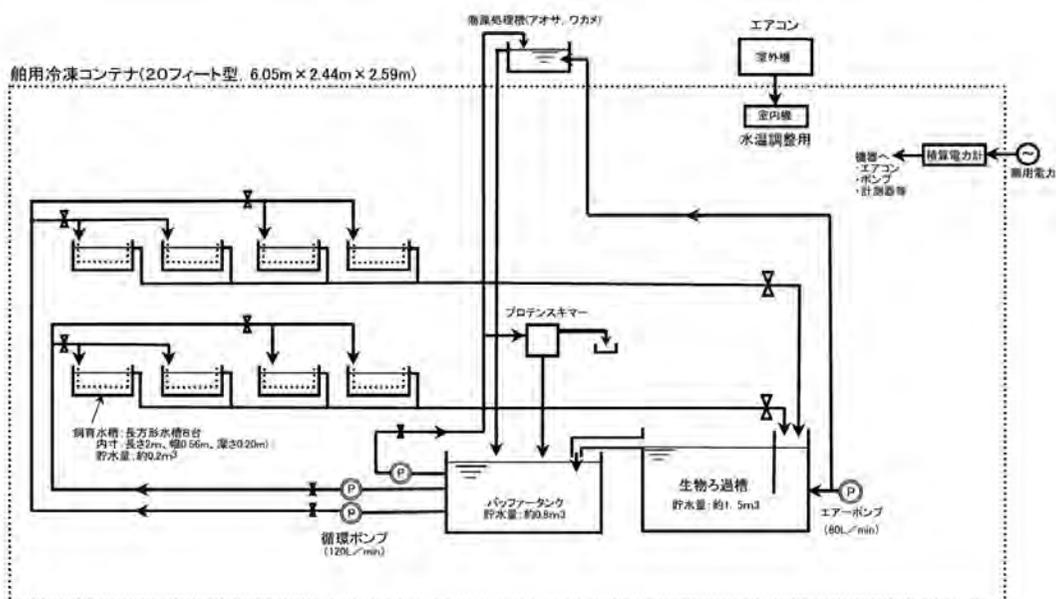


図1 アワビ陸上養殖システムフロー

表1 アワビ陸上養殖実用化システムの主要緒元

仕 様	
1	船用冷凍コンテナ
	型 式：20ft型（アルミ・ステンレス製、重量約3ton） 形 状：長さ6.05m、幅2.44m、高さ2.59m
2	飼育水槽
	形 状：長さ2.0m、幅0.56m、深さ0.20m 材 質：松集成材、防水塗料 個 数：8台
3	生物ろ過槽
	ろ過槽：長さ1.7m、幅1.24m、深さ0.73m ろ 材：粗状接触材バイオコード（ポリプロピレン他）
4	泡沫分離装置
	方 式：空気自給式エアレーター式 形 状：高さ0.96m、直径0.62m 出力：100V、90W
5	循環ポンプ
	出力等：100V200W、120L/min、2台
6	海藻処理槽
	形 状：長さ1.8m、幅0.9m、深さ0.5m 海 藻：アオサ、ワカメ
7	エアコン
	電 源：AC100V 出力：冷房2.8kW、暖房3.6kW
8	エアポンプ 最大風量：80L/min
9	飼育かご 形 状：長さ0.5m、幅0.4m、深さ0.15m

1) 船用冷凍コンテナ（写真1）

断熱性の高い使用済み船用冷凍コンテナ（約-26℃まで冷却可）の室内を、エアコンでアワビの最適飼育温度（18℃）に設定し、生物ろ過槽、泡沫分離装置に室内空気を吹き込むことで飼育水温度を室温と等温にさせる。



写真1 船用冷凍コンテナ

当財団筑波研究所での実験により、20フィート型の冷凍コンテナの室温と飼育水温度を、一年を通して18℃に保つには、10畳用の一般家庭用冷暖房エアコンで十分対応可能であることを確認している。（図2）

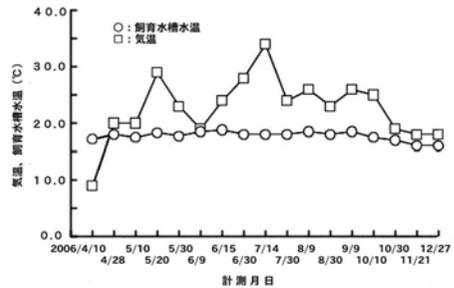


図2 気温と飼育水槽の水温

節電対策が進んだ一般家庭用冷暖房エアコンの使用が可能になったことから高圧ガス取締法の適用外となり、飼育水の温度管理システム及びその管理を簡単にする事ができた。また、船用冷凍コンテナの断熱性は高く飼育室内外間の熱損失は少なく、使用電力も低く抑えることができています。

飼育水は、飲料用の水道水に、観賞魚等の飼育に実績のある人工海水用塩を溶解し、塩分濃度を調整し海水と同等の濃度とした。塩素殺菌されている水道水を飼育水に用いることには、飼育水には初期段階では雑菌がほとんど無い状態となり、飼育開始時の罹病率、斃死率を下げ安全性が高まる利点がある。

2) 飼育水槽（写真2）

水槽用材料としてプラスチック類が一般的であるが、飼育水槽は水槽製造の容易さや製作費用等を考慮して木製とした。水槽表面には防水塗料（エポキシ塗装）を塗り、耐久性を高めた。また、今回は飼育面積を増すため二段構成（2m水槽×四列×二段=8基）を採用した。



写真2 飼育水槽

### 3) 生物ろ過槽 (写真3)

生物ろ過は、有機物からアンモニアを生成する細菌群の作用により、アワビの排泄物や残餌等の有機物から発生する有害なアンモニアや亜硝酸を好気性硝化菌（バチルス菌等）で比較的無害な硝酸塩に分解して<sup>1</sup>、アワビが健康に生育できる水環境を維持する。ただし、硝化細菌は、酸化プロセスにおいてエネルギーを得て二酸化炭素を同化する好気性の独立栄養細菌であり、酸素を必要とする。

本生物ろ過槽は、ろ過性能とメンテナンス性を考慮して、水処理分野で実績のある浸漬生物ろ過（ひも状接触材）と硝化菌を用いて飼育水の浄化を行った。



写真3 生物ろ過槽

### 4) 泡沫分離装置 (写真4)<sup>3)</sup>

アンモニア生成の原因物質はタンパク質であり、その発生元は残餌、アワビの排泄物、アワビの体表面粘質等である。

本泡沫分離装置は、海水と空気を混合させて気泡を作り、アンモニアが生成される水質悪化原因物質や雑菌を気泡表面に付着させて取り除く装置で、同時に飼育水への酸素供給も兼ねる。本装置は、空気自吸式エアレーターと気液接触槽で構成される。



写真4 泡沫分離装置

### 5) 海藻処理槽 (写真5)

有害なアンモニアと亜硝酸を生物ろ過で硝化すると硝酸塩（栄養塩）が生成するが、この硝酸塩は嫌気性細菌で取り除く（脱窒）ことができるが<sup>2</sup>、取り扱いが難しいことや装置が高価なことから、脱窒装置の代替として海藻（アオサ、ワカメ等）の光合成を利用して飼育水を浄化している。<sup>2)</sup>

<sup>1</sup> 正確には、アンモニアについては、Nitrosomonas 属あるいは Nitrosococcus 属などのアンモニア酸化細菌によるアンモニアから亜硝酸への酸化、Nitrobacter 属などの亜硝酸酸化細菌による亜硝酸から硝酸への酸化の2段階の作用により硝酸が生成される。

<sup>2</sup> 硝酸塩は、独立栄養細菌である Thiobacillus 属あるいは従属栄養細菌である Paracoccus 属などの脱窒菌によって還元され、無機態窒素ガスとして放出されるが、嫌気条件下では各種細菌によって還元され、再び亜硝酸やアンモニアとなる。



写真5 海藻処理槽

海藻は硝酸塩やアンモニア、リン酸を吸収すると共に、アンモニア、亜硝酸の硝化によるpHの低下を防ぐ効果もある。

海藻処理は、水槽の中に海岸の岩礁などで自生しているアオサを投入し、多孔質のエアーストーンで空気（酸素）を供給している。

アオサが手に入らない時期（12月～2月頃）は、ワカメを投入している。

#### 6) 飼育かご（写真6）

飼育水槽の中に編み目の飼育かごを設置し、アワビ稚貝を分散させると共に、残餌や排泄物を飼育水槽の底に落とし、アワビと残餌や排泄物を分離する。



写真6 飼育かご

#### 7) 飼育水槽の掃除

飼育水槽の掃除は、先ず飼育かごを揺

らして残餌や排泄物を水槽底に落としてから飼育水を抜き、水槽底に溜まった残餌や排泄物を掃除機で吸い取る。

#### 8) 給餌

アワビの餌は、下記に示す専用の配合飼料を与えている。給餌量は稚貝の大きさに応じた給餌量<sup>6)</sup>を1日1回与えるが、前日の餌の残り具合を見て給餌量を調節する。

##### \*アワビ用配合飼料

成分：海藻＋動植物成分（100g 中－水分14.0g以上、粗たんぱく質34.0g以上、粗脂肪4.0g以上、粗分20.0g以上、カルシウム1600mg以上、リン1000mg以上）

#### 9) 照明・採光

アワビは夜行性であるが、昼間どの程度の光量が必要かは不詳であるが、入室時の太陽光の差し込みと室内作業に必要な照明で十分のようである。

#### 10) その他

循環ポンプや泡沫分離装置のモーター、エアコンの電源は、緊急時のエンジン発電機の電圧に合わせ、単相100Vとした。

### 3. アワビ養殖実用化システムの設置状況

#### 1) 製作（株）サン・エコー

#### 2) 設置場所 埼玉県児玉郡美里町

武蔵化成(株) 美里工場敷地内

#### 3) 飼育開始日 平成19年5月30日

#### 4) 稚貝及び飼育個数

・稚貝（イオアワビ→エゾアワビとメガアワビのかけ合わせ）

・飼育個数 殻長60mm 600個、70mm 25個、80mm 25個

実用化システムの製作後、イオアワビを投入し約1.5ヶ月経過した後、飼育水の水質計測結果を以下に示す。

- ・飼育水温：18.0°C±1.5°C、
- ・アンモニア：0～0.1mg/L
- ・亜硝酸：0～0.1mg/L
- ・硝酸塩：0～0.3mg/L
- ・pH：7.7～8.0
- ・塩分濃度：3.2～3.3%
- ・溶存酸素は飼育水槽中央で7.8mg/L、排水口周辺で7.6mg/L

#### 4. 斃死数および成長性

飼育開始後、約1.5ヶ月の期間で投入数600個の内、約40個が斃死した。稚貝を3回に分けて入荷したが2回目（付着板なし）に入荷した稚貝の斃死数が多く、1回目（付着板有り）と3回目（付着板あり）に入荷した稚貝はほとんど斃死していないことから、搬送方法の違いによるものと推測される。

成長性については、短期間でもあり殻長、殻重共ほとんど変化は見られなかったが、昨年の筑波研究所での実験結果（図3）およびアワビ稚貝販売会社データ（図4）によると、成長性は約2.5mm/月であった。

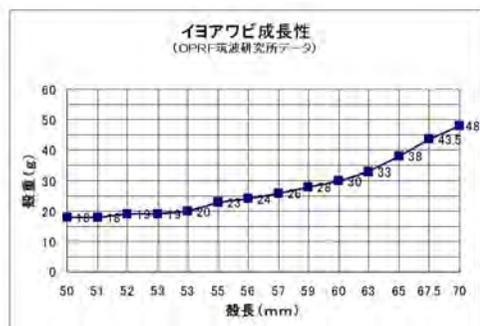


図3 イヨアワビ成長性（筑波研究所）

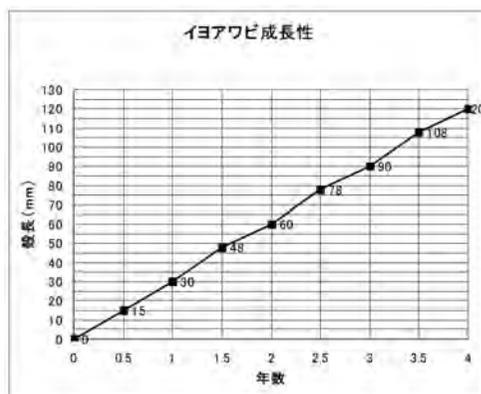


図4 イヨアワビ成長性（アワビ稚貝販売会社）

#### 5. 適正飼育密度

飼育個数と水質、成長性、斃死数などから面積当たりの適正飼育密度が分かる。本研究では実験できなかったが、参考文献<sup>7)</sup>を基に適正飼育密度を試算すると、殻長40mmで約300個/m<sup>2</sup>、50mmで約200個/m<sup>2</sup>、殻長60mmで約130個/m<sup>2</sup>となり、本実用化システムでの適正飼育個数は、40mmで2,400個、50mmで1,600個、60mmで1,040個となる。ただし、アワビのシェルター（隠れ場）を飼育かごに設置すると飼育面積が広がるので、適正飼育個数が増加する。

#### 6. 細菌検査

飼育1ヶ月経過時に、食品検査専門機関による食品分析（微生物検査）および水質検査を実施したが、一般細菌、大腸菌（群）数、とも基準値以下であり、大腸菌、O157、サルモネラ菌、腸炎ビブリオ菌も陰性であり、生食も可能な食品として問題ないことを確認した。

7. 消費電力

システム稼働時の消費電力は、電源電圧100Vで、約1.2kw（864kwh/月）であった。

初期投資額：3,800,000円  
 アワビ出荷個数：2,880個  
 年間収入額：1,872,000円—  
 1,403,000円＝  
 469,000円

8. 経済性試算（人件費を除く）

1) 基本条件

土地代：0円（駐車場、空き地等）  
 歩留まり（生存率）：90%  
 養殖個数：殻長50mm、  
 1,600個×2期（年2回）＝3,200個  
 収穫量：3,200個×0.9＝2,880個  
 出荷サイズ：65mm→50mm＋（2.5mm/月×6ヶ月）＝65mm  
 出荷形態：6ヶ月に1回出荷  
 システム設備費：3,800,000円（人工塩、初期投入微生物、稚貝代、餌等は、年間維持費として計上）  
 人件費は含まず。（本養殖システム1基について、清掃・点検、給餌等の養殖管理の実働時間は、1人約1時間であった。）

2) 年間支出額内訳（1,403,000円）

稚貝代：512,000円  
 人工塩：20,000円  
 餌代：50,000円  
 電気料金：864kwh×22円×12ヶ月＝  
 228,000円/年  
 雑費：50,000円  
 減価償却費：543,000円/年  
 （償却期間7年）

3) 収入（売り上げ：1,872,000円）

販売単価：650円/個（65mm）×2,  
 880個＝1,872,000円

4) 経済性試算結果

コンテナ台数：1台

9. 今後の課題

(1) 養殖種

一般的に異種交合種は疾病耐性が原種より強化されることが多く、本例でも例外ではなく、エゾアワビとメガイアワビの交合種を飼育している。交合種が容易に誕生し得る生物では、自然環境の中でも自然の交合による亜種の誕生の可能性が高いと考えられるが、陸上養殖を目的とした交合種は、外来生物法<sup>3</sup>の趣意に従い、自然界への移出を防止する必要がある。

養殖種の選定では、陸上養殖品として出荷する際の市場価値、出荷までの飼育期間罹病率、斃死率、維持管理の難易度、飼育コストなどを勘案することが重要であり、陸上養殖品としても市場価値が極めて高価であれば、飼育に関わる諸リスクに配慮しても採算が取れるが、通常、このような養殖種を見出すことは容易ではない。

(2) 市場価値

近年、養殖関連要素技術の進歩は著しく、実証試験期間中においても様々な新技術、製品が開発されていることから、本アワビ陸上養殖実証システムは、各要素技術において最善のものとは言えない。また、システム構成については飼育種に応じて多様な選択肢があり、いずれを選択するかは偏りに想定飼育種の市場動向の見定めが重要である。養殖水族の市場価値については、天然もの、海面養殖品との品質比較だけでは不十分であり、日本市

<sup>3</sup> 特定外来生物による生態系等に係る被害の防止に関する法律施行令（平成17年政令第169号）  
 特定外来生物による生態系等に係る被害の防止に関する法律施行規則（平成17年5月25日農林水産省・環境省令第2号）

場を対象とするならば、日本人特有の嗜好、評価を考慮することが肝要である。主たる出荷商品をどのような形態にて出荷するかによって、養殖種の最終成長点が定まるが、その決定は、市場価値、飼育中の罹病率、斃死率とも関係し、個々の判断に委ねざるを得ない。干物、加工食品での出荷では、出荷季節を選ぶ必要はないが、生食形態の出荷では、競合する海面養殖品の出荷状況の動向調査が大切である。

### (3) 飼育形態

今回はアワビの単品養殖であるが、摂餌連鎖に適合する養殖種があれば飼育環境の面からも複合養殖が望ましい。付加する養殖種としては、主たる養殖種の生育環境を改善し得るものであり、他産業での利用価値があれば、必ずしも水産市場価値を持たないものであってもよい。種の選別は広い視野をもって行われるべきである。

### (4) 飼育水槽

水槽本体としては安価な積層チップボードのエポキシ・コーティングで十分であるが、システムのリサイクルを条件とすれば、ボード表面をフィルムで被覆した後の塗装とすれば、水槽本体の廃材利用が容易になる。

### (5) 飼育水槽水

飼育水槽水が、養殖種投入の初期段階で無菌状態にあることが重要であり、水道水の使用が薦められる。井戸水（地下水）は、その水質特製が不詳である場合が多く、また周辺地域での地下浸透水の影響を受け易く、水質検査時に適合するものであっても、その後の水質変化もあり、リスクは高いと考えられる。

閉鎖循環型養殖では一般的に言えることではあるが、窒素循環による水質の酸性化傾向があり、pH管理は重要である。

### (6) 生物濾過

本システムにおいても藻類を用いて生物濾過を行っている。藻類の増殖には、化学的、

生物学的、物理的要因の多数が関係し、単一要因及び複数要因の藻類への影響については多くの研究があり、その成果を参照することができる。

化学的には、増殖に対してリン、窒素は不可欠、CO<sub>2</sub>は制限要因とはならず、ビタミン及び金属元素は微量栄養物質として増殖を促進する。Moは硝酸塩還元酵素の構成成分であり、硝酸塩の摂取に関わり増殖制限要因となる元素である。Feは藻類窒素固定に必要な物質であり、増殖制限要素である。Si, K, Caは種類によっては制限要素となり得る。

藻類は有光層で繁殖する植物であり、自然の太陽光利用が最も簡易な方法であるが、最近、藻類の成長の度合に適合した周波数スペクトルを有する人工光線を照射して成長を促進する方法が研究開発されている。

発光ダイオード（LED）は青光源の開発と光量の増大が図られたことから、3光源LEDをパソコンにて制御して藻類の生育を効果的に促進することが可能となっている。陸上養殖地の立地条件が芳しくない場合などに利用し得る採光法である。また、自然環境では、珪藻類は春季、藍藻類及び緑藻類は夏季及び秋季の優先的増殖が見られるが、特定の藻類を通年使用する場合には、コスト高とはなるが、藻類増殖に適した温度環境造成が必要であり、その際の人工光源としての利用も考えられる。

微生物利用のバイオフィルターは、小型のものでは観賞魚用から大型のものでは污水处理施設用のものが開発されている。微生物群についての詳細は企業秘密である場合が殆どであり、情報は限られている。機械的フィルターであれ、バイオフィルターであれ、フィルター類の最大の問題は目詰まり対策であろう。高価な欠点はあるが、ロータリーフィルターが開発され目詰まりフリーのフィルター利用の道はある。要は遠心分離の応用であり、

陸上養殖が軌道に乗り本格化されれば、安価な専用機械的フィルターの利用も夢ではなく、併用によりバイオフィルターの負担を軽減することができる。

### (7) 臭気

藻類が過度に繁殖（大凡藻体数 500n/ml）すれば、黴臭の原因物質であるイソプレノイド化合物である二環性セスキテルピン（geosmin）、二環性モノテルピン（2-methylisoborneo）の発生懸念がある。疑いがあれば臭気強度（TON）の測定を行う必要がある。これらの物資は水中ではほとんど存在せず水底土質土粒に付着しているが、黴臭は水産商品の市場価値を著しく損なうことから、水槽底部の扱いにはこの点の注意を払う必要がある。

### (8) 構成要素機材・技術

#### ・給餌

給餌の自動化は技術的には解決済みであり、投入し得る人力量との兼ね合いで採否を決めればよい。

#### ・飼育水槽底の清掃

飼育かご及び水槽底の残餌、排泄物等の清掃は、飼育かごの揺動装置、小規模噴流発生装置と移動床の採用で、かなりの作業量を軽減できる。

#### ・空気取り入れ

陸上養殖地の周辺大気の状態によっては、コンテナ室内への空気取り入れに際して、バグフィルター、エレクトレットフィルターなどの使用が必要となる。

#### ・藻場

人工藻場としては、ナイロン等の植毛シートを底材に張り付ける工法が開発されているが、今後は生分解性に優れたポリ乳酸繊維の利用も可能であろう。

#### ・コンテナの断熱性能

電力料金高騰時代であり、設置場所によっては、コンテナ断熱性能をさらに向上さ

せることが得策である場合もある。長期的な採算評価では、コンテナ外壁への反射塗料塗装や、仮設外壁の増設が有効である場合もある。また出入り口には寒冷地住宅に見られるような遮蔽ポーチ区画を増設することも一案である。

#### ・電気製品

電気製品の節電率は、徐々に向上しつつあり、初期投資を軽減するための中古品の使用は必ずしも得策とはならない。

#### ・配管等

配管材質については、稼働予想年限を明確にして選定することが必要である。また、管内圧、流速を推定し、樹脂材質を選定した際には暴露部での風化による強度劣化に配慮した上で、維持費を必要としない最適な材質、材料を選定し採算性の向上を図る。配管系ベント部では、流速が早ければキャビテーション壊蝕を考慮する。

管内流速が遅い場合には、管の断熱性に配慮する必要がある。

## 10. おわりに

アワビ陸上養殖システムを船用冷凍コンテナ内に収納し、一般家庭用エアコンで飼育用水の温度管理を行い、消費電力を低く抑えた養殖のユニット化を行った。経済性試算の結果、1ユニット約 380 万円で人件費を除外した年間実収入は約 47 万円となった。

今回の実用化システムは、アワビの長期間飼育を前提に、その間に起こり得る様々な問題を想定検討した上での設計であり、システムとしてはかなり安全サイドなものとなっている。これは、今回の飼育実験を通じて、不要なもの、あるいは簡素化し得る箇所等を検討することを意図したことによる。

初期投資の面では、本養殖システムの全費

用の内、船用冷凍コンテナ、微生物処理槽、泡沫分離装置は約 56%を占め、これら装置のコストダウンを図ることが初期投資額削減の有効手段となる。

なお、本システムの運用方法、アワビの仕入れ、販売方法等により経済性試算には差異が生ずるが、これまで採算面で困難とされてきた陸上養殖に、小規模飼育の実証例ではあるが、システムの改良により採算ベースに到達し得る道筋を拓いたと考える。

今後は、アワビ陸上養殖システムの実用化のため、装置のコストダウン、育成管理の安定・安全性、運用方法、販売方法等について更なる検討、改良を加え、採算性向上を進める計画である。

本実用化システムの構築に当たっては、(株)サン・エコー、武蔵化成(株)、鹿児島大学門脇秀策教授、宮崎大学丸山俊朗名誉教授、香川大学田中啓陽名誉教授をはじめ、関係各位のご協力を戴いた。心からお礼を申し上げます。

なお、本事業は、競艇の交付金による日本財団の協力を得て実施されたものである。

(特許出願中：特願 2007-112797)

## 参考文献

- 1) 沿岸海域における海洋汚染防止に関する調査研究報告書、(財)シップ・アンド・オーシャン財団 (1998. 3)
- 2) 門脇秀策：浅海養殖場の水質浄化に必要な海藻の栽培密度、養殖 (2006. 7)
- 3) 菅原一美：コンテナ陸上養殖システムの概要、建築設備と配管工事 (2007. 3)
- 4) 丸山俊朗：アワビ養殖における泡沫分離装置の有用性とその利用計画 (2006. 5)
- 5) コスモ海洋牧場技術資料
- 6) 小林俊将：アワビ養殖カゴと適正収容密度の検討、岩手県水産技術センター (2000)

## 資料

水産基本法は、その条文に記載されているように、水産物の安定供給の確保及び水産業の健全な発展を目的としているが、下記のように、その第 16 条及び 17 条は、水産動植物の増養殖について触れたものである。

**第 16 条** 国は、環境との調和に配慮した水産動植物の増殖及び養殖の推進を図るため、水産動物の種苗の生産及び放流の推進、養殖漁場の改善の促進その他必要な施策を講ずるものとする。

**第 17 条** 国は、水産動植物の生育環境の保全及び改善を図るため、水質の保全、水産動植物の繁殖地の保護及び整備、森林の保全及び整備その他必要な施策を講ずるものとする。

なお、国際的には、持続可能な開発に関する世界首脳会議 (WSSD) のアジェンダ 21 の 17 章が漁業を含む海洋について言及し、2002 年開催の WSSD では、実施計画が議論され、そのパラグラフ 30 から 36 において、海洋及び漁業活動について推進すべき課題が述べられている。

## Development of a Land-based Abalone Aquaculture System

### -A Land-based Abalone Aquaculture System Using Refrigerated Containers-

Kazumi Sugawara\*

#### Abstract

Inland water aquaculture was the favored method of Japan's seafood aquaculture industry. However, today, offshore aquaculture is growing steadily in proportion because of the occurrence of the declining quality of the water area and outbreaks such as red tide. But marine environment pollution from the excretion and leftover food of cultured fish and chemical spray and the increase in the cost of equipment and administration caused both inland water and offshore aquaculture to become unprofitable and the aquaculture industry dipped after peaking in 1985.

It is necessary that aquaculture, be it at sea or on land, does not take a tragic toll on the natural environment. With that in mind, this research focused on a land-based seafood aquaculture technology which has the least possible effect on the environment and in August 1997 a study was conducted on aquaculture technology centered in Europe which is among the advanced places in the world in terms of land-based aquaculture. First, a study on feasibility and profitability was carried out.

In 1998, the Marino-Forum 21, an industry-government-academia research group, conducted research on land-based aquaculture and developed land-based aquaculture technology. Although, there were very few problems in strictly technical terms, it was concluded that popularizing land-based aquaculture is quite hard because of poor profits due to the cheap price of cultured fish and high initial investment and running cost.

With that, from 2007, OPRF promoted research and study of a land-based abalone aquaculture system which regarded environment protection and the enhancement of profitability as fundamental issues, by placing an abalone aquaculture system inside a used refrigerated container which curbed initial investment and running costs. OPRF developed an eco-friendly land-based abalone aquaculture system (SOF aquaculture system) and have had a demonstration experiment of a commercial viable system.

This paper outlines accomplishments and issues to be considered from here on.

Key words: Land-based Aquaculture, Abalone, Used Refrigerated Containers, Biofilter



## 半閉鎖性海域海洋環境保全への予防的アプローチ

大川 光\*

閉鎖性海湾は陸域等からの負荷を溜め込みやすい海域であると同時に、その負荷を海洋生産の糧に変え得る場所でもある。我が国がこのような海域において実施してきた海洋環境モニタリング調査は、高度経済成長期に公害問題が表面化した後に急速に整備されたものであり、その内容は海洋環境を構成する個々の因子を個別的に調査、監視することに重点が置かれたものであった。このような言わば事後処理対策に類するモニタリングには、環境悪化に対する予防的な働きは期待し得ない。

信頼に足る科学的データに基づく予防的環境保護を実行するためには、海域情報に関して、単なる調査時点における結果の集積だけではなく、その経緯、過程を把握、理解する視座からのモニタリングが重要かつ不可欠である。

海域の状況を総合的に診断し、海洋環境保護に対して予防措置を提示し得る術、それが「海の健康診断」である。

キーワード：閉鎖性海域、モニタリング、アセスメント、海洋環境保護

### 1. はじめに

我が国の沿岸域では、高度経済成長期を境にして、浅海部の埋め立てや工業排水、生活雑排水の急増により水質汚濁が進んだ。このような環境変化は沿岸海域に生息する海生生物に甚大な影響を与え、漁業分野では、漁獲種や漁獲量を大幅に減少させた。

その後、経済発展優先の代償として表面化した「公害問題」を受けて、環境保護に関する法令・規則の整備が進むと、下水道及び処理施設の普及と相俟って、生活・工業排水も一定水準の処理がなされるようになり、陸域からの負荷排出量は大幅に減少した。

これら諸施策の実施は、水質改善に向けて一定の効果を挙げたが、海洋環境は陸域からの負荷物質の流入の他、海岸・海底の形状、

潮汐、湾外水との海水交換、生態系などが相互に関連するものであることから、これまでの個別的な各種施策は、「物質循環」や「生態系」の健全化という総合的な視座を欠いたことから、海域環境の改善に対して十分に機能を果たすことができなかった。海洋環境の評価、同環境の改善に向けた施策、措置は、これら「海の営み」とも言うべき、海域の構造や機能を十分に把握し、その働きの健全性を念頭に置いて取り組む必要がある。

本論で提言する「海の健康診断」は、当面、沿岸域の中でも半閉鎖性の海域の環境評価、並びに同評価を踏まえての当該海域の環境改善方策の提示を目的とする。日本の閉鎖性海域の大多数が背後圏に活発な経済活動域を有し、かつその地理的特徴が故に「海の営み」が損なわれ易いからである。

\*海洋政策研究財団

本稿では、第1章で高度成長下での沿岸開発と管理に焦点を置き、1970年以降の沿岸環境の変遷及びそれに伴う法整備等行政の対応を述べ、第2章で、これら対応措置において、環境改善の効果が十分でないことを踏まえた環境保全に対する行政の取り組みの変遷を概観し、第3章で、沿岸海域環境保全の規制に変化をもたらしたそもそもの根源である沿岸域における海域環境の基本構造と機能について述べる。第4章、5章では、これまでの海域水質を中心とした海洋環境の監視の枠組から離れて、本来の沿岸海域環境構成要素である「物質循環」と「生態系」に着目し、沿岸域の中でも背後圏に活発な経済活動域を有すると共に、その地理的条件によって環境が悪化しやすい閉鎖性の内湾を対象とした新たな環境評価の仕組みとしての「海の健康診断」の概要を述べる。加えて、「海の健康診断」の実施により明らかになった当該海域の海洋環境の現状に触れ、環境改善に向けて取り組むべき視点を概説する。

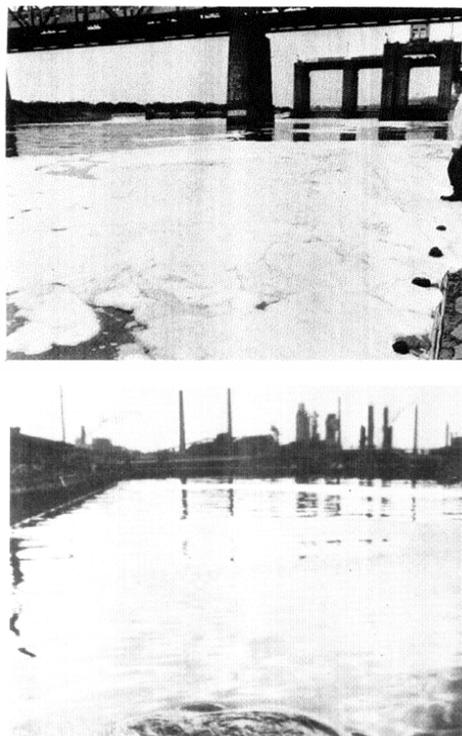


図1 日本海の位置

## 1. 沿岸域の環境の変遷

1970年、我が国は高度成長期の絶頂にあったが、工場からの排煙や排水などで沿岸の工業地帯を中心に大気汚染や沿岸海洋域の水質汚濁が加速していた。

水域における主たる公害事例は、カドミウム汚染によるイタイイタイ病（発生は大正時代であるが原因を認定したのは1968年）、水銀汚染による水俣病（公表は1956年、政府認定は1968年）があり、これらは河川や海域に所謂毒物を排水したために生じたもので、まさに沿岸海洋域の水質汚染の典型（図1）であった。加えて、1970年には田子の浦へドロ問題が提起され、水質だけではなく構造的な沿岸域の海洋環境悪化が表面化した。

このような社会状況を反映して、1967年には「公害対策基本法」が制定され、翌1968年には「大気汚染防止法」、「騒音規制法」が制定された。1970年は「公害国会」と言われた年であり、「公害対策基本法の改正」など関連14法の制定をみた。「水質汚濁防止法」はこの折の規制措置であり、水質、水域に関連するものとしては、「海洋汚染及び海上災害の防止に関する法律」、「下水道法の改正」、「農業取締法の改正」などがあり、「廃棄物の処理及び清掃に関する法律」もこの年に制定された。また、1971年には環境庁（現在の環境省）が発足した。

これらの諸法令は、水域への汚染物質排出を量的、質的に規制するとともに、その水質を所定の水準に維持するための基準を設け、関係自治体による「公共用水域水質測定計画」

を発足させ、法令規則に基づく水質のモニタリングを開始させた。

公共用水域水質測定結果の一例を三河湾における水質の変遷(図2)でみると、主要な流入河川である矢作川や豊川においては、下流域における水質は改善され、下水道の整備や人為的負荷の抑制効果が認められるものの、海域においては河川における水質改善に匹敵するような効果見られず、むしろ徐々に増加している傾向さえ見られる。

河川の水質の如何が流入負荷をそのまま現すものではないが、一例として大阪湾を挙げれば、その流入負荷を推定した報告(1992a 浮田ら)によると、化学的酸素要求量(COD)

の負荷量は、1967年547トン/日、72年580トン/日に対して、77年355トン/日、82年311トン/日、87年304トン/日と見積もられており、前述の規制によって負荷が大幅に減少したことが分かる。背後地の土地利用形態や下水道の整備進捗については相違があり単純な評価はできないが、先に挙げた三河湾の場合では大阪湾と同様の傾向が見られるものの、環境改善施策は湾港水域の本質的な水質改善にその効果を十分発揮したとは言えない。しかし、悪化傾向にあった三河湾における港湾水域の水質悪化を一定レベルに食い止めた成果は評価できよう。

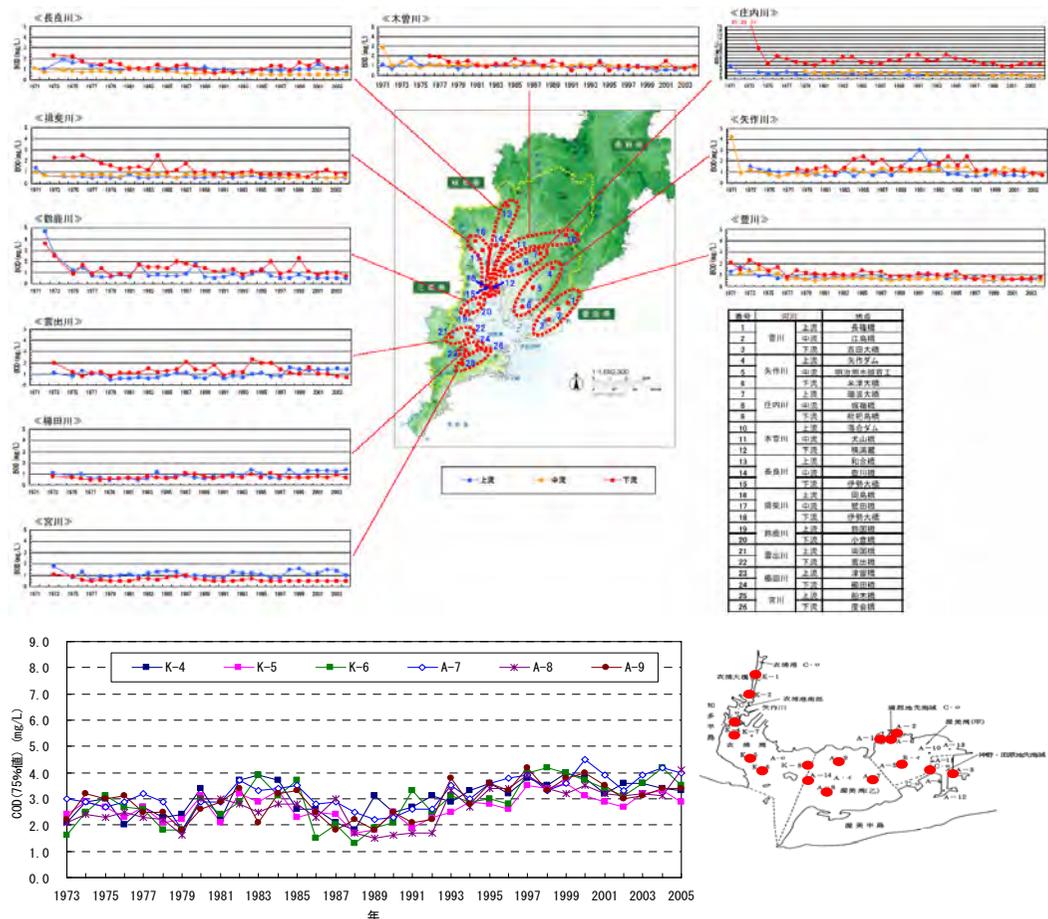


図2 三河湾の水質の変遷

公害関係法令の整備に伴い、沿岸域において排水の監視、水質検査が行われるようになった。これらのほとんどは1970年頃以降の実施ではあるが、現在まで継続実施されており、貴重な環境データとなっている。主たるものに、環境省（当時、環境庁）主導で各自治体実施している「公共用水域水質測定」があり、古くは水質年鑑として、現在では各自治体のホームページで公開されており、広く一般に入手可能となったことは評価できる。

また、沿岸海域環境をメッシュ的にモニタリングしているものとして、水産庁主導の「浅海定線調査」がある。この調査は、水産試験場が担当し、水産庁への速やかな報告が課され、担当水産試験場の年次事業報告書に記載されることもあるが、経常的、定期的な出版物として公表はされていない。

このほか、年一回の調査ではあるが、海上保安庁の「海洋汚染調査」、環境省の「化学物質に関する環境調査」があり、調査結果は印刷物などによって公表されている。一方、環境省の「広域総合水質調査」は年四回の実施で、水質、底質のみならずプランクトンも調査対象としてはいるが、印刷物などによる定期的な公表はない。

沿岸域の環境モニタリング調査は、それぞれの実施機関がその職分によって実施しているもので、多大な労力を費やしている。これらの調査結果は、各機関の行政施策に十分活用されているものと考えられるが、社会活動に起因する負の影響との調和の上に、沿岸域の海洋環境の保全、改善を目的として海洋環境情報を網羅的かつ継続的に扱うためには、情報相互の有機的な連携・統合と情報入手の制約解消措置が不可欠であるが、現状では十分とは言えない。

なお、大規模事業に伴う環境アセスメント調査やそれに伴う事後調査なども実施されているが、調査はスポット的であり、その頻度

にも統一性がなく、統計資料として活用する上で難点があり、また調査資料は必ずしも常時開示されない問題がある。

さらに、環境モニタリング調査の内容をみると、調査動機が水質汚濁による公害問題であったことが否めず、水質検査を主体とし、沿岸域の比較的狭域の表層を対象としていることに特徴がある。高度成長を基調とする政治経済にあつては、環境保護に関する設備投資は十分でなく、その結果、海底付近で発生する貧酸素化や生物生産の歪みとして発現するプランクトンの異常発生である沿岸赤潮に対して無防備であったことが指摘できる（図3）。立体的構造を持つ海洋の真の理解、把握と海域に生息する海洋生物相からの視座を欠いたことが問題であったと言えよう。



図3 赤潮や苦潮の発生状況

海は動植物相の広範囲に及ぶ食糧の生産場であり、その生産が公害の深刻化とともに衰退

していった経過は、水産統計で伺い知ることができる。水産統計はすでに50年余の歴史があり、戦後の漁業がたどった足跡を知ることができる。統計値そのものは折々の市場原理に基づく経済活動の結果であり、生物の状態をそのまま現しているわけではないが、海洋生物に関連する唯一の長期データとして貴重である。環境省が1973年から自然環境保全法に基づき概ね5年毎に実施している「自然環境保全基礎調査」からは、個別の生物群は追跡できないが、生物生産にとって重要な沿岸の藻場や干潟の消長を把握することができる。

## 2. 海域環境の保全に対する考え方の変化

エネルギー需要と物流の増大によって急増した港湾荷役量に対応するために採られた港湾設備・機能の整備増強策は、海洋生態系にとって重要な浅水域を減少させ、従来からの海域水質汚染と相俟って、沿岸漁業の衰退をもたらす結果となった。

三河湾の例では、漁獲の減少や赤潮の発生が浅海域の埋立の進行とよく一致している(図4及び図5)との指摘があり、浅海域の

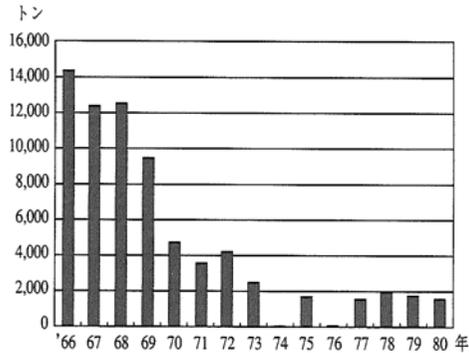


図4 豊橋市内6漁協及び田原町内1漁協におけるアサリ漁獲量の変化

出典「水産学シリーズ132 水産業における水圏環境保全と修復機能」(2002、日本水産学会監修)

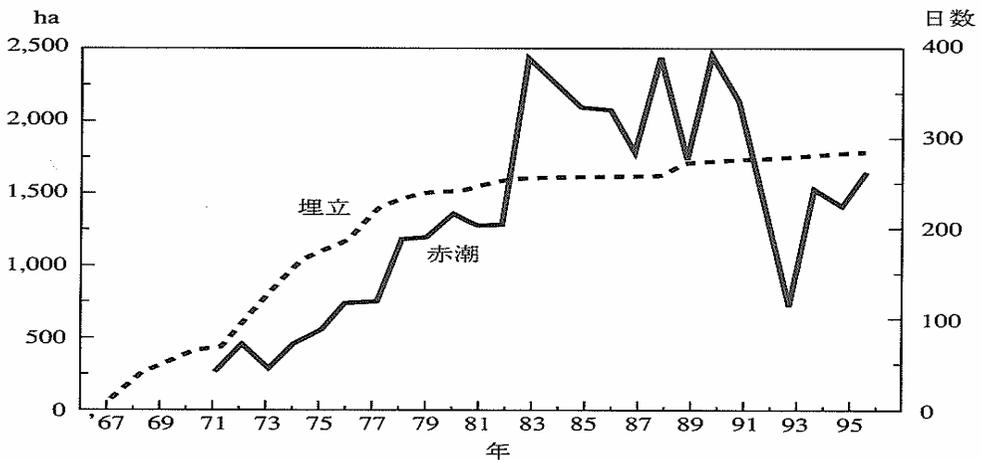


図5 三河湾における赤潮発生延べ日数と東三河地域における累積埋立て面積の経年変化

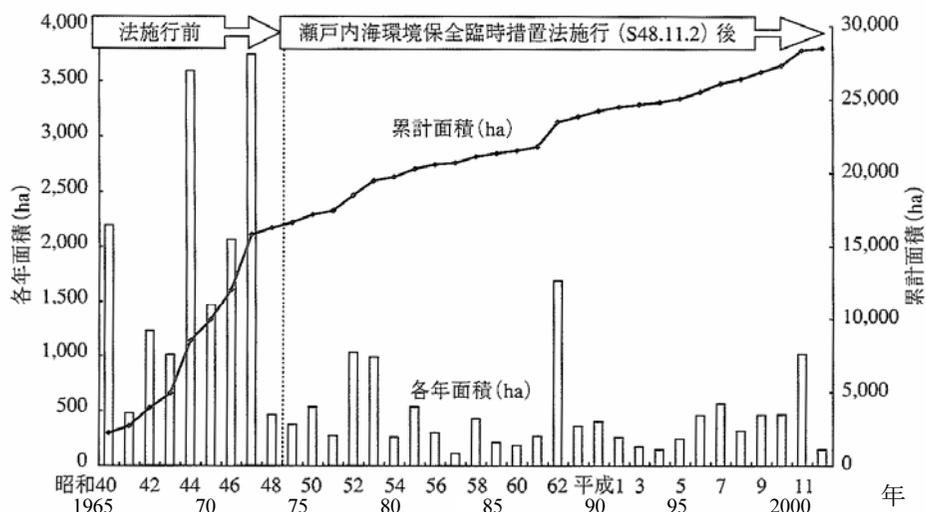
出典「水産学シリーズ132 水産業における水圏環境保全と修復機能」(2002、日本水産学会監修)

消失が生物の活動を抑制し、蓄積された有機物による「自家汚染」が現在も続いているものと推測できる。かつて広大にあった干潟・浅海域の消失と時を同じくして赤潮や貧酸素が急増してきたとの報告もある。

高度成長期に埋立てなどで失われた浅海域（図 6）が沿岸域の海洋生態系へ果たしていた役割は大きく、単なる汚染物質の排水負荷の削減のみで問題の解決ができるものではない。かつて、海は全てのものを飲み込み希釈する無限の力量を有するものと思われてきたが、海洋の理解が進んだ現在では海は有限であり、かつ繊細なものとの認識が変わっている。海は海流・潮汐・波浪など大気・海洋相互作用と 2 相間の物質移動、湧昇流による深層水・表層水交換などを介して複雑な物質循環の場であり、海洋生態系はこのような海の特質に深く依存すると共に、物理・化学的な海洋に対しても大きな影響を与えるものであ

ることに留意しなければならない。

我が国では、瀬戸内海は欧州におけるバルト海同様、陸域の工業生産、船舶の運航、漁業の三者が犇めき合う場であり、海域の汚染はとりわけ多くの関心を呼んでいた。このような背景から生まれたのが 1973 年の「瀬戸内海環境保全臨時措置法」であり、1978 年には「瀬戸内海環境保全特別措置法」として恒久法（以下、瀬戸内法）となっている。瀬戸内法は、瀬戸内海的环境の保全上有効な施策の実施を推進するため、瀬戸内海的环境の保全に関する計画の策定等に関し必要な事項を定めるとともに、特定施設の設置の規制、富栄養化による被害の発生の防止、自然海浜の保全等に関し特別の措置を講ずることにより、瀬戸内海的环境の保全を図ることを目的としている。瀬戸内法では、海的环境保全に対して、自然海浜の保全や埋立ての抑制に言及したものの、「海水」を対象指標とした「富栄養化」の防止が中心であった。



注) 1 環境庁調べ  
 2 昭和 40～47 年は 1 月 1 日～12 月 31 日まで、昭和 48 年は 1 月 1 日～11 月 1 日、昭和 49 年以降は前年の 11 月 2 日～11 月 1 日の累計

図 6 瀬戸内海における埋立て面積の推移

赤潮や貧酸素化は、海の物質循環やこれに深く関係する生態系の偏倚、異常に起因するものであり、排水負荷量の削減や埋立の抑制だけで解決できるものではない。「水質汚染」を食い止めるための「水環境保全」は、一定の成果は収めているものの、海洋生態系を含む「海洋環境保全」の実現には至っていない。

なお、国連海洋法条約は、我が国においては1996年に批准されたが、本条約においても、生物資源の保護、保全が海洋環境保護の要点であることが明文化されている。

近年では、諫早湾の干拓事業に伴う有明海の異変が注目され、2002年に「有明海及び八代海を再生するための特別措置に関する法律（有明海特別措置法）」（以下、有明法）が施行された。有明法は、有明海及び八代海が、国民にとって貴重な自然環境及び水産資源の宝庫として、その恵沢を国民がひとしく享受し、後代の国民に継承すべきものであることに鑑み、有明海及び八代海の再生に関する基本方針を定めるとともに、有明海及び八代海の海域の特性に応じた当該海域の環境の保全及び改善並びに当該海域における水産資源の回復等による漁業の振興に関し実施すべき施

策に関する計画を策定し、その実施を促進する等特別の措置を講ずることにより、国民的資産である有明海及び八代海を豊かな海として再生することを目的としている。「有明法」と「瀬戸内法」の主意には明白な相違があり、「有明法」には、「海の恵沢を国民が等しく享受」すること、「豊かな海を再生」することが具体的に盛り込まれ、21世紀になってようやく水産資源の生産の場として「海」が認められ、「海の営み」の正常な機能の回復、保全、さらには改善が重要であるとの認識が広まったと言える。

### 3. 沿岸域環境の基本メカニズム

海域に負荷された物質は、大気・海洋のさまざまな作用を受けて移送、拡散する一方で、光合成による基礎生産（植物プランクトンの生産）から始まる食物連鎖を通じて水産資源として蘇り、人々に恩恵を与えている。このような物理・化学的な海洋と生態系の相互作用を考慮することなく、単純な水質、底質の調査・評価のみでは、汚染した海を生態系に優しい海に蘇生させることはできない（図7）。

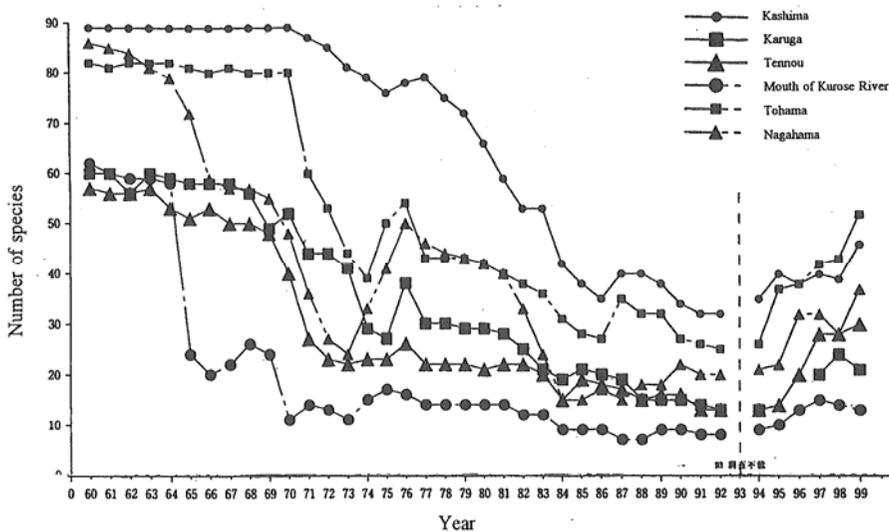


図7 瀬戸内海呉周辺の海岸における出現動物の種類数の長期変動（湯浅一郎,1995）と呉湾内の公共用水域の水質測定結果（表層水質は回復しても一旦減少した生物相の回復は遅い）

赤潮や貧酸素が問題とされると、これらは「富栄養化」問題として、海域への栄養塩類の過剰な流入が原因であるとして、栄養塩類である窒素類やリン類の排出抑制を講ずる措置が採られた。しかし、栄養塩類は、その名のとおり生物生産にとっての栄養源であり、過剰な供給には問題があるが、必ずしも常時環境悪化因子ではない。陸域起因の栄養塩類は、それぞれの海域における生態系にとって過不足なく供給されることが重要であり、海域の物理的な変容と栄養塩類の供給、消費と生態系とのリンケージへの影響に着目した環境モニタリングの計画的、継続的な実施が肝要である(図8)。これまでの沿岸域開発の多くが、防災岸壁整備、埋め立て、消波構造物の設置などによって、海

水流動の阻害や海域への過剰負荷に起因する死水域の拡大などをもたらし、海域の生態系保全への十分な配慮を欠いたことは指摘されねばならない。人々が健全な日常生活を営む上で排出される尿尿や廃棄物等の海域への流入負荷の軽減は当然の措置であるが、海上輸送網整備や防災強化の視座と沿岸海域環境保全との総合的な調和の上に、海洋生態系の根底にある最も大切な藻場の回復に重点を置き、失われた海の生産機能を再生させ、本来の豊穡な海を取り戻す具体策を講じることが喫緊の課題である。そのためには、まずは海域の状況を総合的に判断し得る、海に関わる基本的なデータを調査・収集・分析、状況評価することが重要となる。

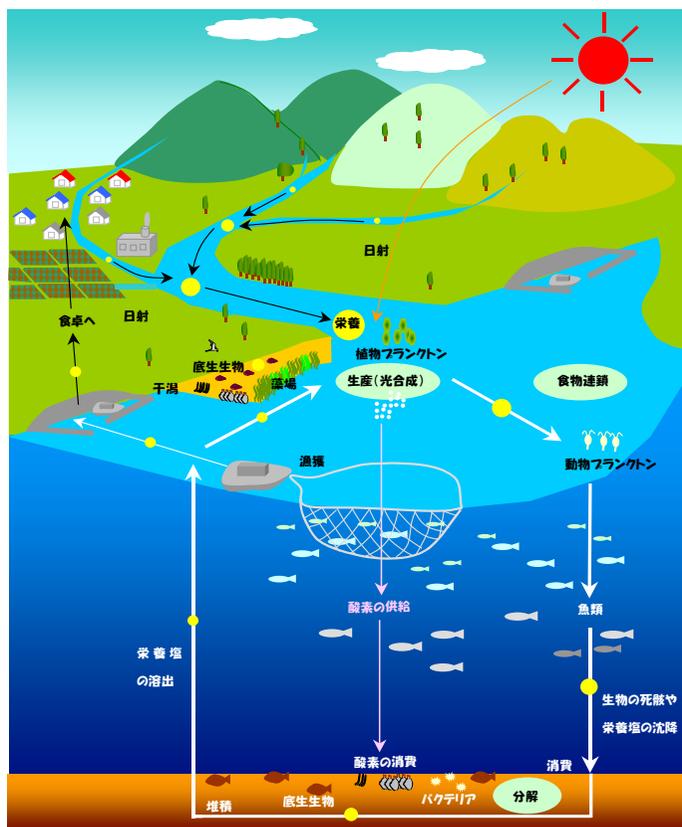


図8 海の世界基本構造図

かつて、人々が日常生活を営む上で排出される尿屎や残飯は、河川を経て海に流されてきたが、その量及び有害・毒性は海の希釈、拡散能力を超えるものではなく、貴重な蛋白資源として蘇り、豊饒の海での漁業が栄え、人間社会への主要な食糧供給の場であった。これまでの社会活動により失われた沿岸海域の物理・化学・生態機能（仕組み）を回復させ、豊饒の海を取り戻すことは重要であり、水質や底質だけの監視で回復への具体策策定ができる訳ではないことは明白である。

海洋における珪藻類、植物プランクトン、動物プランクトン、ベントス、魚類、海生哺乳類、人類に至る食物連鎖は周知のことであるが、とりわけ藻類は、産卵、稚魚の成育に重要な働きを果たすばかりでなく、酸素の放出に加え大気中の水蒸気の凝結にも関係し、沿岸海域環境ばかりではなく水の大循環に関わる重要なものと考えられている。藻類繁茂には、水の透明度にもよるが光合成が可能な水深 10~20m の浅海域が必要である。また干潟はベントスの成育場として、また渡り鳥の摂餌場として重要である。かつて我が国においては、このような干潟や藻場は海浜の原風景でもあったが、東京湾、伊勢湾（三河湾を含む）、瀬戸内海などの海浜域では、これらは急速に消滅し見る影もないのが現状である。

磯焼け（図 9a）は藻場喪失の典型例の一つであるが、これは栄養塩に関わる陸域の社会・生活域、森林、河川、海洋の四者の複合的な作用が根底にあり、地球温暖化が遠因と考えられる特異種の異常繁殖などによる食物連鎖の歪みに関与していると言われる。また、サンゴの白化現象（図 9b）は、地球温暖化に対して、沿岸海域様態の変貌が打ち鳴らす警鐘でもある。これらは、海洋が持つ多様な機能的生産力に陰りが見えてきていることの象徴的な現れであると考えられる。現在、海は

水質悪化が進むばかりではなく、負荷された物質を有用な資源に回帰させる本来の仕組みそのものが壊れ始めていると言える。



図 9a 藻場の磯焼け



図 9b サンゴの白化

#### 4. 「海健康診断」の提言

海の状態を把握するためには、各要素の個別的な情報採取のみではなく、海の営み、機能を監視する必要がある。また当面の問題点のみに拘ることなく、海の営みに対する総合的・長期的な調査、評価が重要である。さらにその結果を受けての、妥当な措置策定のプロセスまでが必要となる。海域水質検査等の個別的、検査項目相互に無機質なモニタリングではなく、このような視座からの海域環境

モニタリングが真に求められている。このような視座での海域環境モニタリングでは、海洋の立体的構造に留意し、海の多様な生産性の根底にある定着性生物群に着目することが肝要である。

環境の悪化を受けてその原因を究明し、悪化原因を取り除くための措置を講じてきたのが今までの取り組みであった。そのため、人々は社会経済的な豊かさと引き換えに多くの自然を失い、自然の営みから産出される多くの恵みを失った。その反省としての「自然再生」、「環境創生」運動は、過言すればいわば見掛けの環境改善に留まり、自然そのものが持つ機能を十分回復させるには至っていない。人工干潟や藻場造成なども相応の成果は挙げているが、自然の持つ本来機能の回復までには至っていない。その理由は、海域及び周辺環境の総合的な情報・資料を欠いての計画・施策であり、施工であったからである。ここに述べる「海健康診断」は、正しくこのような背景があって提唱するものである。

「海健康診断」は、予防原理に依拠する。環境悪化の要因となる因子について然るべき環境モニタリングを実施、収集、分析、評価し、必要であれば具体的な対策を提言するものである。これは、人間社会における予防医学、健康診断に類似の概念、構想と言えよう。

「海健康診断」では、海の基本的な営みに着目し、その構成要素と機能とに区分して検討する。海の営みの構成要素とは生態系、即ち生物群であり、機能とは物質の移動、流れである。ただし、これらは相互に複雑に関係するものであり、「健康な海」とは「生態系が安定し、物質等の移動、循環が円滑である状態の海」と定義する。モニタリングでは、これら「生態系の安定性」及び「物質等の移動、循環の円滑さ」が対象となる。

すなわち、「生態系の安定性」では、“生物組成”、“生息空間”及び“生息環境”を「物

質循環の円滑さ」では、“負荷と海水交換”、“基礎生産”、“堆積、分解”及び“除去”を対象とする。

「海健康診断」は、当面、先ず環境悪化が深刻な閉鎖性海湾を対象としてその環境評価の在り方を検討し、問題点が明らかになればその原因を究明すると共に対策措置を提言するものとする。

「海健康診断」は、基本情報、検査、評価及び情報の公開・管理で構成する（図 10 参照）。

基本情報は対象海湾の地理的条件、気象的条件、海象的条件、社会的条件、歴史的条件及び管理的条件といった海湾の基本的な情報について整理し、対象海湾の概要を把握するもので、「海健康診断」を行う上で最初に行う重要な検査手順の一つである。整理した情報は、一次検査及び二次検査の調査計画立案、総合評価の判断材料として利用する。

一次検査は、不健康各要素の有無のチェックを目的とした検査であり、比較的簡易に検査及び評価が可能な構成とした。評価基準は不安要素・気配を見逃がす懸念のない厳しいレベルを設定した。一次検査の診断で「健康」と評価された場合は、持続的な健康維持及び管理を続けていくことが必要である。一次検査の診断で“不健康の疑いあり”と評価された場合は、二次検査へ進む。

二次検査は、再検査と精密検査とで構成する。再検査とは、一次検査で“不健康”と評価された項目について、詳細な検査を行い本当に不健康かどうか確認を行う検査のことである。再検査でも“不健康の疑いあり”と評価された場合には、原因究明を目的とした精密検査を行う。いずれの検査も詳細に行う検査であり、二次検査は専門的な知識と技術を必要とする内容となっている。二次検査の診断の結果から、不安要素の排除及び改善の努力指針を提示する場合と、環境修復及び改善

といった言わば外科的な措置の必要性を勧告する場合とに分かれる。

図中の総合評価とは、二次検査の診断結果に基本情報を踏まえて対象海湾の健康状態を最終的に評価するものである。総合評価は二次検査同様、高度な判断を必要とすることから専門的な知識が求められる。

検査結果及び得られた環境情報は、すべて公開を原則とする。公開情報は、個人が簡単に入手し得、入手情報から海湾の健康状態を判断し得る、簡明な形式にて提供することが肝要である。情報公開に当たっては、インターネット等、利用し易さを考慮したシステムの構築を念頭に置く。

データの質及び精度を統合管理するシステム（データベース等）の構築に当たっては、データの完全な保管と有効利用容易なレジームに留意する。

二次検査については、一次検査及び再検査

の結果に対応して検査項目、検査手法、検討項目、評価、勧告等が変わることから、ここでは一次検査の概要についてのみ概説する。

#### 4.1 一次検査

一次検査は、簡便な手法により海湾が健康か不健康の疑いありかを診断、評価する。一次検査項目一覧を表1に示す。

検査項目は「生態系の安定性」の指標となる項目と「物質循環の円滑さ」の指標となる項目で構成される。

「生態系の安定性」については“生物組成”、“生息空間”及び“生息環境”の3つの視点から以下の6つの検査項目で診断を行う。「物質循環の円滑さ」については、“基礎生産”、“負荷・海水交換”、“堆積・分解”及び“除去（漁獲）”の4つの視点から7つの検査項目で検査を行う。

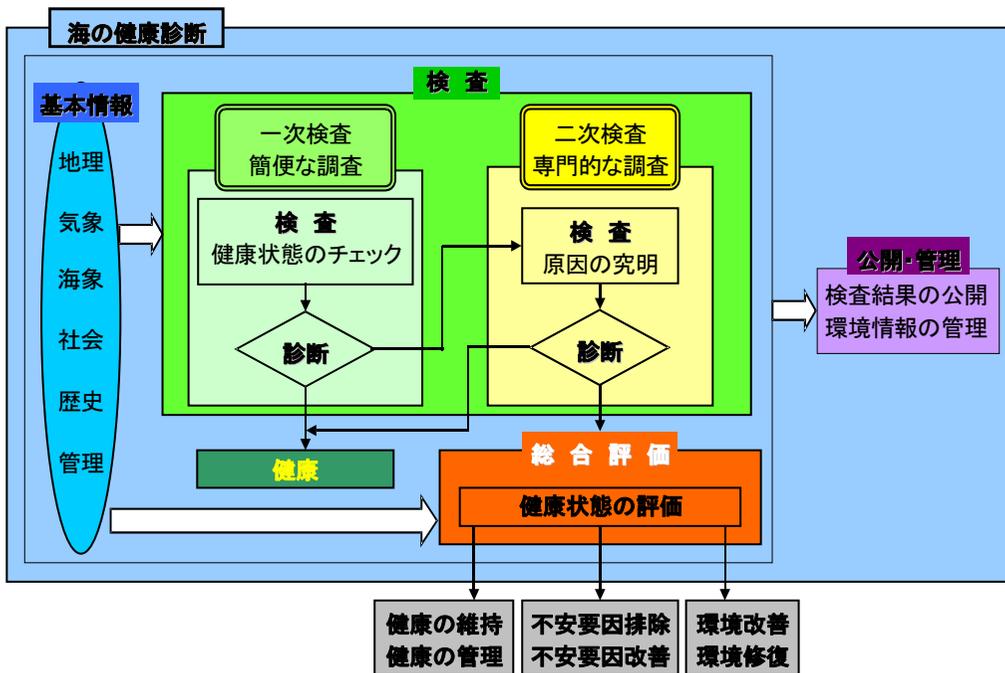


図10 「海の健康診断」の全体構成



b. 物質循環の円滑さに関わる検査

視点	検査項目	必要な資料及び調査	検査内容			検査基準			
			前処理	スタンダード	検査値	結果	良好 (A)	要注意 (B)	要精検 (C)
			最近20年間の透明度の平均	最近3年間の平均TPsをTPs (cm)をTPt (cm)	最近20年間の赤潮の発生の有無	TP = TPt / TPs TD =  TPt - TPt	0.8 ≤ TP ≤ 1.2 かつ TD < 20	0.8 ≤ TP ≤ 1.2 かつ 20 ≤ TD	TP < 0.8 または 1.2 < TP
物質循環の円滑さ	基礎生産	各地方自治体調査	—	—	最近20年間の赤潮の発生の有無	発生なし	毎年ではないが発生	毎年発生	
	負荷・海水交換	流量年表、各県資料、公共用水域水質調査など	淡水滞留時間 $\tau = (S_0 - S_1) V / S_0 Q$ S <sub>0</sub> : 湾外塩分 S <sub>1</sub> : 湾内塩分 Q: 河川流量 単位体積当たり負荷量 Hx = Px / V Px: 負荷量 (x: COD, T-N, T-P) V: 体積	COD: 0.2mg/L T-N: 0.2mg/L T-P: 0.02mg/L	水質項目 (x) ごとに負荷滞留濃度 (LR) を求める。 LR (x) = $\tau \cdot Hx$	すべてLRx < スタンダード値の場合	いずれかがスタンダード値 ≤ LRxの場合	すべてスタンダード値 ≤ LRxの場合	
	潮位振幅の変化	実測潮位データ	最近30年間の朔望平均満潮位・干潮位の差の線形回帰傾き	0.05 (m)	30年間の変化量 AT (m) = 30 (年) × 傾き	AT < 0.05 かつ 最近3年減少傾向	AT < 0.05 かつ 最近3年減少傾向	0.05 ≤ AT	
	底質環境 無酸素水の出現状況 底生魚類の漁獲量	各地方自治体調査 底層の溶存酸素 農林水産統計年報	— — 最近20年間の底生魚介類 (底生魚及び底生生物) の漁獲量	— — 最近20年間の漁獲量平均をFBs	最新の硫化物量の最大値SD (mg/g) 最新の溶存酸素量の最低値AW (mg/L)	SD < 0.2 2.9 ≤ AW	SD < 0.2 0.2 ≤ SD < 1 0.5 ≤ AW < 2.9	1 ≤ SD AW < 0.5	
除去漁獲	—	—	—	最近3年間の漁獲量平均をFBt	0.7 < FB かつ 最近3年間増加・横這い	0.7 < FB かつ 最近3年間減少	FB ≤ 0.7		

### 5. 「海の健康診断」 当面の成果概要

平成 18 年度に、環境悪化懸念のある全国 71 閉鎖性海湾を対象に一次検査を実施した。

その結果、最も高い割合で C 判定が出たのは、「堆積・分解」である (図 12 参照)。特に底質環境については全海湾の 7 割程度で C 判定となっており、日本の閉鎖性海湾の多くが陸域等からの負荷を海底に蓄積している現状が明らかになった。

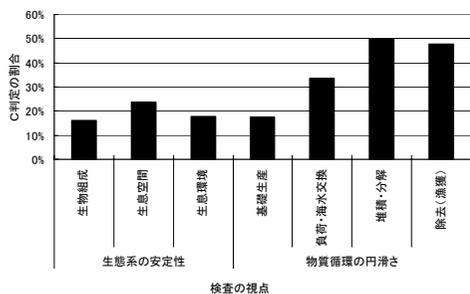


図 12 C 判定の出現割合

次に、C 判定が高い割合で出たのは、「除去 (漁獲)」である。この検査項目は底生魚介類を検査対象としており、上述の「堆積・分解」とあわせて考えると、ここからも閉鎖性海域の底層の環境、とりわけ生態系が損なわれている現状が浮かび上がってくる。また、「負荷・海水交換」も高い比率となっていることは、日本の海湾の多くで負荷・滞留と海水交換のバランスが崩れていることを示唆しているが、海水交換の指標の一つである「潮位振幅」は、海湾内の環境変化のみならず外海の潮位変動等の影響も受けることから、検査結果の解釈の信頼性を高めるためには、年次、経年変化並びに季節的な変動等更なる調査が必要である。

一方、物質循環の円滑さに関わる項目に比べ、「生物組成」、「生息空間」、「生息環境」と

いった生態系の安定性に関わる項目では C 判定は少なかった (図 12 参照)。この結果は物質循環の円滑さが失われている環境での生物の適応性が予想外に強かであることが考えられる。しかし今後の観測において、生態系の安定性に疑念のある傾向が見られれば、C 判定の多さに鑑みて、日本の閉鎖性海域の生態系が生物の環境適応性を超えた深刻な状況に至ったものとする必要があるだろう。

「堆積・分解」や「生息環境」では検査実施率が低くなっているが、これは底層の溶存酸素データの取得不足によるものである (図 4)。底層の環境が損なわれている現状を考えると、行政等関係機関による当該データの充実が強く望まれる。

日本の閉鎖性海湾の生態系は、一般的には、かつての沿岸の大規模な地形改変や陸域からの有害物質の流入などの影響を大きく受けた最悪の状況からはほぼ脱したと見ることができよう。しかし、上記の検査結果からは、これまでに流入し分解されずに蓄積された海底の有機物などが相当量残存し、この“負の遺産”の影響を排除できていない海湾が少なくないことが分かる (図 12)。

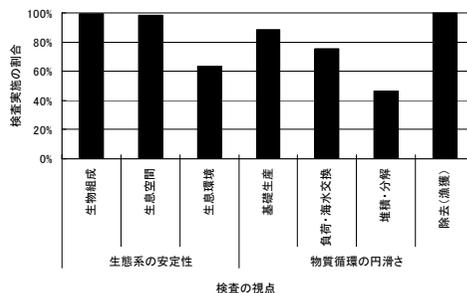


図 13 各視点での検査実施率

## 6. 沿岸域海洋環境保全と今後の課題

### 6.1 浮遊物質と堆積物質

水中の浮遊物質は、その表面において様々な物質を吸着・保持することから、漂泳生態系及び海底堆積物形成にとって重要である。水との親和性の高い物質は海水中に溶存するが、親和性の低い物質は浮遊物質に吸着され易い。分子量の大きな有機物などは水との親和性が低く共存する浮遊物表面に吸着される。一般に浮遊物は海流、潮汐、波浪の影響を受けて移動しつつ徐々に海底に堆積するが、親和性の低い物質を吸着した浮遊物の堆積では、吸着物質は容易には脱着、溶出せず蓄積され、底質を悪化させる。イオンとしての水中の窒素及びリンは浮遊物への吸着は比較的弱い、藻類の増殖が微量の窒素、リンの増減に敏感であることから、富栄養化の見地からは浮遊物の様態は重要である。河川、湖沼では、リンは懸濁態として存在するケースが多いが、湾奥河口域では同様な自然水域の形成があり、懸濁態リンの藻類生産に関わる直接的、間接的寄与が知られている。

このような浮遊物質の物質吸着については、海底堆積による吸着物質蓄積を含め定量的な評価が不十分であり、汚染、富栄養化の両面での更なる評価研究が求められる。

### 6.2 沿岸海洋環境の評価

陸域においても水循環を始め様々な物質の物理的、化学的循環・変動があり、加えて動植物寄与による非生物物質及び生物の移動があるが、本質的に境界のない海洋におけるこれらの流動性は、大気との相互影響及び陸域起因の物質流入と相俟って、陸域に比して格段に大きく、海洋生態系の全貌を把握することを至難にしている。沿岸域は、とりわけ陸域の影響を強く受ける海域ではあるが、その

生態系は沖合の海洋法上の公海環境と無縁ではなく、連続性を有するものであることを常に念頭に置かなければならない。沿岸域海洋生態系は、局所性と非局所性を併せ持つ複合系であり、その調査観測において取り扱う項目、因子は、相互に複雑な作用を及ぼすものであるとの認識が欠かせない。

沿岸域海洋生態系研究は、生態系に対して卓越した影響を及ぼす事項については研究が進んでいるが、弱い相互作用事象については、むしろ研究が待たれる現状にある。

海生生物については、産卵、孵化、成長、成体交尾の一連の過程の個々の段階での、その生息に関わる調査は不十分であり、また生存を阻害する因子、機構についても研究は更に不十分である。個々の生物種特有の生態の把握はかなり進んだと言えるが、これを特定の海域についての生態系情報として収集するための、合理的指針は確立されているとは言えない。合理的指針とは、生態系保護に対して過不足ない情報が得られ、かつその情報収集作業が実施者に対して過大な労力、経費を強いるものではないことが要件となる。他方、細胞生物学的見地からみれば、個々の生物種に対する影響因子とその強度について確たる結論を導くためには膨大な情報と研究作業が必要であり、海洋生態系調査の理想像と実行可能な調査システム間のギャップを埋めることは容易ではなく、現状では不可能に近い感觸を禁じ得ない。

しかし、このような合理的指針の確立は、海洋資源への依存度が急速に増大する現在、喫緊の課題でもある。水産基本法の制定(2001年)を見た現在、その趣意の下、フィールド研究者、細胞生物学者、関係者、国及び自治体組織の有機的、かつ実効あるコラボレーションが真摯に求められている。その端緒を開くのはNPOの本来的責務の一つと考える。

また、本論では、踏み込んだ検討を避けて

はいるが、沿岸域における海産物増養殖の沿岸海洋生態系に及ぼす影響についての検討は必要であり、持続的養殖生産確保法の制定（1999年）にも拘わらず、ややもすれば特定水族の高密度過剰養殖に陥り易い懸念が残る状況では、環境収容力を含めた養殖影響の定量的な評価と地域毎の適切かつ具体的な海洋環境保全指針の確立が必要である。

## 7. まとめ

日本の戦後における経済復興は、沿岸域の大規模かつ急速な開発と連携したものである。沿岸域開発は、陸域からの様々な汚染、有害物質の海域への排出と共に相乗的に周辺海域の環境悪化をもたらしたが、環境保護対策規制が相続いて施行され、陸域から海域にもたらされる過大な負荷は軽減された。これにより日本の閉鎖性海湾の生態系は、最悪の状況からほぼ脱したと見ることができる。しかし、今回実施した「海の健康診断」の検査・診断結果は、当時に排出され、分解されずに蓄積した海底の有機物などの“負の遺産”により、陸域からの過度の負荷がなくなった今日においても依然として海の本来の営み機能が修復、回復させていない海湾が少なくないことを明らかにした。しかもこのような“負の遺産”によって不健康の状態から脱却し得てない海湾は、環境憂慮が喧伝される東京湾などの大都市圏の海湾だけでなく全国的にみられている（図12）ことは注目に値する。今回、診断対象となっていない他の海湾においても、同様の状況が懸念されることから、いずれの海湾においても、定期的かつ継続的な環境監視、「海の健康診断」が肝要と考えられる。さらに、これまで富栄養化という観点から環境悪化の主因子として扱われてきた“栄養塩類”を、豊かな海洋生産の糧に変貌させるためには、“健全な生態系や物質循環のメカニズム”

の海域毎の把握及び環境管理が重要でなる。

本検査・診断が概ね既存の資料を基に実施し得たのは、平素、日本の海の観測調査を行ってきた機関、担当者の継続的な作業があったことであり、その努力、研鑽に対して深甚の謝意を表すものである。しかし、以前から指摘されていることであるが、今回の検査においても底層の環境（底質や溶存酸素量など）や生態系に関する調査データの不足は明確である。また近年、全国的には、海洋環境モニタリングの量、質のいずれも減少傾向が見受けられる。今後、この「海の健康診断」が各地域で用いられることにより、これまで見落されてきた生態系や物質循環のメカニズムの変化に着目した管理や、これを支えるデータの取得、蓄積が進展、促進されることを切に望みたい。

また、今後、多くの事例について「海の健康診断」データが蓄積されれば、データマイニングによるデータの分析、評価が可能となり、よりの確な予防的指針を提示し得る、さらに進歩した「海の健康診断」へと発展が可能となる。

海洋空間の生態系状況のグローバルな把握には、数値解析手法が有効である。汎用スキームとしてはEUプロジェクトとして開発されたERSEM (European Regional Seas Ecosystem Model) があり、日本では太平洋海域を対象としたNEMUROプログラムが知られている。生態系数値モデルでは過去の経験情報の入力が必要であり、環境の変容への対応は不十分であるが、一方、スキームを工夫すれば仮想的な生態系条件を入力することや地域性を考慮することも可能であり、3次元的な時空間分布を求め得る物理・生態系結合モデルの今後の発展が望まれる。

本論は、「海の健康診断」の趣意が広く理解され、活用されることを願って、本財団が実施した『全国閉鎖性海湾の「海の健康診断」

調査』事業の成果を基に、私見を加えて取りまとめたものである。本事業の実施に際して、ご指導、ご尽力戴いた 全国閉鎖性海湾の「海の健康診断」判定会議の平野敏行委員長（東京大学名誉教授）、中田英昭委員（長崎大学教授）、松田治委員（広島大学名誉教授）、中田喜三郎委員（東海大学教授）、南卓志委員（東北大学大学院教授）、桑原連元東京農業大学教授に深甚の謝意を表します。また、本事業に多大のご支援を戴いた日本財団に深く感謝申し上げます。

### 参考文献

- (財)シップ・アンド・オーシャン財団（2002）海の健康診断マスタープラン ガイドライン
- (財)シップ・アンド・オーシャン財団（2003）平成13年度閉鎖性海湾の環境モニタリングに関する調査研究報告書
- (財)シップ・アンド・オーシャン財団海洋政策研究所（2004）平成15年度閉鎖性海湾の健康診断に関する調査研究報告書
- (財)シップ・アンド・オーシャン財団海洋政策研究所（2005）平成16年度全国閉鎖性海湾の海の健康診断調査研究報告書
- 海洋政策研究財団（2005）海の健康診断 考え方と方法
- 海洋政策研究財団（2006）平成18年度全国閉鎖性海湾の海の健康診断調査研究報告書
- 小野佐和子／宇野求／古谷勝則（2004）海辺の環境学 東京大学出版会
- 佐藤敦久（1987）水環境工学 技報堂出版
- 日本海洋学会（2001）海と環境 講談社
- 鳥羽良明（1996）大気・海洋の相互作用 東京大学出版会
- 高橋正征／古谷研／石丸隆（1996）粒状物質の一次生産 東海大学出版会
- 東京海上火災保険㈱（1996）環境リスクと環境法（欧州・国際編） 有斐閣
- （社）日本港湾協会（2006）数字でみる港湾2006
- 柳哲雄（1989）沿岸海洋学 恒星社厚生閣
- 酒匂敏次／野尻徹郎／和田明／中村充／松石秀之（1974）海洋環境のデザイン 彰国社
- 東京湾環境データベース
- 国立環境研究所環境情報センター環境数値データベース
- 各都道府県農林水産統計年表
- 日本海洋データセンター潮汐カタログ



## A Pre-cautionary Approach to Preservation of Marine Ecosystem in Semi-enclosed Coastal Seas

Mitsuru Okawa\*

### Abstract

Marine environmental protection is now of great concern as humans have become increasingly dependent on the oceans for food, resources, and recreation. For too long, the oceans have been considered a huge dumping ground for human wastes. Ocean pollution is caused by atmospheric drainage or runoff, industrial and human liquid waste outflow, solid waste disposal, oil discharge, and a variety of natural pollution sources, such as global warming and subsea vents.

Coastal waters sustain a greater variety of flora and fauna than the high seas because of a greater abundance of nutrients and sunlight and greater carbon densities, supporting intensive benthic, demersal, and other forms of marine life. To assure that the oceans remain a great resource of food, minerals, fuels, and energy for humans, it is essential to maintain the ecological balance of the coastal zone. Coastal waters with well-balanced nutrient loadings encourage growth of macroalgae and sea-grass in shallow waters and ensure the high survival rate of fish and shellfish in such zones.

In the last few decades, well-sheltered ports have been constructed in various coastal areas in Japan. However, the ecological impacts of port construction and operations have not been negligible. Oceans are extremely sensitive, and radical changes in their chemical, thermal, and physical balance can produce great damage not only to biological, chemical, and physical activities in the water but also to the earth's atmosphere and inner crust, which are greatly affected by the oceans. In the past, ecological factors, especially relating to air and water quality, were only a secondary design issue for ports, but they are now major factors in specifying port and vessel design and operating conditions.

The link between sustainable economic development or growth and effective marine environmental management is now indisputable. The maintenance and rational management of the environment is an essential factor in long-term human advance, as growth derived from ecological depletion is not economically sustainable beyond a very short time horizon.

The field of marine environmental management deals with effective monitoring systems and analysis of traces, chains of actions, or reactions from the various sources of ocean pollution, or from their initial causes, to the resulting ecological effects or impacts.

The objective here is to provide an introduction to an integrated assessment of marine ecosystem health, the "Health Examination of the Sea," which has grown out of a keen awareness of those impacts and the increasing prominence of such principles as sustainability, responsible uses of marine resources, and the precautionary principle.

---

\* Ocean Policy Research Foundation

The Health Examination of the Sea comprises basic information, examinations, evaluations, and public disclosure and management of data.

Basic information includes geographic factors, meteorological conditions, social conditions, historical factors, and managerial factors pertaining to the bay in question. The ordering of such information is an important first step in the inspection procedure of the Health Examination of the Sea and is used as criteria for the preliminary and secondary examination surveys and the comprehensive evaluation.

The preliminary examination is designed to make possible a relatively simple examination and evaluation to check for various unhealthy factors. Strict criteria were set to check for destabilizing factors and for levels easily overlooked or not especially worrisome. In those cases where the preliminary examination results in a “Healthy” evaluation, health maintenance and management should be continued. When the preliminary examination results in an “Unhealthy” evaluation, a secondary examination is carried out.

The secondary examination consists of a re-examination and more thorough examination. The re-examination undertakes a more detailed examination of the areas deemed unhealthy in the preliminary examination to confirm the diagnosis. If the unhealthy diagnosis is confirmed in the re-examination, a more thorough examination is carried out to determine the underlying causes. Although both examinations are carried out in detail, the secondary examination requires professional knowledge and expertise. There are two different outcomes of the secondary examination: either a guideline is produced for the removal or improvement of destabilizing factors, or a recommendation is made for “surgery” in the form of a restoration and improvement of the environment.

In recent years, across the nation, there has been a decline in both the quantity and quality of monitoring of the marine environment. In the future, through the use of this Health Examination of the Sea around the country, we hope that a management system sensitive to the heretofore overlooked changes in the ecosystem and materials cycle mechanism will be put into place, along with the improvements in data collection and archiving necessary for effective implementation.

# 再生すべき環境共生型社会システムに関する研究

## —江戸時代における東京湾への陸域負荷の推計—

櫻井 一 宏\*

本稿では、江戸のまちの社会活動や陸域環境について、人間の活動および土地利用の側面から既存の諸資料に基づき可能な限り定量的に把握することにより、それらが江戸時代の東京湾に対してどの程度環境負荷を与えていたかを推計する。当時明確ではなかった江戸のまちの空間的範囲を画定し、人口や経済、土地利用などのデータをもとに、江戸社会における特徴的な環境共生システムである資源リサイクルを考慮した物質フローモデルを構築する。計算の結果、江戸のまちから東京湾への全窒素(T-N)の総流入量は年間774トンとなり、2000年の推計値の112分の1ほどであると推計された。また、陸域起因負荷については、対象とする空間および時代に関わりなく、本研究で用いた定量的なマクロ分析手法の有用性を示すことができた。

キーワード：江戸、東京湾、GIS、環境負荷、物質フローモデル

### 1. 研究の背景と目的

18世紀から19世紀にかけての江戸時代の東京湾は、多種多様な生態系が構成され、良好な水質を保持する理想的な海洋環境であり、沿岸域を中心に豊富な水産物の恩恵を受けることのできた「豊かな海」であったと考えられる。その一方で、江戸は「江戸百万都市」といわれる大都市であり、これは当時の欧州の大都市（ロンドン90万人、パリ60万人）を遙かにしのぐ規模であったとされている。同時期の欧州における水環境に視点を移すと、例えばセーヌ川などは、既に水質汚濁が深刻化しており、社会的に大きな問題となっていた。これらを考慮すると、江戸時代における東京湾は、大都市を擁する陸域における人間

活動と海洋環境の調和に最も成功した理想的な状況にあったと推測することができ、また、このことが一般的に容易に受け入れられている面もある。

しかしながら、江戸時代の社会的活動の全容、とりわけ海洋環境の状況に関しては、定量的な解析はほとんど行われておらず、それらの実態については不明な点が多い。

一方、現代の東京湾においては、港湾としての機能や効率性が重視され、産業振興のための利活用が中心となってきたことは否めない。結果、沿岸域は大きく変貌し、わが国の高度成長期前後には公害問題が顕著になった。以降、水質改善を目指したさまざまな施策が実施され、最近はより包括的な環境問題への対応が急がれている。例えば、2003年の自然

\*海洋政策研究財団

再生推進法施行以来、それまでに損なわれた生態系、その他の自然環境を取り戻すことを目的として、国内の多くの地域で自然と人間社会の共生の実現を目指し自然再生を推進する試みが行われている。沿岸域においては干潟や藻場の機能が見直され、これらの修復のための試みが各地で行われており、一定の成果を収めている。

しかし、海洋や沿岸域に関する多くの施策、多様な活動が実践されてはいるが、それらが目標とすべき「海洋」あるいは「海洋環境」がどのような状況であるべきなのか、具体的に明示されていない。したがって、どのような「海洋」や「海洋環境」を目指し、そのために何を行い、何を再生すべきなのか、その方向性すら明確になっていないのが現状である。また、海洋および海洋環境を検討するに当たっては、陸域環境、特に人間活動や社会システムが大きく関与することは明らかであり、これらを十分に考慮する必要がある。

以上を踏まえ、本研究では、江戸時代の東

京湾の海洋環境について、特に陸域の環境や活動によるインパクトがどの程度のものであったのか、可能な限り定量的なアプローチで分析を行うことを目的とする。この際、陸域の社会的活動と土地利用などの環境をシステムの的に捉えて分析する。このような定量的分析によって、江戸時代の東京湾の海洋環境に関わる状況についてある程度評価することが可能となり、例えば当時を「理想の海洋環境」のモデルのひとつとして仮定するならば、現代の状況と比較することによって、東京湾再生のビジョンや具体的な政策について検討するための重要な情報として提示することができよう。

## 2. 研究方法

江戸のまちを、東京湾に流れ込む環境負荷物質を発生させる陸域として設定し、江戸の人口、産業構造や経済活動、江戸のまちの土地利用形態などについて原資料をもとに明ら

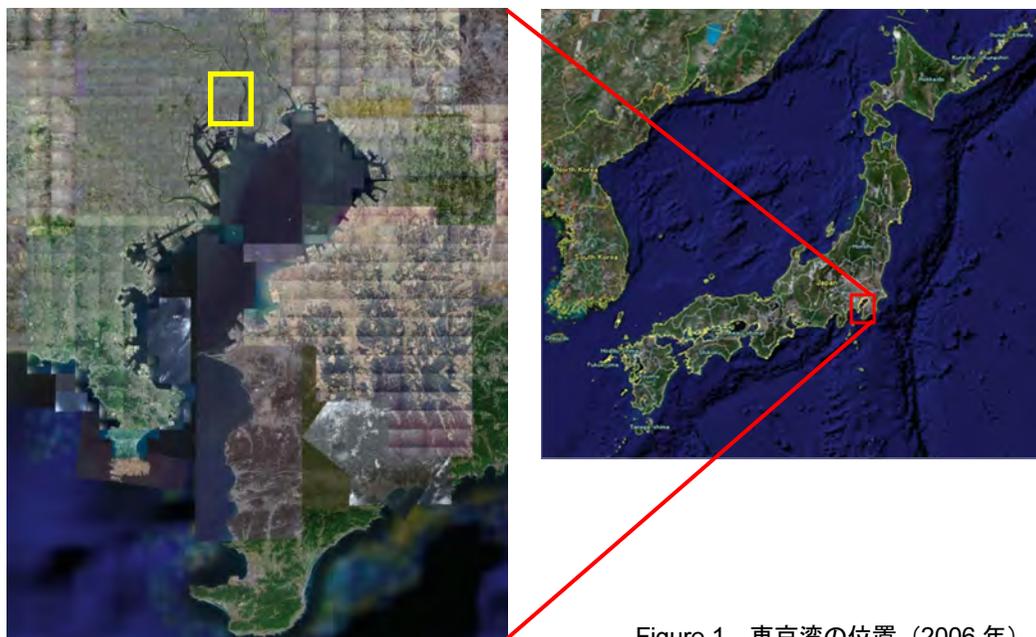


Figure 1 東京湾の位置 (2006年)

かにした上で、当時の資源リサイクル（具体的には尿尿の肥料としての再利用）を環境共生のための江戸社会システムとして捉え、これを考慮した上で水質汚濁負荷などを含めた物質循環を定量的に把握するモデルを構築し、東京湾の海洋環境への影響を分析する。江戸期当時の陸域の社会システムから海洋環境までの物質循環系を具体的にモデル化することは、現在の状況を分析するにあたっても同様の手法で比較することができる。したがって、時代に関わらず同一の視点での比較検討が可能になる。

### 3. 対象とする地域および時代

本研究では、江戸時代における東京湾および東京湾に流れ込む負荷を発生させる陸域を対象とする。

江戸時代は、1603（慶長8）年2月12日、徳川家康が征夷大將軍に任じられ江戸幕府を開府してから、1867（慶応3）年11月9日（旧暦10月14日）に大政奉還がなされるまでの265年間である。

江戸時代を対象とする理由は、一般に同時代の江戸では循環型社会が実現されており、世界の他の大都市と比較しても非常に良好な水環境・都市環境であったといわれていることから、これを定量的な視点で検証するという点、さらには同時代における人口データや地理データ、土地利用データなどが比較的入手しやすいということが挙げられる。

Figure 1 は本研究で対象とする東京湾を示したものである。江戸のまちの位置は黄色のラインで囲まれた地域となる。東京湾は関東平野南部に位置し、典型的な閉鎖性内湾を形成している。国土交通省関東地方整備局（2006）によると、東京湾に関連するデータは以下の通りである。水域面積は約1,380km<sup>2</sup>、

平均水深は45m程度となっており、外海との海水交換が悪く、内湾における海水の年平均滞留時間は約1.6ヶ月である。海底地形は、湾奥から外に向かって徐々に深くなっており、内湾の湾口部の水深は50m以上である。また、内湾の水際線の総延長は800km弱であり、そのうち約8%が自然海岸を含む親水水際線であるが、ほとんどが護岸などを行った人工構造物による水際線となっている。1960年代以降、高度成長期を経て湾内の水質は悪化しており、1970年に制定された水質汚濁防止法をはじめとしたさまざまな法規制や下水道整備など各種の政策、事業によって水質改善が図られてきた。

### 4. 江戸のまち

#### 4.1 江戸のまちの空間的圏域

江戸のまちは江戸時代を通じて発展し続けており、その都市としての圏域も拡大してきた。一方で江戸のまちの範囲は現在のような行政区画として厳密に決定されていたわけではなかった。当時においても、「江戸のまち」としての空間的圏域については非常にあいまいで、正式に議論されてこなかった。社会的な統治制度としての行政や司法、警察機能などによって江戸の町人地を対象に管轄した町奉行所があり、その他、寺社地は寺社奉行、武家地については大目付・目付といった行政機構が存在しており、それらを空間的に概観すると、それぞれの管轄が複雑に入り組んでいたというのが実情であった。

しかし、1818（文政元）年8月、目付牧助右衛門によって「御府内外境筋之儀」が提出されたのを機に、江戸のまちの範囲（御府内と呼ばれる）について検討することとなり、評定所<sup>1</sup>において評議された。その結果、同年12月、幕府は御符内の範囲を設定し、老中

<sup>1</sup> 三奉行（寺社・町・勘定奉行）が主となって訴訟を判決する機関。問題によっては三奉行の複数合議によって老中・大目付も列座して評定所で決議される。

阿部正精により発表された。Figure 2 は朱線によって江戸の圏域が図示された朱引図である。この範囲は、寺社勧化場（寺社が建立のための寄付を受けることができる範囲）と札懸場（変死者や迷子の情報などを高札によって掲示した場所）の対象となる範囲にほぼ一致する。



Figure 2 江戸朱引図

(出典：東京都公文書館 HP)

#### 4.2 朱引図のデジタルマップ

本研究では、Figure 2 に示した朱引図や当時作成された古地図などの資料を参考に江戸都市圏の空間的圏域を設定し、正井（2000）や大正 6 年図式の旧帝国陸軍調製旧版地形図をベースとして、江戸都市圏デジタルマップを作成した (Figure 3)。これは世界測地系<sup>2</sup>を基準とした GIS データによって処理されている。ここで画定した江戸都市圏を、本研究に

おける対象地域として設定し、分析を行うこととする。Figure 3 における赤線は陸域の朱引範囲を示し、青線は当時の海岸線を示している。



Figure 3 江戸のまちの範囲（朱引範囲）

#### 4.3 江戸のまちの土地利用

本節では、Figure 3 で示した本研究における東京湾へ負荷を与える陸域としての江戸のまちが、どのような土地利用の形態であったのかを解明する。江戸時代当時に描かれた江戸城周辺の絵図などが多数あり、現代の住宅地図のように大名屋敷や武家屋敷の情報が示されているものも存在するが、現在の土地利用図のような精度が高いものはないに等しい。そこで本研究では、当時の土地利用研究に関して地理学的・地図学的に最も信頼性が高いと考えられる正井（2000）や、陸軍参謀本部（1880（明治 13）年～1886（明治 19）年発行）などを参考にして当時の土地利用の分類を行い、GIS による分析を行った。朱引図のデジ

<sup>2</sup> 明治以降、わが国では Bessel 楕円体を使用した「日本測地系」と呼ばれる測地基準系を用いてきた。2002 年 4 月 1 日以降はわが国でも世界的に標準となる測地基準系である「世界測地系」を用いている。世界測地系とは、VLBI (Very Long Baseline Interferometry: 超長基線電波干渉法) や人工衛星を用いた観測によって明らかとなった地球の正確な形状と大きさに基づき、世界的な整合性を持たせて構築された経度・緯度の測定の基準である。

タルマッピング (Figure 3) と同様、世界測地系による GIS データとして加工、作成した。

Table 1 は土地利用区分の設定と、作成した GIS データからそれぞれの土地利用面積を推計したものである。

Figure 4 は江戸のまちの土地利用形態について、GIS を用いて表示したものである。ベースの地図は現在の東京湾沿岸であり、当時の海岸線からは相当の埋立て地域が存在しているのがわかる。

Table 1 土地利用分類と推計面積

Index	土地利用	面積 (㎡)	割合 (%)
1	江戸城	1,017,323	0.6
2	幕府用地	1,824,860	1.1
3	大名屋敷	28,911,327	17.1
4	武家屋敷	18,439,283	10.9
5	町屋	14,967,775	8.8
6	神社・仏閣	11,389,752	6.7
7	村落	8,133,073	4.8
8	農地・空地	70,711,763	41.8
9	干潟	6,757,405	4.0
10	湿地	374,686	0.2
11	水域	6,713,321	4.0
	合計	169,240,568	100

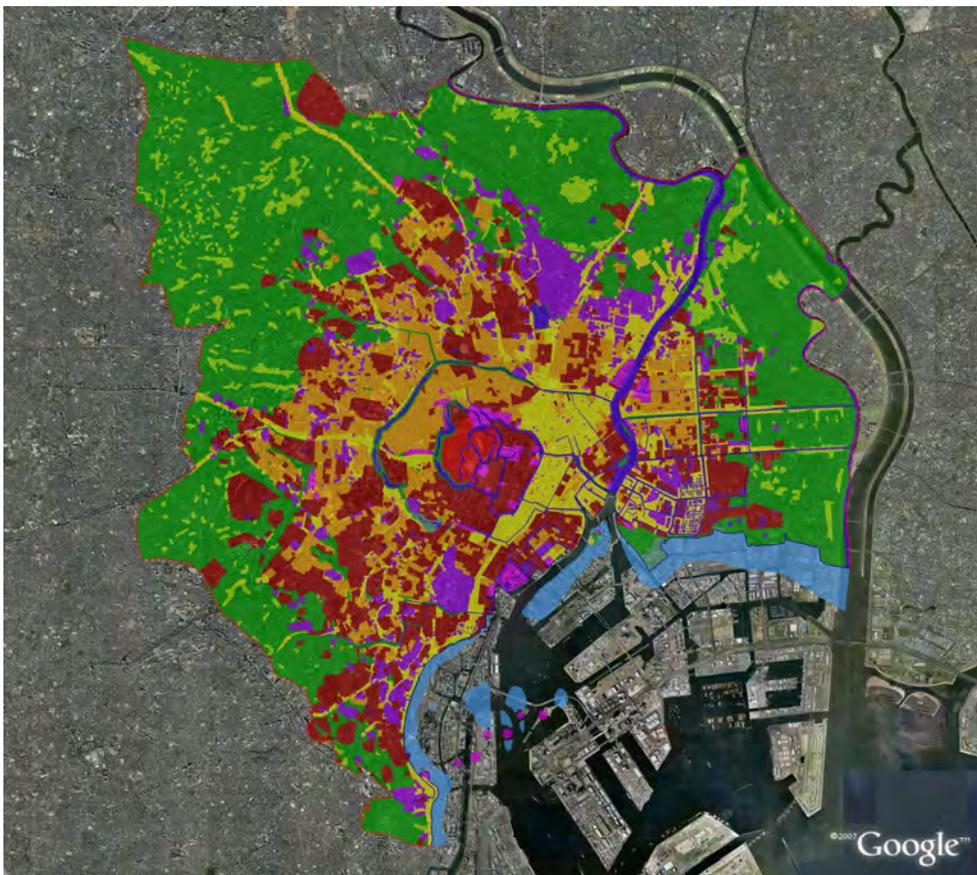


Figure 4 江戸のまちの土地利用

## 5. 江戸の社会経済状況

### 5.1 人口

わが国の総人口に関しては、1721（享保6）年、第8代将軍徳川吉宗によって「人別帳」が作成されることで、全国規模での統一的人口調査が初めて行われた。これにより江戸時代の人口推計が可能になったといつてよい。同資料は全国各地域でまとめられていた「宗門人別改帳」がデータ元となっていたと考えられている。この資料では武士階級の人口が除外されていたり、脱藩者については無視されている点、また、藩による調査対象年齢が不統一であったなど、いくつかの問題点が指摘されている（鬼頭（2002））。しかし、現在のところ最も信頼性の高いデータ資料として用いられることが多く、本研究においてもこれをベースに一部推計したデータを利用する。

Figure 5 は、わが国初の全国規模の人口調査が行われた1721年以降、2006年までのわが国の総人口の推移を示したグラフである（鬼頭（2002）、財団法人国際エメックスセンター、総務省統計局のデータより作成、一部の年代は推計）。

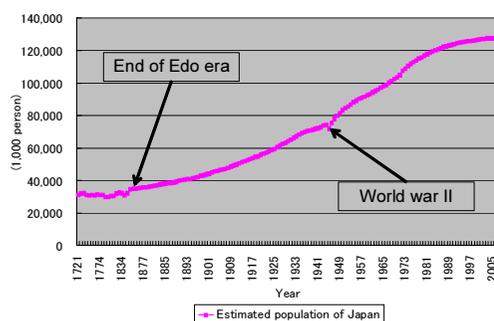


Figure 5 1721年から2006年までのわが国の人口動態

1843（天保14）年の人別帳などの資料によると、町人は約59万人とされており、武家や

公家などの町人以外の人口もほぼ同数といわれている。したがって、本研究では、江戸市中人口がおおよそ110万人ほどであるとして分析を行う（Table 2）。

Table 2 江戸市中人口

（1843（天保14）年7月）

町人	町方支配場町人	479,103
	寺社門前町人	74,154
	出稼人	34,201
	合計	587,458
武家	} 町人とほぼ同数	
公家		
その他		
推計値		1,100,000

（町人人口の出典：『天保14年人別帳』）

### 5.2 産業

江戸時代の物産データについては、江戸周辺でどのような産物が得られたかを詳細に調査した、岩崎常正による『武江産物志』（1824年）によってある程度把握することができる。同資料は、江戸とその20kmほどの周辺部において得られた農産物、菓草木類、魚介類、昆虫、爬虫類、両生類、哺乳類などについて記述したものである。

Table 3 1874年における経済データ

Index	産業部門	生産 (数量, 価額)
1	畜産業	1,002 頭
2	木材類	3,018 円
3	飼料類	108 円
4	食物類	9,098 円
5	紙類	78,753 円

（出典：『明治7年 府県物産表』）

しかし、江戸期の産業活動について、各財の生産量や価格などのデータを含め現在利用できるような統計資料は存在しないため、本研究では明治政府（民部省）が実施したわが国初の近代的統計調査による生産統計『明治7年 府県物産表』（1874年）からデータを用いることとした（Table 3）。

### 6. 物質フローモデル

Figure 6 は、江戸のまちを中心にした当時の東京湾周辺陸域における物質フローモデルの概念図を示したものである。本研究では、江戸のまちにおける各活動主体から排出される環境負荷物質の指標として全窒素（T-N）を対象とし、原単位法を用いて東京湾への流入量を推計する。江戸のまちにおいて発生する T-N は、生活系・面源系・産業系の3系統から排出されるものと仮定する。ここで、生活系とは江戸の居住者による活動からの負荷、面源系とは江戸のまちにおける各土地利用別の負荷、そして産業系とは江戸における産業

活動による負荷を意味する。ここで示した物質フローモデルにおいて、生活系負荷および産業系負荷のうち畜産業のみについては、当時の江戸社会の特色である尿尿の再利用による農地還元を考慮し、これを仮想的な静脈産業によるリサイクル率と定義してモデルに組み込んだ上、推計を行う。また、T-N が海域へ流入する過程での自然浄化率も考慮に入れるものとする。

### 7. 江戸社会の環境負荷量の推計

本節では、江戸のまちから発生し東京湾へ流入する T-N 負荷量推計のためのモデル式を定式化する。

当時の東京湾へ流入する負荷の起源陸域を江戸のまちと仮定し、その総流入負荷量は、江戸のまちにおける生活系・面源系・産業系によるそれぞれの発生負荷量から、適宜、屎尿リサイクルによる農地還元分や自然浄化分を考慮に入れて推計する。

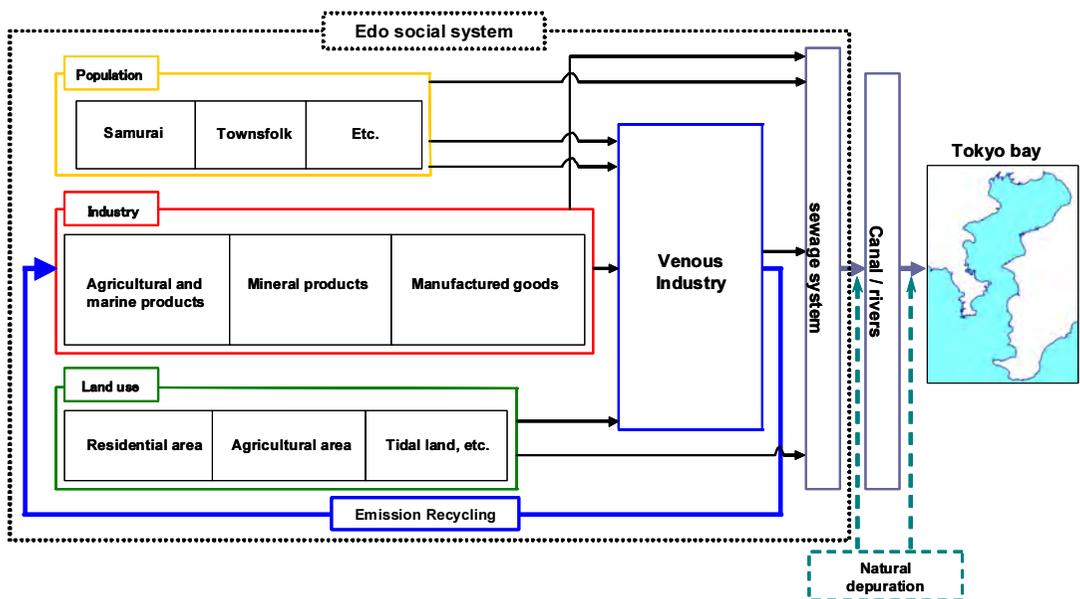


Figure 6 物質フローモデル概念図

以下に、それぞれの系統別負荷量の推計式を提示する。

### 7.1 生活系負荷

生活系負荷は、江戸の居住者の諸活動によって排出される T-N 量とする。本研究で扱うデータは Table 4 に示した通りである。総合科学技術会議 (2005) によると、1935 (昭和 10) 年当時、尿尿による生活系負荷の約 80% が肥料として農耕地へ還元されていたとしている。これを参考に、本研究では江戸期の尿尿リサイクル率を 80% として 1843 年の江戸の都市人口 (110 万人) による T-N 負荷量を推計する。

Table 4 生活系データ

人口 (1843 年)	T-N 負荷原単位 (g/人/日)	リサイクル 率
1,100,000	11.2	80%

なお、除去率とは土壤環境などによる自然浄化率のことであり、ここでは国土技術政策総合研究所のデータを参考に 40% として計算を行う。

したがって、年間あたりの東京湾へ流入する生活系 T-N 負荷量は以下の式により算出することができる：

$$\begin{aligned}
 & \text{生活系 T-N 負荷量 (kg/year)} \\
 & = \text{江戸居住人口 (人)} \times \\
 & \quad \text{負荷原単位 (g/人/day)} \times \\
 & \quad (1 - \text{リサイクル率}) \times \\
 & \quad (1 - \text{除去率}) \times 10^{-3} \times 365 \text{ (day)} \\
 & \dots (1)
 \end{aligned}$$

### 7.2 面源系負荷

面源系負荷は、江戸のまちの各土地利用面積のうち、江戸城・幕府用地・大名屋敷・武家屋敷・町屋・村落・神社・仏閣および農地・

空地を対象として推計する (Table 5 参照)。すなわち、本モデルでは居住区域と農業地域を対象として計算を行うこととする。除去率は生活系負荷と同様の取り扱いとする。

Table 5 面源系データ

Index	土地利用 区分	面積 (ha)	T-N 負荷 原単位 (kg/ha/year)
1	江戸城		16.5
2	幕府用地		16.5
3	大名屋敷		16.5
4	武家屋敷	8,468	16.5
5	町屋		16.5
6	村落		16.5
7	神社・仏閣		16.5
8	農地・空地	7,071	29.3
9	干潟	676	0.0
10	湿地	37	0.0
11	水域	671	0.0
合計		16,924	

以上より、年間あたりの東京湾へ流入する面源系 T-N 負荷量は次式から算出する：

$$\begin{aligned}
 & \text{面源系 T-N 負荷量 (kg/year)} \\
 & = \text{各土地利用面積 (ha)} \times \\
 & \quad \text{負荷原単位 (kg/ha/year)} \times \\
 & \quad (1 - \text{除去率}) \\
 & \dots (2)
 \end{aligned}$$

### 7.3 産業系負荷

産業系負荷は、畜産業、木材類、飼料類、食物類および紙類の生産による負荷を対象とする。負荷の推計に用いるデータは Table 3 に示した産業経済データ (民部省 (1875)) によるものであり、詳細は Table 6、Table 7 に示

した通りである。

Table 6 産業系データ①

Index	畜産業 (1874年, 頭)	T-N 負荷 原単位 (g/頭/日)	リサイ クル率
1	1,002	290	80%

Table 7 産業系データ②

Index	産業 (1874年)	現在価値 (2000年, 千円)	T-N 負荷 原単位 (kg/日/億円)
1	木材類	23,321	0.01
2	飼料類	838	0.52
3	食物類	70,302	0.74
4	紙類	608,532	10.23

ここで、畜産業においてのみ家畜の尿尿による負荷排出を制御する（肥料として農耕地へ還元し再利用する）ことが可能であると仮定し、生活系負荷の推計と同様、リサイクル率を80%として計算を行う。除去率については各産業とも生活系負荷と同様の取り扱いとする。

(1) 産業系負荷総量

産業系からの T-N 負荷総量は、畜産業とそれ以外の各産業（木材類、飼料類、食物類および紙類）による負荷量の合計とし、以下の式から算出する：

$$\begin{aligned} & \text{産業系 T-N 負荷総量 (kg/year)} \\ & = \text{畜産業による T-N 負荷量 (kg/year)} \\ & \quad + \text{各産業による T-N 負荷量 (kg/year)} \\ & \dots (3) \end{aligned}$$

(2) 畜産業による負荷量

畜産業による T-N 負荷量は以下の式から算出する：

畜産業による T-N 負荷量 (kg/year)

$$\begin{aligned} & = \text{飼育頭数 (頭)} \times \\ & \quad \text{負荷原単位 (g/頭/day)} \times \\ & \quad (1 - \text{リサイクル率}) \times \\ & \quad (1 - \text{除去率}) \times 10^{-3} \times 365 \text{ (day)} \\ & \dots (4) \end{aligned}$$

(3) 畜産業以外の各産業による負荷量

Table 3 で示した畜産業以外の各産業部門（木材類、飼料類、食物類および紙類）の生産による負荷量を推計するにあたり、日本銀行調査局編（1975）、日本銀行（1986）、総務省統計局 HP などのデータをもとに計算すると、明治7年（1874年）と平成12年（2000年）の消費者物価は約7,727倍となった。これらをもとにして、ここで用いるデータをまとめたのが Table 7 である。

したがって、木材類、飼料類、食物類および紙類の各産業による T-N 負荷量は以下の式から算出する：

$$\begin{aligned} & \text{各産業による T-N 負荷量 (kg/year)} \\ & = \text{生産額 (億円)} \times \text{物価指数} \times \\ & \quad \text{負荷原単位 (kg/day/億円)} \times \\ & \quad (1.0 - \text{除去率}) \times 365 \text{ (day)} \\ & \dots (5) \end{aligned}$$

7.4 T-N 負荷総量

以上より、東京湾へ流入する T-N 負荷総量は、江戸のまちにおける生活系負荷、面源系負荷および産業系負荷の合計とし、以下の式により算出する：

$$\begin{aligned} & \text{東京湾へ流入する T-N 負荷総量 (kg/year)} \\ & = \text{生活系負荷量 (kg/year)} + \\ & \quad \text{面源系負荷量 (kg/year)} + \\ & \quad \text{産業系負荷量 (kg/year)} \\ & \dots (6) \end{aligned}$$

7.5 推計結果

生活系・面源系・産業系の各 T-N 負荷原単位については、小倉（1993）、日本下水道協会

(2001) および民部省 (1875) などを参考にして設定した (Table 4、Table 5、Table 6、Table 7 を参照)。

これらのデータを用い、前節までのモデルにより得た推計結果を Table 8 に示す。1843 年における生活系負荷量は年間約 540 トン、面源系負荷量が約 208 トン、産業系負荷量は 26 トンほどとなり、合計では約 774 トンの T-N 負荷量が当時の東京湾に流入していたという結果が導出された。

Table 8 江戸社会の T-N 負荷量推計値

(ton/year)

年	生活系	面源系	産業系	合計
1843	540	208	26	774
2000	59,944	6,234	20,852	87,030

さらに、同様の手法を適用して計算した 2000 年の T-N 負荷量の推計値も Table 8 に示した。その結果、2000 年においては、生活系負荷量が約 59,944 トン、面源系負荷量は約 6,234 トン、産業系負荷量は約 20,852 トンとなり、年間では約 87,030 トンの T-N 負荷量が東京湾に流入していると推計された<sup>3</sup>。これは本研究で推計した江戸期 (1843 年) における負荷量の約 112 倍となっている。

## 8. 結論

本研究では、江戸時代の巨大消費都市であった江戸のまちにおいて、どのように人々が活動し、世界でも唯一とあってよいその独特の環境共生社会システムによってどのような

環境が実現されていたのか、定量的なアプローチによる分析を試みた。

東京湾のような閉鎖性内湾の海洋環境について議論するためには、海域の地形や海流、自然環境についてはもちろんであるが、沿岸域やさらなる後背地である内陸の流域の自然環境や社会活動などを踏まえ、包括的な視点をもってそれらの影響を考慮しなければならない。

本研究で示したアプローチは、上述した総合的な視点と、対象地域の物質フローを捉えたモデリングによって、社会経済活動と環境負荷との関係、そしてそのバランスを構造的および定量的に分析することができる手法である。同手法を江戸に適用することによって、過去の社会および環境の状況について分析することが可能であり、汎用性の高い社会環境評価手法の一試案として検討に値するものであることを示すことができた。

ただし、本研究における課題として、江戸市民の人口や GIS による土地利用区分に対応した環境負荷原単位の値など、使用データの精度や信頼性に関する問題が挙げられる。したがって、本研究で示した手法を適用する際、対象とする時代や地域によっては、経済データ、環境データともに収集にあたっての限界があるなど、いくつかの問題が存在する。それらを克服するためには、より多様な資料・文献からのデータ収集や、信頼性の高い推計手法が必要となるであろう。

また、今回の分析では主に陸域を対象地域とし、東京湾の海域へ流入する T-N 負荷量を推計した。今後の課題として、社会および環境の物質循環を総合的に分析するために、例えば干潟の機能や関連する生態系、水産物の収支など、沿岸域や海域を含んだモデルの組

<sup>3</sup> 2000 年の T-N 負荷量の推計においては、生活系は下水処理場からの排出を含む。また、産業系は畜産系および工場・事業系の合計として計算を行った。

み込みや、さらに他の環境指標を対象として推計を進めることが必要である。

## 参考文献

- 鬼頭宏 (2002): 日本の歴史第19巻 文明としての江戸システム. 講談社.
- 正井泰夫 (2000): 大江戸地理空間図(2万分の1). 陸軍参謀本部 (1880(明治13)年~1886(明治19)年発行): 第一軍管区地方二万分一迅速測図原図.
- 野村圭佑 (2002): 江戸の自然誌 - 『武江産物志』を読む-. どうぶつ社.
- 民部省 (1875): 明治7年 府県物産表.
- 国土交通省関東地方整備局 (2006): 東京湾水環境再生計画 (案) -美しく豊かな東京湾のために-.
- 総合科学技術会議 自然共生型流域圏・都市再生技術研究イニシヤティブ (2005): 自然共生型流域圏・都市再生技術研究イニシヤティブ報告書.
- 小倉紀雄編 (1993): 東京湾 -100年の環境変遷-. 恒星社厚生閣.
- 日本下水道協会 (2001): 流域別下水道整備総合計画調査指針と解説.
- 日本銀行調査局編 (1975): 図録 日本の貨幣 8 近代兌換制度の確立と動揺. 東洋経済新報社.
- 日本銀行 (1986): 日本銀行百年史 資料編. 日本銀行百年史編纂委員会編纂.
- 総務省統計局 HP:  
<http://www.stat.go.jp/data/chouki/22.htm>
- 財団法人国際エメックスセンターHP:  
[http://www.emecs.or.jp/01cd-rom/section1/sec1\\_toukeitop.html](http://www.emecs.or.jp/01cd-rom/section1/sec1_toukeitop.html)
- 総務省統計局 HP:  
<http://www.stat.go.jp/data/nihon/02.htm>
- 東京都公文書館 HP:  
[http://www.soumu.metro.tokyo.jp/01soumu/archives/0712edo\\_hanni.htm](http://www.soumu.metro.tokyo.jp/01soumu/archives/0712edo_hanni.htm)



# A Study on the Social System for the Human and Environmental Symbiosis: Estimate of Land-based Water Pollutant into the Tokyo Bay in the Edo Period

Katsuhiko Sakurai\*

## Abstract

In this study, the target area is Edo city in the 19th century, which is assumed as the land area discharging the water pollutant flowing into the Tokyo bay. Also, the target period of this research is the end of the Edo period, which is around 1800's. In Japanese history, the Edo period was from 1603 to 1868. In 1603, the Shogunate Government of Edo was established by Ieyasu Tokugawa, and the Edo period was ruled through a feudal system such as the land-owning and the class systems for all of its 265 years. Edo was the largest consumption city in Japan through the Edo period, because it was the heartland of politics and a lot of samurais lived in, which were the non-laboring class. Though Edo city had the largest population and the highest its density in the world at that time, it seemed to have the most unpolluted water environment because of the human wastes recycling and its circulation system in the Edo society.

First, this study is focused on the delimitation of the Edo city area on the basis of the official announcement by the Edo government in 1818. One of the important subjects of this study is to build a refined electronic map of Edo city. The spatial area of Edo city will be delimited by digital mapping using GIS. And, the land use pattern of the Edo city area is classified into 11 categories and the area of each category is estimated. Next, the socio-economic activity of Edo city will be quantitatively estimated based on the documents about the population and the production data in 19th century. On the basis of collected data such as the delimited area of Edo city, population, economic activity, and the area of land use, the environmental impact from the land area into the Tokyo bay will be estimated by the inflow of the total nitrogen (T-N) using the material flow model applied to Edo city, which had the recycling system of human wastes as an organic fertilizer for farming in the suburb of Edo city.

As the result of calculation, the household sector and industry sector of Edo city had each 540 tons and 26 tons of T-N emission with recycling the human and the livestock waste for farming. The amount of T-N emission from the non-point generation source is estimated at 208 tons. On the other hand, the total amount of T-N emission from the Tokyo bay area in 2000 is about 87,000 tons, which is 112 times as much as that in the Edo period.

In conclusion, this study shows that the quantitative method is useful to analyze the historical situation from the viewpoint of the environmental and socio-economic aspects. Especially, the estimation of the favorable condition of the water environment in the past should be reflected as the concrete example of the ideal sea environment to make a future vision of marine environment revitalization.

Key words: Edo, Tokyo bay, GIS, environmental impact, material flow model

\*Ocean Policy Research Foundation



# 絶滅危惧海生生物種保護に関する一考察

## －カブトガニ保護を事例として－

日 野 明日香\*

カブトガニ (*Tachypleus tridentatus*) は瀬戸内海および九州北部沿岸に生息する一般的な海洋生物であった。三葉虫から進化したカブトガニはジュラ紀以来ほとんど進化しておらず、ペルム紀および白亜紀の2度の大量絶滅期を生き残ってきた種である。

種の絶滅は自然の摂理であるが、通常はそれぞれの種が適切な場に存在し、生態系全体の定常的な状態が維持されるものである。しかしながら、人類だけは常に周囲の環境をかえ、絶滅危惧種や希少種の問題を引きおこす大きな要因になってきた。農業の発展と高度な現代文明によって、湾岸線の形態が急速に変化されたことは、その一例である。

海洋生態系の復元はまだ新しい分野であるが、その目標は傷つけられた生態系を機能的で、持続可能と考えられる状態に戻すことである。我々は海洋生態系を復元するコンセプトについて今後力を入れて研究する必要がある。特に、生物多様性の保全は、多くの人々に受け入れられる目標となっているが、それが他の目標、例えば経済発展などと競合を起こした際に生じる、「どのくらいの多様性をどれだけの費用で保全すべきか？」という問いにはまだ十分な回答が見つけられていない。その答えを見つけるためには、生物多様性の価値について、科学に基づく価値と倫理や美意識、宗教、経済等に基づく価値とを分離して慎重に考えることが重要である。

本論文では、絶滅危惧種である海洋生物の保護活動のもついくつかの局面について、カブトガニをケーススタディーに議論した。その結果、生態系の復元は非常に複雑な問題であり、かなりの努力と配慮が必要とされること、また、効果的な取り組みには制度的および自発的活動の両面から、関連する活動について統合することが重要であり、地域住民や科学者、地方自治体などの関係者が協力していくことが必要である。

キーワード：カブトガニ、絶滅危惧種、絶滅危惧種保護の地域活動

### 1. はじめに

絶滅危惧種保護の問題は、各種報道メディアにおいても再三取り上げられ、保護に向け

た国際社会における組織的活動と共に、各国における関係立法措置などが講ぜられている。しかし、絶滅危惧種の問題がやがては人類の生活基盤を揺るがす重大な環境変容の兆候と

\*海洋政策研究財団

して認識されることは、残念ながら少ない。絶滅危惧種の保護における根源的な問題は、保護が必要であると観念的に認識されても、保護そのものが人類社会にもたらす利益・恩恵を具体的に顕示するのが難しい点にある。それ故に、とりわけ保護活動が社会・経済活動に何らかの障害となりうる場合や、危惧種が一部好事家間で高額取引される場合、あるいは保護に際して巨額な投資を必要とする場合には、保護の認識と行動意思決定との間に軋轢、確執が生じ、結果として絶滅危惧種保護が効果的に行われず、危惧種の絶滅をまねくことになる。

本論では、日本において現在は絶滅危惧種であるものの、かつてはその名が周知であったという特殊性を持つカブトガニを取り上げ、既存の資料を基にその生息状況の変遷とカブトガニに対する生息地域社会の保護活動の概況を調査した。また、大分県守江湾及び伊万里湾の事例を基に、危惧種保護の諸問題、保護対策の進むべき方向、生態系調査・保護活動の持続性に焦点をおいて検討した。

日本では、カブトガニに関する啓蒙的出版物は数点<sup>1</sup>あるが、最も広く読まれたのは関口晃一著「カブトガニの不思議—「生きている化石」は警告する—」(岩波新書、1991年)<sup>2</sup>であろう。本書により絶滅危機に瀕したカブトガニの生息現状(当時)が広く知られるようになったと言える。

## 2. カブトガニとその生息状況

生きている化石として知られるカブトガニ類は、5億数千年前に地球上に出現した三葉虫から進化し、カンブリア紀に蜘蛛類と分化し、中生代にアメリカカブトガニと分化したメソ

リムルス以降約2億年前からほぼ形を変えることなく生き続けている学術上貴重な生物である。カブトガニ類は2属4種に分類され、アメリカ東海岸にアメリカカブトガニ(*Limulus polyphemus*)および東南アジア沿岸にはマルオカブトガニ(*Tachypleus rotundicauda*)、カブトガニ(*Tachypleus tridentatus*)、及びミナミカブトガニ(*Tachypleus gigas*)が生息しており、日本にはカブトガニ類の中でも最大の種であるカブトガニ<sup>3</sup>(図1)のみが瀬戸内海沿岸と九州北部沿岸に生息している。なお、日本以外では、台湾、フィリピン、ボルネオ、ジャワ、スマトラにもカブトガニの生息地が見られる。

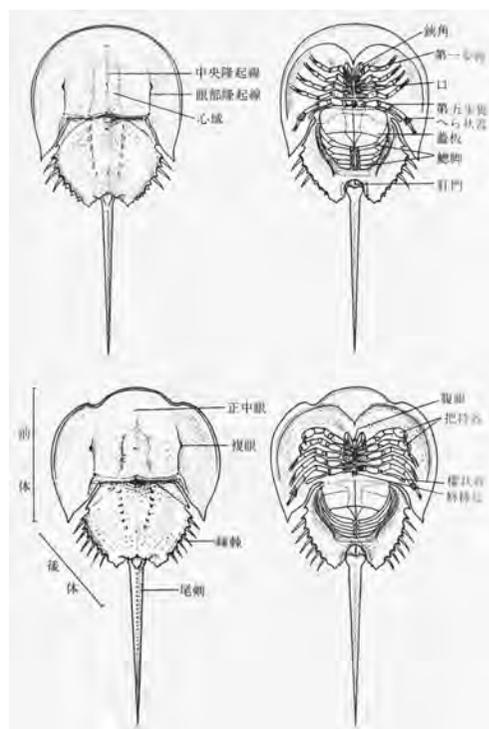


図1 カブトガニ：雌雄の背面・腹面外形 (上が雌、下が雄) (関口、1991)

<sup>1</sup> 例えば、土屋圭示、1991、「カブトガニの海」(どんがめの海：1974改題)、誠文堂新光社：惣路紀通、佐藤義明、1993、「カブトガニ」、山陽新聞社サンブックス、など。

<sup>2</sup> 残念ながら本書は目下休刊中である。

<sup>3</sup> 地方によって呼称は様々で、岡山地方での「どんがめ」、伊万里地方での「ハチガメ」など。

このように、生きている化石というレッテルを貼られた絶滅危惧種であることから、カブトガニの生息には限られた特殊な条件が必要と考えられがちであるが、戦後の急速な経済発展以前は、瀬戸内海および九州北部で広く生息し、むしろ漁労作業の障害となる生物として、これらの地域では一般的な海生生物であった。とりわけ瀬戸内海沿岸域での生息数が多く、岡山県の生江浜がカブトガニの特別繁殖地として国の天然記念物に指定されたり、愛媛県の東予海岸がカブトガニ天国と呼ばれるなど、瀬戸内海沿岸環境を特徴付ける生物の一つであった。

大渡が明治45年に岡山県、香川県で行なったカブトガニの採集および実地調査では、現在では生息がみられない岡山県の児島湾沿岸や日生、香川県の丸亀や高松市沿岸での手繰網、打瀬網、流し網などに数百、数千のカブトガニが取り込まれ、海浜ではこれらを肥料とするための一次処理が行われ、これを求めて因島や高島方面からの買い付け船の往来があったことが記されている(大渡, 1913)。しかし、現在では、沿岸開発による繁殖地の消失、水質悪化や混獲・廃棄等の影響で激減し、環境省のレッドデータブック(2006年)では絶滅危惧I類に分類されている。

カブトガニ生息域及び個体数の激減の経緯が示唆することは、先ずその生息環境を整えることが絶滅危惧生物種の保護にとって基本的な要件であるということである。その場限りの対処は単なる延命策に過ぎず、やがて絶滅に至る道程を歩むことになる。保護策とは、カブトガニだけでなく、この種の生物の生息を可能とする自然及び生態系環境を整備することであり、カブトガニについて考えれば、産卵、繁殖、生息の要件として、かつて瀬戸内海に存在していた砂浜、干潟、藻場などが

連続する環境を創造することが求められる。

## 2.1 生態

日本のカブトガニの冬の生態については、まだ不明な点が多いが、5月半ばになると越冬していた沿岸のやや深い海底<sup>4</sup>から出てきて、比較的波の穏やかな浅い内湾で秋まで生活するといわれている(関口 1993)。カブトガニの生息地として共通しているのは、大潮の干潮時には、その内湾が大きな干潟になること、そしてその干潟の奥に内湾に流れ込む川があって、河口付近に砂地や小石の浜や砂洲が存在することである。カブトガニは7月から8月の大潮日を中心にして、満潮時の1時間ほど前から上げ潮に乗り、それぞれ個々につがいとなって海岸に接近し、水中で海底に産卵する。このようなカブトガニの強固な包接の習性は古くから観察されている。産卵は殆ど大潮の満潮時に集中し、砂地が海水中に没するような場所が利用され、産み付けられた卵は卵中脱皮しつつ早いものではその年の9月、遅いものでは翌春に孵化して幼生となる。孵化したばかりの幼生は1齢幼生と呼ばれるが、1齢幼生は満潮時の大潮のときに砂の中から這い出て下げ潮に乗って近隣の干潟へと移動、分散し、干潟で数年を過ごす。干潟は幼生にとって重要な生息域であり、所謂、濔筋やタイドプールに好んで生息する。幼生時期には形態上雌雄の差異はない。10齢幼生と呼ばれる体幅15cm程度の大きさまで成長すると、干潮時でも干出しない、より深い海域に生息域を移し、最後の脱皮により雌雄の形態差が明確な成体となる。孵化してから成体となるまでは、10年程度かかると考えられており、海生生物の中では孵化から成長し繁殖開始齢に達するまでにかかりの年月を要することに特徴がある。その寿命について

<sup>4</sup> カブトガニが変温動物であることから越冬場所の推測はできるが、具体的な場所については明確でないことが多い。

は数十年と考えられており、例えば惣路(1992)は約25年と推定しているが、その根拠は明確ではない。食性については幼生では泥中の有機物類、成体ではゴカイ、アサリなどの二枚貝を摂食することが知られている。天敵は、幼生ではイシガニ、ガザミ、サギ、カモメ等である。成体については同様の主に鳥類が天敵となると考えられる。ただし、最大の天敵は人間であるといえよう。

## 2.2 生息及び個体数の確認

カブトガニの特異な生態は正確な生息状況調査の障害となる。まず、干潟の幼生は干潮時の一定時間しか現れず、しかも必ずしも毎日出現するわけではない。このため、その地域の幼生生息数の推定は至難となる。また、生息個体数が多ければ幼生の発見も比較的容易であるが、個体数が少ない場合には、個体発見の確率は低くなり、生息の有無自体の確認も難しくなる。さらに、産卵地や幼生生息地である干潟へのアクセスが容易ではない地域もあり、これも生息状況の確認の障害となる。雌雄の個体数比については、比較的長期にわたる幼生時代には雌雄識別が難しく、成体に至って初めて確認可能となるため、成長過程での雌雄の生存率を知ることは難しい。

また、沿岸で営まれている小型底引きや刺網、定置網などの漁網に成体や亜成体のカブトガニがかかることがあり、これよりこれらの漁労海域にカブトガニが分布していることを知ることはできるが、その地域の生息環境が守られているかどうかを判断することは難しい。カブトガニ成体の寿命は数十年と言われているが、その間に元々の繁殖地である海域で砂浜の埋め立て、干潟の消失、水質悪化などが発生している可能性があるからである。また、海流や潮流に流されて本来の繁殖地から遠く離れた海域での捕獲の可能性もあり、データ分析には注意が必要である。よって、

この種の資料から、産卵・孵化・幼生・生長のそれぞれの段階でどのような問題が発生しているのかを推し量ることはできないが、漁網捕獲個数にさしたる減少が見られなくとも、老齢化した成体が多く発見されるようになった場合には、生態系の回復が既に手遅れである懸念が高い。ただし、カブトガニの海中での生息状況を実際に観察する機会が得られることは少なく、魚網捕獲データはカブトガニの生息に関する貴重なデータであることには変わらない。

生息・繁殖地を変える可能性のある生物種では、繁殖地と生息地を明確に区分して扱う必要があり、望ましくは、産卵・孵化、幼生、生長の段階毎の場所の特定と状況調査資料が必要である。しかし、従来の調査資料では、このような区分表記は必ずしも明確ではなく、具体的なカブトガニ保護対策を講ずる上での障壁の一つとなっている。このようなことは、カブトガニのみならず、絶滅危惧種全般に言えることであり、各絶滅危惧種についてそれぞれの特有な生態系認識に基づく明確かつ合理的な調査指針を策定しておくことが重要である。保護対象種については、生息環境ばかりでなく種の継続に必要となる最少個体数、最少海洋空間、人工的飼育の可能性と手法等についても明確な指針を確立しておく必要がある。

カブトガニの全般的な生息概況については、参考資料 A1 にまとめてあるが、調査の精度は地域によって様々であり、このような概況調査からも、少なくとも絶滅危惧種については、国としての具体的かつ実施可能な調査指針を整える必要性を痛感する。

## 3. 減少要因

カブトガニの減少要因は特定することは難しくとも比較的明白である。要因として考えら

れているものを列挙すれば、生息域における

- ・港湾整備、護岸整備等海岸線の改変、埋立による産卵、生息適地<sup>5</sup>の減少・消失
- ・水質汚染（生活排水・農薬・除草剤の流入等）に起因する生殖・発生異常
- ・ダム建設、灌漑等による河川流入水量の減少による生息環境の物理的变化
- ・有害堆積物の増加
- ・機械掘り等による汚泥・堆積土土上げと底質変化
- ・養殖薬剤（ノリ養殖など）散布
- ・航行船舶による微量投棄物の蓄積効果
- ・船舶塗料の剥落
- ・難分解化学物の蓄積
- ・富栄養化によるアオシオ、アカシオの発生
- ・刺し網、定置網等での混獲

などがある。上記環境影響要因の軽重は個々のカブトガニ生息地によって差異がある。船舶塗料として使用された有害な有機スズは、既に使用が禁止されているが、船舶の往来が激しい海域では、海底堆積物に残存している可能性があり、海底堆積物の掘り返し、巻き上げ等により、再び海水中に溶出している恐れがある。

これらの要因は、その他沿岸海生生物についても普遍的に悪影響を与えるものであり、特にカブトガニだけが特異な影響を受けるものではない。さらに今後は上記の要因に加えて、地球温暖化による海水温上昇・水面上昇と上昇による海浜の変容、海水 pH の変化、摂餌連鎖の崩壊等が懸念される。

#### 4. カブトガニ保護活動

カブトガニは義務教育課程で学ぶ三葉虫を彷彿させる姿を持ち、また手頃な大きさでも

あることから、化石生物として人々の興味を引く多くの要素を持つ生物であり、絶滅危惧が報ぜられるやカブトガニを保護活動が開始され、その歴史は長い。

国内のカブトガニの生息状況は「日本カブトガニを守る会」の会員を中心に、各地の有志<sup>6</sup>が調査活動を実施しているが、最近では環境省をはじめ、各県のレッドデータブックで絶滅危惧種に指定されたこともあり、自治体による調査件数も増加した。しかし、地域毎の生息調査報告の発表はあるものの、全国規模の分布状況を取りまとめたものは、1993年に「日本カブトガニを守る会」が出版した「日本カブトガニの現況（増補版）」以降、発表されていない。また、その分布図も作成されていない。

生物種保護の上で、その生息状況の全体像を把握することは、最も基本的かつ第1段階の活動である。カブトガニでは、その生息域である瀬戸内や九州北部の沿岸環境が絶え間のない開発活動に晒されてきたことから、その変化、変容を多様な視座から把握することが必要不可欠である。カブトガニ研究は主として生物分野の専門家によって行われ、その生態系の背後にある環境負荷要素を見極めた研究は十分ではない。系統的、多面的研究が必要とされる所以である。

#### 4.1 大分県守江湾に見るカブトガニ保護活動

##### (1) 守江湾とその環境

大分県杵築市は県北東部の守江湾沿岸に所在する。総面積は約 280km<sup>2</sup>、人口約 33,000人の小都市である。産業別就業人口の割合は、第1次産業 20.7%、第2次産業 26.5%、第3次産業 52.8%（平成17年杵築市資料）であり、第3次産業の割合が年々増加している。しかし、大分県内の他の年と比較すれば第1次産

<sup>5</sup> 生息に適した粒径・土質分布を有する干潟・砂地

<sup>6</sup> 研究者以外に、学校やNPOなどの地域住民

業の就業人口の割合ははまだ高く（21 地町村中 7 位）、漁業者の就業人口は 395 人と県内で 4 位である。

守江湾では小型定置網、カキ養殖等の漁業活動が行なわれているほか、ヨット等のマリンスポーツ活動も盛んになりつつあるが、今なお絶滅危惧種であるカブトガニやアオギスが生息する自然環境が残っている。

## (2) 海洋環境保護の運動と推移

守江湾に接する杵築市は漁業やマリンスポーツが盛んな土地柄でありながら、1990 年代後半になるまでは一般住民の沿岸環境への関

心はそれほど高くはなかった。その理由としては、杵築市民のマリンスポーツへの参加者数は多くなく、近隣の別府市や大分市などからの利用者が多かったこと、比較的漁業は盛んではあるものの、その他産業間との交流が少なく、市民レベルでの沿岸環境へ関心を深める機会が殆どなかったためと考えられる。しかし、1990 年前後に、多くの研究者がカブトガニ調査にこの地を訪れるようになり、この話題が地域住民のカブトガニ、ひいては沿岸海洋環境への関心を集める端著となった。これが表 1 および表 2 のフェーズ 1 の段階である。

表 1 守江湾の環境保護に関わる出来事とその区分

フェーズ 1	1990 年前後	カブトガニの生態調査に多くの研究者が来訪 市長が希少生物カブトガニの保護に関心を示す
	1992 年	杵築市カブトガニ保護推進委員会の設置
フェーズ 2	1996 年	カブトガニを愛する会（市民団体）の設立 東京大学によるカブトガニの調査 八坂川改修事業に関する環境影響調査委員会の設置
	1998 年	江頭川河川改修事業での産卵地の保全活動（官・民・学の協働） 環境影響調査検討委員会の提言による産卵地造成の実施
	2000 年	地域住民による蛇行部の保全運動 改修事業実施（新河道完成）
フェーズ 3	2005 年 4 月	第 1 回守江湾会議の開催
	2005 年 10 月	旧杵築市、大田村、山香町が合併し、杵築市に

表 2 各フェーズの特徴

フェーズ 1	目的	カブトガニの保護
	イニシエーター	市長
	ファシリテーター	杵築市役所耕地水産課職員
	鍵となった 連携主体	漁協
	参加主体	市長、市役所、地元各種団体、地域住民、カブトガニ研究者
	活動資金源	市の予算、愛する会会費

フェーズ2	目的	カプトガニの生息環境の保全と防災事業の調整
	イニシエーター	大分県河川課
	ファシリテーター	研究者, 大分県
	鍵となった連携主体	河川課と港湾課, 研究者と地域住民
	参加主体	杵築市, 杵築市カプトガニを愛する会, 地域住民, 市民グループ, 大学研究者, 大分県, 建設省, 観光業者
	活動資金源	県河川課治水事業予算, 委員の研究費
フェーズ3	目的	守江湾の持続的な利用
	イニシエーター	観光業者
	ファシリテーター	観光業者
	鍵となった連携主体	漁協
	参加主体	杵築市, 国土交通省, 大分県, 観光業, 漁協, 教育機関, 水族館, マリンスポーツ
	活動資金源	市の補助, 里浜づくり活動支援助成金(財団法人 WAVE), 参加費, 観光業者の補助

フェーズ1では、環境保護対策の取り組みは杵築市行政が中心となった。しかし、市行政はカプトガニの保護という単一目的には効果的な対応ができたが、河川改修と環境保全という対照的な事業を統合的に実現するには、予算制度等が障害となり、環境への積極的な対応が困難であった。ここで事業統合化の後押しとなったのは、地域外の専門家と市民との直接的な連携活動であった(フェーズ2)。しかし、このフェーズ2では、沿岸環境の総合的管理というよりも、環境保全を強力に主張する運動であったことから、利害関係者である漁業者や企業の協力は得られず、総合的領域沿岸域管理への発展の余地は無かった。

しかし、このような障害を乗り越えるため、地元観光業者が「守江湾のやりくり」というキーワードを発案、使用したことで、ようやく漁業者や産業界を含めた連携が進み、守江湾の統合的管理を考えるためのフォーラム、

守江湾会議が設置された(フェーズ3)。ただし、このフォーラムは、具体的政策の裏付けを欠き、今後フォーラムをどのように展開していくかが課題となっている。また、絶滅危惧種保護の最も基本的な活動である生息状態観測体制の安定基盤が今なお確立されているとは言えない点には問題が残る。

以上、守江湾におけるこれまでのカプトガニ保護活動を総括すれば、杵築市では豊かな沿岸海洋環境の保全に配慮した開発を目指す市民運動が起こり、1998年にはカプトガニ産卵地の代替地造成工事が湾内2ヶ所で行われ、2004年には利害関係者及び住民が集会を持ち、守江湾の沿岸管理実現を目指して守江湾に関する情報及びビジョンを共有するための場として、守江湾会議が設立したが、絶滅危惧種保護から進んで根本的な統合的沿岸海洋管理政策を展開するまでには至らず検討段階に留まっている。

環境保護と開発・海洋利用との利害関係の調整は、人間社会において最も重要かつ喫緊の課題でありながら、基本的には人類の生存環境保全に関わる危惧の認識度合に支配される長期的課題でもあるという矛盾を孕み、これを具体的にいかに解決するかの問題でもある。杵築市では、少なくとも、保護主張者と利害関係者が同じテーブルに就く段階まで辿り着いたことは大きな成果として認めるべきであろう。

## 4.2 佐賀県伊万里湾に見るカブトガニ保護活動<sup>7</sup>

### (1) 県立伊万里高等学校生物部の活動

伊万里湾におけるカブトガニ保護活動の特色は、県立伊万里高等学校生物部の研究活動として連綿として続けられてきたことにある。生物部活動の概要は、そのホームページに記載されているが、このホームページによれば、同校生物部の研究活動は、昭和24年に始められ、一年限りで休止した後、昭和37年から再び活動を開始、その後は絶えることなく現在に至っている。その調査活動の原動力には、昭和41年の多々良海岸(当時は牧島町木須海岸)でのカブトガニの卵の発見、続いて昭和45年の「伊万里湾は笹岡湾に次ぐカブトガニ生息地である」との関口晃一教授の学会発表が少なからず貢献している。昭和61年には、伊万里市教育委員会は木須町多々良海岸一帯を市重要文化財天然記念物に指定している。

県立伊万里高等学校生物部の調査研究活動は、カブトガニ保護の重要性を訴えながら、産卵調査、産卵行動調査、幼生生息調査、幼生飼育、つがい行動実験へと研究範囲を拡大し、その長年の研究活動は高く評価されて、文部大臣奨励賞(全国愛鳥週間「野生保護のつどい」平成8年)など数々の受賞を受け、それが研究活動継続の大きな支えともなっている。また、平成16年度からは、佐賀県環境

課による「ツルとハチガメの里づくり支援事業」に参加、湾内の産卵一斉調査、飼育放流などの事業に協力している。

同校生物部ホームページに掲載された、平成19年度の調査活動例を資料A2に示す。

### (2) 学校部活動による絶滅危惧種保護の問題点

生態系を含む地球上の様々な現象の調査資料は、決まった調査指針に基づく継続的情報であることが重要な点である。

絶滅危惧種保護に対する学校単位部活動の利点は、調査担当者に少なくとも2年間の特定生物保護に関わる具体的な指導期間が与えられ得ることであろう。また、調査担当主体が明確であることも大きな利点である。部活動の継続性については、若干の懸念が残る。その一つは生徒あるいは学生の部活動に対する興味、関心が薄れた場合である。電子工学時代の中で学生の興味は、ロボテックスやコンピュータ関連の分野へと移っている。この種の調査活動において一般的に見られることではあるが、指導教師の努力があっても調査実務を担う学生の興味が薄れれば、調査精度に陰りが見え、また中断の危惧もある。

このような状況の中、学生の関心を繰り返し喚起させ、部活動の励みとなるのは、国や自治体あるいは学会からの奨励賞などの表彰である。勿論これらの表彰は、部活動の継続を促すためのものではなく、立派な活動業績に対して授与されたものであるが、それらが継続的な活動の励みとなっていることに疑いの余地はない。このような表彰は、青春時代の晴やかな思い出としてその後の人生の中で輝き続けることになる。なお、調査指針については地球温暖化による海水pHの変化など、自然環境あるいは社会状況の変化に応じて、調査指針を見直し、改定する必要もあり、そ

<sup>7</sup> 佐賀県立伊万里高等学校一学校生活一かぶとがに<生物部> HP。

れには然るべき専門家の指導が欠かせない。これは学校当局あるいは自治体と学術機関との連携が構築できれば容易に解決できる。

部活動に依存した絶滅危惧種保護活動における最重要課題は、学校そのものの存続にある。学校の統廃校は各地で見られているが、少子化と大都市への人口移動の傾向は今後も基本的に継続していくと考えられる。校舎及び通学者の住居が調査現場から離れることは望ましいことではなく、新校において廃校となった部活動課題を継続実施するには、教育委員会の要請、自治体の要望など、少なくとも当初は何らかの好意的外圧が必要となろう。

部活動による保護活動の最大の利点は、本質的な敵対利害者がいないことにあり、環境保護上芳しからざる実業に就く可能性のある若者をも包含する組織内で活動が行われることにある。その教育的効果を過大に見積もることは危険であるが、一定の開発志向抑制効果はあるものと考えられる。

## 5. 絶滅危惧種保護活動の諸課題

カブトガニが個体数激減に至った主因は生息場所、特に産卵地および幼生の生育場所の喪失であると思われる(参考資料A1)。海生生物は、その産卵から成体に至るいずれの段階で環境変化による致命的な影響を受けるかは、種によって異なるが、人間の活動影響を最も受ける海浜に産卵および生育場所を持つ種が最も大きな影響を受けることは想像に難くない。

日本における絶滅危惧種及び希少種保護に関わる運動、活動は、活動主体、方法、調査項目などに関して多種多様である。本論では、カブトガニ保護について行政を含む地域社会主体の活動(杵築市)と調査担当者が定期的に変わる典型としての学校部活動(伊万里高校)の2例を取り上げたが、各地域では、地域の自然・社会条件に応じた保護活動が行わ

れている。また、不十分な調査ではあるが、参考資料A1に見られるように各地のカブトガニ保護活動の濃密度は様々である。

一般日常生活において、産卵を含めて発見される個体数が一定数を割り込み、ほとんど見掛けなくなった際の地域住民の対応には一種の諦観が見受けられる。危惧種については、個体数が激減する以前に人工飼育の道を拓き、危惧種保護の意欲を維持させることが肝要である。ただし、人工飼育は、種の自然環境の中での生息、繁殖を再現するための緊急策でなければならず、臨時の緊急措置であるとの明確な認識が前提となる。

危惧種の生息状況調査の主体は、地域社会であれ、学校部活動であれ、それらの継続性が確保されていれば、危惧種保護活動における重要な役割分担を果たすものとして評価できる。しかし、保護対策については、関係分野専門家の研究活動なしには成り立たない。

危惧種の絶滅を防ぐためには、危惧種に関する細胞生物学レベルの研究が基礎となる。しかし、危惧種については細胞生物学レベルの研究の完成を待つ時間的余裕がないのが一般的であり、専門家は、研究の全ての段階において保護活動に対して有益な示唆を与えなければならない。

生物学分野において専門家の指示を期待する最も重要な要項は、

- ・種の健全なる持続に必要な海洋空間の大きさ、特性
- ・産卵から成体に成長するまでの生息自然環境についての具体的な事項と許容限界
- ・遺伝学的に健全な成体を維持し得る個体数下限
- ・人工孵化・飼育方法の確立
- ・移住の可能性
- ・細胞生物学レベルで評価された有害化学物質の特定、影響と対策

である。一般に海生生物に対する化学物質の

影響は、生殖・産卵・孵化過程で顕著に現れることが知られているが、絶滅危惧種に対しては、個々の危惧種についての誕生から全ての成長段階における、より詳細な研究を急ぐ必要がある。

また自然（地球・海洋）分野では、基礎的なデータとして下記についてのデータ整備の推進とともに、簡便な調査・推定方法や健全性を判断するための指針の提供を求めたい。

- ・海流、河川流入量を含む海水交換
- ・海水温、波浪、海面気温、風速・風向
- ・海水の溶存・懸濁化学物質、pH
- ・干潟の土質、粒状分布、土質交換率
- ・干潟、生息海底土質内化学物質とその分布、酸素含有度
- ・自然復元へのアプローチ（客土、条溝掘削など）
- ・代替人工海浜の研究

個人の自由な発想による研究の意義を否定するわけではないが、危惧種に関してこのような調査研究を効率的に実施するためには、国と自治体及び専門家との協議に基づく綿密な研究計画を柱に推進していく必要がある。予算、専門家数にはおのずから限界がある。保護を急ぐべき危惧種から実施されるべきであり、その選定に際しては市場価値が混入してはなるまい。

街路の清掃や禁煙地域監視員など高齢者が活躍する時代である。生息調査主体、あるいは調査資料分析などの担い手としては、高齢化社会時代に即した生涯学習の一環として、高齢者グループの活動に期待するのも一策であろう。

## 6. おわりに

地球に生物が誕生してこの方、その生息環境は激変してきたが、そのような激変に耐えて種を長らえた生物には、生存に耐え得た理

由、生体防御機構があるはずである。その機構解明は、人類の様々な疾病に対する薬学的効果が期待できる物質等の発見に繋がる可能性がある。

カプトガニについては、その止血作用、エンドトキシン検出機能がよく知られている（小林・山本 1972）。甲殻類もカプトガニもその血液にはヘモシアニンがあり共通点があるが、凝固蛋白質に対応するコアギュローゲンが甲殻類では血漿内に存在するのに対して、カプトガニでは凝固酵素前駆体と共に血液中の2種類の血球中に存在する。この血球が内毒素であるグラム陰性菌等に触れると多数の顆粒が爆発的に崩壊してその内容物を放出し、グラム陰性菌等を被包化して凝固が行われる。この反応は極めて敏感であることから、人の血液中のエンドトキシンの有無判定に利用されている。さらには、放射性医薬品のピロジェン検出への応用や、その被包化力に着目した様々な用途拡大研究が続けられている。

このような用途価値を有することから、関口教授はかつて適当な海域を牧場として、ここで集中的にカプトガニの保護増殖をはかりながら、一方では生存に問題がない程度の血液を採取し利用をしようとする、カプトガニ牧場なる提案を試みているが（関口 1989）実現はしていない。このように特定海域のみで集中的に保護増殖を行うことは、生態系の保全を視野に入れた絶滅危惧種保護の視座からは、いささか問題のある手法と言わざるを得ない。また特定の目的のための増殖という点も問題があるともいえるが、有効利用と保全の両立という発想は、結果としてカプトガニ保護に繋がるアプローチのひとつでもある。

根本的な絶滅危惧種保護策には妙手はない。種の生息に適した自然環境を整えることが何よりも大切である。

## 謝辞

本論は、カブトガニ保護の重要性を認識し地道な生息調査に携わってこられた多数の研究者、有志、地元関係者の熱意の賜物に基づくものである。ここに、これらの方々に対して深い敬意と深甚の謝意を表したい。

## 参考資料

### A.1 カブトガニの生息状況

現在、カブトガニは九州北部と瀬戸内海沿岸に点在する限られた地域でしか見ることが出来ないが、昭和初期ごろまでは、これら沿岸一帯に多くのカブトガニが生息していたと推測されている。以下、カブトガニの捕獲や産卵等、生息に関する情報を県ごとに整理した。生息について自然の系でなく県ごとに整理したのは、レッドデータブックの整備をはじめとして、沿岸域の環境保護対策は基本的に自治体ごとに行われるものであることを意識したためである。

なお、生息調査については継続的な調査が行なわれていない地域も少なくなく、また環境保護運動については各所で展開中であることから、本調査では時限を定めて可能な範囲で情報をまとめることとした。そのため不完全である誹りは甘受したい。

#### 【本州沿岸】

##### ・大阪府

大阪湾におけるカブトガニの生息状況を記した文献については調査が至らぬ点はあるが、入手できていない。しかし、年配の漁業者などからは、戦前には沖で操業していた刺し網などにカブトガニがよく掛っていたが、絡みついて網を傷めることから捕獲したカブトガ

ニは陸で天日干しにしたという話を聞くことから、少なくとも昭和30年代頃までは生息していたと考えられている。大阪府の水産試験場（当時）には、漁網にかかったカブトガニが持ち込まれたり相談を受けたりした記録が残っており、戦後から昭和30年代前半は頃までは打たせ網に時折掛っていたこと、昭和42年には西鳥取地先の刺し網で捕獲されたこと、昭和50年代には堺市出島漁協の漁師が時々捕獲していたことが知られている（鍋島 私信）<sup>8</sup>。その後しばらく捕獲の報告はなかったが、平成元年に忠岡漁協のカレイ刺し網で捕獲された（鍋島 2007）。

また沖合いの漁網での捕獲の報告はあるものの、産卵や幼生についての情報はない。かつて干潟と産卵に適した砂浜があったのであれば、そこで繁殖していた可能性もあるが、兵庫や岡山など近隣の繁殖地で孵化し成長した個体が、大阪湾沿岸に移動し生息していたことも考えられる。

以上より、少なくとも昭和30年代頃までは大阪府の沿岸に生息していたものの、それ以降は近隣の生息地より移動してくるカブトガニが漁網にかかる程度であり、必ずしも生息しているとはいえない状況である。

##### ・兵庫県

「岡山県下ニ産スル特殊動物竝ニ該動物ニ関スル研究論文目録」（1930年）によれば、当時各府県に照会した結果、兵庫も産地として記録されていることから、昭和初期には兵庫県にも分布していたことが分かる（関口 1999）。

県内の具体的な分布は不明だが、少なくとも赤穂市の沿岸にはかつて生息していたという記録が残されている<sup>9</sup>。赤穂には現在も干潟があり、最近まで生息できる環境が残され

<sup>8</sup> 鍋島靖信氏への電話によるインタビュー結果（2007/08/24）；刺し網はおおよそ沖合い1kmより岸寄りで行われている。

<sup>9</sup> この情報は赤穂にあった海洋博物館にてカブトガニ展が開催された折に発行された資料に基づくものである。情報源は聞き取り調査によるものであり、印刷文献に基づくものではないと考えられる。

ていたと推測できるが、いつ頃までカブトガニが生息したかは不明である（佐藤私信）<sup>10</sup>。

#### ・岡山県

戦後しばらくは、岡山県沿岸にはカブトガニの産卵地が点々と存在し、沖合い一帯に成体が生息していたようである。

1912年に行われた調査では、児島湾沿岸の片上、日生、八浜、番田、小串、三幡沖で操業されている手繰網、打瀬網、流し網などによく掛ることが記されている。網にかかったカブトガニを肥料にするために因島や高島方面から買い付け船が来ており、数百・数千のカブトガニを捕まえ、これを陸上で天日干しにしていた（大渡 1913）。

笠岡湾は国内で随一の産卵地とされ、1928年には西岸の生江浜が国の天然記念物指定を受けた。しかし、笠岡湾は干拓事業によって埋め立てられ現在は神島水道を残すのみである。干拓事業後は神島水道一帯が天然記念物に追加され、しばらくの間産卵がみられたものの、自然状態での産卵、幼生の生息数は殆ど見られず、現在は、市をあげての保護活動の結果、放流した幼生の生存が確認されるようになってきたが、自然の繁殖は依然厳しい状況にある。岡山県レッドデータブック（2003年）では絶滅危惧種に指定されている。

#### ・広島県

広島県では沿岸一帯に生息していたといわれるが、昭和40年代頃から生息の情報が減り、「レッドデータブックひろしま」の1995年版では希少種に、2003年版では絶滅危惧I類に指定されている。

「レッドデータブックひろしま 平成7年」では、生息・生育地として松永湾、生口島、尾道市・竹原市の近海、江田島湾があげられ

ている。しかし、これらの地域の生息状況については網羅的な情報が乏しい。例えば江田島湾では1985年頃前まで年間50～100個体が魚網にかかっていたが、1994年には6個体であったという報告があり（広島県 1995）竹原市および江田島湾では成体が漁網にかかるだけでなく、幼生も発見されている（中国新聞 2008年8月12日朝刊、2007年7月14日朝刊）。以上より、2000年以降も繁殖が確認されているのは竹原市および江田島湾であり、広島県沿岸における成体の捕獲状況は不明である。また、松永湾、井口島など広島県の生息地は愛媛の生息地と近く、両者に交流の可能性がある。

#### ・山口県

昭和時代以前の山口県のカブトガニに関する具体的な情報は入手できていないが、平生湾では、昭和40年代頃まではあまりの多くのカブトガニが生息していたので漁師に邪魔者扱いされていたと言われている（平生町役場企画課 HP）。

2000年以降で、繁殖が確認されているのは、平生湾、山口湾（秋穂）、下関市（千鳥浜）、山陽小野田市（前場川河口）である（山口カブトガニ研究懇話会 HP）。これらの地域では産卵が確認されている外、周辺の干潟で幼生が多いときには1日の調査で100匹以上見つっている。

レッドデータブックやまぐち（2002年）で絶滅危惧IA類に指定されている。

### 【四国沿岸】

#### ・愛媛県

愛媛県レッドデータブック 2003年には、現在の生息地として河原津海岸（西条市）、上島町の島嶼部、今治市の島嶼部が記されている

---

<sup>10</sup> 兵庫県立人と自然の博物館 佐藤学芸員への電話でのインタビューによる

が<sup>11</sup>、2000年以降、繁殖が確認されている地域はない<sup>12</sup>。

愛媛県下での最も新しい繁殖の情報は、吉海湾（今治市大島）で1995年と1996年に産卵が確認されたものである（愛媛新聞 2000年1月26日）。成体の捕獲については1996年に東予市で報告されたものが最後である。

1927年（昭和2年）より東予市でカブトガニの研究に取り組んだ篠原栄吉を父に持ち、戦後から父と共にカブトガニ調査を行ってきた篠原判次の記録「四国側沿岸におけるカブトガニ生息状況の変遷（篠原1993）」（表A1-1

参照）によれば、定量的な情報は少ないものの、昭和初めの頃までは、西は県境の川之江市までの燧灘一帯、東は松山市の堀江海岸（堀江川河口）あたりまでに多くの繁殖地が存在していたことが記されている。川之江付近では昭和の初期頃まで、土井町海岸には昭和20年頃まで、新居浜市付近では垣生海岸周辺で昭和30年頃まで比較的多く生息していた。西条市付近は、戦争半ばまでは産卵がいたるところで見られたが<sup>13</sup>、昭和40年代中頃には海岸で姿を見ることが少なくなった。それでもこの頃は西条沖にはまだかなり生息し、操業

表 A1-1 愛媛県の繁殖地

地域（調査当時）	繁殖が多く見られた時期
川之江	昭和初期 現在は見られない
土井町海岸	昭和20年頃まで 現在は見られない
垣生海水浴場・垣生東漁港付近	昭和30年ごろまで 現在は見られない
磯浦海水浴場	現在は見られない
西条市付近	産卵は昭和40年代中ごろには珍しくなる 昭和50年にはカブトガニ自体が珍しくなる 現在は全く見られない
桜井海岸（今治市）	戦後に護岸工事と漁港が出来るまで 現在は全く見られない
大島付近	戦後の土地造成が行われる前まで
大三島付近	たまに網にかかったり、干潟で見たりする
大西町付近	現在は生息していない
堀江海岸	昭和40年代に何回か捕獲記録があるが、昭和50年以降記録なし
中島付近	砂泥地に生息していたが、時期は不明
興居島付近	以前（具体的な時期は不明）は産卵が良く見られた。 現在は成体が時折漁網にかかる程度。

（篠原（1993）より筆者作成。表中の「現在」とは篠原の原稿が書かれた現在である。）

<sup>11</sup> 2007年6月現在で、四国では愛媛県だけがカブトガニを県のレッドデータブックに掲載している（絶滅危惧Ⅰ類）。

<sup>12</sup> ただし、河原津海岸で1996年より毎年幼生の放流が行われており、2001年に6齢幼生が1匹、2005年の5月から8月にかけて5から8齢幼生が6匹見つかった。幼生が生きられる環境があることが実証されたことになるが、自然の産卵は行われていない。（愛媛新聞 2005年8月29日朝刊）。

<sup>13</sup> 1950年（昭和25年）には「カブトガニ天国」と呼ばれ、東予海岸（別名東部海岸、西条市）の加茂川から河原津が天然記念物指定に指定された。

中の網にかかる数も比較的多かったが、昭和 50 年代に入ると網にかかるカブトガニも珍しくなったようである。また、大島の吉海湾には東予市海岸について多くのカブトガニが生息していたが、1989 年現在ではほとんど見られず、大三島では希に網に掛ったり、干潟で見かけたりする。伊予市以西の伊予灘から宇和海では漁網に希に掛かるという記録が昭和 40 年～50 年頃までであるが、繁殖の情報はない。

これらの地域で繁殖が見られなくなった原因は、埋立てにより繁殖地（砂浜、干潟）がなくなったこと、そして干潟が残ったところも近隣の工場からの排水等が原因で繁殖しなくなったと考えられている。

#### ・香川県

篠原（1993）によれば、戦前には県下全域の河口に面した遠浅海岸で、藻場の発達が見られるようなところにはカブトガニが生息し、産卵地も数多く存在した。特に志度湾は戦前、カブトガニの多産地として知られていたが、戦後に埋め立てられ、さらに養殖漁業（ハマチ）によって海水が著しく汚染されたため、1990 年代にはいと生息場所、産卵場所の喪失により海岸で見ることなくなり、成体がたまたに沖合いで網にかかることがある程度となった。

他の地域も昭和 23 年ごろから次第に少なくなり、関口（1993b）によれば、塩飽諸島にわずかに生存が認められる以外は、ほとんど姿を消したと言われている。

#### ・徳島県

徳島県の紀伊水道に面した沿岸には昔は多くのカブトガニが生息していた。小松島市沿岸、那賀川河口、橘湾（阿南市）、椿（阿南市）などでかつては多産したといわれるが、南海地震の地盤沈下、護岸工事、河川工事などで

現在は見られなくなったという（篠原 1989）。

### 【九州沿岸】

#### ・大分県

別府湾（主に守江湾（杵築市））、周防灘（山国川河口周辺（中津市））に生息している（大分県レッドデータブック 2001）。魚網を破るため混獲されたカブトガニが大量に処分されていた時期もあったが、近年は干潟や沿岸の埋め立て工事が個体数の減少に拍車をかけている。生息域が狭められ絶滅の危険性が高いことから、県のレッドデータブックにおいて絶滅危惧 I B に指定されている。

関口（1998）では、守江湾は「産卵個所の数・幼生数・成体数などの点で、今残っている日本のカブトガニの生息地のうちでは最も安定した条件を備えているように思われる」と記されていたが、干潟で観察される幼生数は 1981 年をピークにして減少傾向が続き、現在ではその当時の数十分の 1 となった（西原私信）。湾内の代表的な産卵地での産卵つがい数も減少傾向にある（西原私信）。

1981 年を境にした減少の原因は明確になっていないが、杵築産の卵の発生率が他の地域と比べて低いという報告（伊藤ら 1991）もあったことから、水質汚染等の原因が推測されている。

#### ・福岡県

1930 年頃には、唐津湾、博多湾全域にカブトガニが生息していた（黒田 1931）。1973 年に福岡湾、唐津湾で行なわれた産卵地調査では、博多湾では樋井川河口（福岡市）および瑞梅寺川河口（福岡市）で、唐津湾では泉川河口（加布里湾）、深江で産卵が確認されている。同時に行なわれた漁業者への聞き取り調査では、博多湾の西部、唐津湾の東部の立て網に多くのカブトガニが掛るとのことであった。

1983年に若宮らが行なった調査では、前述の唐津湾、博多湾以外に、喜多久（北九州市門司区）、曾根（北九州市小倉南区）で卵槐を確認している。長狭川河口（行橋市）では、産卵が確認されなかったが、住民より戦前には非常に多くのカブトガニが生息していたとの情報を得ている。また、同じく聞き取り調査によれば、宇島周辺（豊前市）、有明海にも以前は生息していたとのことであった。（関口1993c）。

福岡県下のカブトガニの産卵状況については、若宮（1988, 1993）が長年にわたって調査し、1983年までの産卵数については今津湾（博多湾）が最も多く、加布里湾が中程度、津屋崎、周防灘沿岸では非常に少ないことを示した。その後、産卵・生息環境の悪化により今津湾でも産卵数は激減し、現在産卵が確認されているのは、博多湾の瑞梅寺川河口周辺、唐津湾の加布里周辺、周防灘の曾根周辺である。

福岡市は産卵地の環境を改善するために1996年に今津の産卵地に砂を客土した。その結果、産卵に来るカブトガニのつがい数は増加したが、客土が行なわれない加布里では産卵はほとんど見られない（大坪他 2005）。

各地域の生息個体数の推定はほとんど行われていなかったが、今津湾では福岡市環境局による大掛かりな標識調査が行われ、1998年の生息個体数はピーターセン法により成体約他約3500～5200個体、亜成体4000～6500個体と推定された（福岡市環境局 1998）。

#### ・佐賀県

1980年頃までは唐津湾（唐津市）、仮屋湾（玄海町）、伊万里川河口を中心とする伊万里湾一帯（伊万里市・唐津市）での生息が知られていた（吉永・酒見 1993）。有明海については調査報告がない。1990年代には、伊万里湾西部（長浜から浦之崎）は護岸工事や埋め

立てなどで自然海岸がまったくなくなり、七ツ島以北も護岸工事によって入江の奥にあった砂地が消失したことから、繁殖は伊万里川河口部周辺に限られてしまったようだ。

伊万里川河口（多々良海岸）は、1996年現在では日本一の産卵地であったといわれていたが1993年から1994年をピークに湾内の産卵つがい数が減少していることから、湾内の生息個体数も減少傾向にあると考えられている（酒見 1996）。

佐賀県のレッドデータブック（2003年）では、絶滅危惧種Ⅰ類に分類されている。

#### ・長崎県

山口ら（1993）による1983～1984年の現地調査および1993年の聞き取り調査、関口ら（1993b）による1992年の調査によれば長崎県沿岸は、北松浦半島沿岸（松浦市）、九十九島沿岸（鹿町、佐世保市）、佐世保湾（佐世保市）、大村湾、西彼半島沿岸までに多くみられ、橘湾や島原半島沿岸では立て網にまれにかかる程度で産卵は確認されていない。諫早湾ではまったく見られない。壱岐や対馬はかつては多く産卵がみられたが、減少傾向にあり、五島列島では全く見られない。ながさきのレッドデータブック（2001年）では、準絶滅危惧（NT）に指定されている。

#### ・総括

このように各地域では主に産卵つがいに関する定性的なデータしかないものの、各地の個体群は総じて減少傾向にあると考えられる。しかし調査が進んでいる地域と未着手の地域があるため、未だ一般に知られていない生息地がある可能性はある。

なお、「日本カブトガニを守る会」会誌「かぶとがに」によれば、これまで伊万里湾が最も多くの産卵が確認されてきたが、2001年よ

り数年、北九州の曾根干潟での産卵つがい数が急増したとのことである（表 A1-2）。

(2) 本生息調査概況から見たカブトガニの減少要因

カブトガニ減少の要因としては、沿岸漁業での混獲、干潟の埋め立てによる幼生の生息場所の減少、護岸や港湾施設の整備による産卵地の減少が主原因といわれているが、異常発生する卵も各地で見られることから、生活廃水や農薬の使用、増養殖における薬剤散布による水質の悪化も重要な要因のひとつと考えられている。

篠原伴次（1993）は、四国沿岸のカブトガニの減少の原因として、ノリ養殖で用いられる薬剤やレジャー用の船の塗料による汚染、「むし」の機械掘りによって生態系が崩れていること、赤潮による幼生の窒息死も指摘している。

また今津湾の調査をしている若宮は、瑞梅寺川河口のカブトガニの減少の原因について、ダムの影響を指摘している。つまり、流下する水量が激減し、堆積した泥は生活廃水、農薬、産業排水等の汚染によりヘドロ化して環境悪化をさらに増幅させているとの指摘である（関口 1993b）。

杵築や伊万里でアナアオサの大量発生が報告されているが、富栄養化によって大量発生

したアナアオサが産卵地および干潟に堆積すれば、カブトガニの産卵、幼生生育への悪影響が懸念される。

参考文献

土屋圭示；1991 カブトガニの海、誠文堂新光社、1991。  
 惣路紀通、佐藤義明；カブトガニ、山陽新聞社サンボックス、1993。  
 関口晃一、1991、カブトガニの不思議―「生きていた化石」は警告する―、岩波新書。  
 大渡忠太郎、1913、「カブトガニの習性に就いて」、動物学雑誌、25-298、pp410-415。  
 関口晃一、1993a、カブトガニはどんな動物か、「日本カブトガニの現況（増補版）」、pp3-12、関口晃一編、日本カブトガニを守る会  
 小林正義、山元正昭、1972、「日本産かぶとがに（*Tachypleus tridentatus*）血球プレゲルの抽出とその特性（第1報）」、薬学雑誌、94(3)、293-297  
 鍋島靖信、2007、「大阪湾と瀬戸内海における移入海洋生物（動物）とその現状」、海洋と生物、170(2007年6月号)  
 関口晃一、1999a、Ⅲ章分布、「カブトガニの生物学（増補版）」、関口晃一編、制作同人社  
 広島県、1995、「広島県の絶滅のおそれのある野生生物」、レッドデータブックひろしま、広島県環境保健協会、広島県野生生物保護対策検討会、p.199-202  
 篠原伴次、1993、四国側沿岸におけるカブトガニ生息状況の変遷、関口晃一編、「日本カブトガニの現況（増補版）」、pp57-77、日本カブトガニを守る会、  
 関口晃一、1993b、1989年以降のカブトガニ、関口

表 A1-2 各地の産卵つがい数

年度	伊万里	北九州	福岡	杵築	山口	長崎	合計
2000	133	78		9	46		266
2001	201	233	13		49		496
2002	168	531	8	15	45		767
2003	130	912	10	21	34		1,107
2004	182	1,351		18	49	6	1,606
2005	236	1,581	12	25	48	8	1,908
2006	212	512		11	50	7	792
2007	255	265		13	74		607





## Some Aspects of Conservation of an Endangered Marine Species

### In the Case of Local Activities for Conservation of Horseshoe Crab

Asuka Hino\*

#### Abstract

The horseshoe crab (*Tachypleus tridentatus*), Kabutogani in Japanese, had long been a common marine species along the coast of the Inland Sea of Japan the Setonaikai, and some coastal regions of the north part of Kyushu island. The horseshoe crab, evolved from the trilobite, has survived even in two major periods of catastrophic losses of species such as the Permian and the Cretaceous losses on earth, having little evolved since Jurassic period, unlike most of the other species. Extinction of species is the rule of nature. Nature undisturbed achieves a permanency of form and structure that persists indefinitely. Nature achieves a permanency of form and structure that persists indefinitely. When disturbed and the disturbing force is removed, nature returns to exactly the same permanent state. In this permanent state of nature, there is "great chain of being" with a place for each creature (a habitat and a niche) and each creature is in its appropriate place.

However, wherever mankind has made their habitat, they have changed their environment, and they have become an important cause of threatened and endangered species. Rapid artificial change in coastal line morphology with the development of agriculture and the advanced modern civilization is one of the significant example of that.

Restoration marine ecology is still a new field. Its goal is to return damaged ecosystems to some set of conditions considered functional, sustainable, and natural.

We should explore the concepts of restoration marine ecology, with a special emphasis on how ecosystems restore themselves through the process of ecological succession.

Whether restoration can always be successful is still an open question.

All species have an inherent right to exist. Preserving a diversity of life on Earth has become an accepted goal for many people. But when that goals comes into conflict with other goals, such as economic development, the question becomes, "How much diversity and at what cost?" To find the answer, it is important to think carefully about the values of biological diversity and separate those based on science from those based on other values, such as aesthetic, ethical, religious or economic values.

In this paper, the author discusses some aspects of regional conservation activities of an endangered marine species, "horseshoe crab", as a case study. This case study on horseshoe crabs illustrate that ecological restoration can be complex and can require great care and considerable effort and that an integration of every related activity is crucial for the effective conservation of species, both of mandatory and volunteer service, as by local residents, school students, scientists, and local governments.

The horseshoe crab's blood derivative called *Limulus amoebocyte lysate* has been used to detect

---

\*Ocean Policy Research Foundation

infinitesimally small quantities of gram-negative bacteria, which are ubiquitous in the natural environment and lethal in the human bloodstream. Not only for this, have the author advocated that drastic measures must be taken to protect horseshoe crabs for the future benefit of all mankind. However, we must also recognize that people's values with respect to marine use are variable, resulting in periodic conflicts between those who wish to use the environment and those who wish to preserve it. Environmental mediation can help resolve conflicts when values collide.

Key words: Horseshoe crab, Endangered Species, Local Conservation Activity of Endangered Species

海洋政策研究 第6号

2008年1月発行

発行 海洋政策研究財団（財団法人シップ・アンド・オーシャン財団）

〒105-0001 東京都港区虎ノ門1-15-1 海洋船舶ビル

TEL 03-3502-1183 FAX 03-3502-2033

本書の無断転載、複写、複製を禁じます。

I S S N 1 8 8 0 - 0 0 1 7

# Ocean Policy Studies

No.6 2008

アワビ陸上養殖システムの開発  
－船用冷凍コンテナを利用したアワビ陸上養殖システム－

菅原 一美 ..... 1

半閉鎖性海域海洋環境保全への予防的アプローチ

大川 光 ..... 15

再生すべき環境共生型社会システムに関する研究  
－江戸時代における東京湾への陸域負荷の推計－

櫻井 一宏 ..... 35

絶滅危惧海生生物種保護に関する一考察  
－カブトガニ保護を事例として－

日野明日香 ..... 49