日本財団助成事業
The Nippon Foundation

ISSN 1880-0017

海洋政策研究

第4号　2007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る。

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.4 (June 2007)

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
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

閉鎖性海域の富栄養化問題に対する人為影響と天然影響の評価

高　橋　鉄　哉*

本来、地域的な問題であった世界の沿岸海洋で発生する赤潮・貧酸素水塊などの富栄養化問題は、近年、地球環境問題としての側面を持ち始め、いっそう解決が困難となってきている。陸域での人間活動に由来する多量の窒素・リンの流入を原因として、その結果として海域で発生する富栄養化問題は、流動などの海域の自然現象によって大きく影響される。富栄養化問題の解決がますます困難になりつつある理由は、陸域での人間活動にともなう物質循環が複雑に拡大している点と、海域での自然現象の成分が評価できない点にある。本稿では、まず、陸域での人為影響に焦点をあて、地球環境問題に拡大した富栄養化問題の歴史的経緯、各国の施策など人為的側面について、既存の研究資料を基に分析を行った。さらに、海域での自然現象である流動の変化に着目して、わが国の閉鎖性海域で発生する富栄養化問題について、天然影響の成分の抽出を行った。

キーワード：閉鎖性海域、海水交換、DO、貧酸素水塊、富栄養化、ICM

1. はじめに

赤潮や貧酸素水塊など、水中の窒素・リン濃度の上昇に起因する富栄養化問題は“古くて新しい”問題である（ここでは、水中の窒素・リン濃度が上昇する現象を富栄養化（現象)、富栄養化に起因する赤潮や貧酸素水塊などの問題を富栄養化問題とする)。富栄養化問題は、少なくとも数百年前からその発生が問題視され、さまざまな対策が実施されてきた。それにもかかわらず、今なお世界中で発生が報告され問題となっている。この問題が長年にわたって解決しない理由は、富栄養化を起こす 2 つの要因の双方にある。富栄養化現象や富栄養化問題は、人為影響と自然影響が重なって生じる。人為・自然影響の双方に課題があり、その解決が困難であるために、現在では富栄養化問題が世界中に拡大し、深刻化している。

人為面での問題点は、根本的に富栄養化問題が食糧問題と密接に関連する点にある。窒素・リンはあらゆる生物にとって必須の元素であり、人類は窒素・リンを土壌に投入することによって食糧を確保してきた。科学技術の進展にともなって、自然のサイクルからはずれた窒素・リンが土壌に過剰に投入され、食糧の増産が行われるようになった。その結果、世界の海洋では富栄養化が急速に拡大し、各国はその対応に追われている。

自然面での問題点は、富栄養化現象や付随する問題に対する自然現象の寄与分が不明な

*長崎大学校

点である。海域の窒素・リン濃度が上昇する要因は、海域への窒素・リンの流入量が流出量を上回ることによる。窒素・リンの流入と流出の制御には、自然現象が大きく関連している。例えば、人為活動による窒素・リンの流入量が多く、海水交換が制限される閉鎖性海域や、大陸棚深層より多量の窒素・リンが湧昇する湧昇海域など生物生産の高い海域では、富栄養化が生じやすい。近年の研究では、世界の総漁獲量の大部分を占めるカリフォルニア沖、ナミビア沖やペルー沖の3大湧昇海域において、大規模な貧酸素水塊の湧昇（青潮）の発生が確認されている（Weeks et al., 2002、Menge、2004）。わが国においても、外洋深層から瀬戸内海に大量の窒素・リンが流入していること（藤原ら、1997a）、また、瀬戸内海の窒素・リンの総量のうち、60-80%が外洋深層起因であることが報告されている（Yanagi and Ishii、2004）。富栄養化を引き起こす窒素・リンの起源自体が、従来考えられてきた人為由来よりむしろ自然由来の割合が多いことが明らかにされつつある。また、窒素・リンの流出や酸素供給に関わる海水交換が富栄養化に及ぼす影響については不明な点が依然として多い。

本研究では、まず、地球環境問題として拡大した富栄養化問題の歴史的経緯、各国の施策など人為的側面について、既存の研究資料を基に分析を行う。さらに、わが国の閉鎖性海域で起こる富栄養化問題（貧酸素水塊）について、自然現象である海水交換の効果に着目して富栄養化に対する天然影響の成分の抽出を試みる。

1. 富栄養化現象に対する人為的影響

1.1　地球環境問題としての富栄養化現象－その歴史的変遷－

1841年、リービッヒにより植物の生育に必要な3要素（窒素・リン酸・カリウム）が見いだされ、また1914年、ハーバー・ボッシュにより大気中の窒素ガスの固定法が開発されて以降、作物肥料は有機物から無機物へと転換した。大気と鉱物から取り出された膨大な窒素・リンが、肥料として環境に投入され、世界の食糧生産は飛躍的に増加した。これにともなって、世界人口は幾何級数的に増大し、2004年には1840年の5倍の60億人に達している（Fig. 1、Fig. 2）。

投入された窒素・リンは、一部が作物として吸収され、残りが環境中に流出する。また、作物として同化された窒素・リンも、人間や家畜動物に一部が同化された後に流出する。仮に作物の同化率を50%、人間や家畜動物の同化率を10%とすると、リサイクルされない場合、投入された窒素・リンの95%が流出することになる。環境中に流出した窒素・リンは、水系を通じて海洋へと流出する過程で、滞留時間の長い水域で富栄養化現象をもたらす。現在では、世界の地下水、河川、湖沼、海洋にいたる水系で富栄養化が顕著になっている（UNEP, 2004）。

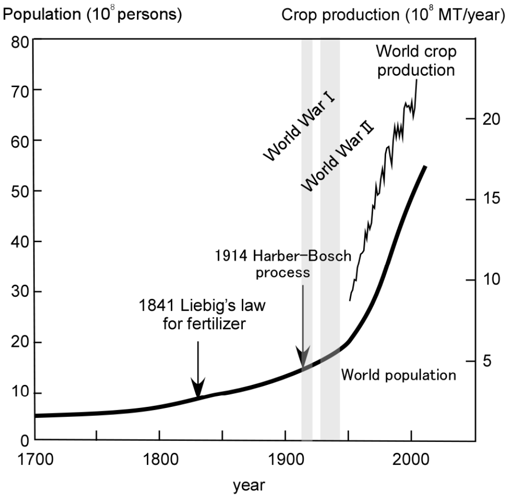

Fig. 1 World population(10^8 persons, thick line) and crop production (10^8 MT/year, thin line). (redraw from data by FAOSTAT and Japan Science and Technology Agency (2000))

現在の世界の海洋で起こっている富栄養化問題は、地球温暖化問題と類似性の高い地球環境問題である。化石燃料（鉱物・大気）を産業活動（生物活動）によって燃焼することでエネルギーを取り出し、その結果、大気（水系）の温暖化現象（富栄養化現象）がもたらされている（Fig. 3)。人間活動の活発化にともなって、地球温暖化問題と平行して富栄養化問題は増大してきたにもかかわらず、地球温暖化問題と比較して、赤潮や貧酸素水塊などの富栄養化問題は地域的な問題としてしか認識されておらず、国際的な取り組みは遅れ

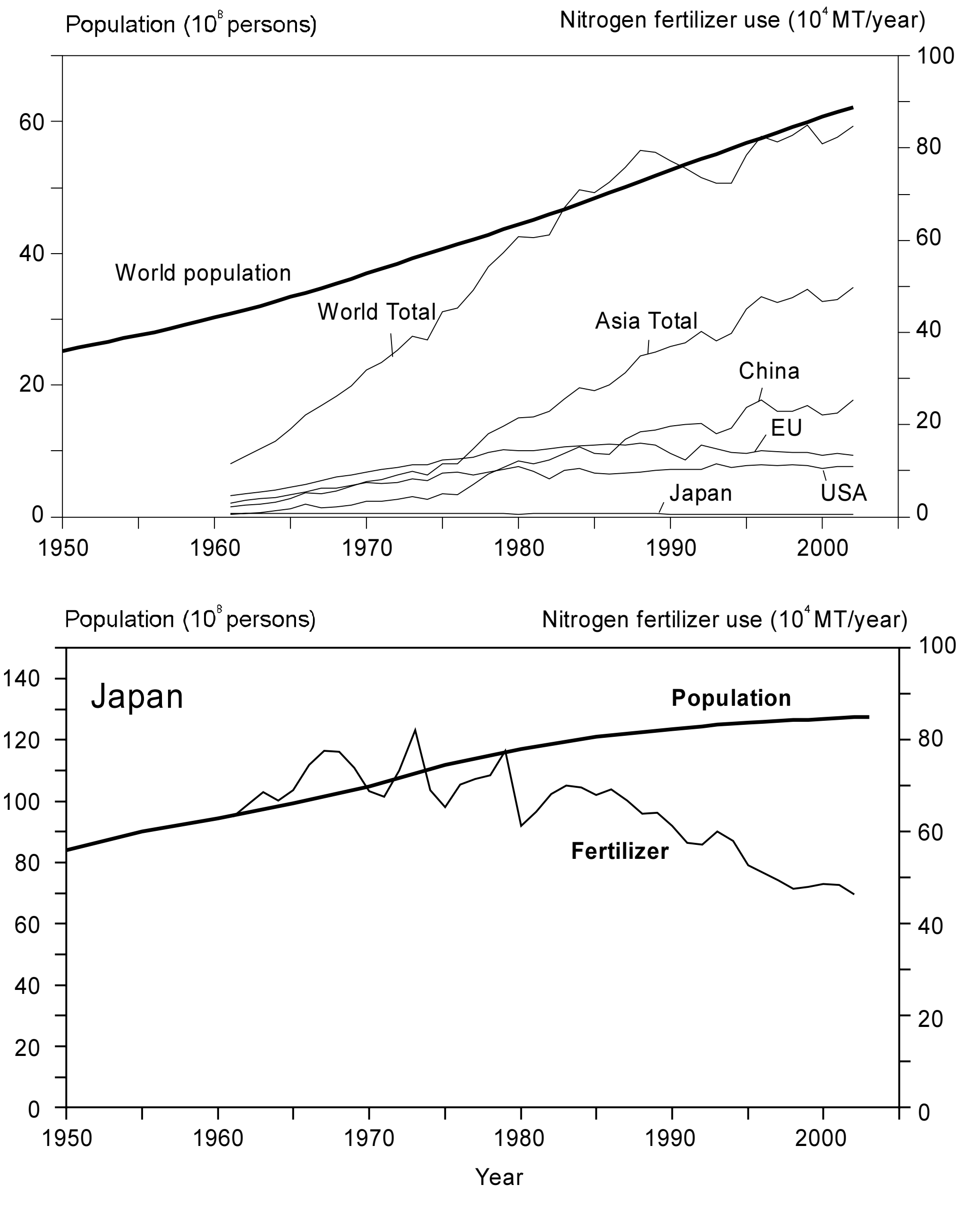

Fig. 2 World population and fertilizer utilization. (redraw from FAOSTAT DATA)

ている。

Fig. 2 に、主要な窒素肥料消費国の消費動向を示す。アメリカ、中国、ＥＵ等、沿岸域の富栄養化が顕著な国々では、肥料消費量が世界消費量に占める割合は大きい。これらの国々と比して、わが国では肥料消費量は大幅に小さい。このため、農業生産国では農業による負荷量が大きく、肥料消費と水系の富栄養化の関係が強く意識され、1.2 で述べるように富栄養化に対する政策に強く影響を及ぼしている。一方、日本では、食糧自給率の低下に見られるように、アメリカや中国など食糧生産国から食糧を多量に輸入している状況にある。2003 年におけるわが国の窒素に関する貿易収支では、86.7 万トンの過剰輸入となっており、ますます増大傾向にある（足立、2003）。過剰輸入された食料は、結局、生活排水として流出して、富栄養化を引き起こしている。このため、日本では、富栄養化に関して農業からの流出が問題にならず、生活排水が問題視されている（環境省、2005）。一方で、輸入された食料の生産のために、生産国で窒素肥料が使用されており、同時に生産国の環境は汚染されている。この点で、わが国と食糧生産国で発生する赤潮や青潮を引き起こす窒素・リンの起源は大部分が同一であるといえるが、このことについてはほとんど意識されていない。近年、食糧自給率の低下と食糧の輸入過剰の議論において、食糧安全保障の観点が強調されがちであるが、こうした議論の中では環境の観点が欠落している。

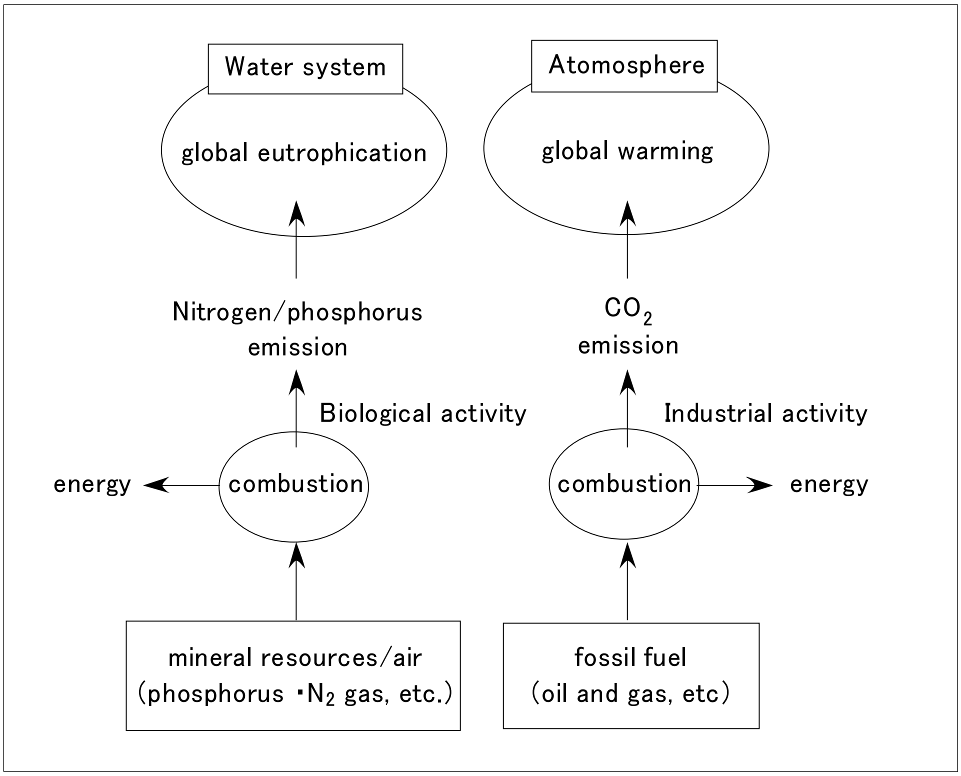

Fig. 3 Analogy between eutrophication and global warming.

1.2　近年の傾向と各国の政策比較

最近の各国の水系の富栄養化と施策の状況について、以下にまとめる。

米国では、メキシコ湾の“Dead Zone”と呼ばれる貧酸素化した海域を削減するために、2001 年クリントン大統領により連邦議会に行動計画“Gulf of Mexico Hypoxic Zone Action Plan”が提出された。これを受けて、2004 年に連邦法“Harmful Algal Bloom and Hypoxia Amendments Act of 2004”が制定され、貧酸素化した海域の科学的アセスメントと貧酸素削減のための計画の提出が義務づけられた。USGS（US Geological Survey）によれば、ミシシッピー川に流入する窒素の 9 割が、肥料や家畜糞尿など面源系に由来することが報告されている（Goolsby and Battaglin, 2000）。面源系負荷は、州や自治体の境界を越えて流出するために、その削減には管理区分に関わらない流域管理が必要とされる。このため、2004 年に発表された米国海洋行動計画においても、メキシコ湾流域管理のための連邦政府と州自治体政府の連携の強化が強調されている。また、メキシコ湾流域管理を実施するにあたって、大学、省庁、自治体研究機関の多数の研究者が参加して、湾流域全体のモニタリングを継続実施して基礎的知見を収集している。

EU の農村部では、地下水を飲料水として使用する地域が多く、地下水の硝酸汚染が進行して乳児や家畜のメトヘモグロビン血症による死亡事故が相次いだ（西尾、2005）。これをうけて、1991 年に農業用硝酸塩からの水系保護に関する欧州委員会指令 91/676/EEC（硝酸塩指令）が採択され、加盟国は、硝酸塩警戒ゾーン（NVZs : Nitrate Vulnerable Zones）を設定して、農業からの硝酸塩負荷の管理と地下水、河川、湖沼から海洋に至る水域の保護を行うことが義務づけられた。2002 年にまとめられた硝酸塩指令実施状況 2000 年報告書（European Commission, 2002）によれば、少なくとも河川の 30-40％において富栄養化が顕著で、EU 水系の全窒素負荷の 50-80％が農業由来であることが報告されている。

わが国においては、頻発する赤潮や貧酸素水塊の発生を受けて、1978 年の水質汚濁防止法および瀬戸内海環境保全特別措置法の改正により水質総量規制が導入され、1979 年の第１次総量規制の実施により、COD の負荷削減が義務づけられた。その後、2002 年に実施された第５次総量規制では COD に加えて窒素・リンの削減が義務づけられた。環境省により公表されている東京湾、大阪湾、瀬戸内海の負荷データ（環境省、2005）をもとに、1979 年と 2004 年の 3 海域の発生負荷量を比較すると、窒素で 20％、リンで 40％が削減された。負荷の内訳を見ると、産業系排水の削減率が高く、生活系排水、その他系による負荷の削減率は低い。わが国では、米国や EU と比較して低い食糧自給率に象徴されるように、農業系排水が全負荷量に占める割合は低い。このため、水質総量規制において、農業系排水はその他系に含まれ重要視されていない。しかしながら、農業が水系を汚染していないというわけではない。近年、農業による地下水の硝酸汚染が顕在化し、1999 年には、地下水の汚濁に係る環境基準項目として新たに追加された。日本では、地下水の硝酸汚染が、表流水や海域の富栄養化にどの程度貢献するかは不明である。

このように、世界では、窒素の環境への過剰投入と富栄養化の問題が顕在化しており、各国は近年、対策を強化している。対策の世界的趨勢としては、第 1 に農業から発生負荷を中心とした管理、第 2 に発生負荷源から地下水、河川、湖沼、海洋までの全水系を一体とみなして管理を行う法体制の統合化、第 3 に全水系のモニタリングの強化・継続があげられる。一方、わが国は、食糧輸入消費国であり、農業による負荷が全負荷量に占める割

合が小さいために、富栄養化問題に対する認識そのものが世界の趨勢とは異なり、政策も独特のものとなっている。

2. 富栄養化現象に対する天然影響

2.1　背景および目的

従来、閉鎖性海域の富栄養化問題は、人間活動が引き起こした現象として認識されてきた。しかしながら、近年の研究から、海域の富栄養化が自然現象として引き起こされる成分が無視できないことが指摘されてきている。現在のところ、人間活動による海域への影響を定量的に分離評価できないために、負荷削減の科学的根拠に乏しく、諸問題を引き起こしている。

“Dead Zone”と呼ばれるメキシコ湾で形成される貧酸素化海域は、面積 20,000 km^2（四国程度の面積）にも及び、多大な漁業被害をもたらしている（Nowlin et al., 1998(a)(b)）。これを受けて、2001 年 1 月、クリントン大統領は、メキシコ湾の貧酸素化海域を 2015 年までに 5,000km^2 以下に削減するための行動計画（Gulf of Mexico Hypoxic Zone Action Plan）を連邦議会に提出した。行動計画では、アメリカ合衆国の国土の 41%、全農業人口の 47%を占めるミシシッピー川流域全体の管理を行うことを予定している。流域管理にあたっては、農業用窒素肥料の使用量削減が提案されているが、メキシコ湾に面するモビール湾では、1860 年代には貧酸素化が起こっていたことが報告されており、これを根拠として窒素肥料削減の効果について論争が起こっている（窒素肥料の大量生産が始まったのは、1914 年のハーバー・ボッシュ法の開発以降であり、農業関係者より強い反発があった）。

また、バルト海においては、赤潮を誘引する富栄養化指標種が、紀元前の海洋環境履歴を示す海底堆積層から多数発見されており、

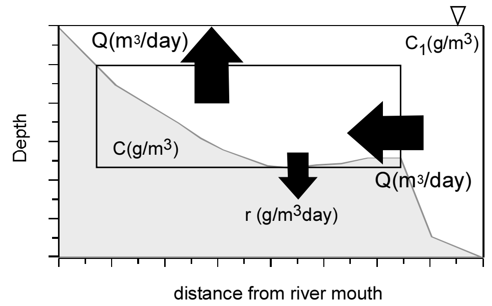

Fig. 4 Schematic diagram of oxygen budget. Q (m3/day) : exchange flux, r (g/m^3day): respiration rate, C(g/m^3): oxygen content in the box, C_1(g/m^3): oxygen content in boundary.

近年の富栄養化現象のどれくらいが人間活動に起因するのか、議論の対象となっている。

人間活動の増大によって海域にもたらされた多量の流入負荷は富栄養化を助長する。しかしながら、負荷が流入した結果生じる富栄養化現象は、自然現象に人間活動による影響が重なった現象である。例えば、極度に閉鎖性の高い湾では、負荷量が僅かでも富栄養化は起こりやすいし、また、開放性の高い湾でも負荷量が多ければ、富栄養化は起こりやすいことは自明である。しかしながら、現在、富栄養化現象に対して、人間活動と自然現象による成分を定量的に分離する手法や研究はほとんどない。閉鎖性海域の環境の管理を適切に行うためには、人間活動が海洋に及ぼす影響を定量的に分離評価することが不可欠である。

本節では、閉鎖性海湾で起こる富栄養化現象である貧酸素化現象に対して、天然成分を定量的に評価する手法を開発する。手法の妥当性について詳細に検証した上で、わが国における複数の閉鎖性海湾の分類を行う。これにより、様々な地理的特性を持つ海域の元来の汚染されやすさ、“環境の脆弱性”を定量的に評価することを目的とする。

2.2　資料および方法

・資料

対象海域には、流域人口が多く人為的な負荷量が大きいと考えられる伊勢湾、東京湾、大阪湾を選んだ。これらの湾では、例年赤潮や貧酸素水塊が発生して富栄養化が顕著である。手法の妥当性の検証については、一つの観測機関によって湾全体のデータが収集されている伊勢湾を対象とした。伊勢湾の資料としては、三重県水産総合技術センターが 1973 年から 2002 年にかけて実施した浅海定線調査の各月データを用いた。測定層は 0、2、5、10、20、30 m および海底上 1mの 7 層である。測定項目は、水温、塩分、溶存酸素濃度である。他の湾に関しては、海洋情報センター（MIRC）によって収集された OCEAN DATA SET 2002 のデータを解析に用いた。

・天然成分の評価手法

貧酸素化と海水交換時間との関係についてボックスモデルを用いて考察する。貧酸素化が顕著な内湾の下層をひとつのボックスと考えると（Fig. 4）、ボックス内の酸素濃度の変動は次のように表される。

$$VdC/dt = - CQ + C_1Q - rV \quad \cdots (1)$$

ここで、表層と外洋側の境界の酸素濃度を飽和して等しいと仮定し、境界の酸素濃度を C_1 (gm^{-3})、境界との海水交流量を Q (m^3day^{-1})、海水の単位体積あたりの正味の酸素消費速度を r ($gm^{-3}day^{-1}$)、ボックス内の体積を V (m^3) としている。

定常状態における下層水の酸素濃度 (C_0) は、

$$C_0 = C_1 - rV / Q$$
$$= C_1 - rD \quad \cdots (2)$$

境界の酸素濃度（C_1）は多くの場合、飽和状態であり水温と塩分によって決定され、下層ボックスの酸素濃度（C_0）は、境界の酸素濃度（C_1）、海水交換時間（D）と酸素消費速度（r）の 3 つのパラメーターによって決定される。

D は、河川流量、風、黒潮の離接岸等の外洋境界の変動など主に自然現象によって変化する。酸素消費速度は、有機物の分解によるものが多く、有機物の起源は河川から流入する窒素・リンなどの負荷に依存すると考えられる

まず、伊勢湾のデータを用いて、式 (2) で算出される理論値による実測値の再現性について検証を行った。変数である海水交換時間（D）、境界濃度（C_1）と酸素消費速度（r）については、次のようにして求めた。伊勢湾では、海水交換は主にエスチュアリー循環流によって決定され、その交換量は藤原ら（1997）によって塩収支から算出されている。この交換量から海水交換時間を算出して解析に用いた。境界濃度は、表層と外洋側測点のデータの 30 年平均値を用いた。酸素消費速度に関しては、富栄養化海域底泥の有機物飽和条件下での酸素消費実験式（Chapra et al., 1997）を用いて、水温 20℃で一定の場合（case Ⅰ）と水温によって変動する場合（case Ⅱ）の 2 ケースについて計算を行った。ここでの有機物飽和条件とは、酸素消費に使用される有機物が常に存在する状態を指す。比較する実測値には、30 年間の底層のボックスの平均濃度を用いている。

2.3　結果および考察

2.2 の理論式で求めた計算値と実測値の季節変動を Fig. 5 および Fig. 6 に示す。Fig. 5 は case Ⅰ（海水交換時間変動、酸素消費速度一定条件）、Fig. 6 は case Ⅱ（海水交換時間変動、酸素消費速度変動条件）の計算結果である。case Ⅰ、case Ⅱともに理論式による計算結果は、

実測値をよく再現できている。いずれの case も夏季にかけての酸素の減少、冬季の酸素濃度の回復をよく表現できている（Fig. 5 (a)）。9 月には、実測値と比較して計算値のほうが大きな値となっている。これは、秋季は酸素の回復が急激に起こる時期にあたり、月一度の観測ではこの現象を正確に捉えられていないことによる。また、酸素消費速度を一定としても酸素濃度の季節変動をよく再現していることから、海水交換時間の変動が酸素濃度の変動には重要であることを示している。このことは、Fujiwara et al.(2002)や高橋（2002）の結果と一致している。また、本研究では、底泥の有機物は飽和条件の下で計算を行っており、計算値が実測値とよくあう点から、伊勢湾では、底泥の有機物が飽和状態にあり、このことが伊勢湾の貧酸素水塊を引き起こす根本的要因となっていることを示唆している。

境界の酸素を一定とすると、酸素濃度は、海水交換時間と酸素消費速度から決定される。海水交換が悪い（海水交換時間が長い）あるいは、酸素消費速度の大きいほど、酸素濃度は低くなる。Fig. 7 に海水交換時間と酸素消費速度の成分に応じた酸素濃度の季節変動（case II）を示す。この図から、伊勢湾の貧酸素化の特性がわかる。3 月から 6 月にかけての酸素濃度の減少は、海水交換時間が長くなる、つまり海水が滞留することによって生

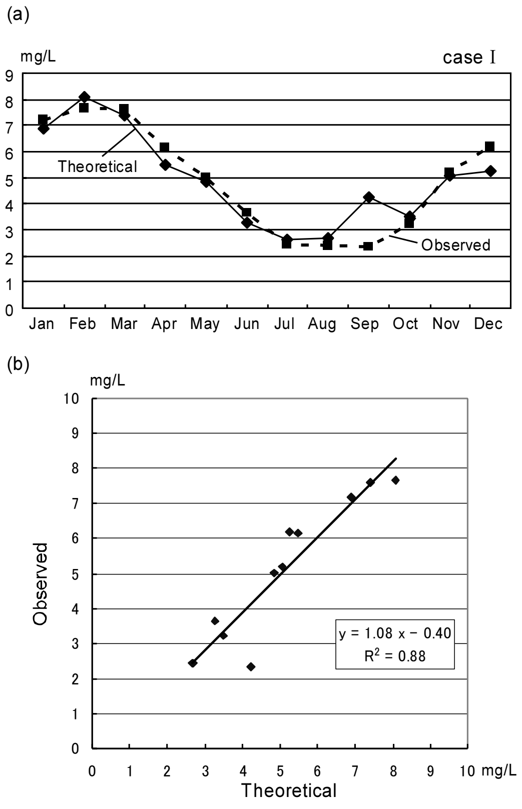

Fig. 5 (a)Seasonal variation in observed and calculated DO with constant respiration rate.
(b) Map of observed and calculated DO.
(Repiration rate:constant, residence time:variate)

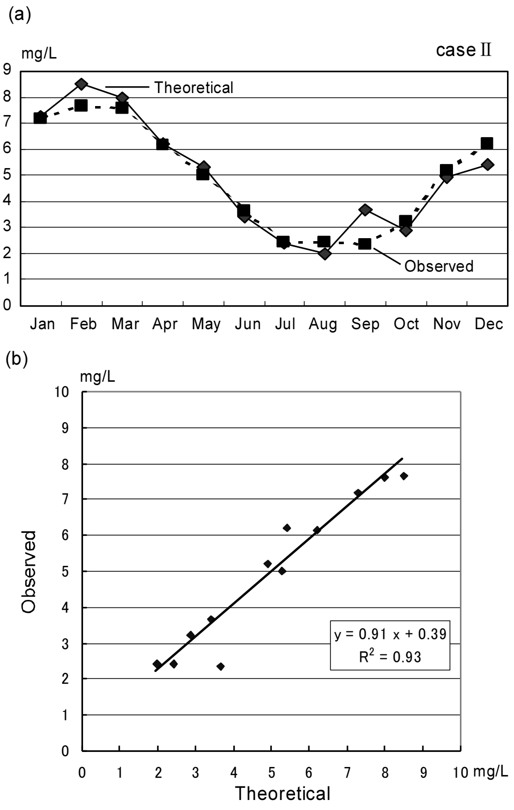

Fig. 6 (a)Seasonal variation in observed and calculated DO with constant respiration rate.
(b) Map of observed and calculated DO.
(Repiration rate:variate, residence time:variate)

じることがわかる。6 月から 8 月にかけては、海水交換時間は短くなるものの、水温の上昇による酸素消費速度の上昇によって、酸素濃度は 2-3mg/L の値をとる。6 月から 8 月にかけては、酸素濃度は見かけ上ほとんど変化しないが、この図からどちらの成分が寄与しているかが分かる。

酸素濃度の変化に対する海水交換時間の寄与率（Pr）、酸素消費速度の寄与率（Pd）は、それぞれ次式で表される。

$$Pr = -100 \times (D \partial r / \partial t)/(do_2/dt)$$

$$Pd = -100 \times (r \partial D / \partial t)/(do_2/dt)$$

この式から、3 月から 6 月にかけての濃度変化に対しては、Pr = 20（%）、Pd　=　80（%）となり、6 月から 8 月にかけては、Pr = 120（%）、Pd = -20（%）となる。6 月までに形成される貧酸素水塊に対しては、天然影響（海水交換時間の変動）による寄与は 80%となる。6 月から 8 月にかけては、貧酸素化に対して酸素消費速度の寄与が高くなる。元来、伊勢湾においては、海水交換が滞留することによって貧酸素化が起こりやすい海域であることを示している。

本実験は、底泥の有機物飽和を仮定して行っている。この結果が実測値とよく一致する

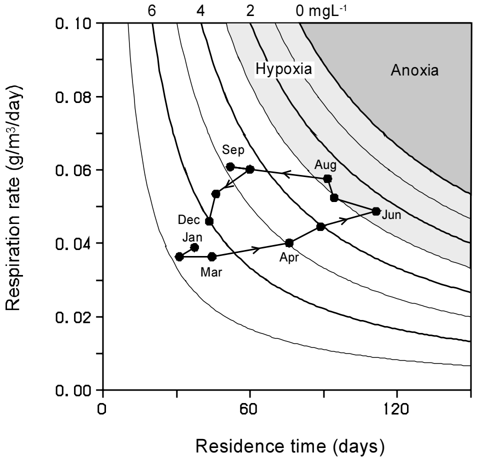

Fig. 7 The variation in respiration and residence time in Ise Bay.

ことから、伊勢湾では底泥の有機物濃度が常に飽和していることを意味している。したがって、河川からの負荷物質の削減によって貧酸素化がただちに解消することはなく、底泥の有機物が減少しない限り、貧酸素化の改善は困難であることが予測される。

参考文献

足立恭一郎（2003）: 食農同源－腐食する食と農への処方箋－、コモンズ.

Chapra S. C. (1997) : Surface water −quality modeling, McGraw- Hill, 452-455.

European Commission (2002): Implementation of Council Directive 91/676/EEC concerning the protection of waters against pollution caused by nitrates from agricultural sources. Synthesis from year 2000 Member States reports. COM (2002) 407 final.

藤原建紀・福井真吾・杉山陽一（1996）: 伊勢湾の成層とエスチュアリー循環の季節変動.海の研究 5、p235-244.

藤原建紀・宇野奈津子・多田光男・中辻啓二・笠井亮秀・坂本亘（1997a）: 紀伊水道の流れと栄養塩輸送，海と空 73、31-40.

藤原建紀・福井真吾・笠井亮秀・坂本亘・杉山陽一（1997b）: 伊勢湾の栄養塩輸送とクロロフィル極大、海と空 73、33-39.

Fujiwara, T., T. Takahashi, A. Kasai, Y. Sugiyama, and M. Kuno (2002): The role of circulation in the development of hypoxia in Ise Bay. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 19-31, Vol.54.

Goolsby, D.A., and Battaglin, W.A.(2000): Nitrogen in the Mississippi Basin--Estimating Sources and Predicting Flux tothe Gulf of Mexico: U.S. Geological Survey Fact Sheet 135-00, 6 p.

科学技術庁（2000）科学技術白書（平成 12 年版）21 世紀を迎えるにあたって、5 p.

環境省（2005）、第 6 次総量規制の在り方、14 p.

Menge (2004) Upwelling-driven nearshore hypoxia signals ecosystem and oceanographic changes in the northeast Pacific. Nature, 429: 749-754.

西尾道徳（2005）: 農業と環境汚染－日本と世界の土壌環境政策と技術－、農文協出版、東京.

Nowlin, W. D., Jr., A. E. Jochens, R. O. Reid and S. F. DiMarco (1998a): Texas-Louisiana Shelf Circulation and Transport Processes Study: Synthesis Report. Volume I:Technical Report. OCS Study MMS 98-0035. U. S. Dept of the

Interior, Minerals Management Service, Gulf of Mexico OCS Region, New Orleans, Louisiana, p502.
Nowlin, W. D., Jr., A. E. Jochens, R. O. Reid and S. F. DiMarco (1998b): Texas-Louisiana
Shelf Circulation and Transport Processes Study: Synthesis Report. Volume II: Appendices. OCS Study MMS 98-0036. U. S. Dept of the Interior, MineralsManagement Service, Gulf of Mexico OCS Region, New Orleans, Louisiana, p288.
高橋鉄哉（2002）：内湾海域における外洋水の進入と貧酸素水塊の発達消滅機構、京都大学学位論文.
UNEP (2004): ENV/DEV/758 UNEP/213.
Weeks, S.J., B. Currie, A. Bakun (2002) Satellite imaging: Massive emissions of toxic gas in the Atlantic. Nature, 415: 493-494.
Tetsuo Yanagi and Daisuke Ishii (2004): Open ocean originated phosphorus and nitrogen in the Seto Inland Sea J.Oceanogr.Soc.Japan, Vol.60, 1001-1005.

Evaluation of the Contribution of Anthropogenic and Natural Components in Eutrophication Problems

— For Proper Integrated Coastal Management —

Tetsuya Takahashi*

SUMMARY

The eutrophication problems represented by red tides and hypoxia are now widely spread in the world's aqua-systems. Eutrophication occurs as the result of overlap between human impacts and natural phenomena. These age-old problems are unsolved and even spreading and worsening. Today, eutrophication has become a global environmental problem comparable to global warming. The difficulties of eutrophication problems can be distilled into two aspects. First is the anthropogenic aspect, that eutrophication is closely related to food problems. Second is the unknown natural contribution to eutrophication. This study is composed of two studies on the anthropogenic and natural effects on eutrophication.

Keywords: water system, DO, eutrophication, natural environmental effect, anthropogenic environmental effect, ICM

1. Anthropogenic effects on eutrophication:

The shift from organic to inorganic fertilizer in the 19th and 20th centuries led to food production being based on mineral resources and air. Since then, large amounts of nitrogen and phosphorus have been put into the soil as fertilizer and flowed out toward the sea, causing global eutrophication in aqua-systems such as underground water, rivers, lakes, and semi-enclosed seas. Although global eutrophication bears a marked similarity to global warming, its significance has been largely overlooked in comparison.

Among the countries pressed by the eutrophication problems, Japan is anomalous because of its low food production. The USA, EU, and China account for a large percentage of world fertilizer use and excess fertilizer induces eutrophication problems. In Japan, domestic wastewater is the dominant source of eutrophication, which originates from imported food and fertilizer. Differences between producing and consuming countries lead to a gap in awareness and countermeasures against global eutrophication. Food producing countries are strengthening the integrated control of water-systems, including agriculture. In Japan, a decline in the ratio of food self-support is frequently pointed out as a

*Nagasaki University

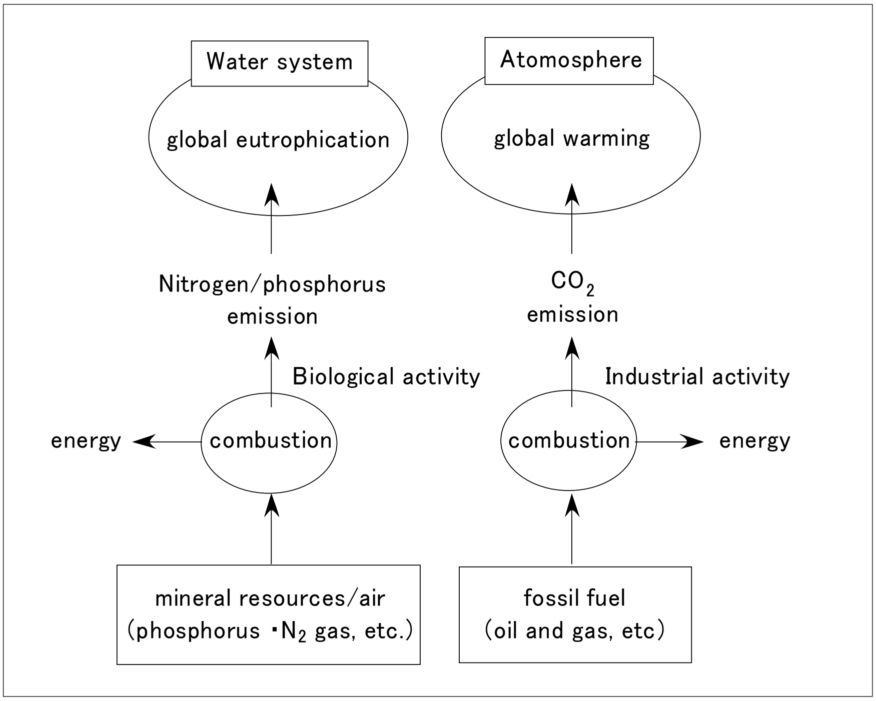

Fig. 3 Analogy between eutrophication and global warming.

problem for food security, though discussion of the global environmental aspects are lacking.

2. Effects of natural phenomena on eutrophication

Recent studies have pointed out the comparable contribution of natural phenomena to eutrophication problems. Even in semi-enclosed bays with a concentrated watershed population, the natural effect is not negligible. This fact complicates eutrophication control.

In this section, the natural component in eutrophication problems (hypoxia) in semi-enclosed bays in Japan is estimated using the box –model analysis. The study fields are Ise, Osaka, and Tokyo Bays. These are the three major bays of Japan, which are similar in size, latitudinal location, the existence of river discharge, and the frequent occurrence of water pollution such as hypoxia.

The dissolved oxygen concentration (DO) is determined by respiration and water exchange rates. The effect of water exchange is defined as the natural component and evaluated by a simple model based on the box-model analysis. The calculated DO agrees well with the observed DO. The results indicate that the oxygen decrease in Ise Bay is induced mainly by change in the water exchange rate, and that Ise Bay is highly vulnerable and the bottom sediment is suggested to be highly organic-polluted. The rapid recovery of DO by the nitrogen and phosphorus reduction policy cannot be expected, as it requires a countermeasure for reducing the concentration of organic matter in the sediment.

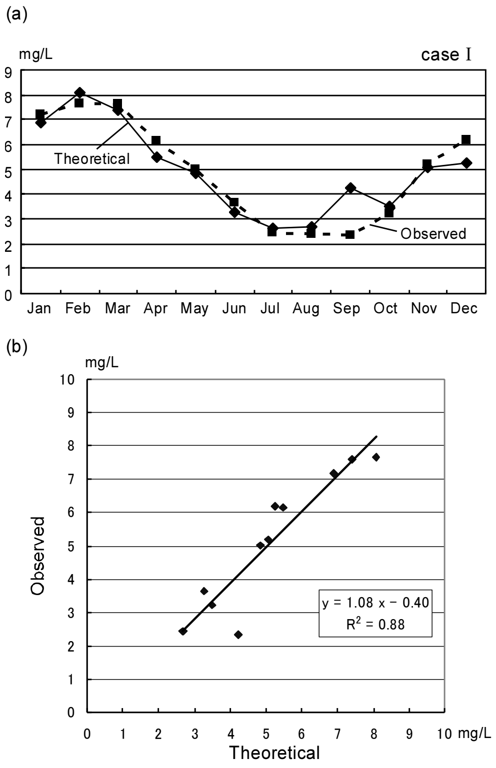

Fig. 5 (a)Seasonal variation in observed and calculated DO with constant respiration rate.
(b) Map of observed and calculated DO.
(Repiration rate:constant, residence time:variate)

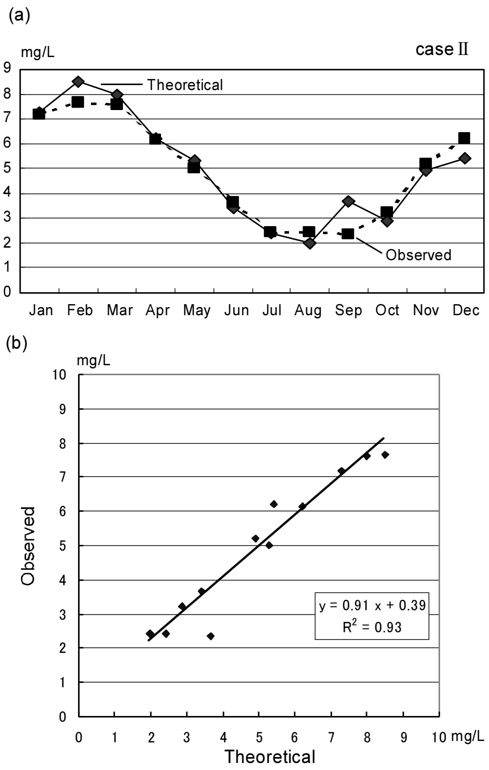

Fig. 6 (a)Seasonal variation in observed and calculated DO with constant respiration rate.
(b) Map of observed and calculated DO.
(Repiration rate:variate, residence time:variate)

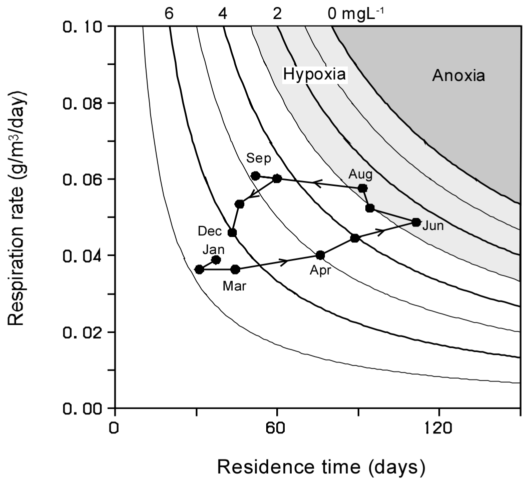

Fig. 7 The variation in respiration and residence time in Ise Bay.

日本海沿岸地域における国際間の最適環境投資配分と陸域起因水質汚濁負荷物質の日本海への影響分析

櫻　井　一　宏*

本稿では、日本海周辺の沿岸地域における社会経済活動による陸域起因水質汚濁負荷物質の排出を定量化するとともに、その削減のための環境投資を仮定した多地域環境・社会経済システムモデルを構築し、動学的最適化シミュレーション分析を行う。対象地域は日本、中国、韓国、ロシアの一部地域とし、それぞれの地域経済活動からの COD 排出制約の下で地域生産額の最大化問題を解く。計算の結果、COD 最大削減率は 1995 年比で 6%、12 年間の平均削減率は最大 2.6%、平均 GDP 成長率は 12 年間で約 4.6%が達成され、日本海への影響についても定量的に示すことができた。

キーワード：日本海、環境投資、水質汚濁負荷、水質、動学的最適化シミュレーション

1. 研究の背景と目的

近年、国際的・社会的環境情勢の変容とともに環日本海地域のさまざまな交流や社会経済活動が活発化している。日本海周辺地域においては、1980 年代頃から環日本海経済圏としての地域連携の動きが出はじめ、地域活動や調査研究などの活動が進められてきた。当時、米国、ソ連をはじめとする陣営による東西冷戦構造が持続されていたこともあり、自治体や地域レベルでの交流を進めてゆくという気運が存在していた（中藤（1999））。実際に、提携都市や姉妹都市など自治体間の交流活動として、例えば北海道および新潟県はともに中国黒龍江省、富山県は同遼寧省と提携を結ぶなどが挙げられる。1990 年代以降ともなると、各地でグローバルな環境問題に対応すべく、さまざまな政策やプロジェクトが検討されはじめた。1992 年に採択されたアジェンダ 21 においては、大気汚染などを原因とする地球温暖化問題をはじめとして、水質汚濁問題についても言及されている。特に海洋に関する諸問題に関しては、「第 17 章 海洋、閉鎖性及び準閉鎖性海域を含むすべての海域及び沿岸域の保護及びこれらの生物資源の保護、合理的利用及び開発」（国連事務局（1993））という項目において、統合的管理や持続可能な開発と利用を推進する旨が記述されていることもあり、非常に重要な課題として認識すべきである。

上記の流れを反映してか、日本海を取り巻く地域においても、より具体的な活動が始まっている。1992 年に新潟市で開催された環日本海環境協力会議や、1997 年、富山に設立された環日本海環境協力センターなどがその代表例として挙げられるであろう。また、国際的な取り組みとして、日本海海域が対象地域として含まれる「北西太平洋地域海行動計画」

*海洋政策研究財団

（Northwest Pacific Action Plan; NOWPAP）が策定されている。これは国連環境計画（United Nations Environment Programme; UNEP）が閉鎖性の高い国際海域の環境保全を目的として推進している「地域海計画」のひとつであり、他にも北西太平洋や、地中海、カリブ海、黒海など全世界で 18 海域を対象にして策定されている。したがって、日本海は北東アジア地域において環境保全を推進すべき重要な国際海域として位置付けられるであろう。

現在の環境問題は、その要因やプロセスに関する研究はもちろん、海洋環境をはじめとするモニタリングなどについても継続して行われるべきであるが、環境保全および環境修復のための具体的な実行プログラムを社会的に実効性のある提案として、ブレイクダウンした上で提示しなければならない段階に来ている。また、ボーダーレスである環境問題は各国各地域が一体的に取り組まなければならないという共通認識を持つべきである。

また、国連によると、海洋汚染の 70%は陸上活動に起因する負荷によるとされており、陸域起因の流入汚濁物質の削減は重要な課題である。1995 年にはこのような認識の下、「陸上活動からの海洋環境の保護に関する世界行動計画」が採択された。また、国連海洋法条約第 197 条においては地域的基礎における協力が規定されており、これに基づいて周辺各国と海洋環境保全に関する協力を進めてゆく必要がある。しかし、取り決めや合意だけではなく、それぞれの地域が達成可能な経済的水準を考慮し、根拠のある経済的負担と環境負荷への効果を定量的に示した上で対策を講じることが重要であり、その体系を構築し試算することが各国の環境政策の具体化の一助となるであろう。

本研究では、環日本海地域における水質汚濁物質排出と社会経済活動をリンクさせたシステムモデルを構築することで、それらの相互依存関係を明らかにし、日本をはじめとする対象地域の社会経済活動とその発展に伴い、日本海への水質汚濁物質の流入状況がどのように変化するか、また、制御可能かについて展望する。さらに日本（もしくは他国）から環日本海地域の各国への水質汚濁防除投資を国際投資政策として仮定し、その導入効果について評価を行う。本研究の重要な視点は、陸域からの環境負荷と周辺地域の財政的側面を中心に、日本海という国際海域の統合的管理の可能性を検討するということである。具体的には、日本海周辺沿岸地域による人為的活動からの水質汚濁負荷物質の流入量や対象地域における財政を制約として、当該地域の経済活動（GDP）の最大化問題を定義し、計算を行う。導出された実行可能解における各指標を分析することで政策の効果を評価することができる。

2. 環日本海地域の現状

2.1　日本海の概要

日本海は、図 1 に示した通り、ユーラシア

図 1　日本海の位置

（http://www.odci.gov/cia/publications/factbook/geos/ja.html#topより引用）

大陸と日本列島に囲まれた縁海（大陸の外縁に位置し、島や半島で不完全に大洋から区画された海）である。北からはリマン海流（寒流）、南から対馬海流（暖流）という 2 つの海流が流れており、その交差する海域を中心に豊かな漁場が形成されている。また、冬季における大陸からの季節風は乾燥しているが、日本海海上で多量の水蒸気を含むことで湿った空気となり、これが吹き付けられることによって日本海沿岸の北陸地方では豪雪地帯が形成されるなど、沿岸地域に対して大きな影響を与えている海域である。1992 年には第 6 回国連地名標準化会議において韓国および北朝鮮によって日本海の呼称問題が話題とされるなど、近年、わが国および関係諸国において注目を集めている。

面積は 105.9 万 km^2（日本の国土面積の 2.8 倍）、平均水深は 1,588m であり、容積は 168.2 万 km^3 とされている（表 1）。1930 年代初頭、宇田（1934）は日本海に関して先駆的な調査を行い、水深数百メートル以深の日本海は物理化学的に性質が均一である水塊で構成されていることを発見した。特に水深 500m 以深の海水は水温 0～1℃、塩分約 34.07psu 前後であり、日本海固有水（Japan Sea Proper Water）と呼ばれている。

また、近藤（2003）によれば、最大水深は 3,650ｍで表面面積に対して深い海盆を有しており、しかもその出入り口が浅くなっているために、外部との海水の交換が緩慢であり、交換率が他の海に比べて低いという地理的特性を持つ。日本海の海水交換時間は、約 100 年とされている（Gamo and Horibe(1983)、Chen et al.(1995)、Watanabe et al.(1991)、Tsunogai et al.(1993)）。

表 1　日本海の概要（長沼（1993）より引用）

深さ (m)	面積 ($10^6 km^2$)	体積 ($10^6 km^3$)
0	1.059	0.185
200	0.787	0.229
500	0.740	0.340
1,000	0.620	0.287
1,500	0.526	0.238
2,000	0.427	0.189
2,500	0.329	0.142
3,000	0.239	0.072
3,000以上		
総体積 ($10^6 km^3$)		1.682
平均水深 ($10^3 m$)		1.588

平成 14 年 2 月 15 日に開催された環境省の第 6 回生物多様性国家戦略小委員会で提示された「生物多様性国家戦略案」においても、以上のような特徴から、日本海は閉鎖性が強く、また、陸上の諸活動に起因する汚濁負荷物質が流入することで、海洋環境に負荷を与える問題に関しての関係国も多く、これら関係国の人口増加や経済成長に伴って日本海海域における環境悪化の懸念があるとされている。したがって、一度汚濁が進行すると容易に再生しない、汚染に対して極めて弱い構造を持っていること、今後、さまざまな要因による環境負荷によって深刻な水質汚濁問題が進行する可能性がある。

日本海の水質に関しては、金他（2002）によれば、近年、日本海における溶存酸素（DO; Dissolved Oxygen）の鉛直分布に大きな変化が生じているという報告がある。1960 年代の後半に 800m ほどであった DO 極小層が 1990 年代後半には 1,500m 以上の深度になっているとともに、DO 濃度が低下している。すなわち、このような DO の変化によって水質汚濁が進行していると考えることができる。これらの原因として、過去にも見られた自然現象の一部として考える立場（Broecker et al.(1999)、Stocker (1998)など）、また、人間活動に起因している（Manabe and Stouffer (1993)、Stocker and Schmittner (1997)など）とするものなど諸説があるが、現時点では定かではない。

しかし、さまざまな要因によって現実に水質の変化が生じていることは事実であり、社会経済活動をはじめとする陸域における人為

的諸活動による水質汚濁物質の流入が海域に何らかの影響を与えているとすれば、これを関係各国が協力して制御しつつ、持続可能な周辺地域経済の振興を進めることが必要になるであろう。

2.2　日本海に関する活動

現在、日本海およびその周辺海域を対象としたさまざまな活動が進められており、経済協力や地域間連携の事業のみならず環境保全に関連する活動も推進されている。例えば、NOWPAP をはじめ、アジア太平洋地球変動研究ネットワーク（Asia-Pacific Network for Global Change Research; APN）や北東アジア地域自治体連合（The Association of North East Asia Regional Governments; NEAR）などが挙げられる。表 2 は NEAR への参加自治体の一覧であり、この組織を通じて経済・通商、文化交流、環境、防災等の国際協力活動を中心に進められている。設立に当たったのは、富山県を中心とした日本海沿岸地帯振興連盟（青森県から山口県までの日本海沿岸 12 府県で構成）および兵庫県であり、北東アジア地域自治体会議がベースとなっている。また、NOWPAP は 1994 年 9 月にソウルで開催された第 1 回政府間会合において、日本、中国、韓国およびロシアの 4 ヶ国により採択され、その後の政府間会合において表 3 に挙げた各種プロジェクトが決定されている。その組織体系は、図 2 に示す通り現在進行形ではあるが徐々に整備されつつある。

日本海地域に関する研究は、さまざまなフィールドにおいて活発に行われている。例えば、海洋学の立場からは、1993 年夏に開始された国際共同研究「東アジア縁辺海循環海洋

表 2　NEAR への参加自治体

国	自治対数	参加自治体
日本	10	青森県、山形県、新潟県、富山県、石川県、福井県、京都府、兵庫県、鳥取県、島根県
中国	5	遼寧省、黒龍江省、山東省、河南省、寧夏回族自治区
モンゴル	2	中央県、セレンゲ県
韓国	10	釜山広域市、京畿道、江原道、忠清北道、忠清南道、全羅北道、全羅南道、慶尚北道、慶尚南道、済州道
北朝鮮	2	咸鏡北道、羅津先鋒市
ロシア	10	ブリヤート共和国、サハ共和国、沿海地方、ハバロフスク地方、アムール州、イルクーツク州、カムチャッカ州、サハリン州、チタ州、ウスチオルダブリヤート自治管区

表 3　NOWPAP のプロジェクト

NOWPAP1	対象海域の海洋環境に関するデータベースの構築
NOWPAP2	各国の海洋環境保全に関する法令等の内容の調査
NOWPAP3	対象海域の環境モニタリングプログラムの作成
NOWPAP4	海洋汚染事故（油汚染）への準備及び対応
NOWPAP5	各分野の活動の拠点となる地域活動センターの指定
NOWPAP6	海洋・沿岸環境に関する普及啓発
NOWPAP7	陸上起因の汚染に対する評価と管理

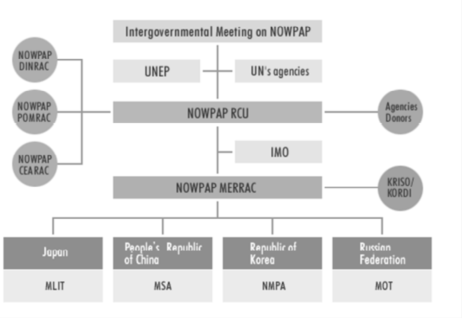

図 2　NOWPAP の組織体系

注:
DINRAC : Data and Information Network Regional Activity Centre (established in People's Republic of China)
POMRAC : Pollution Monitoring Regional Activity Centre (established in Russian Federation)
CEARAC : Special Monitoring and Coastal Environmental Assessment Regional Activity Centre (established in Japan)
MLIT: Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Japan
MSA: Maritime Safety Administration, People's Republic of China
NMPA: National Maritime Police Agency, Republic of Korea
MOT: Ministry of Transport, Russian Federation

研究（Circulation Research of the East Asian Marginal Seas; CREAMS）」が日本、韓国、ロシアの 3 国の研究者が挙げられる。CREAMS 第 1 期（1993～1997 年）ではロシアの観測船による調査をはじめ合計 4 回の夏季観測と 2 回冬季沈降域観測や国際シンポジウムが行われた。1998 年～2001 年の第 2 期調査の CREAMS-II では、アメリカもプロジェクトに参加して観測調査が継続されている。

1994 年には環日本海学会（The Association for the Japan Sea Rim Studies）が設立され、社会科学、人文科学、自然科学などの見地から日本海周辺諸国・地域の諸問題に関する研究が行われており、学術研究大会も 2005 年で 11 回を数えている。2002 年度には「環日本海域の環境計測と長期・短期変動予測」と題されたテーマが金沢大学 21 世紀 COE プログラムとして採択され、環日本海域を対象地域として、その高感度環境計測法の開発とそのデータ情報ネットワークの構築、それに基づく環境変動の予測、有用資源の保全と有効活用、災害防止に関する研究や教育の推進が図られている。

また、小泉・清家（2004）をはじめ、小泉（2003）、青柳・Toby（2002）、日本海学推進会議（2001）などの一連の文献では、日本海学推進機構や富山県が中心となっている活動をまとめ、非常に広範囲な専門分野から環日本海地域を捉えた「日本海学」を提唱しており、同海域と周辺地域の歴史や現状、今後のあり方について文明論や国際関係など、多面的にアプローチしている。池田（2000）においては主に中国の経済活動とその環境への影響が包括的に述べられており、水質汚濁問題については有機性汚濁負荷の推計が原単位法を用いて定量的に行われている。その分析によると、今後環境への影響がますます大きくなると予想されているが、あくまでも一時点における推計および分析であり、具体的な政策提示まで踏み込んでいない。

2.3　日本海周辺地域の概要

本研究で対象とするのは日本、中国、韓国およびロシアの 4 ヶ国における日本海沿岸を中心とした地域である（図 3）。表 4 に示したように、日本における日本海側の道府県、中国の吉林省および黒龍江省、韓国の釜山、江原道、慶尚北道、慶尚南道そしてロシアの沿海地方、ハバロフスク地方、サハリン州をそれぞれの単位として 14 地域に分割することとした。北朝鮮についてはデータ収集の問題から研究対象地域より除外する。

表 4 の人口に関して、日本の各地域データは茅 (2003)、村上 (1999)、総務庁統計局 (2000)、韓国については韓国建設交通部（1996）、中国は井村・勝原（1995）、ロシアについては国際連合（1996）、中藤（1999）などを参考に算出

図 3　日本海と対象地域

表４　対象地域データ

国	Index	地域	面積 (万km^2)	人口(千人) (1995年)	GRP(百万ドル) (1995年)
日本	1	北海道	7.8	5,719	208,860
	2	青森、秋田、山形	3.1	4,000	129,458
	3	新潟、長野、富山	3	5,820	229,126
	4	石川、福井、岐阜	1.9	4,108	155,803
	5	京都、兵庫	1.3	7,960	318,599
	6	山口、島根、鳥取	1.6	2,957	105,606
	7	福岡、佐賀、長崎	1.1	7,345	260,052
韓国	8	江原道、慶尚北道	3.6	4,308	44,025
	9	プサン、慶尚南道	1.1	7,843	86,718
中国	10	吉林省	18.7	25,920	13,523
	11	黒龍江省	45.5	37,010	24,126
ロシア	12	ハバロフスク地方	82.4	1,608	8,099
	13	沿海地方	16.6	2,287	9,790
	14	サハリン州	8.7	699	4,378

した。同 GRP（地域 GDP）については、日本は矢野恒太記念会・国勢社（1999b）、韓国は韓国建設交通部（1996）および矢野恒太記念会・国勢社（1999a）、中国は日本貿易促進協会（1999）、ロシアについてはロシア科学アカデミー極東支部経済研究所（1994）、中藤（1999）などをそれぞれ参考にした。

3. 研究方法

3.1　モデルのフレーム

本研究では、環日本海地域における具体的な経済水準や汚濁負荷制御の実行可能領域を導出し、想定する国際投資政策の評価を行うため、社会経済活動および水質汚濁物質動態を記述したシステムモデルを構築する。対象地域の人口変動や産業などの社会経済活動とそれらに伴って排出される水質汚濁物質の動態を関連付けて記述した環境・社会経済システムモデルに、国際投資政策（水質汚濁防除投資）を仮定し、動学的シミュレーション分析を行うことで政策導入の効果について定量的に評価を行う。本シミュレーションモデルで定式化する水質汚濁物質排出量および財政制約付き GDP 最大化問題の解が導出された場合、その最適な予算配分および投資額などが明らかになり、実行可能な経済水準および水質汚濁物質削減率を得ることができる。本研究で定式化される多地域環境・社会経済システムモデルそのものが統合的海域管理政策の評価のための一手法として提案され、日本海およびその周辺地域を対象として行う計算はテストケースと位置付けられる。また、この結果得られる解を分析することによって、当該地域における近未来の政策立案や実行プログラムの具体化に向けたひとつの指針を得ることができる。

本研究で用いる分析手法のベースとなっているのは氷鉋（1996）による考え方であり、環境と経済活動をシステムとして包括的に捉え、物質収支バランスおよび価値バランスに依拠したモデルを構築することによって環境負荷を考慮した最適解を導出できるというものである。この考え方を応用した実証的研究として、大気汚染問題を取り扱った水野谷・氷鉋（2000）および櫻井他（2003）が、また、閉鎖性水域の水質汚濁問題について検討した水野谷他（2001）や櫻井他（2004）などの文献が挙げられる。これら一連の研究では、経済活動と環境負荷との相互関係を明らかにし、環境政策導入による効果をシミュレーションによって分析している。

本研究では、これらの既存研究が対象にしてきた1国または地域モデルを拡張し、日本海沿岸を対象とする多地域環境・経済システムモデルを構築する。同モデルにおいて、日本海海域へ流入する陸域起源の水質汚濁物質の制御と日本海周辺地域の望ましい地域経済の持続的発展を目的として、統合的管理の観点から効率的な国際環境投資政策を仮定し、その導入効果を評価する。さらに、流入する

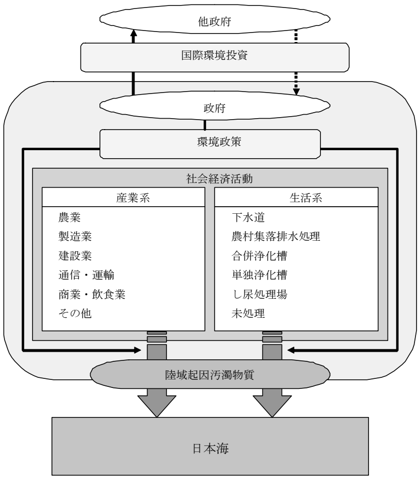

図 4　モデルのフレームワーク

水質汚濁物質が日本海海域へ与えるインパクトを算定する。

モデルのフレームワークは図 4 に示す通りである。

3.2　日本海の水質推定モデル

日本海については、「2.1　日本海の概要」で既述した通り、閉鎖性の強い海域としてみなすことができる。ここでは、陸域からの汚濁負荷を考慮した日本海の水質をボックスモデル用いて算定する。

ボックスモデルとは、対象海域を適切なボックスに区切り、海水および指標物質(本モデルでは水質汚濁物質 COD)に関して成立する連続条件をもとに、ボックス内およびボックス間の海洋要素についての時間的変化を調べることができるものである。本研究では同モデルを応用して日本海をひとつのボックスとみなし、陸域からの COD 流入量が海域に与える影響について評価する。

日本海を一つのボックスと考えると、その水質は以下のように表される。

$$V_1 \frac{dC_1}{dt} = Q_{21}C_2 - Q_{12}C_1 + G \qquad (1)$$

$$Q_{12} - Q_{21} = Q_R \qquad (2)$$

ここで、

V_1：日本海の容積 (m^3)
C_1：日本海の平均濃度 (g/ m^3)
C_2：隣海の平均濃度 (g/ m^3)
Q_{21}：隣海から日本海への海水流入量 (m^3/day)
Q_{12}：日本海から隣海への海水流出量 (m^3/day)
Q_R：日本海への淡水供給量 (m^3/day)
G：日本海への陸域起源負荷量 (ton/day)

ここで、定常状態($\frac{dC_1}{dt} = 0$)を仮定すると、式(1)、(2)より式(3)を得る。

$$C_1 = \frac{Q_{21}}{Q_{21} + Q_R} C_2 + \frac{G}{Q_{21} + Q_R} \qquad (3)$$

式(3)における Q_R (日本海最大の流入量を誇るアムール川からの淡水供給量 35×10^{10} m^3/year(高山(1990))は、Q_{21} (対馬海流による海水流入量 $8{,}199 \times 10^{10}$ m^3/year(九州大学応用力学研究所(1999))と比して微小な値であるため、$Q_R = 0$ とする。

したがって、次式(4)を得る。

$$C_1 = C_2 + \frac{G}{Q_{21}} \qquad (4)$$

$Q_{21} = \frac{V_1}{D}$ であるから、次式(5)を導くことができる。

$$C_1 = C_2 + \frac{G \cdot D}{V_1} \qquad (5)$$

ここで、

D: 日本海の滞留時間 (day)

したがって、式(5)より、陸域起源負荷量Gによる日本海の濃度変化を日本海の容積V_1、滞留時間Dとの関係で評価することができる。

3.3 多地域環境・経済システムシミュレーションモデル

(1) 日本海へ流入する陸域起因汚濁物質の流入量

日本海への水質汚濁負荷物質の総流入量は、各地域から排出され、流入する汚濁負荷量の合計とする。

$$WP^h(t) = \sum_j wp_j^h(t) \tag{6}$$

ここで、

$WP^h(t)$: t期における日本海へ流入する水質汚濁負荷物質hの総量

$wp_j^h(t)$: t期における地域jから日本海へ流入する水質汚濁負荷物質hの総量

(2) 各地域から日本海へ流入する水質汚濁物質量

各地域から日本海へ流入する汚濁負荷量は、各地域の生活系汚濁排出量、産業系汚濁排出量および産業系防除投資による汚濁物質削減量によって決定される。

$$\begin{aligned} wp_j^h(t) &= fh_j^h E^h \cdot z_j^u(t) \\ &\quad + fi_j^h \{P^h x_j(t) - Rk_j^A(t)\} \end{aligned} \tag{7}$$

ここで、

fh_j^h: 地域jにおける生活系水質汚濁負荷物質hの流達率

E^h: 水質汚濁負荷物質hの生活系排出係数ベクトル

z_j^u: 地域jにおける処理形態別(添字u)人口ベクトル

fi_j^h: 地域jにおける産業系水質汚濁負荷物質hの流達率

P^h: 水質汚濁負荷物質hの産業系排出係数ベクトル

R: 汚濁削減係数

$k_j^A(t)$: t期、地域jにおける産業系水質汚濁負荷削減の資本蓄積

(添字 $u=1$: 下水道、$u=2$: 農村集落排水、$u=3$: 合併処理浄化槽、$u=4$: 単独処理浄化槽、$u=5$: し尿処理施設)

(3) 産業系汚濁物質削減の資本蓄積

各地域における産業系水質汚濁負荷削減の資本蓄積は以下の式によって与えられる。

$$k_j^A(t+1) = k_j^A(t) + i_j^A(t) - \delta_j^A \cdot k_j^A(t) \tag{8}$$

ここで、

$k_j^A(t+1)$: $(t+1)$期、地域jにおける産業系水質汚濁負荷削減の資本蓄積

$i_j^A(t)$: t期、地域jにおける産業系への水質汚濁負荷削減投資

δ_j^A: 資本減耗係数

(4) 環境対策投資

各地域における環境対策投資(水質汚濁負荷削減総投資額)は、産業系および生活系への汚濁削減投資額の合計とする。

$$i_j^C(t) = i_j^A(t) + i_j^S(t) \tag{9}$$

$$i_j^S(t) = \sum_{u=1}^{6} i_j^u(t) \tag{10}$$

ここで、

$i_j^C(t)$: t期、地域jにおける水質汚濁負荷削減総投資

$i_j^S(t)$: t期、地域jにおける生活系の水質

汚濁負荷削減投資

$i_j^u(t)$: 生活排水処理施設建設投資

(5) 人口

各地域の $(t+1)$ 期における総人口は、各地域の人口自然増加(減少)率によって変動する。

$$z_j(t+1)=z_j(t)+\Delta z_j(t) \qquad (11)$$

$$\Delta z_j(t)=\lambda_j z_j(t) \qquad (12)$$

ここで、

$z_j(t)$: t 期、地域 j における総人口

$\Delta z_j(t)$: t 期、地域 j における人口変動

λ_j: 地域 j の人口自然増加(減少)率

(6) 生活系処理形態人口

各地域における各処理形態別人口の総和は各地域の総人口に等しい。また、下水道人口、農業集落排水使用人口、単独処理浄化槽人口およびし尿処理人口の増加はそれぞれの投資によって決定される。同様に、合併処理浄化槽使用人口も浄化槽設置に対する投資によって増加することとする。

$$z_j(t)=\sum_{u=1}^{6} z_j^u(t) \qquad (13)$$

$$z_j^u(t+1)=z_j^u(t)+\Delta z_j^u(t) \qquad (14)$$

(7) 生産物市場のフロー条件

各地域において各産業の生産額は生産物市場のフロー条件に従う。

①日本($j\le 7$)

$$\begin{aligned} x_j(t)=Ax_j(t)+c_j(t)+Di_j^C(t)+i_j^p(t)\\ +y_j(t)+EX_j(t)-IM_j(t) \end{aligned} \qquad (15)$$

ここで、

$x_j(t)$: t 期、地域 j における各産業生産額ベクトル

A: 投入産出係数行列

$c_j(t)$: t 期、地域 j における消費ベクトル

D: 環境投資のための投入係数ベクトル

$i_j^p(t)$: t 期、地域 j における生産投資ベクトル

$y_j(t)$: t 期における地域 j が受け取る環境投資ベクトル

$EX_j(t)$: t 期、地域 j における輸出

$IM_j(t)$: t 期、地域 j における輸入

②韓国、中国、ロシア($j\ge 8$)

$$\begin{aligned} x_j(t)+y_j(t) &= Ax_j(t)+c_j(t)\\ &+Di_j^C(t)+i_j^p(t)\\ &+EX_j(t)-IM_j(t) \end{aligned} \qquad (16)$$

(8) 環境投資額の制約

各地域が受け取る水質汚濁削減投資総額は各地域の汚濁削減投資総額以下とする。

$$i_j^C(t)\ge y_j(t) \qquad (17)$$

(9) 生産関数

生産関数はハロッド・ドーマー型の固定係数型生産関数を仮定する。

$$x_j(t)\le \omega_j k_j^p(t) \qquad (18)$$

ここで、

ω_j: 資本産出率

$k_j^p(t)$: t 期、地域 j における生産資本蓄積

(10) 生産資本蓄積

各地域における生産資本蓄積は生産投資および固定資本減耗によって決定される。

$$k_j^p(t+1) = k_j^p(t) + i_j^p(t) - \delta_j^p \cdot k_j^p(t) \quad (19)$$

ここで、

δ_j^p：固定資本減耗係数

(11）消費制約

各地域における消費は消費係数と当該地域の人口によって決定される。

$$c_j(t) \le k_j z_j(t) \quad (20)$$

ここで、

k_j：消費係数ベクトル

(12）各地域の GRP(地域 GDP)

各地域における GRP は各地域の付加価値率と生産額により決定される。

$$GRP_j(t) = V_j x_j(t) \quad (21)$$

ここで、

$GRP_j(t)$：t 期、地域 j における生産額

V_j：地域 j における付加価値率ベクトル

(13）GDP

対象地域の GDP は各地域の GRP の総和とする。

$$GDP(t) = \sum_{j=1}^{14} GRP_j(t) \quad (22)$$

ここで、

$GDP(t)$：t 期における総生産額

(14）国際環境投資政策

日本から各地域への汚濁防除のための国際環境投資額は日本全国の GDP の一定比率内とする。

$$y_J^T(t) \le \gamma GDP_J^T(t) \quad (23)$$

ここで、

γ：環境投資比率

$GDP_J^T(t)$：t 期における日本全国の GDP

(15）水質汚濁削減のための環境投資資金

①日本国内対象地域($j \le 7$)

日本における対象地域への環境投資額は日本全国の資金の一定比率とする。

$$y_J^T(t) = \sum_{j=1}^{7} y_j(t) / \mu \quad (24)$$

ここで、

μ：日本の対象地域への環境投資比率

②日本国外対象地域($j \ge 8$)

日本による国際環境投資額は各国対象地域が受け取る環境投資額の総和に等しい。

$$y_J^T(t) = \sum_{j=8}^{14} y_j(t) \quad (25)$$

(16）目的関数

目的関数は対象地域における最終期（$T = 6$）の GDP 総額とし、式（27）に示す通り、陸域起因水質汚濁物質の日本海への流入量を制約とした最大化問題として定義する。

$$\max GDP(T) \quad (26)$$

subject to eqs. (6)-(25) and

$$WP^h(t) \le \overline{WP^h(t)} \quad (27)$$

ここで、

$\overline{WP^h(t)}$：水質汚濁負荷物質 h の制約値

4. シミュレーション

4.1 パラメータ設定

本節では、シミュレーション分析に際して初期値となる各データについて整理する。人口およびGRPに関しては表4に示したデータ

を使用する。表 5 は表 4 から人口と GRP についてまとめ直したものである。

また、本研究では対象とする水質汚濁物質、産業および生活系排水処理形態の分類はそれぞれ表 6、表 7、表 8 に示した通りである。表 8 のデータは茅（2003)、村上（1999)、水道産業新聞社（2000)、井村・勝原（1995）などを参考とした推計値である。

COD 流入量については表 9 に示した通りであり、1995 年における値を基準とする。このデータは世界銀行（1999)、國松・村岡（1989)、和田（1990）などから算定した。

表 5　各地域の人口と GRP 基準値

地域	人口(1,000人)	GRP(100万ドル)
1	5,719	208,860
2	4,000	129,458
3	5,820	229,126
4	4,108	155,803
5	7,960	318,599
6	2,957	105,606
7	7,345	260,052
8	4,308	44,025
9	7,843	86,718
10	25,920	13,523
11	37,010	24,126
12	1,608	8,099
13	2,287	9,790
14	699	4,378
合計	117,584	1,598,163

表 6　対象とする水質汚濁物質

Index	水質汚濁物質
1	COD (Chemical Oxygen Demand)

表 7　産業分類

Index	産業
1	農業
2	製造業
3	建設業
4	通信・運輸
5	商業・飲食業
6	その他

すべてのデータに関し、入手できる限りで同時期のものに設定することを主眼としたため、1995 年時を基準として用いることとする。

4.2　シミュレーションケース

本シミュレーションは6期12年の動学モデルとして計算を行う。目的関数は式（26）および式（27）に示した通りであり、対象地域から日本海へ流入する陸域起因水質汚濁物質（COD）の総量を制約とした GDP 最大化問題として定義する。

表 10 はシミュレーション最終期における COD の削減率に応じて設定した各ケースを示したものである。例えば、Case05 は最終期における COD の削減率が 5%、すなわち、1995

表 8　生活系排水処理形態の分類と使用人口（1995 年、千人）

Index	生活系排水処理施設	日本	韓国	中国	ロシア
1	下水道	24,819	4,637	12,598	689
2	農村集落排水処理	1,115	0	0	0
3	合併処理浄化槽	3,231	0	0	0
4	単独処理浄化槽(雑排水未処理含む)	8,496	0	0	0
5	し尿処理場(雑排水未処理含む)	248	0	0	0
6	未処理	0	6,403	50,332	3,905
合計		37,909	11,040	62,930	4,594

表 9　COD 負荷量基準値（トン）

地域	生活系排出量	産業系排出量	総排出量
1	5,882	6,209	12,092
2	13,048	3,849	16,897
3	18,694	6,812	25,506
4	13,635	4,632	18,267
5	12,021	9,472	21,493
6	8,971	3,140	12,111
7	12,316	7,732	20,047
8	26,572	2,577	29,149
9	27,393	4,841	32,234
10	207,620	453	208,074
11	296,455	809	297,264
12	13,660	498	14,158
13	19,425	602	20,028
14	6,970	269	7,240
合計	682,662	51,895	734,560

年の流入量を基準として 12 年間で 5%が削減可能であるということになる。

計算は LINDO System 社の汎用最適化プログラム LINGO Version8.0 によって行った。

4.3　計算結果と考察

(1) 目的関数

図 5 および表 11 は、本シミュレーションの計算によって導出された目的関数値（GDP）の推移を示したものである。各ケースの COD 制約値に応じてその水準が推移しているのがわかる。Case00 では GDP の平均成長率が 36%となり、それぞれのケースで漸減し、Case06 においては 4.6%という結果になった。Case07、すなわち 7%削減のケースは実行可能解を得ることができなかった。したがって、本研究のシステムモデルにおいては、COD の最大削減可能率が 6%であるということが明らかとなった。

また、図 6 は日本、図 7 は韓国、中国、ロシアにおける対象地域の GDP の推移を示したグラフである。これらから、日本および韓国の GDP は COD 制約に応じて減少傾向を示しているが、中国およびロシアは同制約による影響があまりみられず、どのケースにおいてもある一定の GDP 水準を保っていることがわかる。すなわち、中国およびロシアにおいては、環境的な制約を与えたとしても、経済的なマイナス影響がほとんど表れないという結果となった。

(2) 陸域汚濁負荷

本研究においては、COD 流入量は GDP 最大化問題における制約値として設定している。例えば、Case05 は 1995 年の水準を基準として最終期に 5%削減を達成するという意味である。ここで、最終期 5%削減を達成する一方、最終期以外の期に大量に COD 排出を行うことを回避するため、前年の水準を下回る

表 10　シミュレーションケース

ケース	COD削減率 (1995年比)
Case00	0%
Case01	1%
Case02	2%
Case03	3%
Case04	4%
Case05	5%
Case06	6%
Case07	7%

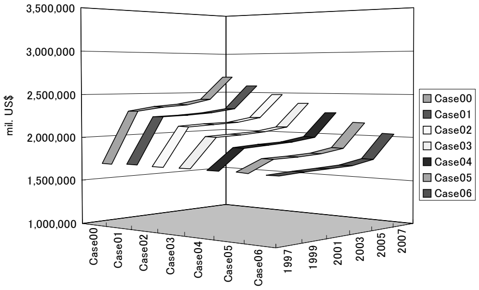

図 5　GDP の推移（百万ドル）

表 11　目的関数値（GDP）の推移

（百万ドル）

年	Case00	Case01	Case02	Case03
1997	1,691,148	1,700,918	1,700,843	1,700,946
1999	2,297,363	2,236,676	2,135,904	2,032,891
2001	2,337,363	2,247,494	2,146,741	2,043,482
2003	2,358,243	2,261,762	2,160,750	2,058,643
2005	2,414,133	2,305,388	2,203,336	2,100,378
2007	2,702,254	2,583,306	2,479,790	2,376,669
合計	13,800,504	13,335,544	12,827,364	12,313,009
平均	2,300,084	2,222,591	2,137,894	2,052,168
平均成長率	36.0%	30.7%	25.7%	20.6%
年	Case04	Case05	Case06	Case07
1997	1,701,094	1,702,367	1,700,065	-
1999	1,928,126	1,824,339	1,710,720	-
2001	1,938,717	1,829,268	1,715,645	-
2003	1,953,878	1,843,281	1,729,613	-
2005	1,995,613	1,884,933	1,771,216	-
2007	2,271,904	2,160,814	2,047,044	-
合計	11,789,332	11,245,002	10,674,303	-
平均	1,964,889	1,874,167	1,779,051	-
平均成長率	15.5%	10.1%	4.6%	-

ように制約を与えている。表 12 はシミュレーションによって導出された COD 流入量の推移である。上述した通り、最大削減率は 6%であることが明らかとなった。

(3)環境投資配分

本研究で仮定した国際環境投資政策は、国際海域である日本海をその周辺地域が一体的に管理するために行う産業系水質汚濁防除投資として設定した。経済水準の差から、実質的には日本から他国対象地域への環境投資となっている。図 8 は韓国、中国およびロシアの各地域へ行われた環境投資比率を示したものである。すべてのケースで中国に対する投資が最も大きくなっており、COD 削減率が高くなるにしたがってより投資比率が上昇していることがわかる。一方、韓国、ロシアについては、COD 削減率の上昇とともに環境投資比率が減少傾向にある。つまり、環境制約を厳しくするに伴って、中国からの排出を抑えるべく、投資が行われるという結果となった。

また、図 9、図 10、図 11 はそれぞれ、韓国、中国、ロシアへの環境投資について、それぞれのケースごとに時間的推移を示したものである。時間的配分は、いずれもグラフが示すように、最終期の投資額を増加させ、それぞれのケースの最終期制約を達成させようとし

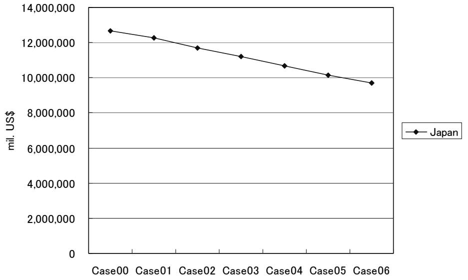

図 6　日本における対象地域の GDP の推移

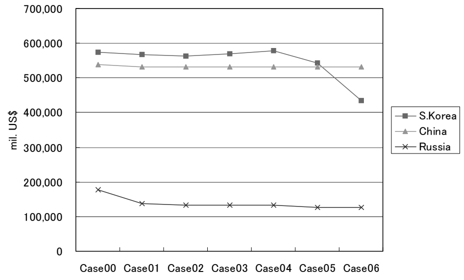

図 7　韓国、中国、ロシアにおける対象地域の GDP の推移

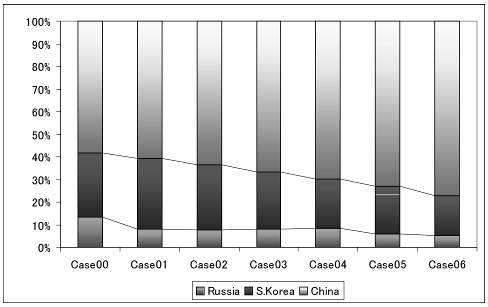

図 8　韓国、中国、ロシアへの環境投資配分比率

表 12　COD 流入量の推移（千トン）

年	Case00	Case01	Case02	Case03
1997	218	218	218	218
1999	218	218	218	218
2001	218	216	214	212
2003	218	216	214	212
2005	218	216	214	212
2007	218	216	214	212
合計	1,309	1,301	1,292	1,283
平均	218	217	215	214
平均削減率	0.00%	0.67%	1.33%	2.00%

年	Case04	Case05	Case06	Case07
1997	218	218	218	-
1999	218	218	218	-
2001	213	218	218	-
2003	209	207	210	-
2005	209	207	205	-
2007	209	207	205	-
合計	1,278	1,277	1,275	-
平均	213	213	212	-
平均削減率	2.39%	2.50%	2.65%	-

ていることがわかる。ただし、韓国およびロシアでは最終期付近の投資額がケースごとに異なっており、GDP 水準の低下に応じて環境投資額も減少しているが、中国についてはどのケースでもほぼ一定の投資パターンとなっている。これは表 9 に示されるように、中国からの COD 排出が多いこと、また、環境投

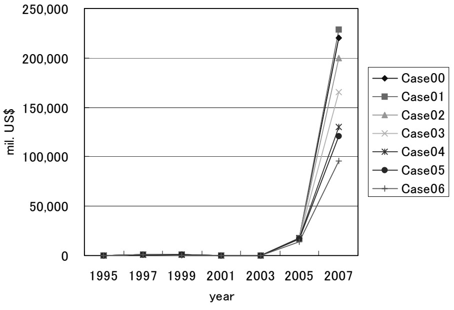

図 9　韓国への環境投資の推移

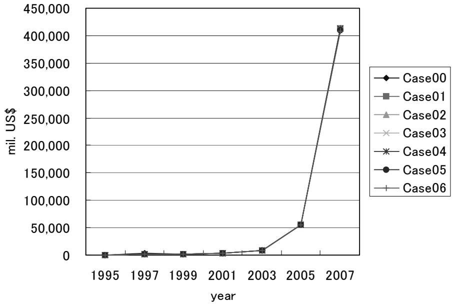

図 10　中国への環境投資の推移

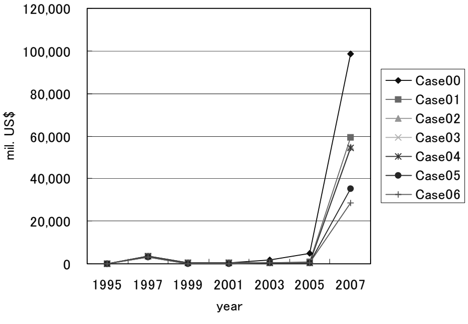

図 11　ロシアへの環境投資の推移

資を想定すれば他の地域よりも当該地域の経済水準を維持することが比較的容易であるため、優先的に汚濁防除投資が行われたと考えられる。

(4) 陸域起因水質汚濁物質の日本海への影響

陸域からの水質汚濁物質 COD の流入による日本海の水質への影響は、本シミュレーションの結果を用い、3.2 で提示したボックスモデルによって算定することができる。

ここで、日本海における滞留時間は Gamo and Horibe(1983)、Chen et al.(1995)、Watanabe et al.(1991)、Tsunogai et al.(1993)などから約 100 年として計算を行った。また、他の資料によると日本海の海水交換時間は 16 年という結果もあり、参考までにこのケースについても計算した。表 13 に結果を示す。

表 13　陸域起因水質汚濁物質の日本海への影響

海水交換時間	100年	16年
水質への影響	0.013 mg/L	0.002 mg/L

(5) 富山湾における陸域起因水質汚濁物質の水質の影響

前節で日本海の水質への影響を試算したが、本シミュレーションにおいて対象地域の一部としていた富山湾沿岸地域を例に、富山湾（図 12）の水質への影響を算定する。水質影響評価の手法は、前節同様、3.2 で示したボックスモデルを用いた。富山湾の概要は表 14 に示した通りである（日本海洋学会沿岸海洋研究部会（1985））。これらのデータから算定すると富山湾の滞留時間は約 4.1 年であり、本シミュレーション結果から、富山湾の水質に与える影響は表 15 の通りとなる。

これは、本研究で採用した多地域環境・社会経済システムモデルによるシミュレーション分析が、より詳細かつローカルな対象につ

いても対応可能であり、閉鎖性海域の水質予測モデルなどと統合することで総合的な分析ができる。今後さらに地域データの整備と対象地域設定を対応させることで、ミクロ・マクロ両視点からの政策評価が可能になる。

5. まとめ

5.1　結論

本研究では、マクロモデルとして環境と経済を同時に考慮し、国際的課題である海洋環境の効率的な一体的管理システムの一思案として、日本海を例にとり、環境対策投資を含む多地域環境･経済システムモデルを構築し、定量的評価を試みた。本シミュレーション分析によると、COD 最大削減率は 1995 年比で 6%、12 年間の平均削減率は最大 2.6%、その際の平均 GDP 成長率は 12 年間で約 4.6%という結果となった（図 13）。

本研究における重要な視点は、各国による個別の対応だけでなく、環境問題を鍵として国家や地域間の障壁を少しでも取り除き、環境および経済に関する統合的地域政策の枠組みについて検討することである。この際、概念的なものではなく、水質汚濁負荷および経済活動を定量的に捉え、各地域を一体的かつ効率的に、さらには地域全体のポテンシャルを総合的に高めるための環境対策投資を設定し、動学的最適化モデルによって導出された

表 14　富山湾の概要

全表面積	2,120 km^2
全容積	1,280 km^3
平均水深	610 m
最大水深	1,250 m
陸棚面積	645 km^2
湾内流入量	104 m^3/sec台
上層平均流速	0.4～0.6 ノット
年平均漁獲量	約50,000 トン

表 15　富山湾における陸域汚濁負荷物質の影響

Case	Case00	Case01	Case02	Case03
COD流入量 (ton/year)	18,710	18,242	17,276	17,110
水質への影響 (mg/L)	0.06	0.059	0.056	0.055
Case	Case04	Case05	Case06	Case07
COD流入量 (ton/year)	16,210	15,897	16,811	-
水質への影響 (mg/L)	0.052	0.051	0.054	-

図 12　富山湾

（http://encarta.msn.com/map_701516412/Japan_Sea_of.html より作成）

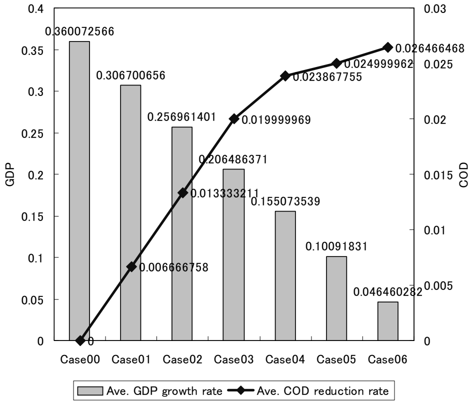

図 13　シミュレーション結果のまとめ

最適解によって、理論上、最も効率的な日本海沿岸地域の環境対策投資配分とその際の地域経済水準、COD 流入量を具体的に求めることができた。仮定した国際環境対策投資は、産業系水質汚濁防除のための投資であり、経済的側面から対象地域間の国境をなくし効率的に重点投資を行うことで、地域全体の経済的ポテンシャルの向上とボーダーレス化した環境負荷の低減を同時に実現しようとするものである。すなわち、多様な対象地域を、経済効率と共通項である海洋環境の保全管理とを両立させた国際システムのための政策オプションのひとつとして位置づけられる。

また、本研究で扱ったモデルは、より適切な環境指標や経済データを用い、詳細な対象地域の設定により、ミクロモデルとして例えば閉鎖性海域とその沿岸をターゲットとして分析を行うことも可能である。これについては 4.3（5）において富山湾を例として試算した。より精密な水質予測モデルなど他分野との統合が期待できよう。

いずれにせよ、特に海洋環境を中心とし周辺地域が連携した協力体制が必要であり、各地域の個別的な規制による対策などではなく、経済的インセンティブを活用し、総合的な視点から地域全体のポテンシャルを向上させつつ、環境負荷を最適に制御してゆくシステム構築が早急に望まれる。そのための具体的政策プログラムとして本研究で構築したモデルと環境対策投資を示し、実証的な数値分析を行った。このようなシステム構築と実証分析による政策評価を念頭においてさらなる有用な政策立案を行い、同時にその手法の開発を促進することが必要不可欠である。

5.2 今後の課題

本研究においては、環境負荷要因として、陸域起因水質汚濁物質である COD を取り扱った。COD そのものについても、水質汚濁指標としての妥当性、さらには測定方法など、いくつかの問題点が指摘されている。このような視点から、水質汚濁評価の指標としての最適性についての議論が必要となるであろう。ただし、本研究のようなマクロモデルとして広域かつ多様なデータを扱う上では、データの存在とその取得、そして共通して利用可能であるということが最重要視される。この観点からは、本研究で扱ったデータセットは現時点では最善のものであるといってよい。今後は全窒素や全リンなど他の水質汚濁物質に加え、大気汚染物質などの環境負荷を同時制御する総合的なモデル構築と実証分析を検討したい。また、対象地域に存在しながらデータ収集の問題で分析を除外した北朝鮮についても課題として残っている。

参考文献

Broecker, W. S., S. Sutherland, and T.-H. Peng (1999): A Possible 20th-Century Slowdown of Southern Ocean Deep Water Formation. Science, 286, 1,132-1,135.

青柳正規・Toby, Ronald 編（2002）: 日本海学の新世紀 2 還流する文化と美, 角川書店.

Chen, C. T. A., S.-L. Wang, and A. S. Bychkov (1995): Carbonate Chemistry of the Sea of Japan. J. Geophys. Res., 100, 13,737-13,745.

Gamo, T. and Y. Horibe (1983): Abyssal Circulation in the Japan Sea. J. Oceanogr. Soc. Japan, 39, 220-230.

氷鉋揚四郎 (1996): 環境質プログラミングモデルによる環境付加価値税の導出. 地域学研究, 26, 1, 181-187.

池田三郎 (2000): 第 3 章 北東アジアの大陸付属海の水質汚濁, 小島麗逸編, 現代中国の構造変動 6 環境 -成長への制約となるか. 東京大学出版会.

井村秀文・勝原健（1995）: 中国の環境問題. 東洋経済新報社.

韓国建設交通部（1996）: 建設交通統計年報（建設部門）1996.

茅陽一監修（2003）: 環境年表 2004/2005. オーム社.

九州大学応用力学研究所（1999）：力学シミュレーション研究センターニュース No.2, 1999.4.30.
金慶烈・金丘・姜東鎮・Yuri Nikolaevich Volkov・尹宗煥・竹松正樹（2002）：CREAMS で見た変化する東海/日本海. 海の研究, 11, 3, 419-429.
小泉格編（2003）：日本海学の新世紀 3 循環する海と森. 角川書店.
小泉格・清家彰敏編（2004）：日本海学の新世紀 4 危機と共生. 角川書店.
国連事務局監修, 環境庁・外務省監訳 （1993）：アジェンダ 21 -持続可能な開発のための人類の行動計画-. （社）海外環境協力センター.
国際連合（1996）：世界人口年鑑 1996.
近藤次郎監修（2003）：環日本海環境白書 2003.（財）環日本海環境協力センター.
國松孝男・村岡浩爾編（1989）：河川汚濁のモデル解析. 技報堂出版.
Manabe, S. and R. J. Stouffer (1993): Century-scale Effects of Increased Atmospheric CO_2 on the Ocean-atmosphere System. Nature, 364, 215-217.
水野谷剛・氷鉋揚四郎（2000）：大気汚染物質排出削減政策の日本経済への動学的影響分析. 地域学研究, 31, 3, 79-106.
水野谷剛・森岡理紀・氷鉋揚四郎（2001）：霞ヶ浦流域における水質改善新技術の導入を考慮した最適環境政策に関する研究. 地域学研究, 32, 3, 83-106.
村上光正（1999）：水はよみがえるか -飲料水から水辺まで. パワー社.
長沼光亮（1993）：日本海の特性（I）. 日本海区水産試験研究連絡ニュース, 364, 4-8.
中藤康俊（1999）：環日本海経済論. 大明堂.
日本海洋学会沿岸海洋研究部会（1985）：日本全国沿岸海洋誌. 東海大学出版会.
日本貿易促進協会（1999）：図解中国経済データ 2000.
日本海学推進会議編（2001）：日本海学の新世紀. 角川書店.
ロシア科学アカデミー極東支部経済研究所（1994）：ロシア極東経済総覧. 東洋経済新報社.
Stocker, T. F. (1998): Climate Change: The Seesaw Effect. Science, 282, 61-62.
Stocker, T. F. and A. Schmittner (1997): Influence of CO_2 Emission Rates on the Stability of the Thermohaline Circulation. Nature, 388, 862-865.
櫻井一宏・水野谷剛・小林慎太郎・氷鉋揚四郎（2004）: 住民評価を反映させた霞ヶ浦の水質改善政策. 地域学研究, 34, 1, 219-245.
櫻井一宏・水野谷剛・小林慎太郎・氷鉋揚四郎（2003）：温暖化対策としての環境税の効果: 環境・経済システムシミュレーションによる分析. 地域学研究, 33, 3, 49-66.
世界銀行（1999）：世界経済・社会統計, 東洋書林.
総務庁統計局（2000）：日本の統計 2000.
水道産業新聞社 (2000): 下水道年鑑 2000 年版.
高山茂美（1990）：河川, 市川正巳編, 水文学 総観地理学講座 8, 朝倉書店.
Tsunogai, S., Y. W. Watanabe, K. Harada, S. Watanabe, S. Saito, and M. Nakajima (1993): Dynamics of the Japan Sea Deep Water Studied with Chemical and Radiochemical Tracers. In Deep Ocean Circulation, Physical and Chemical Aspects (edited by T. Teramoto) 105-119, Elsevier Science Publishers, B. V.
宇野木早苗（1993）：沿岸の海洋物理学. 東海大学出版会.
宇田道隆（1934）：日本海およびその隣接海区の海況. 水産試験場報告, 5, 57-190.
和田安彦（1990）：ノンポイント汚染源のモデル解析. 技報堂出版.
Watanabe, Y. W., S. Watanabe, and S. Tsunogai (1991): Tritium in the Japan Sea and the Renewal Time of the Japan Sea Deep Water. Mar. Chem., 34, 97-108.
矢野恒太記念会・国勢社編（1999a）：世界国勢図会 1999/2000. 矢野恒太記念会.
矢野恒太記念会・国勢社編（1999b）：データでみる県勢 -日本国勢図会地域統計版<2000 年版>. 矢野恒太記念会.

An Analysis of the Impact of Land-based Water Pollutant Flowing into the Sea of Japan and Optimal Allocation of Environmental Investment among the Countries in the Sea of Japan Area

Katsuhiro SAKURAI*

SUMMARY

This study focuses on the Sea of Japan, a sea area located along the northeastern part of the Asian continent. It is separated from the North Pacific Ocean by the Japanese Archipelago and Sakhalin. The Sea of Japan area consists of Japan, DPR Korea, South Korea, China, and Far East Russia in Northeast Asia. Cooperation among these countries is necessary to manage the ocean environment and attain sustainable development in the region.

The purpose of this study is to present an optimal international investment model for the water environment that takes into account, through dynamic simulation, the economic situations and environmental influences of this area over a certain period of time. The system simulation model is formulated by an objective function, which is defined as the maximizing of total GDP, the structure of the environmental system, and the socio-economic system of target countries and regions in the coastal areas of the Sea of Japan.

To determine environmental impact, the total amount of land-based water pollutant from human activities in coastal areas of the Sea of Japan is estimated by the unit value method. The pollutant index measure in this study is COD (Chemical Oxygen Demand). The total amount of COD inflow is derived by multiplying the total amount of COD emission of socio-economic activity by the environmental purification ratio.

Next, socio-economic activity is analyzed in the model from a regional economic perspective. Human activities in the land area are divided into industrial and household activities, and it is assumed that water pollutant is originated by two sectors of wastewater.

Industrial activity is classified into the 6 categories of agriculture, manufacturing industry, construction industry, communication and transportation industry, commerce and service industry, and others. It is assumed in this model that “others” emit no water pollutants. Household wastewater disposal system is also classified into the following 6 types of treatment facilities: sewage system, rural community sewage system, combined treatment septic tank, treatment septic tank, night soil septic tank, and untreated domestic wastewater.

Next, an investment policy to reduce the land-based water pollutant from coastal areas into the Sea of Japan is evaluated by a system simulation approach. It establishes several simulation cases, and the running period is set from 1995 to 2007 in the calculation. For example, Case00 is assumed as the basic

* Research Fellow Ocean Policy Research Foundation

case maximizing GDP of the target area in the last term with restriction of 0% reduction rate of COD inflow based on 1995 data.

As a result of the simulation, a feasible solution is obtained, in which 6% maximum reduction rate of COD inflow of the first period (1995 level) is achieved through the simulation term. It is concluded that Case06 is the feasible and preferable solution from environmental and economic viewpoints in the target area, which means the average amount of COD emission and economic development in the coastal area of the Sea of Japan. It is also important for abatement of water pollutant to invest in environmental policy and to promote technologies through industrial and economic development. Furthermore, countries and regions around the Sea of Japan area have to cooperate for integrated ocean management in various activities, such as the efficient investment for industrial abatement of water pollutant and for the regional economy. This study shows that quantitative analysis is important and gives useful information for future perspectives and policy evaluation.

Key words: the sea of Japan, impact of land-based water pollutant, optimal allocation of environmental investment, COD dynamic simulation

国際捕鯨規制の科学と政治

— 日本の捕鯨外交の再検討に向けて —

大久保 彩子*

国際捕鯨委員会（IWC）では商業捕鯨の再開をめぐる対立が続いている。しかし、IWC における科学アセスメントの歴史を振り返ると、科学的不確実性や価値対立のもとでも、鯨類資源の絶滅リスクの深刻な上昇を回避しながら商業捕鯨を行うための鯨類の捕獲枠算定方式（RMP）が科学委員会の全会一致で勧告され、IWC もこれを正式に採択している。本稿では、RMP の開発過程に国際的な合意形成の基盤を形成しうる科学アセスメントのあり方を見出し、それが現在の IWC 交渉における科学の用法にどのような含意を持つのかを考察する。さらに、これまで広く流通してきた捕鯨問題に関する様々な言説や前提を相対化し、問題解決に向けた実際的な選択肢を検討する材料を提供するために、商業捕鯨の再開を「悲願」としてきた日本政府の捕鯨外交の現状がその目的に沿っているのかどうかを検証することを試みる。最後に、日本が近い将来とりうる捕鯨外交のシナリオとそこで検討される必要のある課題を示す。

キーワード：科学と政治、捕鯨、日本外交、資源管理、国際捕鯨委員会

1. はじめに

2006 年 6 月の国際捕鯨委員会（International Whaling Commission, IWC）年次会合では、商業捕鯨の再開を支持する内容の決議「セントキッツ宣言」が採択されたことが注目を集めた。

同宣言は、IWC がその設立根拠条約である国際捕鯨取締条約（International Convention for the Regulation of Whaling, ICRW）のもとでの義務を果たせていないことに懸念を表明し、ICRW と関連する国際法に基づき、また、文化的多様性と伝統、持続可能な資源利用の原則、科学に基づく政策の必要性を尊重して IWC の機能を正常化すると宣言している。前文には、①商業捕鯨モラトリアムはもはや必要ない、②鯨類による大量の魚の捕食が食糧安全保障上の懸念となっている、③反捕鯨 NGO への批判、④反捕鯨国への批判など、捕鯨推進側の従来の主張が盛り込まれている（IWC, 2006）。

セントキッツ宣言の採択は、国内では商業捕鯨の再開に向けた画期的な出来事として報じられた。しかし、わずか一票差（賛成 33、反対 32、棄権 1）という同宣言への投票結果は、IWC 加盟国間の対立を際立たせるものだ。宣言の採択後、反捕鯨国は一斉に反発、15 カ国が同宣言への反対を議事録に残すよう求めた。

商業捕鯨の再開には 4 分の 3 の賛成による条約附表の修正が必要であり、過半数で採択される今回のような宣言は実質的な意味を持

*海洋政策研究財団

たない。近年のIWC交渉では、捕鯨・反捕鯨の両者が自らの主張を繰り返し、互いに妥協を図ることなく、附表修正案を投票にかけては否決される、という状況が続いている。自らの主張を支持する国をIWCに新たに加盟させる票数争いが過熱しているものの、4分の3を占めるには60カ国以上の新規加盟が必要であり、数の力で決着をつけようとするのは非現実的だ。

IWC交渉がこうした膠着状態にあるなかで、従来広く流通してきた捕鯨問題に関する様々な言説や前提を相対化し、問題解決に向けた実際的な選択肢を検討することが必要である。本稿の目的は、そのための材料を提供することにある。

その際の一つの視点が、外交交渉において合意形成の基盤となり得る科学アセスメントの特徴とは何か、という問いである。IWC交渉の過去を振り返ると、1992年には鯨類の絶滅リスク上昇を回避しながら商業捕鯨を行うための捕獲枠算定方式である「改定管理方式（Revised Management Procedure, RMP）」が科学委員会の全会一致で勧告され、IWCは1994年にこれを正式に採択している。本稿では、まず、RMPの開発過程に国際的な合意形成の基盤を形成しうる科学アセスメントのあり方を見出し、それが現在のIWC交渉における科学の用法にどのような含意を持つのかを考察する。

次に、商業捕鯨の再開を「悲願」としてきた日本政府の捕鯨外交の現状がその目的に沿っているのかどうかを検証することを試みる。最後に、日本が近い将来とりうる捕鯨外交のシナリオとそこで検討される必要のある課題を示す。

本稿の構成は以下のとおりである。第2節では、外交交渉における科学アセスメントのあり方を分析する意義について述べ、関連する先行研究のレビューをおこなう。第3節では、まず、国際捕鯨委員会による捕鯨規制の経緯を概観する。そのうえで、RMPの開発過程から、捕鯨・反捕鯨の双方により支持された科学アセスメントの特徴を述べる。第4節では、そうした特徴が現在のIWC交渉における科学の用法にどのような含意をもつのかを考察する。第5節では、1990年代後半以降のIWC交渉における日本政府の立場について述べ、それが商業捕鯨という目的に照らして妥当かどうかを検討する。第6節では、国連海洋法条約（UNCLOS）など、IWC以外の条約体制との関係を踏まえ、日本が今後とりうる捕鯨外交のシナリオを示す。

2. 外交交渉における科学アセスメント

2-1　分析の意義と必要性

地球環境問題や資源管理の問題を扱う国際的枠組みの多くは、問題への取組みが科学的知見に立脚すべきことを明記している。科学アセスメント[1]は、異なる経済的利益や文化的背景を持つ複数の国々が問題認識を共有し、共通の対策を講じるための基盤を提供しうる。しかし、何が「立脚すべき科学的知見」なのかという問いに対し、関係国が合意できる単一の答えが常に存在するわけではない。

科学的不確実性が避けられないなかで、科学アセスメントの妥当性をめぐって意見対立が生じ、ひいては国際合意に基づく管理の不在という状況に陥る場合もある。特に、国際的な漁業資源管理では、資源評価の妥当性、漁場・漁獲枠の割当、予防原則の適用水準などをめぐる対立が、しばしば関係国間の合意

[1]本稿では、石井（2001）を参考に、「科学アセスメント」を、国際交渉に資するために科学的知見を生成・編纂する活動の総称として用いる。したがって、現時点では科学論争が決着していない知見や不確実性が大きい知見、その生成・編纂と科学的助言に至るプロセスも科学アセスメントの範疇として捉えられる。

のもとでの管理措置の立案・実施を困難にしてきた。

日本学術会議海洋科学研究連絡委員会の報告は、「*今日の対話や論争における説得力の根拠は『科学的な論理』である*」、「*･･･反捕鯨やマグロ類保護の運動にみられるように、わが国の漁業は国際世論の執拗な干渉に晒されている。こうした中で漁業水産業の将来性を国際世論に納得させうるのは、科学的に証明された事実とそれを基礎にした合理的な論理以外にはない。そのような力をもった科学技術の推進について検討する必要がある*」と記している[2]。確かに、関係国を納得させる科学的知見を得ることは重要である。しかし、外交交渉における科学アセスメントが先述したような状況に置かれている以上、科学技術の推進が即座に国際的発言力の強化に繋がるとは言いがたい。どのような手法で得られた科学的知見が、どのような過程を経て「国際世論を納得させる力」を持つに至るのか、検討しておく必要がある[3]。捕鯨問題のように、厳しい対立の様相を呈している問題では尚更である。

2-2　先行研究

ハーバード大学を中心に実施されてきた地球環境アセスメント・プロジェクトは、地球環境問題に関する効果的な科学アセスメントの要件を検討するための概念枠組みを提示している。歴史的文脈、ユーザーの性質、アセスメントの性質が、卓越性（Salience）、信頼性（Credibility）、正統性（Legitimacy）という経路をとおして科学アセスメントの実効性を決定付ける、という概念枠組みである（Eckley, 2001）。しかし、ここでの分析は科学アセスメントの対象範囲の定義、参加する専門家の属性など制度的側面に着目しており、卓越性、信頼性、正統性を備えた科学的アセスメントで用いられる方法論やプロセスには踏み込んでいない。

Alcock（2004）は、上記のアプローチを基本的に踏襲し、制度構造が科学アセスメントの卓越性、信頼性、正統性の認識に影響を及ぼし、ひいてはアセスメントの政策決定に対する影響力を規定すると述べている。カナダにおける資源評価の政策決定への影響に関する事例分析を通して、管理を担う組織内部に組み込まれながら実施された、管理組織への浸透度が高い科学アセスメントのほうが、管理組織の外部で行われたアセスメントよりも政策決定に対する影響力を持つとしている。Alcock はまた、管理機関から独立して自律的に実施されたアセスメントは、より多くの利害当事者の支持を得ることができるが、政策決定者にはあまり取り入れられないと結論付けている。

Ebbin（2004）は、ニューイングランドやアラスカでの資源評価を対象に事例研究をおこなっている。漁業規制のあり方と科学的知見の形成・受入れ・正統化との関係を分析し、利害関係者による問題理解の共有化を促進するような双方向的コミュニケーションを通じて形成された知識が、より正統化されやすく、受け入れられやすいとしている。

Alcock および Ebbin の先行研究は、漁業資源管理の政策決定と科学研究との関係を扱っているものの、外交の文脈を明示的に取り入れていないという点で、本稿が対象とする国際漁業資源管理の分析にもたらす示唆は限定的である。

外交交渉の文脈を明示的に取り入れた枠組みを提唱したのは、石井（2001, 2006）である。

[2] 日本学術会議海洋科学研究連絡委員会「海洋に係わる学術の統合的推進の必要性」、2005 年 7 月 21 日。
[3] こうした作業は、「科学研究に多大な資金や人材を投入したにもかかわらず、その成果によって国際世論を説得することができず、外交交渉において何も獲得できない」という事態を回避するためにも有益である。

政策への助言者としての科学研究のあり方に関しては、Jasanoff (1990) が学術研究と政策助言を行うレギュラトリ・サイエンス（規制科学）とを比較し、以後、レギュラトリ・サイエンスの事例研究は広くおこなわれてきているが、多くは国内政策を対象としたものであった。それに対し、石井 (2001, 2006) は、規制科学の枠組みを踏まえつつ、特に外交交渉の文脈に注目し、環境外交における合意形成の基盤を形成しうる科学研究の特徴と要件を抽出するための外交科学（ディプロマトリ・サイエンス）モデルを示した。

外交科学モデルの構築にあたり、石井 (2006) は、国家主権に優越する執行強制力を法的に保障された主体が存在しない外交交渉において、助言者としての科学は、研究成果が主権国家によって受け入れられるようにするための透明性と政治的中立性[4]、また、交渉担当者が科学的知見の内容を理解できるようにするためのユーザーフレンドリー性を備えている必要があると指摘した。また、欧州酸性雨交渉の事例から、外交科学の作法として次のような具体例を挙げている：①各国の承認するデータの使用；②外交の文脈に適合した時間・空間スケールの採用；③実用主義的方法論の採用；④科学者と政策決定者とのコミュニケーション；⑤不確実性の管理；⑥補完的研究の実施。

本稿第3節および第4節では、この外交科学モデルを基礎に、特に不確実性の管理に着目してIWCにおけるRMP開発過程を分析した大久保・石井 (2004) を踏まえ、RMP開発過程とその後のIWC交渉における論争を、外交交渉における科学アセスメントに関する認識の収束と乖離のプロセスとして特徴づけ、現在の IWC 交渉における科学の用法への含意を考察する。

3. 改定管理方式（RMP）開発過程にみる「合意形成の科学」の様相

3-1　国際捕鯨委員会（IWC）による捕鯨規制の経緯

3-1-1　IWC の組織体制と意思決定手続き

国際捕鯨取締条約（ICRW）は 1946 年、鯨類資源の保全と捕鯨産業の秩序ある発展を可能にすることを目的として採択され、1949 年には同条約の実施機関として IWC が設立された。IWC は年次会合での協議を通じて、捕鯨海域、操業期間、捕獲限度量などを定める条約附表の修正を行う。本稿第 1 節でも触れたとおり、附表修正には会合に出席している加盟国の 4 分の 3 の賛成票が必要である 。

IWC の下部機関としては、科学委員会、財政・予算、原住民生存捕鯨や違反操業などに関する小委員会があり、各小委員会は IWC からの求めに応じて個別事項について協議し、その結果を IWC に報告している。

IWC 科学委員会は、資源量の推定、捕獲枠の算定方式の開発等を行い、IWC に対して鯨類資源の適切な保全と利用に関する科学的助言を提供する。メンバーは加盟国政府の任命する科学者、科学委員会委員長が任命する招待科学者、オブザーバー等であり、意思決定方式は基本的にコンセンサス方式である。

3-1-2　大型鯨類の乱獲の深刻化

いくつかの鯨種については、IWC 設立以前にすでに乱獲が進んでいた。遊泳速度が遅く死んでも沈まないセミクジラは容易に捕獲可能であったため集中的に捕獲され、北大西洋のセミクジラは 19 世紀後半には採算が取れなくなるほど資源が減少してしまった。19 世紀末から 1920 年代にかけての一連の技術革新により、遊泳速度の速い鯨種の捕獲と船上

[4] 石井 (2006) は政治的中立性を「科学に係る要素について、政治的偏向を有さないことが関係主体によって相互主観的に認識される性質」と定義し、科学が価値中立であることを要請するものではないことに注意を促している。

での鯨体加工が可能になると、鯨油の生産効率が高いシロナガスクジラやナガスクジラなど体長の大きな鯨種から乱獲が深刻化した（Tønnensen & Johnsen, 1982）。

IWC の規制は当時、鯨類資源の維持・回復ではなく、鯨油の価格調整を主な目的としていたため、大型鯨種の乱獲を防ぐことはできず、かえって状況を悪化させた。シロナガスクジラ 1 頭から採取できる鯨油の量を基準に、毎年の捕獲総量を決定するシロナガスクジラ単位（Blue whale unit、以下、BWU）制度が採用された。

当初、国別の割当量は設定されず、いわば「早い者勝ち」だったため、各国の捕鯨船団は競って、より大きな鯨をより早く捕獲することに専心した。科学者達は資源枯渇を警告し、捕獲枠の大幅削減を勧告したが、これは当時の捕鯨規制にはほとんど反映されなかった。また、主要な遠洋捕鯨国は、IWC で捕獲割当量に合意できないと、独自に高い捕獲枠を設定したり、IWC で満足な割当量が与えられない場合には脱退し、高い捕獲枠が設定されると再び加盟する場合もあった（Holt, 1985）。

3-2　新管理方式（NMP）の成立とその挫折

3-2-1　捕鯨産業の衰退と鯨類保護への動き

1970 年代に入ると、鯨油需要の低下にともない、米国、オランダ、オーストラリア、英国など捕鯨を停止して商業捕鯨禁止の主張を掲げるようになる反捕鯨国、こうした国々から捕鯨船と捕獲枠を買い取るなどしながら捕鯨を継続するソ連、日本、ノルウェーなどの捕鯨国、という二極化の構図が徐々に鮮明になり（Oberthür, 1998）、IWC の捕鯨規制は鯨油の生産調整から鯨類保護へと軸足を移していった。

1972 年には BWU 制度が廃止され、鯨種別の捕獲枠が設定されるとともに、捕獲枠の遵守を確保するための国際監視員制度が導入された（Gambell, 1992）。同年のストックホルム国連人間環境会議では商業捕鯨の 10 年間モラトリアム決議が採択された。IWC においてもモラトリアム提案が出されたが、採択には至らなかった。

3-2-2　NMP の特徴と問題点

こうしたなか、1974 年には鯨種ごとの資源状態に応じて捕獲枠を算出する「新管理方式（New Management Procedure, NMP）」がオーストラリアにより提案され、IWC は翌年、同提案を採択した。

NMP は、鯨種ごとの資源量を最適水準に保つことを目標として、最良の資源推定値にもとづき捕獲枠を算定する方法であった。各鯨種の資源量を、その再生産量が最大となる資源水準「最大持続可能生産量（Maximum Sustainable Yield, MSY）水準」に近づけるために、資源水準が MSY 水準の 90%以下と推定される場合には「保護資源」に分類して捕獲を禁止し、90%以上と推定される場合には「維持管理資源」または「初期資源」に分類して捕獲枠を設定するというものである（笠松, 2000; 田中, 2003）。

NMP は管理方策を科学研究と直接結びつけることで、資源の悪化が明白であるにもかかわらず過大な捕獲枠を設定し続けた従来の漁業管理の政治的側面を回避しうるものであり（Smith ほか, 1994）、科学者らに楽観主義をもって受け入れられた（Holt, 1974）。しかし、NMP の実施段階では、シロナガスクジラなど資源状態の悪化が明らかな鯨種は保護資源に分類され捕獲禁止となったが、他方、ミンククジラ等それまであまり捕獲されてこなかった鯨種に関しては資源状態を推定するための生物学的情報が不足していたために、科学者間の意見対立が顕著となり、資源水準に関する一致した見解が得られず、捕獲枠が勧

告できないという事態に陥った。

3-2-3　NMPの挫折：「何が真実か」をめぐる対立

NMP は鯨類の資源動態をできるだけ現実に近い形で再現し、それにもとづき捕獲枠を算出するという、いわば実証主義を標榜していたが（大久保・石井, 2004）、実際には初期資源量や自然死亡率など資源状態を推定するために必要な生物学的パラメーターを全て観測によって得ることは極めて困難であった。科学者・政策決定者ともに捕鯨・反捕鯨という二極分化が進む中で、それまで資源水準の推定のために慣習的に用いられてきた前提が一つ一つ厳しく批判され、NMP を運用する根拠が失われてしまったのである（田中, 2001）。

3-3　改定管理方式（RMP）の開発過程

NMP の失敗も一つの要因となって 1982 年には IWC において商業捕鯨モラトリアムが採択された。モラトリアムでは、①1986 年以降の沿岸捕鯨、および、1985/86 年[5]以降の南極海捕鯨の商業目的の捕獲枠をゼロとする、そして、②遅くとも 1990 年までにモラトリアムが鯨類資源に及ぼす影響の包括的評価を行い、モラトリアム規定の修正と新たな捕獲枠設定を検討する、と規定された[6]。

科学委員会では、上記②の包括的評価の重要な要素として、新たな管理方式が開発されることになった（Kirkwood, 1991）。これが改定管理方式（RMP）である。その開発過程の特徴を以下に示す。

3-3-1　管理目的の設定

RMP の開発過程では、あらかじめ定めた管理目的をよりよく達成する捕獲枠算定方式（管理方式）を開発するというアプローチがとられた。

まず、RMP が満たすべき管理目的として、A）年ごとに大きく上下することのない安定した捕獲枠、B）資源の絶滅リスクの深刻な上昇の抑制、C）高い資源生産性の達成、の 3 つを科学委員会が提案し、IWC もこれを承認した（IWC, 1988）。

科学委員会は IWC に対し、3 つの管理目的のあいだの優先順位と重み付けを問い合わせた。しかし、IWC では B）の絶滅リスク上昇の抑制という目的が最も重要であるとの一般的認識が多くの政府代表から示されたものの、コンセンサスには至らなかった。そのため、RMP の開発者達はどの管理目的にどの程度のウェイトを置くべきかを各自で判断せざるを得なかった（Kirkwood, 1991）。

3-3-2　コンピュータ・シミュレーションによる管理方式の性能評価

RMP は、基礎的データや鯨類の系統群やその動態に関する不確実性があるとしても、管理目的を達成するものでなければならないと認識されていた（Kirkwood, 1991）。そこで、コンピュータ・シミュレーションにより、RMP 候補の管理目的の達成度と不確実性に対する頑健性を徹底的に検証するという手段がとられた。

資源に関する様々な不確実性を想定した 150 通り以上のシナリオについてシミュレーションが実施され、例えば、仮に資源水準に関する観測データや仮説、推定に誤りがあったとしても、また、疫病などにより資源が突然半減するというような事態が起こったとしても、資源の絶滅リスクの深刻な上昇を招かないような管理方式が追求されたのである。

[5] 1985 年から 86 年にまたがる漁期。南極海では夏季に捕鯨が行われるため、こうした標記方法をとる。本稿の残りの部分でも同様。

[6] Provision 10(*e*), Schedule, International Convention for the Regulation of Whaling.

3-3-3　RMP 開発プロセスにおける科学者間の競争

RMP 開発過程では、①桜本・田中、②ステファンソン・マグヌソン、③クック、④プント・バタワース、⑤デラメア、という 5 つの開発チームが RMP 候補を提案した。これらの RMP 候補の性能は、上記 3-3-2 で述べたコンピュータ･シミュレーションで検証された。

すべての RMP 候補の内容は論文として公開されており、シミュレーションの手順や方法は開発チームを含む作業部会（科学委員会の内部に設置）で協議され、事前に合意されていた。そのため、各開発チームは、自らの RMP 候補のシミュレーション結果を他チームのそれと比較検討することによって、自らの RMP 候補をさらに改善することができた。Kirkwood（2003）は、このことが全ての RMP 候補の性能を向上させ、（仮に）はじめから一つのチームで RMP を開発した場合と比べて、よりよい結果をもたらしたと述べている。

3-3-4　限定的なインプット･データ

初期資源量や自然死亡率など推定が困難な生物学的パラメーターを必要とした NMP とは対照的に、RMP 開発過程では、データの入手可能性について現実的な認識がなされた。RMP では、捕獲枠算定のためのインプット・データは、目視調査による資源量の推定値と従来の捕獲数の統計のみである。そのため、生物学的情報が不足していたために捕獲枠に合意できないという NMP の失敗要因を避けることができた。

3-3-5　科学者と交渉担当者とのコミュニケーション

コンピュータ･シミュレーションによる RMP 候補の性能比較と競争的な改良プロセスを経て、1991 年には 5 つの RMP 候補のうちクック博士が開発した方式がもっとも性能が良いと結論付けられ、1992 年に科学委員会の全会一致で IWC に勧告された（IWC, 1992）。

勧告に対し、IWC は、最優先すべき管理目的はリスク最小化であるとし、RMP における鯨類資源の保護水準を更に高くすることを求め、科学委員会はこの求めに応じて RMP の仕様書を作成した。その後、RMP は 1994 年に IWC により正式に採択された。こうした科学者と政策決定者の間のコミュニケーションのプロセスは、保護水準の引き上げという政策決定者のニーズを科学アセスメントに組み込むことを可能にしたのである（大久保・石井, 2004）。

3-4　認識収束プロセスとしての RMP 開発過程

NMP の実施段階では、最良の資源推定値を捕獲枠算定の直接の基礎としたために「何が真実か」をめぐって意見が対立し、管理措置に合意できないという事態が生じた。

一方、RMP の開発過程では、科学者達は「何が真実か」について一致した見解を得ようとするのではなく、「資源管理が直面する不確実性として何があり得るのか、そしてその範囲の不確実性に対して頑健で、管理目的をよりよく達成できる管理方式とはどういうものか」という問いを選択した。こうした、いわば「実証主義から管理志向の科学へ」の認識論的転換があったために、捕鯨･反捕鯨の対立があるなかでも不確実性にどう対処していくかについて科学者間の意見が収斂し、全会一致での勧告につながったのである（大久保・石井, 2004）。

このように、RMP の開発過程は、鯨類資源をめぐる不確実性にどの程度備えるべきなのか、回避すべきリスクとは何かという問題をめぐる、捕鯨に対する立場を異にする科学者間の認識収束のプロセスとして捉えられる。

4. 改定管理方式（RMP）から改定管理制度（RMS）へ

RMP はこうして捕鯨・反捕鯨という対立的な状況のもとでも国際的な合意を得た資源管理方式として承認されるに至った。しかし、その後、RMP で算出される捕獲枠の遵守確保を目的とした規制パッケージ「改定管理制度（Revised Management Scheme, RMS）」に関する交渉が長引き、RMP の実施が先延ばしにされるなかで IWC の争点は多様化していった 。

具体的には、RMP 実施の際に用いる鯨類の系統群判別、鯨類サンクチュアリの設定、調査捕鯨の内容や是非をめぐる論争、鯨類捕殺方法の人道的側面（Humanness of whale killing method）、鯨類の保護に関する議題を専ら扱う保護委員会の設立、海洋汚染や気候変動と鯨類資源との関係、ホエール・ウォッチング、日本の沿岸小型捕鯨の捕獲枠要求、鯨と漁業の競合説の主張とそれに対する反論などである。

以下では、本稿第 3 節で論じた RMP 開発過程における収束プロセスとは対照的に、認識乖離のプロセスが見出せる争点として、鯨類の系統群判別、保護委員会の設立、および、鯨と漁業の競合説をとりあげる。

4-1　鯨類の系統群判別

科学委員会では、太平洋北西部のミンククジラの系統群の判別に関する議論が紛糾した。RMP では、鯨の系統群ごとに捕獲枠が算出されるため、同じ海域の同じ鯨種であっても、系統群が細分化されるほど捕獲枠は少なくなる。太平洋北西部のミンククジラには 2 つの系統群が存在することが 1980 年代から認識されていたが、より保護的な措置を主張する国々は 1993 年、同海域の系統群は 3 つ存在すると主張した。

日本を中心とする捕鯨国は、これは RMP によって算出される捕獲枠を限りなくゼロに近づけるための科学的根拠のない主張であるとして、これを検証するためとして 1994 年から北西大西洋における調査捕鯨を開始し、その結果を用いて反論した（日本鯨類研究所, 2004）。

しかし、実験や観察による検証ができないために、どちらの主張も容易に否定することはできず、論争は長期化した。ここでは、RMP の開発過程では回避できていた「何が真実か」をめぐる対立が再燃し、科学者達の認識乖離プロセスを見て取ることができる。

4-2　鯨類の保護強化に関する事項

鯨類の保護強化をめぐる主な争点としては、サンクチュアリ（捕獲禁止海域）の設定問題、保護委員会の設置の問題が挙げられる。1994 年には、IWC にて南極海鯨類サンクチュアリの設定が投票によって決議され、反捕鯨国側の「資源水準にかかわらず商業捕鯨に反対する」という姿勢が鮮明になった。その後、ホエール・ウォッチングや海洋汚染が鯨類資源に与える影響を IWC での検討事項にすることが決議された。

2002 年には、鯨類の保護に関する議題を扱う保護委員会の設置が決定されたが、日本、ノルウェーなどは、保護委員会の設置は商業捕鯨の再開に向けた IWC の議論を遅延させるものであるとして、反対声明を発表した。本来は両立させうる海洋生物資源の保護と持続的利用が、IWC 交渉においては、捕鯨・反捕鯨の対立をいっそう強化するかたちで論じられている。

4-3　鯨と漁業の競合説

日本政府は調査捕鯨の結果にもとづき「クジラは世界の漁獲量の約 3 倍から 5 倍の魚を食べている」として、増えすぎたクジラの捕食が漁業活動の脅威になっているという、い

わゆる「鯨と漁業の競合説」を主張している（日本鯨類研究所, 2004など）。これに対し、漁業資源の減少の第一の原因は漁業活動による乱獲であり鯨の捕食によるものではない、海洋生物の間の捕食関係は非常に複雑であり、鯨類の捕食量をそのまま漁業資源の減少要因と主張することはできない、などの批判が相次いでいる（Kaschner & Pauly, 2004など）。

鯨と漁業の競合説は、捕鯨問題と食糧問題をリンクさせ、新たなリスク・メッセージとして発信することで、非捕鯨国のIWCへの新規加盟を促す一つの要因となったものの、捕鯨・反捕鯨の相互不信と対立を強化することにもつながった。こうした論争もまた、科学者間の認識乖離プロセスとして捉えることができるだろう。

4-4 「合意形成の科学」としてのRMP開発過程との対照性

このように、RMPの採択以降のIWC交渉では、RMP開発過程における「実証主義から管理志向への科学へ」という認識論的転換や不確実性を管理するアプローチとは対照的に、「何が真実か」をめぐる意見相違が顕著になっていった。また、RMP開発過程では、「避けるべきリスクとは何か」という問いへの認識が、コンピュータ・シミュレーションや科学者間の競争的プロセスを経て収斂していったのに対し、その後は、鯨と漁業の競合説に代表されるように、科学者間に大きな意見相違がある仮説に立脚した新たなリスク・メッセージの発信がなされ、そのことが交渉における対立強化の要因ともなっている。

IWCは、RMPという科学的不確実性に頑健で、かつ国際的な合意を得た捕獲枠算定方式を持っているにもかかわらず、結果的には国際合意にもとづく資源管理の不在という状況に陥っている。こうした状況にあるからこそ、合意形成の基盤を提供する科学アセスメントとしてのRMP開発過程の持つ意義を改めて評価し、IWCにおける現在の議論を管理目的や合意形成への影響という点から見直してみるべきである。

5. 日本の捕鯨外交の現状と課題

本節では、IWCの主要議題に関する経緯と日本政府代表団の立場について述べ、日本の捕鯨外交が商業捕鯨再開という自らが掲げる目的に一致しているかを検討する[7]。

5-1　改定管理方式（RMP）

先述したように、RMPは鯨類の絶滅リスクの深刻な上昇を招かずに商業捕鯨を行うことを可能とするものである。しかし、IWCはRMPの採択後、捕獲数の検証や監視員の乗船などの一連の規制措置（RMS）の設定をRMP実施の条件とし、RMSに関する交渉が長引いたため、RMPは未だに実施されていない。

RMPに関する議論で注意すべき点は次の2点である。第一に、RMSが完成してもRMPが即座に実施されるわけではないこと、第二に、一部のIWC加盟国からRMP自体を見直すべきであるとの声があがっていることだ。

2004年11月に開催されたRMS作業部会では、RMSが完成した後のRMP実施までの道筋についてIWC事務局から説明があった。RMPを用いた捕獲枠の算出は、IWCからの指示が無い限り行われないことになっている。IWC事務局によれば、IWCの指示を受けてからRMPを実行し、捕獲枠を算出するためには5年程度の時間を要する。これに対し、日

[7] なお、筆者は2002年から2006年までのIWC年次会合、2004年11月のRMS作業部会会合、および、2006年のIWC 正常化会合準備会合に非政府組織のオブザーバーとして出席しており、本節での記述はそこでの観察内容を含むものである。

本を含む加盟国代表団から特段の異論は出ていない。かりにRMSの交渉が完了しても、ただちに商業捕鯨の捕獲枠が算出されるわけではないのである。

RMPの見直し論としては、保護水準の下方修正を求める意見と、RMP自体の改訂を提案する意見がある。前者は、RMPが資源の保護水準を初期資源の72%と設定している点について、鯨と漁業との競合問題を考慮して保護水準を下方修正すべきというものである。

これに対し、鯨が増えたために漁業資源が減っているとの言説は科学的見地から不適切であり、仮に鯨と他の生物種との関係を検証しようとすれば科学委員会での議論が必要であるとの反論が出されている。後者は、日本が主張しているもので、RMPは単一種管理を前提としており、複数の生物種間の相互影響を考慮していないという点で欠陥があり、生態系アプローチの視点（鯨種間競合モデル）を導入して改訂すべきとの意見である。

本稿第3節でみたとおり、単一種管理アプローチをとる現行のRMPでさえ、その開発には10年程度の期間を要している。したがって、より複雑、かつ、科学者の間でもその妥当性について意見相違が大きい鯨種間競合モデルを用いたRMP再改定には膨大な時間がかかることが予想される。

少なくとも、数年単位で商業捕鯨の再開を目指すならば、現行のRMPをそのまま支持することが重要であろう。現行のRMPが単一種管理アプローチであることを「欠陥」として殊更に問題視し、その信頼性を揺るがすことは、商業捕鯨の再開にとって逆効果になる可能性すらある。

5-2　改定管理制度（RMS）

RMSは、RMPで算出した捕獲枠の遵守を確保するための一連の遵守制度である。RMS交渉の主要な項目は、①捕鯨の操業実態を監視するための国内・国際監視員制度、②漁船衛星監視システム（VMS）の導入義務づけ、③規制にかかる費用のIWC加盟国間での負担割合、④違反に対する罰則、⑤捕獲時における鯨の致死時間など動物福祉関連データの提出義務、⑥RMSが完成した場合の商業捕鯨モラトリアム解除手続き、などである。

捕鯨をあくまで漁業の一形態と位置づける日本や他の捕鯨支持国は、過度に厳しい規制は必要なく、規制にかかる費用は捕鯨国だけでなくすべてのIWC加盟国が負担すべきとの立場をとってきている。一方、反捕鯨国側はすべての項目で最も厳しい規制を求め、規制費用は捕鯨活動から利益を得る国が負担するべきだと主張してきた。

2006年までの14年間にわたるRMP交渉では、捕鯨・反捕鯨の両者が自らの立場を繰り返すだけの、およそ「交渉」と呼ぶには程遠いものであった[8]。そしてIWCは2006年の年次会合において、RMSに関する「議論を無期限に延期する」と結論付け、RMS交渉は実質的に停止した。

これを受けて、オランダは「閣僚級会合などハイレベルの交渉で現状を打開すべき」と提案し、日本は「現在のIWCは国際捕鯨取締条約の精神に反した異常な状態にあり、IWCの枠外で非公式の『正常化会合』を開催してIWCの正常化をめざす」と説明した。本稿の冒頭でとりあげたセントキッツ宣言は、日本の立場を全面的に支持するものである。

セントキッツ宣言採択の翌日には、日本のイニシアティブで「正常化会合」の準備会合

[8] たとえば、2004年から2005年にかけて行なわれた3回のRMS小委員会は、捕鯨・反捕鯨の両者の異なる意見をリスト化するのみであった。また、2005年の年次会合では、日本がRMSパッケージ案を提出したが、自らの立場を並べただけの提案であったため、投票で否決された。

が開かれたが、IWC における商業捕鯨再開への道筋や戦略は示されないままであった[9]。「正常化会合」は 2007 年 2 月に東京で開催される予定だが、そこで IWC の行き詰まりを打開するような、商業捕鯨再開への道筋が見えてくるのか、先行きは極めて不透明である。

IWC の枠内で商業捕鯨を再開するために RMS の完成が必要なのは、実質的には日本だけである[10]。日本政府は、停止している RMS 交渉の再開に取組むとともに、妥協を図ることなく自らの主張を繰り返すという従来の交渉スタイルを変更し、RMS 交渉において、どの時点までに、どの程度厳しい費用負担や規制を受け容れるのか、もしくは IWC を脱退するのか、という、多段階の獲得目標を設定する必要がある。

5-3　調査捕鯨

ICRW 第 8 条は、各加盟国が国内主体に対し、科学研究目的で鯨類を捕獲するための特別許可を与えることを認めている。この特別許可にもとづき行なわれるのが調査捕鯨である。調査捕鯨を実施しようとする国は IWC に計画書を提出し、レビューを受けることになっているが、調査捕鯨の内容に関する最終的な判断は各国に委ねられている。

IWC における調査捕鯨の計画書のレビューの手順は概ね次のとおりである。まず、IWC 科学委員会において、IWC の示したガイドラインに沿ったレビューが行なわれる。その際の主要な論点は次のとおりである：

①　目的や方法、採取するサンプルを十分に特定しているか；
②　調査が合理的な管理、科学委員会の作業、または他の非常に重要な研究ニーズに不可欠かどうか；
③　設定された方法とサンプル・サイズから研究上の問いに対する信頼できる答えを得られるか；
④　非致死的な方法を使って研究上の問いに答えられるか；
⑤　調査捕獲が資源に悪影響を与えるか；
⑥　他国の科学者が研究に参加できるかどうか。

また、IWC は加盟国が調査捕獲の特別許可を発行する権利を妨げることはできないが、科学委員会からレビュー報告を受けた後にコメントを行なうことができる[11]。

日本は、商業捕鯨モラトリアムの発効以後、ICRW 第 8 条の規定にもとづいて南極海および北西太平洋での調査捕鯨を実施してきた。実施機関である財団法人日本鯨類研究所は、国庫補助金と調査受託費あわせて年間約 10 億円を受け取り、それに鯨肉など調査捕鯨の副産物を販売して得た収入（2005 年度は約 68 億円[12]）を加えて調査経費を賄っている[13]。表 1 に、日本の調査捕鯨における捕獲頭数を示す（すべての鯨種を合計したもの）。

南極海では、1987/88 年から 2004/05 年にかけて南極海鯨類捕獲調査（Japanese Whale Research Program under Special Permit in the Antarctic, JARPA）が実施され、2005/06 年からは、その第二期調査（JARPA II）が実施さ

[9] 準備会合の参加者からは、「日本が反捕鯨国の説得にリーダーシップをとるべき」、「日本が『自分自身の』IWC を作ろうとするなら、必ずしも合意は得られないだろう」といった発言もなされた。
[10] ノルウェー、アイスランドは IWC の商業捕鯨モラトリアムに異議申し立てを行っているため。
[11] The IWC and Scientific Permits. Available at: http://www.iwcoffice.org/conservation/permits.htm
[12] 日本鯨類研究所「事業報告書」平成 17 年度収支計算総括表。http://www.icrwhale.org/01-F.htm
[13] 同研究所は、南極海および北太平洋における鯨類捕獲調査のほか、鯨類目視調査、国内市場で流通する鯨製品の DNA 分析、鯨肉の販路拡大、鯨類学に関する海外研修生の受け入れなどの事業も実施している（日本鯨類研究所「事業報告書」、注 11 参照）。

表１　日本の調査捕鯨における捕獲頭数*

年度	捕獲頭数	年度	捕獲頭数
1987	273	1997	538
1988	241	1998	490
1989	330	1999	539
1990	327	2000	528
1991	288	2001	599
1992	330	2002	688
1993	330	2003	704
1994	351	2004	755
1995	540	2005	1243
1996	517	合計	9,611

*南極海と北太平洋の合計。たとえば、1987 年の数字は 1987 年の北太平洋での捕獲と 1987/88 年の南極海での捕獲を合計したもの。他の年度も同様。
出典：IWC ホームページ(http://www.iwcoffice.org/_documents/table_permit.htm)に掲載されたデータをもとに筆者作成。

れている。JARPA および JARPA II での捕獲頭数は表 2 および表 3 に示すとおりである。

JARPA の第一の調査目的としては、南半球産ミンククジラの資源管理に必要な生物学的特性値（年齢別の自然死亡率）の推定が掲げられた。1995/96 年調査からは、「当初予定した生物学的特性値を推定する前に系統構造を明らかにする必要が生じてきた」として、系群構造の解明が目的に加えられた。また、JARPA の第二の目的は、南極海の生態系の中で鯨類の果たす役割の実証であった[14]。

これに対し、JARPA II の目的は、①南極海生態系のモニタリング、②鯨種間競合のモデリングと将来の管理目的の開発、③系群構造の時空間的変化の解明、④南極海のミンククジラの管理方式の改良である（Government of Japan, 2005）。JARPA II では、RMP の実施に直接関係する系統群の解明よりも、生態系モニタリングに高い優先度が置かれていることがわかる。また、②は、日本による RMP 再改定の主張と表裏をなすものである。しかし、本稿 5-1 で述べたとおり、鯨種間競合モデルはその妥当性をめぐって意見相違が大きく、仮に RMP を再改定するとしても、膨大な時間がかかることが予想される。

表２　JARPA における捕獲頭数（すべてミンククジラ）

年度	捕獲頭数	年度	捕獲頭数
1987/88	273	1996/97	440
1988/89	241	1997/98	438
1989/90	330	1998/99	389
1990/91	327	1999/2000	439
1991/92	288	2000/01	440
1992/93	330	2001/02	440
1993/94	330	2002/03	441
1994/95	330	2003/04	443
1995/96	440	2004/05	441

出典：表 1 に同じ。

表３　JARPAII における捕獲頭数

年度	捕獲頭数		
	合計	内訳	
		ﾐﾝｸｸｼﾞﾗ	ﾅｶﾞｽｸｼﾞﾗ
2005/06	866	856	10

出典：表 1 に同じ。

北西太平洋では、1994 年から 1999 年にかけて、ミンククジラの系群構造の解明を主目的とする北西太平洋鯨類捕獲調査（Japan's Whale Research Program in the Western North Pacific, JARPN）が実施された。JARPN における捕獲頭数は表 4 のとおりである。

表４　JARPN における捕獲頭数

年度	捕獲頭数		
	合計	内訳	
		ﾐﾝｸｸｼﾞﾗ	ﾆﾀﾘｸｼﾞﾗ
1994	21	21	0
1995	100	100	0
1996	77	77	0
1997	100	100	0
1998	101	100	1
1999	100	100	0

出典：表 1 に同じ。

14　日本鯨類研究所 HP、「調査研究活動：鯨類の調査」（http://www.icrwhale.org/03-A-a-01.htm）。

2000 年以降は、JARPN の第二期調査（JARPN II）が実施されている。JARPN II は、沿岸域調査から構成され、ミンククジラのほかにニタリクジラ、イワシクジラ等も捕獲している。JARPN II における捕獲頭数を表 5 に示す。調査目的は、①将来策定される予定の複数種一括管理のモデルに情報を提供すること、②環境汚染のモニタリング、③鯨類の系群構造の解明、とされている[15]。

日本政府は、2004 年の IWC 年次会合において、JARPN II の調査結果は「漁場とミンククジラの餌場が重複しており、これは漁業と鯨の直接的な競合を示す」と結論づけた。しかし、本稿 4-2 で述べたように、こうした「鯨と漁業の競合説」をめぐっては意見の隔たりが大きい。また、鯨による補食量のデータは現行の RMP による捕獲枠算出には必要なく、さらに、上記①の目的である複数種一括管理モデルの策定についても、IWC においてその策定が合意されているわけではない。

このように、日本の調査捕鯨の妥当性は、その科学的側面と管理への必要性という双方の点で、常に一つの争点になっている[16, 17]。

また、RMS 交渉では、反捕鯨国は、商業捕鯨の再開にあたっては日本などが実施している調査捕鯨にも何らかの制限を課すべきと主張している。一方で日本を含む捕鯨推進国は、各国の主権のもとで実施される調査捕鯨には、いかなる義務的な制約も受け入れられない、との立場である。

商業捕鯨は、再開されれば RMP による捕獲枠算出と RMS による遵守規制に従うことになる一方で、調査捕鯨は、捕獲頭数を含む全ての点で、国際的な規制を受けることなく、

表 5　JARPNII における捕獲頭数

①沖合域調査

年度	捕獲頭数				
	合計	内訳			
		ミンククジラ	マッコウクジラ	イワシクジラ	ニタリクジラ
2000	88	40	5	0	43
2001	159	100	8	1	50
2002	197	102	5	40	50
2003	211	101	10	50	50
2004	254	100	3	100	51
2005	256	101	5	100	50

②沿岸域調査（すべてミンククジラ）

年度	捕獲頭数
2002	50
2003	50
2004	60
2005	121

出展：表 1 に同じ。

実施国の裁量で行うことができる。このことが、反捕鯨国が現在行われている調査捕鯨を強く批判し、調査捕鯨への規制を商業捕鯨再開の条件として求めている理由である。IWC のもとで商業捕鯨の再開を目指す、すなわち、4 分の 3 の支持を得ようとする場合には、調査捕鯨に対する何らかの制約は避けられないであろう。

5-4　商業捕鯨再開という目的に照らした日本の捕鯨外交の妥当性

本節で述べた IWC 交渉における主要議題における日本政府の行動は、商業捕鯨再開という目的には逆効果を有していると考えられる。

第一に、現行の RMP が単一種管理アプローチであることを「欠陥」としてことさら強調し、RMP 再改定を主張しているが、現行の RMP でさえその開発には十数年を要しており、より複雑で科学者間の意見相違が大きく、

[15] 日本鯨類研究所 HP、「調査研究活動：鯨類の生物学的研究」（http://www.icrwhale.org/03-A-b-01.htm）
[16] アイスランドも現在調査捕鯨を実施しているが、その捕獲頭数は 20 頭から 40 頭程度であり、日本の調査捕鯨に比べると IWC 加盟国からの批判は少ない。また、過去には日本・アイスランド以外にも、韓国が北太平洋（1986 年）、ノルウェーが北大西洋（1988 年から 1994 年）において、それぞれ調査捕鯨を実施していた。
[17] *Bio Science* 誌や *The New York Times* 紙などでも調査捕鯨の科学的側面をめぐる論争が展開された。その詳細は石井（2006）参照。

かつ管理目的に関する合意が難しい生態系アプローチにもとづくRMPの再改定には長期間がかかると予想される。これは、近い将来における商業捕鯨の再開を妨げる要素ともなりかねない。

第二に、RMS交渉の実質的な停止にともない、日本のイニシアティブでIWCの「正常化」をめざす動きが開始されたが、そこではRMS交渉の行き詰まりの要因をどのように解決していくのか、また、４分の３の賛成を得るために反捕鯨国をどのように説得するのか、という、IWCのもとで商業捕鯨を再開するために必要な戦略は示されていない。

第三に、調査捕鯨は、現行のRMPに直接関係する調査目的から、生態系アプローチや「鯨と漁業の競合説」といった、より長期的で、科学的妥当性や管理目的についての合意が極めて困難な調査目的へ移行している。同時に、国際的な規制を受けずに実施可能であるという調査捕鯨の性質がIWC交渉における大きな争点となっているのも事実である。そのため、自国の裁量による調査捕鯨の実施に固執することは、RMSの完成や商業捕鯨モラトリアム解除に向けて反捕鯨国を説得する際の最大の障害となりうる。

また、日本はIWCにおける支持を広げるため、カリブ海諸国やアジア・アフリカ諸国の新規加盟を促してきた。しかし、反捕鯨国側も同じ戦略をとっている現状をみれば、4分の3を獲得するのは殆ど不可能である。「不可能とは分かっていても、国際的な場で自国の立場を主張し続けることに意味がある」という意見もあるが、だとすると、相当数の国会議員（2006年は7名）を含む、50名を超える政府代表団をIWCに送り込む必要はあるのだろうか。日本の捕鯨政策は、「何を目的にどのような政策をとるのか、その根拠や内容は妥当か」はもとより、「責任説明が果たされているか」という点からも検証されなければならない。

そもそも、日本はどのくらいの費用をかけて、どのくらいの鯨を捕る必要があるのか、十分議論されていないのも問題である。最近の調査捕鯨の拡充に伴い、鯨肉の売れ残りが生じ、在庫量が増えてきた[18]のも事実である（そこで、鯨肉の販売を促進するための合弁会社「鯨食ラボ」[19]が設立された）。IWCのもとでの商業捕鯨が再開された場合も、調査捕鯨は継続するのだろうか。継続するとすれば、調査捕鯨で相当量の鯨肉がすでに供給されているなかで、補助金を受け取らない商業捕鯨の採算は取れるのだろうか。こうした点について検討を行わないままに、IWCにおいて上記のような主張を展開し、また、調査捕鯨を強力に推進していくことの妥当性が問われるべきであろう。

7. 日本の捕鯨外交のシナリオと要検討事項

本稿では、日本が今後とりうる捕鯨外交のシナリオを、IWCに残留して商業捕鯨の再開を目指す場合、および、IWCを脱退する場合に分けて提示し、そこでの検討課題について述べる。

7-1　IWC残留：現行RMPの支持とRMS交渉の早期妥結を

日本がIWCのもとで商業捕鯨の再開を目

[18] 2000年に1,789トンであった鯨肉の在庫量は、2005年には3,945トンとなった（月末在庫量の年間平均値。農林水産省「冷蔵水産物流通統計」より算出）。
[19] 事業目的として「鯨肉の価値の再構築を基に、増加する調査捕鯨の副産物である鯨肉の流通の最適化を図り、新たな鯨食マーケットを創出する」ことを掲げ、5年の時限付きの合弁会社として設立された。鯨肉の栄養成分のアピールや新たなメニューの開発、事業所食堂や病院等の給食マーケットへの販売促進などを行っている。（http://www.geishoku-labo.co.jp）

標として掲げるのならば、RMS の規制費用を相当程度負担し、厳しい規制を受け容れるなどの一定の妥協を図る必要がある。同時に、IWC が正式に採択している RMP をそのままの形で支持することが重要である。

本稿第 5 節で述べたとおり、日本は新たな調査捕鯨の目的の説明において、RMP が生態系アプローチを取り入れていないため不完全である、という指摘を行っている。しかし、仮に数十年の調査捕鯨を実施したとしても、その知見を踏まえて科学委員会が全会一致で採択できるような RMP に代わる管理方式を開発することは殆ど不可能である。むしろ、鯨類と他の生物種との捕食関係の解明はあくまで長期的課題として位置づけ、管理方式については既存の RMP を完全に踏襲するべきである。

また、本稿第 5 節でも述べたように、2006 年に停止した RMS 交渉を再開させ、どの程度までなら規制費用を負担できるのか、具体的な数字をもって交渉に臨み、日本の提案がそのまま採択されない場合には、どの程度の負担や規制ならば受け容れるのか、そうでなければ IWC を脱退するのか、という踏み込んだシナリオを持つ必要がある。

7-2　IWC 脱退：複数の国際的枠組みの相互影響を考慮する必要性

日本政府は、IWC の現状は、「鯨類資源の適切な保全と捕鯨産業の秩序ある発展を可能とすること 」という国際捕鯨取締条約の目的に反しており、IWC は機能不全に陥っているとして、IWC 脱退の可能性も含めて対応を検討するとの立場を表明してきた。自民党 IWC 対応検討プロジェクト・チーム の中間報告は、(a)IWC を脱退して捕鯨を再開する場合、(b)IWC に留まり捕鯨再開を目指す場合、という 2 つの選択肢について、検討を重ねていくとしている。

ここで、捕鯨規制に関係する国際的枠組みは IWC だけではないことに注意しなければならない。例えば、国連海洋法条約（UNCLOS）第 65 条は「いずれの国も、海産哺乳動物の保存のために協力するものとし、特に、鯨類については、その保存、管理及び研究のために適切な国際機関を通じて活動する」と規定しており、同条約の締約国である日本は、IWC を脱退したからといって無条件に商業捕鯨を実施できるわけではない。

IWC を脱退して商業捕鯨を再開する場合にまず問題となるのは、どのようにこの UNCLOS 第 65 条の規定に対応するのかである。ここで、北大西洋における北大西洋海産哺乳動物委員会（North Atlantic Marine Mammal Commission, NAMMCO）の設立と、IWC のモラトリアムへの異議申し立てのもとで商業捕鯨を再開したノルウェーの対応が参考になるだろう。

NAMMCO の設立は、北大西洋における鯨類の保存・管理・研究において、各国が IWC 以外の「適切な国際機関」を通じて活動するという要件を満たすことを可能とした。ノルウェーは、捕獲枠算出において IWC で合意された方式を用い、さらに、NAMMCO の共同捕獲数検証スキームを通じて捕獲数を検証することで、商業捕鯨の実施において対外的な透明性を確保しようとしている。ノルウェーの事例は、商業捕鯨モラトリアムに対する異議申し立てを撤回した日本とは状況が異なるが、日本の捕鯨外交の将来シナリオを検討するために重要な示唆をもたらすものである。

また、日本が IWC を脱退したうえで、現在 ICRW 第 8 条のもとで実施している第二期南極海鯨類捕獲調査（JARPAII）を継続しようとすれば、「適切な国際機関を通じて」という規定が再び問題となる。南極海の海洋生物の保全と合理的利用を目的とした南極海洋生物資源保存管理委員会（Commission for the

Conservation of Antarctic Marine Living Resources, CCAMLR）は、そうした適切な国際機関の選択肢になり得るが、この場合、UNCLOS、IWC および CCAMLR の相互関係を考慮する必要がある。CCAMLR の設立根拠である南極の生物資源の保存に関する条約（1980 年採択、1982 年発効）第 6 条では、同条約は ICRW の締約国の義務および権利を制限するものではない、と規定しているが、日本が IWC を脱退し、従来 ICRW 第 8 条のもとで実施してきた調査捕鯨を CCAMLR における科学研究の一部として位置づけることは可能なのだろうか。条約規定のみならず、CCAMLR のもとで実施されてきた複数の生物種間の相互影響に関する研究と、日本の調査捕鯨が連携可能なのか否かを検討することが必要である。

参考文献

Alcock, F. (2004) The Institutional Dimensions of Fisheries Stock Assessments. International Environmental Agreements: Politics, Law and Economics, 4, 129-141.

Ebbin, S.A. (2004) Black Box Production of Paper Fish: An Examination of Knowledge Construction and Validation in Fisheries Management Institutions. International Environmental Agreements: Politics, Law and Economics, 4, 143-159.

Eckley, N. (2001) Designing Effective Assessments: The Role of Participation, Science and Governance, and Focus. Research and Assessment Systems for Sustainability Program Discussion Paper 2001-16.

Gambell, R. (1992) International Management of Whale and Whaling: A Historical Review of the Regulation of Commercial and Aboriginal Subsistence Whaling. Arctic, 46, 2, 97-107.

Government of Japan (2005) Plan for the Second Phase of the Japanese Whale Research Program under Special Permit in the Antarctic (JARPA II) - Monitoring of the Antarctic Ecosystem and Development of New Management Objectives for Whale Resources. SC/57/O1.

Holt, S. (1974) Whales: conserving a resource. Nature, vol. 251, 366-367.

Holt, S. (1985) Whale mining, whale saving. Marine Policy, July 1985,192-213.

石井敦（2001）複合汚染物質議定書（1999 年）:「外交科学」による「交渉の理性化」. Studies : 生命・人間・社会, 三菱化学生命科学研究所・社会生命科学研究室発行, No.5, 1-88.

石井敦（2005）外交の文脈を取り込む科学研究－外交科学（ディプロマトリ・サイエンス）モデルの構築とその政策的含意－.年報科学・技術・社会,第 14 巻,39-61.

IWC (1980), (1988), (1992) Report of the Scientific Committee. Rep. Int.Whal. Comn., 30, 38, 42.

IWC (1995) Resolution on the Revised Management Scheme, Rep. Int. Whal.Comn, 45, 43-5.

IWC (2002) Annual Report of the International Whaling Commission 2001.

IWC (2006) Resolution 2006-1, St. Kitts and Nevis Declaration, available at: http://www.iwcoffice.org/meetings/resolutions/resolution2006.htm.

Jasanoff, S. (1990) The Fifth Branch: Science Advisers as Policymakers, Harvard University Press.

Kaschner, K., Pauly, D. (2004) Competition between Marine Mammals and Fisheries. Paper distributed at the 56th meeting of the International Whaling Commission.

笠松不二男 (2000） クジラの生態. 恒星社厚生閣.

Kirkwood, G.P. (1991) Report of the Scientific Committee Annex R: Comprehensive Assessment of Whale Stocks Progress Report on Development of Revised Management Procedures, Rep. Int. Whal. Comn., 41, 213-218

Kirkwood, G.P. (2003) interview with the author, June 26, 2003.

日本鯨類研究所(2004)Whales and Whaling.

Oberthür,S. (1998) The Convention for the Regulation of Whaling: From Over-Exploitation to Total Prohibition. In: Bergesen H. O. ed., Yearbook of International Co-operation on Environment and Development 1998/1999, Earthcan.

大久保彩子, 石井敦（2004）国際捕鯨委員会における不確実性の管理：実証主義から管理志向の科学へ. 科学技術社会論研究, 3, 104-115.

Smith, T., Polacheck, T. and Swartz, S. (1994) The Role of Science in Resource Management: The International Whaling Commission's Revised Management Procedure. SC/46/Mg9.

田中昌一（2001）水産資源学を語る. 恒星社厚生閣.

田中昌一（2003）鯨資源の動態研究と管理. 日本鯨類研究所.

Tønnensen, J. N. & Johnsen, A.O. (1982) The History of Modern Whaling. C. Hurst & Company, London.

Science and Politics in the International Whaling Regulation:

Toward a Revision of Japanese Whaling Diplomacy

Ayako Okubo*

SUMMARY

In the mid-1990's, IWC formally adopted an outcome of scientific assessment, the revised management procedure (RMP), which had been recommended by a consensus of scientists of the Scientific Committee of IWC, for situations where scientific uncertainty and value-conflict are unavoidable. Nevertheless, disputes over resumption of commercial whaling continued during the negotiations at the most recent meeting of the International Whaling Commission (IWC). RMP is a calculation procedure of catch limits for commercial whaling that can avoid serious increases in the extinction risk of whale stocks. This article analyses the development process of RMP and identifies characteristics of the scientific assessment that provides a useful basis for international consensus building. It then considers what implications are derived from those characteristics for current utilization of science in IWC. Furthermore, with the aim of testing widespread discourses and assumptions related to whaling issues and establishing a ground for elaborating pragmatic policy options, the appropriateness of Japanese whaling diplomacy is examined in light of the long-cherished target of the Japanese government, i.e., the resumption of commercial whaling. Lastly, this article suggests possible options for Japanese whaling diplomacy in the near future. Policy agendas for each option are also discussed.

Key words: science and politics, whaling, Japanese diplomacy, resource management, IWC

*Ocean Policy Research Foundation

東アジアコンテナネットワークの共同化と政策課題

－東アジアのフェリーネットワークの事例を中心に－

韓　鍾　吉*
Han, Jong-Khil

本論文は、東アジア域内統合輸送市場の構築を目的に、1）東アジアのフェリーネットワークの現況、2）フェリー航路開設に港湾利用者が感じる隘路要因と優先順位の究明、3）大阪港の政策課題を把握して具体的な解決方策を提示することにある。

分析の結果、航路開設における優先順位として中韓航路では、1）適切な船舶の確保、2）中国側の CIQ サービスに関する柔軟な対応、3）ターミナルでの迅速な作業、4）後背地とターミナル間の輸送ネットワークの充実、などの順であった。一方、日韓航路では、1）貨物量及び旅客数の増加、2）複合輸送の便宜性、3）CIQ の柔軟性、4）後背地との輸送ネットワークが挙げられた。これは、成長するフェリー輸送を支援するため、フェリーと陸運及び空運との連携、24 時間検疫に代表される CIQ サービスの柔軟な対応、旅客及び貨物が後背地への接近を迅速にできるような関連設備の整備が望まれていることを意味する。その結果、大阪港の政策課題としては、第一に、CIQ サービスの柔軟性、第二に、後背地との輸送ネットワークの充実、第三に、複合輸送システムの充実、最後に、旅客対応設備の充実があげられる。

キーワード : 東アジア、フェリー、統合、航路開設、隘路要因

1. はじめに

A. 研究の背景－東アジア経済の統合の動き

この研究では、日本・韓国・中国の三国中心としたフェリーネットワークと港湾の対応に関する研究である。この研究の背景には次のような要因がある。第一に、域内経済の統合の動きである。日本、中国、韓国の 3 国の間では、貿易・投資の両面における域内経済関係の相互依存の深化が進んでいる。こうした貿易面での緊密化や投資の拡大が、東アジア諸国・地域の、経済構造の高度化と地域間の水平分業を促進し、域内の収束化と高度化に寄与してきた。このような域内経済関係の深化を背景として、世界に占める東アジアの GDP シェアは、上昇する傾向を示してきている。そして、 東アジア諸国間の貿易が増加するにつれ、域内国家間の分業が一般的になり、東アジア経済圏の形成も現実化している。特に、中国の WTO 加盟後、域内の貿易量は急増している。域内分業の深化と域内貿易量の増加は、東アジア地域にける輸送市場の統合を要求している。

第二に、域内経済の統合の流れを背景に東

*韓国聖潔大学校　経営学部

アジア共同交通ネットワークの必要性である。域内企業間の水平分業の進化と域内ネットワークの充実などにより、域内における産業集積間の連携が強くなっていることは、現実的に東アジア共同市場を必要としている。そして、域内経済統合の最も基礎的なステップの一つが、交通システムと政策の統合である。域内交通システムの統合目的は、交通手段や交通市場の最適の組み合わせを計り、効率かつ低費用の交通システム利用を可能にする必要な枠組みを作ることにある。しかし、東アジア三国は、地域全体の視点に立つ複合輸送の可能性、相互連結の可能性、運営の統合性を考慮に入れず、自国の観点から交通システムの設計や開発を行っている。交通分野の統合が東アジアにおける域内経済統合の最初のステップにならざるを得ない理由がここにある。

第三に、既存の研究がコンテナ海運に偏っていることである。交通システムの統合を支援するにおいて、陸でつながっていない東アジア 3 国が物と人の移動を円滑にするためには、既存のコンテナ海運や航空のみならず、フェリーネットワークについても分析すべきである。しかし、今まで東アジアのフェリーネットワークについての研究はきわめて限られている。

交通市場の不均衡や非効率を解消し、共同市場を結成に向け、三国共同で取り組むことが好ましい。その上、物的インフラの整備のみならず、EU で行われているように国際交通サービスの障害になる法的、技術的、組織的障壁を撤廃する努力も一緒に行われるべきである。しかし、このような要因についての研究はまだ蓄積が少ない。

B. 研究の目的と構成

以上のような背景で、この研究では、フェリーネットワークと政策に重点を置いた東アジア域内統合輸送市場の構築について研究を行いたい。したがって、本研究の目的は、真の北東アジアネットワーク構築のためには、航路開設に必要な港湾施設造成とともに港湾利用者(船社、港湾運営社、荷主、港湾物流業社など)が感じる隘路要因を把握して具体的な解決方策を提示して、フェリーネットワークの活性化に資することである。

このために、韓国のフェリー業界の従事者を対象にフェリー航路開設の際の考慮事項について調査し、フェリー活性化のために優先的に解決されなければならない隘路要因の優先順位を AHP を利用して選定した。その上、調査された隘路要因を解決の緊急性の高いものを日韓・中韓の航路別にアセスメントして航路別の問題点を提示した。最後に結論ではこのような要因を持続的に調査して管理するための政策的時事点を提示した。このような航路別隘路要の改善を通じて個別航路だけの活性化だけでなく東アジアの全体フェリーネットワークのの改善に寄与することができるであろう。

2. 東アジアフェリーネットワークの現況

A. フェリー航路の現況

現在、東アジア域内航路のこれからを決める重要な要因のひとつはフェリーネットワークの拡充である。表 1 のように、現在東アジア域内では韓国と中国の間には 18 の航路で 14 隻、日中間には 4 航路の 4 隻が、日韓では 5 隻が運航中である。また、日露の間には 3 つの航路で 3 隻が、韓露の間では 1 航路で 1 隻が運航中である。ここでは、最近成長が著しい中韓航路を中心にその成長振りを説明する。

中韓航路でフェリーが輸送した乗客は 2000 年の 48 万 5 千名から 01 年 51 万 3 千名、02 年 47 万 6 千名、03 年 52 万 6 千名、04 年 80 万 6 千名、05 年 1 百 8 万 5 千名で急増した。

乗客増加率も04年より05年が34.7%増えた。

旅客と貨物の輸送実績も著しく増加している。たとえば、2005年の一年間、韓中航路でフェリーが輸送した両国間利用乗客は百万名を超えている。この航路で乗客運送実績が急増している理由には、プロの輸送人が主であったのが、船舶の新規導入とともに顧客の変化があったと関係者は分析している。総 18 航路でフェリーが運んだ観光客、修学旅行団、一般旅行客、ビジネスマン、親族訪問百８万５千名余が利用、04年の80万に比べ、大幅に増加した。2005年は、仁川・上海、群山・煙台、釜山・煙台、木浦・上海航路４開航路が休止状態で、実際に14航路で達成した数字である。

したがってこの航路に参入する船社も増え、2000 年 9 社が 10 隻であったのが、01 年 10 社が11隻、02年12社が13隻、03年13社が14隻、04年11社が12隻を05年13社14隻の船舶を運航している。現在中韓航路でカーフェリーを運航中の船社は山東省の仁川・威海の週３航海、仁川・青島週３航海、仁川・天津で週２航海、仁川・大連間週３航海、 仁川・丹東間週３航海、仁川・煙台週３航海、平沢・栄成間週 3 航海 、仁川・石島間週 3 航海 、仁川・栄口の週２航海 、週３航海の群山・青島間、週 3 航海の平沢・日照、週 2 航海の仁川・鎮黄島、週２航次仁川・連雲港間の14航路である。そのほかに、中国の吉林省をおもな後背地とし、韓国の東海岸の東草とロシアのザルビノを週 2～3 航海する航路もある。

2005年度航路別の乗客輸送実績は、仁川・

表１　東アジアのフェリーネットワーク

（出所；ＫＰＣＣ）

	航路	船舶	コンテナ輸送	輸送人員
韓国―中　国	14	14	3160TEU	8350
韓国―日　本	3	5	664TEU	2716
韓国―ロシア	1	1	136TEU	467
日本―中　国	4	4	752TEU	1425
日本―ロシア	3	3	N.A	681

表２　中韓のフェリーネットワークの現状

（出所；ＫＰＣＣ）

区分	仁川・煙台	東草・ザルビノ	平沢・栄成	仁川・石島	仁川・栄口	平沢・日照	仁川・威海	仁川・青島	仁川・大連	仁川・天津	仁川・丹東	上海・仁川	仁川・鎮黄島	郡山・青島	仁川・連雲港	木浦・上海
航路開設年度	2000.1	2000.4	2001.1	2002.7	2003.1	2003.6	1990.9	1993.5	1995.1	1991.12	1998.7	1998.8	2004.4	2004.11	2004.12	2006.7
(G/T)	16,071	12,023	17,961	17,022	12,304	24,946	26,463	29,554	12,365	26,463	10,648		12,304	10,830	16,071	16,340
積載　旅客	392	467	834	750	332	735	731	660	555	650	599	-	348	305	392	600
能力　TEU	245	136	150	206	228	220	252	280	125	249	130	208	228	100	293	110
速度　最大	22	22	18	21	20	27	25	27	22	25	21		21	22	22	27
Knot　航海	20	20	17	18	17	26	24	25	20	22	18		19	20	20	23
建造年度	1996.3	1980.12	1980.1	1989.7	1997	1992.6	1990.2	1997.2	1988.7	1990.2	1986.8		1995.11	1972	1995	1980
航行距離	283	316	210	220	420	372	238	338	292	460	284	494	400	310	390	368
航海時間	15	17	16	14	22	17	14	15	17	25	16		23	18	24	23
サービス頻度	週３往復	-	週３往復	週３往復	週２往復	週３往復	週３往復	週３往復	週３往復	週２往復	週３往復		週２往復	週３往復	週２往復	週２往復

威海航路で12万5千名、仁川・青島航路は7万6千名、天津航路6万8千名余、大連航路9万4千名余、丹東航路で9万3千名余、煙台が10万6千名余、東草・ザルビノが5万7千名、平沢・栄成間で11万6千名、仁川・石島航路が10万5千名、仁川・栄口で3万9千名、群山・青島間5万6千名、日照航路が6万4千名、仁川・鎮黄島が3万6千名、仁川・連雲港が4万4千名である。

この中でも年間10万名以上を輸送した航路が4つもあり、毎年乗客と貨物が増えている。仁川・威海航路が最大乗客輸送航路で、乗客増加率が高いのは群山・青島航路で04年に比べおおよそ394%も急増した。特に2005年の場合、中韓間の人的交流が増えるにつれ、増加する旅客をハンドルできず、オンシーズンには小中高修学旅行団と一般団体旅客を拒否する羽目にもあった。

このような状況から船社は、船舶の大型化と高級化を行い、旅客をプロの輸送人を主体とすることから脱皮して一般乗客を主対象にしたクルーザースタイルの船舶に入れ替るべきという指摘も力強く起きている。しかし、このような要求にもかかわらず、船社は船舶の新規導入が困難な状況にある。現在運航する船舶は1万5千トンから最大3万トンのカーフェリーが運航されているが、一部船社を除いてほとんど大部分が2万トンないし1万5千トンである。自社船舶を投入運航する船社は6社程度である。自社船を購入運航するにあたり、船価が高いので経済的に困難であることが最大の問題である。

貨物の場合、2005年、中韓でフェリーが輸送した海上コンテナ貨物は、31万6千TEUである。これは04年にくらべ、28.7%増加した数値である。2000年14万7千TEU、01年15万5千TEU、02年19万4千TEU、03年22万6千TEU、04年24万5千TEUで毎年貨物が増えている。仁川から中国行きのフェリーが輸送したコンテナは、威海、青島、天津、大連、上海、煙台行きが全体の50%を越えている。ほかの航路は前年比増加率が低いが、江蘇省のTCR出発点である連雲港のコンテナ貨物が急増している。

31万6千のうち、04年に比べて28.7%増加して最大貨物輸送航路も仁川・威海航路で4万6千TEUで貨物最大増加航路は仁川・栄口航路で前年比約72%増加した。

昨年度貨物市場占有上位5開航路は威海、青島、上海、石島、煙台であった。反対に前年に比べて貨物量が減少した航路は平沢/栄成航路で前年比0.4%減少し、乗客が減少した航路は東草・ザルビノ航路で04年に比べて8.4%減った。

一方、韓日航路も乗客が百万名を越えている。韓日航路で2000年3社が5隻のフェリー及び旅客船で51万4千名の乗客を、01年55万9千名、02年7社が8隻の船舶で70万7千名、03年6社が10隻で77万5千名、04年6社が12隻で94万5千名、05年には101万3千名を輸送した。2005年現在、韓日航路でには乗客専用船8隻（快速船）、フェリー船4隻で百万名を越え、韓中航路と共に航空機乗客輸送を追い越す勢いである。

B. 成長の背景

この数値は、1990年代はじめに比べて成長が著しい。このような成長は、次のような理由からである。第一に現在東アジア三国は、政治の面で軋轢があるにせよ、非常に速いスピードで経済の統合が進んだ結果である。たとえば、去年、中国はアメリカを抜き、日本の第一貿易相手国になり、韓国についても同じである。また、1990年東アジア地域内に進出した日本企業の現地法人数は2,862社であったのが、2000年にはその2.4倍に当たる6,919社になった。そのうち中国においては150社から1712社となって11.4倍へと増加し

た。その上、東アジアに進出日系企業の輸出の 24.7%が日本向けであった。つまり、現地進出した日系企業が生産した製品を欧米に輸出するために利用されていたのが、東アジア域内において、生産から消費までが完結する仕組みができつつあることを意味する。経済統合がもっとと進んだ EU の経験からみると、東アジアの経済統合を進めるためには、三国の交通の面におけるさまざまな障壁が、最初に取り除かれるだろう。障壁が取り除かれていくことは、3 国のどこで物を生産しても自国で生産しているのと変わらなくなる。物流がどこかで止まることなく、シームレスのパイプのように、迅速にスムースに流れるようなサービスに変化していく。つまり、EU でも証明されたように迅速・安全・定時制のある高度なサービスに変化していくのである。フェリーはこのような需要変化に最も適した輸送手段といえる。東アジア域内経済の統合が進むにつれ、迅速・安全・定時性を要求する貨物が増加している。

これは、海上コンテナと空輸との間におけるグレーゾーンに当たる部分であり、東アジアの域内では増加の傾向にある。東アジア域内での国際物流の流れを見ると、運賃が上昇しているもののかなりの量の貨物が空に流れている。しかし、海上サービスにおいて空輸と同様のサービスができれば海上に取り戻すことができる。例えば、LCD パネル・液晶製品・自動車部品など韓国から日本へフェリーで搬入しているケースが増加している。日本の活魚の韓国への輸出も増えている。

第二に、荷主の要求も変化しつつあることである。つまり、迅速・安全・定時性を求める高級サービスへと変化している。たとえば、輸出コンテナの港湾への陸送距離は 1998 年 106Km から 2003 年には 92Km へと、輸入の場合は 76Km から 68Km へと短くなった。これは、東アジアのどこで物を作っても、直ぐに日本国内で消費されるということである。したがって、荷主が国内の地方港とハブ港を使い分けするようになっていることを意味する。つまり、迅速、安全、定時性を求めて域内航路の貨物輸送では、時間指定貨物の度合いや貨物価値などによって、大消費地に直送できるフェリーを利用するか、コンテナ船を利用するかを区分している。

第三に、人の交流の増加である。韓国や中国の一部地域において、価格的に安値である船旅を利用する旅行客が増えたことである。そして、一部航路においては、航空に比べて迅速性や都心への接近などの面で有利であることも利用客増加の一因である。実際、日韓航路に就航する Pan Star フェリーは釜山～大阪間で、空輸の大韓航空や JAL よりも多くの旅客を運んでいる。夏休みや冬休みには韓国の大学生で満船になっている。それと、かなりの定時制と言うことで貨物量も増加しているので、韓国のフェリー会社は大阪航路への参入希望が強い。

これらの状況を考慮するとフェリーには、これからも成長が見込まれる市場である。迅速・安全・定時制が最も優れたサービスを行っているのがフェリー・RORO 船である。域内のフェリーネットワークは、これから東アジアの経済が統合化されればもっと充実したものになると思われる。

3. フェリー航路開設の考慮要因と航路別の隘路要因

A. 方法論

多目的意思決定問題を解決する分析模型の中で Satty T.L.Satty[1]（1990）、によって、開発

[1] "How to make a decision: The Analytic Hierarchy Process," European Journal Operational Research, vol.48.

された AHP（Analysis Hierarchy Process : 階層分析過程）模型は意思決定のさまざまな主観的要素と客観的要素をすべて考慮することができ、また計算過程が単純なことで意思決定、長期計画の最適化、研究開発、資源配分、マーケティングなど、多様な分野に活用されている。

AHP の有用性は、まず、定性的あるいは無形的基準と定量的あるいは類型的基準を割合尺度を通じて測定することにある。そして、大きい問題を次第に小さな要素（parts）へと分解することで単純な二元比較による判断で問題解決ができるようにすることにある[2]。特に意思決定の問題は、基本的に多数の相反する基準の下で最適の対案を選択する問題であり、AHP はこのような多基準意思決定を解決する枠組みを提供する。

本研究では、分析対象の特性を考慮し、AHP 法と HFP 法（Hierarchical Fuzzy Process）併用し、次のように適用した。第一に AHP 法を利用し、フェリー業界関係者に 5 点尺度の評価をしてもらい、その点数を基準に航路開設時の考慮事項に関する重要度を導き出した。第二に、HFP 法を利用し、航路別の隘路要因の優先順位を分析した。そのために各専門家から意見を聞く過程に各専門家に関する重要度は認めず、同一に認定した。

本研究では航路別の隘路要因の優先順位を分析するに当り、既存の評価法に相互重複係数を取り入れた HFP 法を利用した。航路別の隘路要因は、多階層、複合、多属性評価の問題なので、評価は評価者、評価目的、評価対象、評価項目及び評価構造などの要素で構成されて、ここに評価の時期と段階及び効用が有機的に関係している。したがって評価問題は一般的に評価の対象、主体、基準、目的、時期などがお互いに密接に係わる問題で成り立っていて、評価問題で評価の基準（Criteria）中の一つである属性（Attribute）が多数である速成問題を多属性評価問題と言い、属性のうち定量的な属性が定性的な属性を一緒に含んでいる場合を複合多属性評価問題と言う。

表 3　評価基準の階層表

大要因	細部要因	
設備要因（C1）	フェリー専用旅客ターミナル及び専用荷役設備の有無 フェリー専用岸壁の有無及び水深の制約の有無 船舶の快適性（大きさ及び船齢）	C11 C12 C13
立地及び後背地要因（C2）	韓国企業の進出 後背地の経済規模 後背地との輸送ネットワークの充実 社会経済的安定性と成長性	C21 C22 C23 C24
制度、管理及び運営要因（C3）	CIQ の柔軟性 港湾労働の安定性 ターミナルの生産性(船積み時間及び定時性) 積み替え貨物処理の便宜性 船舶接岸及び曳船、水先サービス 複合輸送の便宜性（Sea & Air & Land）	C31 C32 C33 C34 C35 C36
荷動き量及び旅客数（C4）	予想旅客数および航路間予想コンテナ貨物量	C41
航行距離（C5）	港湾間の距離	C51

[2] L.G. Vargas(1990), "An overview of the Analytic Hierarchy Process and Its Applications", European Journal of Operational Research, Vol.48, p.3.

B. アンケートの基礎的枠組み

フェリー航路の開設時の考慮事項及び航路別の隘路要因は、港湾選択などに関する先行研究をもとに5つの主項目と13の細部項目に分けて、表3のように設定した。そのうえ、関係者に対するアンケートは、1 次及び 2 次にわたり、2006 年 7 月末から 9 月の間に遂行された。アンケートは、36 枚を配布し、35枚を回収した。アンケートの回答率を最大限の高さで、同時に無効アンケートの発生率を低めるために訪問を通じてのインタビュー調査を主に、回答を明確にするために持続的な電話及びファックス、E-mail を並行した。アンケート調査に参加した応答者の範囲は、フェリーの運航に直接関係する船社及びフォーワーダーに限定し、現場の声が反映できる機関を対象にした。

4. 調査結果の分析

A. 航路開設時の考慮事項に関する評価の結果

表 4 のように、分析結果、フェリー航路開設に当り考慮する上位基準に属する要因は、制度、管理及び運営要因（24.8%）、設備要因（22.4%）、立地及び後背地要因（18.5%）、貨物量及び旅客数要因（17.9%）、航行距離要因（16.1%）の順であった。

これは、韓国のフェリー業者にとって、新しいフェリー航路を開設するに当り、ソフトウェアーの側面で受け入れ態勢が整っていることが大切であることを意味する。その中でも通関、出入国、検疫などの公的サービス分野における柔軟性は、非常に重要な要因であることがわかる。船舶の入港と出港時間に合わせ、公的サービスが提供されることで、迅速な旅客や貨物の処理作業が行われるので、もっとも重要な基準として評価されたと思われる。

そして、設備要因では、フェリー専用のターミナルの有無、専用岸壁と水深制約が重要要因として挙げられた。これは現に中国や韓国で、フェリー専用の旅客ターミナルがない港湾が多いことから旅客誘致に限界があること、岸壁を国内フェリーや一般雑貨船と共用

表 4　航路開設の際の考慮事項の重要度分析結果

	主要因	細部要因	
意思決定目標	C1＝０．２２４ 設備要因	C11＝0.093	フェリー専用旅客ターミナル及び専用荷役設備の有無
		C12＝0.080	フェリー専用岸壁の有無及び水深の制約の有無
		C13＝0.049	船舶の快適性（大きさ及び船齢）
	C2＝０．１８５ 立地及び後背地要因	C21＝0.059	後背地の経済規模
		C22＝0.050	韓国企業の進出
		C23＝0.037	後背地との輸送ネットワークの充実
		C24＝0.037	社会経済的安定性と成長性
	C3=０．２４８ 制度、管理及び運営要因	C31＝0.062	CIQ の柔軟性
		C32＝0.039	港湾労働の安定性
		C33＝0.036	ターミナルの生産性(船積み時間及び定時性)
		C34＝0.033	港湾費用
		C35＝0.040	船舶接岸及び曳船、水先サービス
		C36＝0.035	複合輸送の便宜性（Sea　&　Air　&　Land）
	C4＝０．１７９　貨物量及び旅客数要因		
	C5=０．１６１　航行距離要因		

していることなどから来る問題と思われる。

立地及び後背地要因については、後背地の経済規模と韓国企業の進出有無が重要な要因として挙げられた。

B. 航路別隘路要因に関する優先順位の評価

1）中韓航路

中韓航路においては、船舶の快適性がもっとも大きな隘路要因として挙げられた。これは前述したように、同航路の成長に見合う大型船の確保と新規船舶の導入が遅れていることから来る問題であろう。その上、中国側のCIQサービスに関する柔軟な対応、ターミナルでの迅速な作業、後背地とターミナル間の輸送ネットワークの充実、専用岸壁と水深制約、専用ターミナルの確保などの順であった。

2）日韓航路

日韓航路では、貨物量及び旅客数の増加、複合輸送の便宜性、CIQの柔軟性、後背地との輸送ネットワークが重要な隘路要因として挙げられた。これは、当分成長が見込まれる中韓路とは異なり、同航路においては貨物と旅客の確保が優先順位であると見ていることを意味する。しかし、同航路も着実に成長しており、それを支援するためには一部港湾で手遅れの感がある陸送及び空輸との連携、24時間検疫及び出入国サービスの提供に代表されるCIQサービスの柔軟な対応、旅客及び貨物が後背地への接近を迅速にできるように関連設備の整備が望まれていることを意味する。

5. 政策課題；大阪の場合

フェリーは、旅客と貨物の両方を積載できることで、様々なバリエーションが生まれ多岐に渡ったサービスができる。そういう面で、東アジアの中で日本は今までコスト面で押されがちであったが、高品質なサービスを提供することにより東アジアの域内において、ある程度の位置を取り戻せると思われる。

フェリーネットワークサービスがより緻密になることにより、既存の域内航路と同じく、特定の港湾を中心にハブ＆スポーク型のフェリーネットワークに再編されてくると思われる。このフェリーネットワークサービスの中心軸になる港湾として、大阪の未来があると思われる。東アジアのフェリーネットワーク

表５　中韓航路の隘路要因

隘路要因	主要因	重要度	順位
船舶の快適性	Ｃ１	4.4	0.852
CIQの柔軟性	Ｃ３	4.4	0.852
ターミナルの生産性		4.0	0.775
後背地との輸送ネットワークの充実	Ｃ２	3.8	0.736
専用岸壁と水深制約の有無	Ｃ１	3.4	0.658
専用ターミナルと荷役設備の有無		4.6	0.653
港湾労働の安定性	Ｃ３	4.2	0.597
接岸・曳船・水先サービス		3.0	0.581
貨物量及び旅客数要因	Ｃ４	4.0	0.578
韓国企業の進出	Ｃ２	3.8	0.549
後背地の経済規模	Ｃ２	2.8	0.542
相手地域の社会経済的安定性と成長性		2.8	0.542
航行距離要因	Ｃ５	2.8	0.542
複合輸送の便宜性	Ｃ３	2.8	0.542
港湾費用		3.6	0.511

サービスにおける中心港湾として、これからの大阪の発展を考える場合、次のような点を考慮する必要がある。

フェリー航路開設のためには、週１航海の場合、400 海里前後の距離では年間 7,000～10,000ＴＥＵの貨物が目安として必要であるといわれる。10,000ＴＥＵ以上の貨物がある場合は 400 海里以上でも航路は成立するといわれる。そして船速 20 ノット、以上のスピードで 48 時間以内にサービスが可能であることが必要といわれている。したがって、経済性・所要時間等から大阪より東は、東アジア域内フェリーネットワークとして結ぶことが出来ない。

その意味で、大阪では、釜山・天津・上海とフェリー航路を結んでいるが、まだ航路が開設されていない中国の連雲・寧波・厦門、台湾の基隆などは、48 時間で結ぶことができるし、これらの地域から貨物も大阪行きの貨物も多く、旅客もある程度確保できる地域である。これから東アジアの経済統合が進むにつれ新しい航路を組める可能性がある地域である。それらの港と大阪を結ぶフェリーネットワークが組まれることで大阪の優位性は生かせないだろうか。

実際、大阪の場合、沖縄から北海道までを結ぶ密度の高い内航フェリーネットワークが形成されているので、これら内航フェリーネットワークと国際フェリーネットワークを連携させることで大阪港の優位性はもっと発揮できるはずである。東アジアのフェリーネットワークの視点から見るとかなり競争力もあり、これからの発展も期待できると思われる。東アジアのフェリーネットワークの最東点としての地理的優位性を持っている大阪は、日中韓のフェリーネットワークの一角として、上海・釜山とコンテナハブ競争では無く相互補完関係を構築することができる。それと、大阪は大消費地が背後に控えているし、韓国の生産者は日本に輸出する時、直接大阪への搬入を希望している。これは、中国の生産者も同様である。

韓国や中国から日本に搬入する場合、博多か、下関か、大阪揚げかでフェリーネットワークにおけるハブ競争が起こる。現在、中国から SSE（上海スーパーエクスプレス）で博多に揚げるサービスが注目を浴びているが、大阪がフェリー港湾としてもっと機能するよ

表６　日韓航路の隘路要因

隘路要因	主要因	重要度	順位
貨物量及び旅客数要因	Ｃ４	4.9	0.762
複合輸送の便宜性	Ｃ３	4.7	0.734
CIQ の柔軟性	Ｃ２	4.5	0.691
後背地との輸送ネットワークの充実		4.4	0.677
港湾費用	Ｃ３	4.5	0.666
船舶の快適性	Ｃ１	4.6	0.623
後背地の経済規模	Ｃ２	3.7	0.578
接岸・曳船・水先サービス	Ｃ３	3.7	0.578
専用ターミナルと荷役設備の有無	Ｃ１	3.6	0.544
港湾労働の安定性	Ｃ３	4.6	0.540
韓国企業の進出	Ｃ２	4.5	0.529
航行距離要因	Ｃ５	3.5	0.476
相手地域の社会経済的安定性と成長性	Ｃ２	3.2	0.427

うになれば、博多からのドレージ代・時間等国内輸送コストを勘案すると大阪に直接持ってきた方が有利なはずである。

現在の大阪湾では、輸出は神戸、輸入は大阪との棲み分けができているが、大阪がもう少しフェリーに力を入れることによって、東アジア域内において高品質のサービスを提供できる港として活性化できる。これによって、大阪と神戸港がお互いの技能を分担しながら補完できる港として機能する阪神港も実現可能になると思われる。

そこを大阪がどう対応すれば実現化するかを考えるべきである。第一に、考えなければならないことは、CIQ サービスの柔軟性である。下関では、韓国や中国の山東半島などからの農産物を揚げる際に、通関や出入国サービスがスムースにできるが、大阪はそのようでは無いという意見が今回の調査でもあった。大きな消費地を後背地に抱えていることや輸送距離が短いのでコストの面でも優位であるから、大阪は下関や博多に充分勝てるはずである。

第二に、後背地との輸送ネットワークの充実である。大阪港は、日本において国内フェリー（RORO）ネットワークが充実している港湾である。北海道・沖縄・九州・瀬戸内まですべて、フェリーと RORO で結ばれており、それを生かすべきである。そのためには、大阪港の機能の再配置が可能かについて検討すべきである。つまり内航フェリーと外航フェリーが連携できる機能強化を図るべきである。例えば中部国際空港は国内と国際便が一緒に乗り入れできるので利便性がある。成田と羽田や関空と伊丹のように国内か国際しかなければ、国内と国際をつなぐフェリーネットワークを生かすことが出来ない。国際と国内をつなぐ媒体としては、フェリーで運ばれる輸入品や国内特産物を専門的に扱う卸売市場、アジア映画専門シアターなどを港湾地区内に誘致することも一つの代案となるとだろう。

第三に必要なのは、複合輸送システムの充実である。「瀬戸内海と東アジアを結ぶ」、「日本全国と東アジアを結ぶ」、「日本のトラックとアジアのトラックが繋がる」、「日本の道路とアジアの道路を繋ぐ」などのキャッチフレーズでも良いが、直ぐには実現できないかもしれないが、大阪では外国ナンバーのトラックが走れるアジア輸送特区も提案したい。直送の利便性をアピールすることで他地域との差別化を図ることができる。

最後に、旅客対応設備の充実である。フェリーは旅客が利用しており港湾内での流動人口を増加することでビジネスチャンスも拡大する。しかし、現在の大阪港では、国際フェリーを利用しても CIQ に時間がかかるし、フェリーターミナルから地下鉄の駅までのアクセスも整っていないので、大阪港が人と人との触合いのできる海外との結節点として認識されているのか疑問である。人がいるところ、また貨物が動く所からビジネスチャンスが生まれる。

人と人、人と物、物と物が自然的に触合える港、これからも増加が予想される東アジアの域内貨物を受け入れ設備が完備され、充実したサービスが提供できる東アジアのフェリーネットワークのハブ港湾として大阪港の未来を真剣に考える必要があると思う。

参考文献

土井正幸（2004）、『港湾と地域の経済学』、多賀出版

遠藤幸子（1989）、「東アジアにおけるコンテナ港湾の競合」、『港湾経済研究』、第 27 巻、pp.1-15.

木村武彦（1993）、「東アジアの経済成長とコンテナ港の不均等発展」、『港湾経済研究』、第 32 巻 pp.13-32.

高橋宏直; 松尾智征; 山本幸司（2002）、「東アジア主要港湾におけるコンテナ輸送の特性分析」、

『土木学会論文集 = Proceedings of JSCE』、第709 号、pp.149-161.

津守貴之（1994）、「東アジア地域における物流活動の空間的再編成：80 年代以降の日本の国際コンテナ物流を中心として (橋本博之教授退官記念号)」、『岡山大学経済学会雑誌』、第 25 巻(4 号) 、pp.345-366.

渡部富博・平井洋次・田中淳・小島肇（2003）、「国際海上コンテナ貨物流動モデルと大水深ターミナル整備評価に関するシナリオ別分析」、『国土技術政策総合研究所研究報告』、国土技術政策総合研究所、No.13.

渡部富博（1998）、「船社の寄港挙動モデルによる国際コンテナ航路体系の分析-東アジア-北米西岸航路について-」、『平成 10 年度港湾技術研究所講演会講演集』、pp.126-150.

汪,正仁（1997）、「東アジアにおける国際貿易の拡大と国際物流：アジア NIES を中心に」、『海運経済研究』、第 31 号、pp.117-135.

山田英夫（1999）、「東アジア域内の日本の海運市場-日中間のウエイト」、『海運経済研究』、第 33 号、pp.128-144.

吉田茂・金広熙（2003）、「東アジアにおけるアライアンス形成前後のコンテナルートネットワーク構造の変化について」、『海事交通研究』、山縣記念財団、第 52 集、pp.49-77.

A. C. Paixao, P. B. Marlow (2001), "A review of the European Union shipping policy", *Maritime Policy & Management*, Volume 28(2), pp.87 – 198.

Kang, H. J., Problems and Improvement Policy of Customs Clearance Business System in Korea, Korea Customs Academic Society, 2001.

KIFFA, KIFFA, 1990.

K. C. Beresford, B. M. Gardner, S. J. Pettit, A. Naniopoulos, C. F. Wooldridge(2004), *"The UNCTAD and WORKPORT models of port development: evolution or revolution".*

Korea Maritime Institute (2003), *Basic Research paper; 2003-1*, KMI, Seoul.

Regulatory Reform Committee(Korea), *White Paper on Regulatory Reform*. 1999.

www.momaf.go.kr.

Building an Integrated Container Network and Policy in Northeast Asia

－An Anlysis of Current East Asian Reginal Ferry Network－

Han, Jong-Khil*

SUMMARY

This paper focuses on development and integration of the East Asian regional ferry network. Presently, the East Asian economies are moving to integration. An integrated transportation network is the base of economic integration. A ferry system currently connects the three East Asian countries with transportation for passenger and cargo. Thus, in this paper, we analyze 1) the present condition of the ferry network, 2) how to identify problems and priorities for the opening of new ferry routes by shipping companies, 3) how to react to the current development of the regional ferry network for Osaka Port.

Major findings of this research are as follows. Firstly, the barriers to opening anew China-Korea ferry route are, 1) procurement of a suitable vessel, 2) flexibility in the Chinese CIQ service, 3) speedy work on the ferry terminal, 4) development of a transportation network between the terminal and hinterland. Secondly, barriers to opening a new Japan-Korea ferry route are, 1) volume movement of cargo and passengers, 2) convenience of multimodal transportation, 3) flexibility in the CIQ service, 4) a connecting transportation network to the hinterland.

Thus, we propose the following policy measures for Osaka Port, 1) add more flexibility in the CIQ service, 2) develop and redesign the transportation network that connects to the hinterland, 3) enrich the multimodal transportation system, 4) up-grade space and facilities for passengers.

Key words: East Asia, ferry,integration, opening of new ferry routes, barriers.

* Division of Business Administration, Sungkyul University, Korea

海 洋 政 策 研 究　第４号

2007 年６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 1-15-16　海洋船舶ビル
TEL 03-3502-1828　FAX 03-3502-2033

本書の無断転載、複写、複製を禁じます。
ISSN 1880-0017

Ocean Policy Studies

No.4 2007

閉鎖性海域の富栄養化問題に対する人為影響と天然影響の評価

高橋　鉄哉 ……………………………… 1

日本海沿岸地域における国際間の最適環境投資配分と陸域起因水質汚濁負荷物質の日本海への影響分析

櫻井　一宏 ……………………………… 15

国際捕鯨規制の科学と政治：日本の捕鯨外交の再検討に向けて

大久保彩子 ……………………………… 35

東アジアコンテナネットワークの共同化と政策課題
― 東アジアのフェリーネットワークの事例を中心に ―

韓　　鐘吉 ……………………………… 53

OPRF
Ocean Policy Research Foundation