CRDS-FY2005-GR-06

ATTAATC A AAGA C CTAACT CTCAGACC

CT CTCGCC AATTAATA

TAA TAATC

TTGCAATTGGA CCCC

AATTCC AAAA GGCCTTAA CCTAC

ATAAGA CTCTAACT CTCGCC

AAT A TCTATAAGA CTCTAACT CTAAT A TCTAT

CTCGCC AATTAATA

ATTAATC A AAGA C CTAACT

AAT A TCTATAAGA CTCTAACT

CTC G CC AATTAATA

G-TeCレポート 海洋生物資源の持続的利用と **羊生態系の保全管理**

International Research and Development on Sustainable exploitation and management of Marine BioResources and Ecosystem services

> 11100 11100 101010000111

> > 001100 110010

0001 0011 11110 000101

0011 00011111100 0

平成18年2月

11



Center for Research and Development Strategy

独立行政法人 科学技術振興機構 研究開発戦略センター

001101 0001 0000110

0101 11

00110 11111100 00010101 011

■背景と目的:

日本の発展の基盤の一つである海洋生物資源を有効、且つ持続的に利用していくためには、利用技術そのものの研究開発と共に、環境劣化の拡大を防止し、生態系を管理する新しい枠組みを構築する必要があり、それを支える研究開発と基盤技術の強化が緊急の課題である。

CRDS/JSTの井上グループは、平成17年4月24日にワークショップ「持続可能な発展を目指す生態系・生物多様性研究開発戦略プログラム」を開催し、「持続可能な経済発展」を充足するための生態系・生物多様性に関する研究課題を抽出した。

本G-TeC調査は、上記ワークショップで抽出された課題の中で、山林、河川などの流域圏とのつながりを考慮しつつ、環境劣化が著しい沿岸〜外洋に至る海域に対象を絞り、今後、日本が重点的に取り組むべき海洋生物資源の持続的利用と保全に関する研究分野について、日本および海外各国の研究開発状況の比較を行うことを目的としている。

■調査プロセス:

(1) 調査期間: 平成17年8月末~平成18年2月(現地訪問は、平成17年11月~12月)

(2) 調査パネル:東京海洋大学 岡本信明 副学長 (パネル議長)、 他20名 対象分野: ①生態系管理分野 (モニタリング・モデリング)、②生物 資源の利用と保全、③機能遺伝子群の利用と保全

(3) 調査項目: ①先導的な研究と要素技術の開発への取り組み(機関レベル)、②産業化への取り組み(機関レベル)、③特筆すべき事項(機関レベル)、④国家政策、重点研究領域、国際研究計画・プログラム(国レベル)、⑤研究機関の概要(研究体制、予算、人員、能力、設備)(機関レベル)

(4) 訪問国: 米国、オランダ、イギリス、ノルウェー (その他、文献、Web、ワークショップ、シンポジウムにて情報収集)

■結果:

調査対象の3分野についての特記事項の概要は以下の通り。

- (1) 生態系管理(モニタリング・モデリング)
- ・観測ネットワークに基づくモニタリングと数値モデルの融合
- ・データの品質管理(DMAC; Data Management & Communication)と長期モニタ リングによる環境変動のメカニズム解明
- ・環境モニタリング技術(生物地球化学的観測データとエコゲノムデータとのカップリング)
- ・エネルギー循環と栄養塩・必須元素の生態学的ストイキオメトリー(量比的関係)

(2) 生物資源

- ・レジームシフトに伴う生物資源の変動メカニズムの解明
- ・持続可能な責任ある漁業へのシフト
- ・生態系の仕組みをベースにした生物資源管理(Ecosystem-based management)
- ・生物による構造物等の劣化の科学
- ・ゼロエミッション型の養殖システムへのシフト
- (3) 機能遺伝子群
- ・遺伝子資源探索〜生理活性物質の抽出・化学合成に至るマリンバイオテクノロジー分野 の強化

■調査結果の検討

日本が重点的に取り組むべき研究分野を検討した。その結果は以下の通り。

- (1) 生態系管理(モニタリング・モデリング): 海洋生物資源の持続的利用のための生態 系管理研究の中身として、特に生態系の食物連鎖の関係を積極的に導入したモデリング 研究と、モデルの不確実性を小さくするための観測データの拡充と品質管理が必要である。
- ・サブグリッドスケールの乱流や拡散・混合等の諸物理過程の適正なパラメータ化は、モデルの精度向上に欠かせない。
- ・観測・実験データの共有化と、データの品質管理への取り組みを強化する必要がある (DMACの徹底)。米国海洋観測イニシアティブで、DMACの検討が活発化。
- ・レジームシフトや地球温暖化に伴う生態系の構造的変化は、継続的モニタリングを通じ てのみ把握可能である。
- ・観測情報とカップリングしたエコゲノミクス研究の推進は、海洋環境の状態をより精密に把握できるという利点があり、取り組みが必要である。米国DOEやGBMF等が重点的に解析を進めるバクテリア以外や、解析が困難で世界的に未着手な糸状菌を解析ターゲットにする等、解析研究をリードしている米国とは異なる研究の切り口とデータ解析のための情報基盤の充実化が必要。
- ・複合微生物群の活性検出が可能な低コスト、省力、且つ高速・高精度な次世代解析技術 (既知遺伝子との相同性が低い新規ORF の機能推定など) や、ミクロ生物の同定のため の3次元の観察システム、画像認識システム等のツールの開発が必要。
- (2) 生物資源:環境の変化が海洋生態系に与える影響を精度よく予測し、それに基づいて管理する「Ecosystem Based Management」が世界的なキーワードとなっている。生態学的知見の蓄積は漁業管理に不可欠であり、日本がリードしてきた分野である。近年の海洋生態系研究は、人工衛星による海洋環境の継続的観測、遺伝子解析による資源の構造把握などの新技術の導入にも助けられ目覚ましく進歩しており、生態系の仕組みを積極的に取り入れたモデルを利用した資源管理へと発展している。
- ・20世紀末に海洋科学において、その存在が共通の認識となった海洋生態系のレジーム

- シフトのメカニズムおよびそれによる生物資源の変動メカニズムを世界に先駆けて解明 する。それにより、自然変動する資源の適切な管理手法を確立する。これまでの定常状態を前提とした資源管理理論から、変動する資源の管理理論へのシフトを目指す。
- ・バイオフォーリングなどによる海中構造物の劣化・腐食の基礎的メカニズムの解明は、 世界的に緒に就いたばかりの分野である。生物による劣化・腐食の研究の産業価値(超 寿命化・環境低負荷化)は大きい。
- ・魚病防除、水浄化・脱窒素、高効率飼料、自発摂餌システム、完全閉鎖養殖系、などの 技術開発による魚類養殖生産効率の高度化が必要。低環境負荷・ゼロエミッション型シ ステムへのシフト。
- ・サケ・マス類では、飼料効率がすでに1.2まで進んでいる(餌1.2kg乾燥重量で魚1.0kg を生産)。我が国の生物(家畜)生産技術の優位性から見ても、魚の育種や飼料開発の潜在力(ポテンシャリティ)の高さに注目すべき。
- ・養殖技術の自動化に向けた、自発給餌システム(無駄な給餌と残餌を削減する管理シス テムで、光ファイバーセンサーを利用したものが多い)等の要素技術開発。これらは、 経済的に成立するものである必要がある。
- (3) 機能遺伝子群:ポスト・ゲノム関連技術の中でも、マリンバイオテクノロジー研究は 技術的インパクトが大きく、産業シーズとしての重要性が益々高まってきている。21 世紀の産業活動におけるイノベーションは、「持続可能性」を基盤とした資源の有効利 用や安全・安心な物つくりとして進展するものと考えられる。
- ・これまで、機能遺伝子群の多くをコードする微生物について、取り扱いが容易で生理機能の理解が容易な単細胞生物を、純粋、且つ大量に培養するという手法により、機能遺伝子群を活用してきた。また、極限環境の生物探査などの一時のトレンドも、ターゲットとする機能遺伝子群の情報が飽和状態に近づいてきている。よって、今後は、未だ十分に解明されていない微生物の生存機能の特徴である環境適応性、効率性、安定性について取り組むことで、新たな機能遺伝子群の獲得が期待される。
- ・複雑な相互作用系を有する複合微生物系等、その機能解析のために必要となるツール・ システム開発は、これまでの技術の拡大・改良ではなく飛躍的なイノベーションが期待 される。
- ・環境修復等の技術製品では米国がリードするが、化粧品等での実用化は欧州が追随していることからも、ターゲット分野や製品製造について、比較的特許取得数の多い分野(産業用酵素製造、CO2固定化技術、バイオモニタリング)を強化することや日本の強みであるシステム構築・エンジニアリング・加工技術(付加価値技術)分野を生かした大きく異なる研究の切り口が求められる。
- ・世界の情報把握と技術のキャッチアップのため、生物多様性ネットワーク(CoML、MarBEF)などの国際共同研究への積極的な参入が必要。生物多様性の「どこに」、「どのくらいの近縁種が」、「どのような条件で」というようなインベントリーは、国際的な機能遺伝子資源の獲得競争に勝つための道筋を教えてくれる海図のような役割もあるこ

とを認識する必要がある。

Executive Summary

■ Background and Objectives:

The purpose of this study was to assess the state of marine science and technology (Marine S&T) in the fields of 'Management of Marine Bioresources & Ecosystem Services' worldwide and to compare the R&D activities or levels in this field between Japan and other countries. The comparison was to be based on the area of Functional genome (and marine biotechnology), Bioresource (Particulary on Aquacultural technologies), and Research Fascilities for Ecosystem Management (Particulary on Monitering and Modeling). In order to obtain a baseline for comparisons, the study was to begin with an assessment of the status of Marine S&T in the Japan.

In order to restrict the study to the level of available funding, the study was restricted to current efforts in USA, and Europe. Clearly, significant work is going on in many other countries, but it was not possible to include them all in this survey. Some other countries like Australia, France, Germany were included by a "virtual site visit," where selected scientists or laboratories were interviewed with a series of questions and to provide pictures of the major Marine S&T for 'Management of Marine Bioresources & Ecosystem Services' they have developed. Nevertheless, the work in the countries studied provides an excellent overview of work outside of the Japan.

Study Process:

The major process in the G-TeC study have been the following:

- (1) Duration: August, 2005 February, 2006 (data visited: November December, 2005)
- (2) Panel: Nobuaki OKAMOTO,Vice President, Tokyo University of Marine Science and Technology (Panel Chair), and 20 other researchers

The complete list of all panel is given in 'List of G-TeC Panel'

- (3) Target Area: Research and novel technologies on (i) Ecosystem management (Monitoring & Modeling), (ii) Bioresource utilization, (iii) Functional genome
- (4) Questions: (i) Leading research and novel technology, (ii) Activiteis for

Industrialization (potential for commercialization), (iii)
Emerging topics, (iv) National policies / priority areas, (v)
Organizational structure (Research strategy, Budget,
Funding, Ability, International activities, Fascilities)

(5) Sites Visited: The panel visited laboratories/institutions in USA and Europe (England, Netherland and Norway). While there is significant work in marine science and technology in other countries (such as Australia, Canada, France, Germany, Italy, Spain and others) the itinerary was constrained by time and budget. The complete list of all sites visited is given in Table 2. In addition, "virtual site visits (interviewing on several scientists during the major international symposiums or meetings like OCEANS 2005 MTS/IEEE, 2006 Ocean Sciences Meeting, DIVERSITAS, UJNR and others)" were conducted.

■ Major findings and Key future challenges (Selected Topics):

- (1) Ecosystem management (Monitoring & Modeling)
- Parameterization of physical processes such as turbulence, diffusion, or mixing in subgrid-scale is indispensable to minimize and validate the forecast errors.
- Elucidation of physical model parameters like mixing, diffusion, turbulence, in Sub-grid scale ecosystem to reduce Model Uncertainty and Limitations.
- Data Management and Communications (DMAC) is an essential challenge for quality control which leads to reliability, systained, or efficient operations.
- · Coupling of meta (eco) -genome data and Biogeochemical monitoring data and lead multiscale assessments. USA is far advanced in ecogenomics research, fascilities, computer science and amounts of funding (e.g. DOE, GBMF, NSF).
- · Long-term ecosystem monitoring is an essential method to understand regime shifts or global climate change.
- Ecological stoichiometry of energy, nutrients, essential chemical elemental cyclings and Biogeochemical Interactions (The study of the balance of energy and multiple chemical elements in ecological systems).
- Development of advanced Monitoring tools or IT Facilities, such as automatic, autonomous, remote DNA analyzer, biodiversity identification system and their data node are unexceptable

(2) Bioresource

- · Basic research to understand the mechanisms of long-term, globalscale climate change, sub-global scale ocean dynamics and ecosystem change (e.g. regime shifts, interaction between microbes and fish etc.) are particularly important.
- •Science-based bio-resource management system based on the Ecosystem variability will be one of the next generation's.
- Corrosion and Errosion Science (e.g. biofouling mechanism) for sustainability. It is important to forcus on eosystem based modeling and management of marine bio-resources as well as on some fundamental corrosion/erosion mechanisms in terms of sustainability and new commercialization.
- Shifting the fisheries process to Ecosystem-Based, Sustainable (Zero-Emission) and Responsible, by overcoming cost-benefit problems. Japan is one of the leading countries in aquacultural technology and should strengthen that advantage. For example, feed efficiency rate is improving up to 1.2 (1.0kg of wet body weight of the fish to 1.2kg of feeding), particularly in the salmon / trout aquaculture. In terms of the priority of food production strategy, we need to enhance our fish / feed production technology potentiality.

(3) Functional genome

 Marine biotechnology for innovation. Isolation of Novel compounds from marine organisms as Japan had prioritized to improve R&D once before.
 And Japan should take part in more international biodiversity networks in order to collect much world-wide information.

調査パネル/ List of G-TeC Panel

パネル議長 Chair	岡本 信明 Nobuaki Okamoto	東京海洋大学 副学長 Vice President, Tokyo University of Marine Science and Technology
パネルメンバー Member	生田 和正 Kazumasa Ikuta	(独)水産総合研究センター 養殖研究所 部長 Director, Freshwater Fisheries Res. Div., National Research Institute of Fisheries Science
//	岸 道郎 <u>Michio Kishi</u>	北海道大学 大学院水産科学研究院 教授 Professor, University of Hokkaido
//	栗山 浩一 <u>Koichi Kuriyama</u>	早稲田大学 政治経済学部 助教授 Associate Professor, Waseda University
//	小池 勲夫 <u>Isao Koike</u>	東京大学 海洋研究所 教授 Professor, Ocean Research Institute, The University of Tokyo
//	木暮 一啓 <u>Kazuhiro Kogure</u>	東京大学 海洋研究所 教授 Professor, Ocean Research Institute, The University of Tokyo
//	近藤 逸人 Hayato Kondo	東京海洋大学 海洋工学部 助教授 Associate Professor, Tokyo University of Marine Science and Technology
//	桜井 泰憲 Yasunori Sakurai	北海道大学 大学院水産科学研究院 教授 Professor, University of Hokkaido
//	櫻本 和美 <u>Kazumi Sakuramoto</u>	東京海洋大学 海洋科学部 教授 Professor, Tokyo University of Marine Science and Technology
//	白山 義久 Yoshihisa Shirayama	京都大学フィールド科学教育研究センター 瀬戸臨海実験所長 Director of Seto Marine Biological Lab., Field Science Education and Research Center, Kyoto University
//	田中 克 <u>Masaru Tanaka</u>	京都大学フィールド科学教育研究センター センター長 Director of Field Science Education and Research Center, Kyoto University
//	永田 俊 Toshi Nagata	京都大学 生態学研究センター 教授 Professor, Center for Ecological Research, Kyoto University
//	西山 恒夫 Tsuneo Nishiyama	北海道東海大学 教授 Professor, Hokkaido Tokai University
//	平松 一彦 Kazuhiko Hiramatsu	東京大学 海洋研究所 助教授 Associate Professor, Ocean Research Institute, The University of Tokyo
//	細田 昌広 Masahiro Hosoda	国土環境(株) 環境情報研究所長 Director, Institute of Environmental Informatics, METOCEAN ENVIRONMENT INC
//	山崎 秀勝 <u>Hidekatsu Yamazaki</u>	東京海洋大学 海洋科学部 教授 Professor, Tokyo University of Marine Science and Technology
//	渡邊 良朗 Yoshiro Watanabe	東京大学 海洋研究所 教授 Professor, Ocean Research Institute, The University of Tokyo
//	井上 孝太郎 Kotaro Inoue	CRDS/JST 上席フェロー Principal Fellow, CRDS/JST
//	和智 良裕 Yoshihiro Wachi	CRDS/JST シニアフェロー Senior Fellow, CRDS/JST
//	鈴木 準一郎 Jun-ichiro Suzuki	首都大学東京 大学院理学研究科 助教授, 兼CRDS/JST フェロー Fellow, CRDS/JST/ Associate Professor, Tokyo Met University
//	東 美貴子 Mikiko Azuma	CRDS/JST アソシエートフェロー Associate Fellow, CRDS/JST

略語/List of Acronym

CRDS/JST Center for Research and Development Strategy, Japan

Science and Technology Agency

(独立行政法人科学技術振興機構 研究開発戦略センター)

G-TeC Global Technology Comparison (国際技術比較調査)

JAMSTEC Japan Marine Sciences and Technology Center (独立行政法人)

海洋研究開発機構)

UJNR The United States-Japan Cooperative Program in Natural

Resources(日米天然資源協力プログラム)

米国機関

DOE

DOC Department of Commerce (商務省)

- NOAA National Oceanic and Atmospheric Administration (海洋大気局)

DOD Department of Defense (国防総省)

GBMF Gordon and Betty Moore Foundation (ゴードン&ベティ・ムーア

(団規

JGI DOE Joint Genome Institute (DOE共同ゲノム研究所)

Department of Energy (エネルギー省)

MBARI Monterey Bay Aquarium Research Institute (モンタレー湾水族館

海洋研究所)

NASA National Aeronautics and Space Administration (航空宇宙局)

NIH National Institutes of Health(国立衛生研究所)
NMFS National Marine Fisheries Service(海洋漁業庁)
NSF National Science Foundation(全米科学財団)

NSTC National Science and Technology Council (国家科学技術会議)

ONR Office of Naval Research (海軍調査局)

OOI Ocean Observatory Initiative(海洋観測イニシアティブ)

SFEI San Francisco Estuary Institute (サンフランシスコ沿岸研究所)

SIO Scripps Institute of Oceanography, University of California,

San Diego(カリフォルニア大学大学サンディエゴ校スクリップス海

洋研究所)

USDA Department of Agriculture (農務省)

USGS U.S. Geological Survey(米国地質調査所)

WHOI Woods Hole Oceanographic Institution(ウッズホール海洋研究所)

ノルウェー機関

IMR Instituete of Marine Research (国立海洋研究所)

NIFES National institute of nutrition and Seafood research (国立栄養·

シーフード研究所)

オランダ機関

NIOO-KNAW Het Nederlands Instituut voor Ecologie (オランダ生態研究所)

NIOZ Nederlands Instituut voor Onderzoek der Zee (オランダ海洋研究

所)

NWO Nederlandse Organisatie voor Wetenschappelijk Onderzoek (オ

ランダ科学研究機構)

RIKZ Rijksinstituut voor Kust en Zee (国立沿岸海洋管理研究所) RIVO Rijksinstituut voor Visserijonderzoek (オランダ水産研究所)

英国機関

DTI Department of Trade and Industry (貿易産業省)

MBA Marine Biological Association of the United Kingdom (英国海洋

生物学協会)

MLA Marine Laboratory (海洋研究所)

NERC Natural Environment Research Council (自然環境研究会議)

NOC National Oceanography Centre, Southampton (国立海洋セン

ター, サザンプトン)

PML Plymouth Marine Laboratory (プリマス海洋研究所)

POL Proudman Oceanographic Laboratory (プルードマン海洋研究所)

SAHFOS Sir Alister Hardy Foundation for Ocean Science (Alister Hardy

卿海洋科学財団)

SAMS Scottish Association for Marine Science (スコットランド海洋科

学協会)

SMRU Sea Mammal Research Unit (海洋哺乳類研究ユニット)

訪問国以外

CEAB Centre d'Estudi Avancats de Blanes, Blanes, Spain

EMBL European Molecular Biology Laboratory(欧州分子生物学研究所)

IfM Institut fur Meereskunde, Hamburg, GermanyUO Universitat Oldenburg, Oldenburg, GermanyVKI Water Quality Institute, Horsholm, Denmark

国際機関等

GEF Global Environment Facility (地球環境ファシリティ)

IGBP International Geosphere-Biosphere Programme(地球圏・生物

圏国際協同研究計画)

-GLOBEC Global ocean Ecosystems dynamics (全球海洋生態系のダイナミ

クス)

-LOICZ Land-Ocean Interactions in the Coastal Zone (沿岸域における

陸域:海域相互作用)

IPCC Intergovernmental Panel on Climate Change (気候変動に関する

政府間パネル)

PICES North Pacific Marine Science Organization(北太平洋海洋科学機

関)

国 次

概要 Executive Summary	···· i
調査パネル List of G-TeC Panel	···· viii
略語 List of Acronym ······	···· ix
[1] はじめに	1
1.1 背景	
1.2 目的	···· 3
[2] 調査方法	··· 4
2.1 調査プロセス	··· 4
2.2 対象分野	··· 4
2.3 政策動向	···· 6
2.4 研究開発動向	
2.5 調査項目	·· 13
2.6 訪問対象国・機関、面会者	. 13
[3] 調査結果	· 16
3.1 全体概要	. 16
3.2 調査結果の検討	. 17
3.3 生態系モデリングと生態系管理(生態系管理分野)	. 19
3.4 観測情報とカップリングしたモニタリング・エコゲノミクス研究(生態系管理分野)・	. 26
3.5 生物資源の持続可能な利用(生物資源)	.32
3.6 マリンバイオテクノロジー研究 (機能遺伝子群)	.36
[4] むすび	40
[5] 謝辞	41
参考資料 Appendix (サイトレポート)	43

[1] はじめに

1.1 背景

人類が恒久的に発展を続けていくためには、地球環境の保全と食料の持続的な供給が必要である。海洋の生態系はバクテリア等の微生物やプランクトンなどの微小な生命体から植物、クジラにいたる大型の動物によって構成されている。そして、多くの海洋生物は植物プランクトンなどが生産する有機物質によって支えられている。また、地球環境は、海洋の微小生命体の活動によって、太古の酸素のない大気状態から現在の我々人類が生息可能な大気の状態に変化してきた。このように海洋の生態系は地球環境と密接な関係を為している。すなわち海洋生態系の変動と地球環境の変動は切り離して考えることができない。食料資源という点では、2050年の世界人口は約90億人(現在の1.4倍)に達し、GDPの向上と共に食の欧米化、並びに高品質化が進むと予測され、近い将来には動物性タンパク質が慢性的に不足するともいわれている(Figure 1)。1.2 この解決策として、耕地・放牧地面積を拡大して家畜や作物を増産することは、生態系機能の維持やエネルギー効率の点から見ても不可能である。人口問題を抱える発展途上国の多くが海洋に対する食料依存度を高めているように、海洋生物資源の利用が拡大されても、持続可能な生産体制

◆ 世界的な海洋生物資源の利用拡大の見通し

· 食糧資源増産:養殖への移行「家魚化」 現在の海洋産業14兆円、GDPの約3%

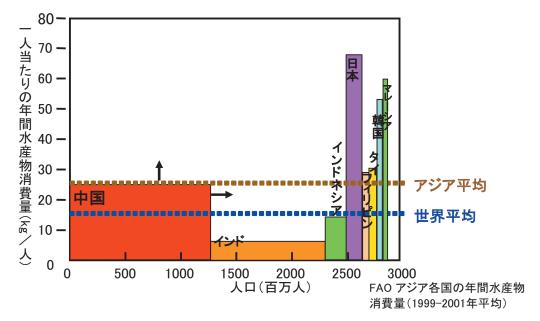


Figure 1 人口増加に伴う動物タンパク源(水産物)消費量の拡大の見通し

¹ 例えば、鶏肉1kgを作るためには、餌として3kgの穀物が要り、豚肉では5kg、牛肉には8kgの穀物が必要とされている。忍びよる食糧危機(高木善之)・栄光教育文化研究所(1998)より。

² Livestock to 2020 The Next Food Revolution 2001.3 社団法人 畜産技術協会 http://www.ifpri.org/japanese/2020/dp/2020dp28jp.pdf

が維持され続けることにより、陸上での食料生産に代わって増加する人口を支える可能性を持っている。また、海洋は、食料資源のみならず、抗生物質などの医薬品、化学合成が 困難な材料など多くの優れた資源的価値を有する。さらに浄化、人類に欠かせない機能や、 レクリエーション・学習の場としての(社会経済的)価値も有する。

世界最大の海洋生物資源の輸入・消費国であり、且つ国土の約12倍もの排他的経済水域を有する我が国は、近隣諸国をはじめとする世界の動向を感度良く捉えつつ、豊かな生態系を擁する海域・海洋生物資源の利用拡大と管理の量的・質的な改善を考えていく必要がある。

一方、社会経済活動の拡大に伴い、工業排水や生活排水の流入、非循環型の養殖・蓄養の拡大、過剰漁獲、埋立や海砂利の採取、隣国からの越境汚染の拡大等の影響により、藻場・干潟等の消失、海水の停滞、富栄養化、透明度の低下、漁獲量の減少など、海洋環境が大幅に劣化し、人間の健康や社会・経済への影響が顕著になりつつある(Figure 2)。特に、海洋生物資源は、水温、塩分、流れ、基礎生産等の海洋環境の変化や、漁業等の人間活動によってその再生産力が大きく左右され、有用資源の変動、大型クラゲの大発生等にも見られるように生態系を構成する生物相にも大きな変化が生じる。それに対し、生物捕食連鎖、熱塩循環、レジームシフト等の長期的変動をはじめとする生態系の機能や構造の把握が不十分なために、社会経済活動の拡大に伴う諸問題への的確な対応がなされてい

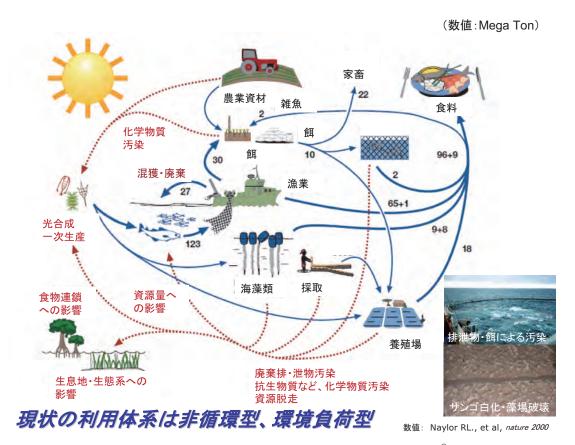


Figure 2 人間活動の海洋生物資源生産への影響(Naylor RL et al.3の図を参考)

-

³ RL Naylor et al., Nature 405, 1017 (2000)

るとは言い難い。

海洋生物資源を利用していくためには、モニタリングとモデリングに基づいた生物資源を含む生態系の現状把握とその変動メカニズムの解明と共に、生態系の管理手法 (Ecosystem based management、持続可能な利用技術、修復・保全技術の開発を含む)の確立に向けた研究開発の推進が緊急の課題である。

以上のような背景を踏まえ、CRDS/JSTの井上グループは、平成17年4月24日に開催したワークショップ「持続可能な発展を目指す生態系・生物多様性研究開発戦略プログラム」⁴で、「生態系の保全研究」および「生物資源の利用研究」が融合した「持続可能な経済発展」を充足するための研究課題を抽出した。

1.2 目的

本G-TeC調査は、上記(1.1)のワークショップで抽出された課題の中で、山林、河川などの流域圏とのつながりを考慮しつつ、沿岸から外洋に至る海域の生態系に対象を絞り、今後、日本が重点的に取り組むべき海洋生物資源の持続的利用と保全に関する研究分野について、日本および海外各国の研究開発状況の比較を行うことを目的としている。

⁴ CRDS-FY2005-WR-02 「科学技術の未来を展望するワークショップー持続可能な発展を目指す生態系・生物多様性研究開発戦略プログラム(代表コーディネータ 甲山隆司 北海道大学教授)」

[2] 調査方法

2.1 調査プロセス

調査のプロセスは以下の通りである。

- (1) CRDS/JSTにて、既に実施した国際 比較、各専門領域の研究者へのヒヤリ ング、学会動向調査を参考に、研究調 査対象(テーマ選定)の事前検討を行 なった(2.2、2.3、2.4)。
- (2) 研究調査対象の分野に精通した専門家を人選し、パネルを結成した。また、CRDS/JSTでパネルの主査(以下、「パネル議長」)を選出した(2005年8月後半)。



- (3) パネル会議においてパネル議長の承認と調査内容の検討を行なった(2005年9月)。
 - ・調査テーマ、項目(2.2、2.5)
 - ・現地調査国、機関および調査時期(2.6)
 - ・現地調査メンバー(2.6)

なお、調査内容・状況に応じて、適宜、パネルの追加を行なった。

- (4) 事前調査と事前送付用の質問状を作成した。
- (5) 調査機関へ質問状を送付した(2005年10月~)。
- (6) 現地訪問調査を実施し、現地調査内容をサイトレポートとしてまとめた (2005年 11月~12月)。
- (7) 現地調査後、国内研究機関の再度訪問や文献精査などの調査・検討を行い、日本の研究開発・技術力との比較および強化・推進すべき研究領域の確認と、その方策の観点から、報告をまとめた(2006年1月~2月)。

2.2 対象分野

1章で記述したように、本調査では、人類が恒久的な発展を続けていくために必要な海洋生物資源を巡る研究課題として、地球環境の維持と食料の持続的な供給が必要と考え、「海洋生物資源の持続的利用」と「海洋生態系の管理技術」に関する研究を対象とした。具体的には、Figure 3に示すような領域全体の研究開発に関係したキーワードの俯瞰を行い、これを踏まえ、海洋生物資源に関する持続可能性と我が国の経済・産業への寄与という観点から、以下の3分野を選定した。なお、調査対象分野における主な研究分野と研究成果の波及が期待される産業分野の例をFigure 4にまとめた。

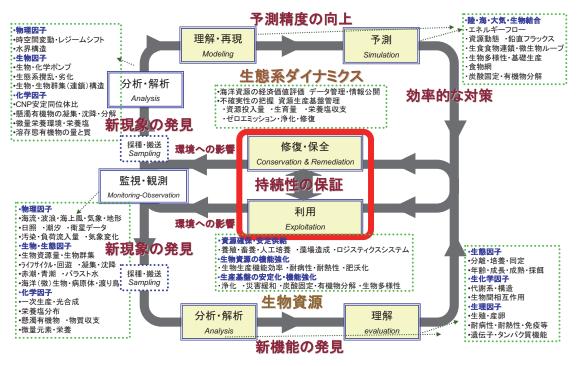


Figure 3 調査項目選定のためのキーワード俯瞰マップ(議論のたたき台)。人間が様々な利用形態で 恩恵を被る生物資源のサイクルと、それを支える基盤(生態系)サイクルが中央で「保全」と「利用」 によって交わり、それを如何に管理(持続性の保障)するかという視点で作成。実線で示されたボック スは研究カテゴリーを示す。波線のボックスは、研究対象の例を示す。

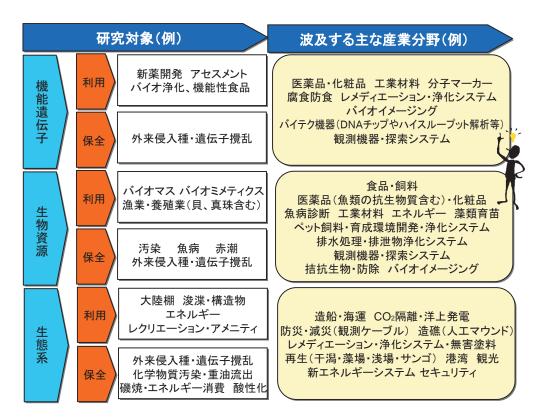


Figure 4 海洋生物資源の「利用」と「保全」に係る主な研究対象分野と波及が期待される産業分野

(1) 生態系管理分野(モニタリング・モデリング)

・保全されるべき機能を持つ「生態系」のモニタリング・モデリング手法の開発

- ・持続的に利用されるべき生物資源生産の場としての「生態系」のモニタリング・モデリ ング手法の開発
- (2) 生物資源の利用と保全
- ・食料資源としての持続的利用方法の確立
- (3) 機能遺伝子群の利用と保全
- ・人間生活をゆたかに(質的に改善)する有用物質をコードする遺伝子資源の探索 また、調査対象分野の状況を把握するにあたり、日本及び世界各国について以下の事前 調査を行なった。
- (1) 政策動向(2.3)
- (2) 研究開発動向(2.4)

2.3 政策動向

「海洋生物資源の持続的利用」と「海洋生態系の管理技術」に関する各国の主な政策動向は以下の通り。⁵

2.3.1 日本

- ・2005年2月に第3回地球観測サミットで承認された「全球地球観測システム (GEOSS) 10年実施計画」における地球観測に関する作業部会の共同議長を務めるな ど国際的なリーダーシップを発揮している。GEOSS10年実施計画に向けた衛星など によるリモートセンシング技術の向上や自動ブイによる3次元的な海洋物理環境モニタ リング環境が整備されつつある。
- ・総合科学技術会議 基本政策専門調査会 分野別推進戦略プロジェクトチーム (PT) において、第3期科学技術基本計画における分野別推進戦略を検討中。環境PTでは、生態系管理研究領域および水・物質循環と流域圏研究領域における「生態系の構造・機能の解明と評価」、「生物資源利用の持続性を妨げる要因解明と影響評価技術」、「生態系保全・再生のための順応的管理技術」等やライフサイエンスPTでは「食料分野、環境分野における微生物・動植物ゲノム研究」等の重点課題が提案された。

2.3.2 米国

◆ 米国海洋政策委員会

ブッシュ大統領は、海洋法 (Oceans Act 2000) に基づき設置された海洋政策審議会の勧告を受けて (2004年9月)、閣僚級の海洋政策委員会 (US Commission on Ocean Policy, 2004年12月) の新たな設置等をうたったUS OCEAN ACTION PLAN (行動計画) に署名。設置に至った背景をFigure 5 に示す。

⁵ 現地調査国以外の政策動向については、「海洋白書2005 (海洋政策研究財団)」や「海洋と日本ー21世紀の海洋政策への提言(海洋政策研究財団;pp32-33)」に詳細情報が掲載されているため参考のこと。

Figure 5 米国海洋行動計画策定に至る経緯

行動計画に基づき「Ecosystem Based Management(生態系を基盤とする環境・生物資源管理)」を目的とする海洋管理の取り組みに関する検討が始まると同時に、GEOSS 10年実施計画に係る統合海洋観測システム計画(IOOS)等、様々な関連プロジェクトが新たに立ち上がり、海洋生物資源や生態系の管理への積極的な取り組みがなされつつある。なお、行動計画には、NSTC Joint Subcommittee on Ocean Science and Technology(海洋科学技術に関するNSTCジョイント分科会、JSOST)⁶が、2006年12月の完成を目指して作成中の海洋研究優先計画(Ocean Research Priorities Plan)についても触れられている。この優先計画では、全く新しいプロジェクトを作成するものではなく、行動計画にも記載されていたキーテーマを中心とする以下の既存のプロジェクトのインベントリーに近い内容になるという。これは、イラク戦争やハリケーン被害による、米国政府の予算上の制約が主たる理由である。

- ・IOOSを含む全球地球観測ネットワークの構築
- ・全米水質モニタリングネットワークの構築
- ・海洋と健康、有害藻のブルーム、貧酸素に関する新たな法律の施行
- ・海洋教育の展開、等

なお、上記優先計画に関連すると示唆されているプロジェクトの動向は以下の通り。

Appendix

· 生態系管理:

_

⁶ http://ocean.ceq.gov/about/jsost_workshop/welcome.html

「生態系管理」が、海洋イニシアティブのキーワードとなっている。具体的な管理方策 については検討中。

· Census of Marine Life (CoML):

2000年に開始した、70以上の国々の研究者の参加による、世界の海洋について、生物多様性、分布と個体数を調査し、解明する事を目指す10カ年計画プロジェクト。HMAP(過去500年の変遷)、FMAP(未来予測)、SCORE(技術開発)等の5つのコンポーネントと、NaGISA(渚の自然生物地理)やTOPP(太平洋の遊泳魚の標識調査)等の7のフィールドプロジェクトで構成。米国のCORE(Consortium for Oceanographic Research and Education)が事務局。なお、海洋政策委員会委員長であるJames D. Watkins氏がCOREの設立者であることと、現NOAAの理事であるLautenbacher氏がCOREの前理事長であったことから、CoMLは、脚光を浴びつつある。現在、2010年のプロジェクト終了後の展開策として、世界6地域(3大海域の南北/東西地域)への海洋生物多様性COEの設立を目指し、GEFの支援獲得に向けた活動を行っている。

・スミソニアン海洋科学イニシアティブ:

スミソニアン自然歴史博物館が、NSF等とのパートナーシップにより、アウトリーチ活動を主な目的とした活動を展開中。イニシアティブとして、①最新の話題を提供する「海洋ホール」の設置、②ポータルウェブの充実、③海洋科学センターの設置(2008年オープン)をあげている。7

・アウトリーチ

OCEANS MTS/IEEEやOcean Sciences Meeting等の主な海洋関連会議において、 元NOAA長官のD. Jim Bakerをはじめ、上記スミソニアンやCoMLが積極的、且つ大規模なアウトリーチ活動を呼びかけている。

・3~200海里水域における研究:

米国では、3海里(mile)までの海域は、州の管轄になる。3~200海里は、政府の管轄となり、この海域での資源探索をはじめ、研究開発を進める予定。沖合(潜水式)・

深海漁業についての研究開発も含まれる。上院における海洋政策分科会の委員長John Sununu議員によれば、新たなイニシアティブでの比重は大きくないものの、ニューハンプシャー大学(Figure 6)のThe Open Ocean Aquaculture Program (OOA)⁸、NOAA、NMFS、ハワイ大学、ウッズホール海洋研究所等の沖合養殖の取り組みに注目。⁹





Figure 6 沖合養殖の風景。ニューハンプシャー大学ホームページより転載(http://ooa.unh.edu/)

⁷ http://www.mnh.si.edu/ocean/pdf/OSI_pdf_Sept7.pdf

⁸ http://ooa.unh.edu/

⁹ OCEANS 2005 MTS/IEEE (2005年9月18-23日) にてJSTがインタビュー

2004年12月に、議会はOceans and Human Health Act (海洋と人間の健康法)を制定した。これに基づき、新たなイニシアティブの下で、海洋生物資源の機能を利用した医薬品開発を推奨。また、水質汚染や有害藻のブルームなどが、人間の健康に与える影響評価について、沿岸域、五大湖やチェサピーク湾を対象に行う予定。

◆ その他、省庁関係

・NSFと農務省CSREES¹⁰が共同で、微生物ゲノム解析プログラム (Microbial Genome Sequencing Program) のファンディングを行う。土壌、森林、水、海洋等に生息する微生物を対象として、生態系や地球化学サイクルにおける役割の解明、システムズバイオロジー、代謝生理などの生化学的な解析、ハイスループットスクリーニング方法の開発など研究対象は多岐にわたる。

2.3.3 EU

・欧州委員会は、水産業・海洋環境管理に関する新たな欧州海洋環境戦略を2006年前半 に発表予定。11漁業総局(DG FISH)内に特別タスクフォースを設立。

2.3.4 英国

- ・気候変動研究分野における世界のリーダーをめざす(G8グレンイーグルズサミット)。
- ・上記に関連し、NERCは今後3年間の優先投資分野として、次の3分野を挙げている。 ①気候変動(予測精度の向上、気候変動によるインパクトの軽減)、②地球生態系のサポートシステム(水、生物地球化学サイクル、生物多様性)、③持続可能な経済(エネルギー、土地利用、災害被害の軽減)。中でも、気候変動の予測精度を飛躍的に改善するために、不確実性の大きな、大気・エアロゾル、海洋循環、極域(南極)の環境研究への投資を重点的に行う。現在、気候変動研究では、RPIDプログラムにより米国NOAA、NSF、ノルウェー、オランダと共同で観測・予測研究に取り組んでいる。また、気候変動の対策技術にも注力し、北海油田での海中隔離研究とそれに付随する生物多様性の影響評価研究を進めている。
- ・NERCのボトムアップ型の研究助成であるブルー・スカイ(Blue-skies)助成と、国際的な枠組みの下、極域を集中的に観測する第4回国際極地年(International Polar Year/2007-08)等の活動を利用したトップダウン型の戦略研究分野助成の両方において、大規模な学際的プログラムへの投資を増加させ、英国の環境科学の強化を図る。12
- ・NERCの戦略目標の直接的な実施とインフラの持続性に重点を置くため、ほとんどの NERC下の研究・共同センターでは、それらの戦略プログラムを更新し、NERCの目標

¹⁰ http://www.csrees.usda.gov/

http://europa.eu.int/comm/environment/water/marine/dir_505_en.pdf http://europa.eu.int/comm/fisheries/maritime/communications en.htm

¹² http://www.nerc.ac.uk/funding/grants/grants.shtml

達成に向けた活動を行う。主な実行目標は以下の通り。

- ◆ 英国の陸上と海中環境の三次元調査に基づくモデル化により、社会・経済的発展と環境保全との両立に重要な基礎的な地理・環境(geo-environmental)情報の提供が期待されている。また、国内外のパートナー機関と共に遠隔探査技術を開発することや、英国研究者の高性能コンピュータへのアクセスの確保も掲げている。
- ◆ 技術(知識)移転活動として、各研究センターから得られた成果を商業化するための パートナーシップの設立、企業との共同研究の促進、企業と共同で行う訓練と教育への 支援、政策への科学的知見の反映(science-into-policy)活動、研究優先テーマ設定 における国民及びエンドユーザーの参加等が挙げられている。
- ・イノベーションに向けた研究開発を目指す。EUのリスボン戦略や他の国と同様の「世界トップクラスの研究を行うこと」と「研究成果の産業界への知識(技術)移転を目指す」ことを目的とし、「科学とイノベーション:今後10年間の投資フレームワークに向けて」を2004年3月に公表した。
- ◆ イノベーション戦略に関連し、2005年1月、DTIは、「革新的な開発に向けたマリンバイオテクノロジーの可能性」についての海外比較・提言レポートを発表した。¹³このレポートによると、英国はグローバルな市場で、海洋生物からの抗がん・抗ウィルス化合物の抽出や、サンゴから採取した骨の代替物となる原料の利用、環境汚染や毒素を取り除くセンサーの開発などで成功を収めていると報告。
- ・NERCの研究/協力7機関が合同で、2007年から2012年にわたる戦略研究プログラムをまとめたOCEANS 2025¹⁴を作成中(現在、ドラフト資料の公開)。IPCCや王立協会のデータを元に2025年の社会像を描き、それに向けて行うべき研究テーマと横断テーマを挙げている(Table 1)。

¹³ A STUDY INTO THE PROSPECTS FOR MARINE BIOTECHNOLOGY DEVELOPMENT IN

http://www.dti.gov.uk/pdfs/FMP_MBG_Volume_1_Final1.pdf, http://www.dti.gov.uk/pdfs/FMP_MBG_Volume_2_Final.pdf

¹⁴ http://www.mba.ac.uk/oceans2025.pdf

Table 1 OCEANS 2025の展望 (OCEANS 2025ドラフト報告書の情報を元にJSTで仮訳)

NERC優先領域	戦略研究テーマ		NERC海洋研究機関 NOC POL PML MBA SAHFOS SAMS SMRU						 主なステー	・クホルター	関連プロログラム		
(国家ニーズ)		720-		NOC	POL	PML	MBA	SAHFOS	SAMS	SMRU		Defra,	N.E. J. L. J. J. J. L.
グローバル 地球の生命 持続可能 変化 支持システム な経済		1	海洋大循環、海面 レベルと気候									OC, NSF,	RAPID, QUEST, IPY, GLOSS
	理解と予測精度の	2	海洋生物地球化学 サイクル										UK SOLAS, QUEST, Marine Genomics, MarBEF
		3	暗礁(岩棚)・沿岸プロセス										RELU, FREE
	向上	4	生物多様性と生態 系機能								BAS, CE	Н	MarBEF, GLOBEC, HERMES, Marine Genomics
		5	深海、フロンティ ア環境と大陸棚								WHOI, 炭	GS, NSF, 化水素産業	HERMES
基盤技術	持続可能な解決策	6	持続可能な海洋生物資源と海洋空間 利用計画								SEERAD FRS, DTI ICES, エネ	S, Defra, , CEFAS, l, UKERC, ルギー産業	GLOBEC, HERMES, MarBEF
		7	健康と人体への影響								MRC, De NHS, We	efra, FSA, ellcome	
		8	技術開発									サ技術産 iQ, DSTL	
		9	次世代海洋変化予測								Hadlery	MetO/	
			海洋環境の連続観測									SEERAD, ce, NCOF	HERMES
戦略海洋ファンディング イニシアティブ(SOFI)		ッドヨ	ネットワーキングテ Eデル、システムズハ 等)							セス、	HEIS		
		_	地球観測								NERC E	O center	
		C2	分子生物・バイオ テクノロジー								DTI, Blue 産業	eバイテク	
		СЗ	データ管理と情報 提供サービス								IOC, IA NBN, UK	ACMST, (HO	
他の主な基盤研究	C4		長期観測									BN, EA, EN, IH, JNCC, ; IACMST	GEOSS, GOOS, NMMP
		C5	探索調査とマッピング								HEIs		
		C6	国有設備								SMEs		
		C7	社会と科学								MarLIN		

2.4 研究開発動向

本調査に関係する日本の研究開発動向を把握するために、「平成十八年度海洋開発関連経費概算要求の概要」¹⁵を元に、各省庁が推進する主な既存の海洋研究プロジェクトをFigure 7にまとめた。また、欧米についても同様に、大型海洋研究プロジェクトをFigure 8にまとめた。これらFigures 7、8について、オレンジ色に着色した「保全」と「利用」の融合領域のプロジェクト内容ついて、特に注目した。

また、上記「海洋開発関連経費概算要求の概要」および米国海洋政策審議会(CEQ)が作成した「FEDERAL OCEAN AND COASTAL ACTIVITIES REPORT」¹⁶を元に、日米の海洋研究開発費をFigure 9にまとめた。

¹⁵ 平成十七年十月 海洋開発関係省庁連絡会議作成

¹⁶ http://ocean.ceq.gov/activities/o_c_activities.pdf

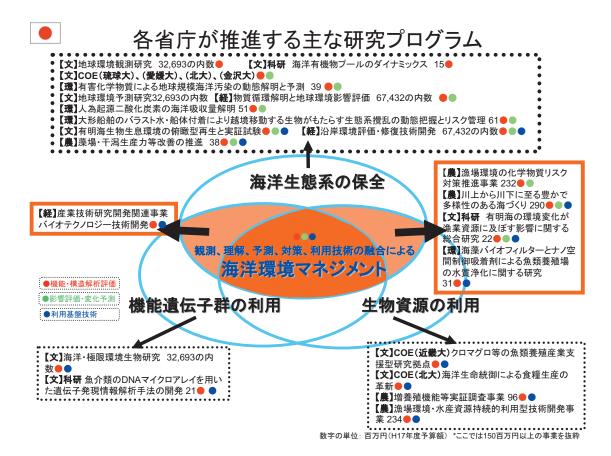


Figure 7 各省庁が推進する主な海洋研究開発プログラム

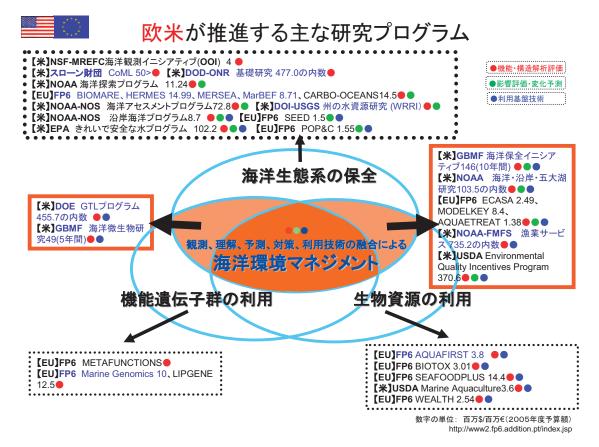


Figure 8 各国の主な研究プログラム (米国連邦政府海洋・沿岸活動報告書、EU FP6-EurOOCEANのプログラムデータを引用)

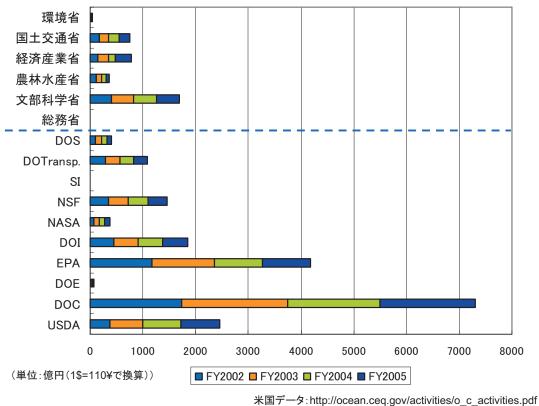


Figure 9 日米 政府機関の沿岸・海洋関連研究予算(過去4年の累積)¹⁷

2.5 調査項目

各国への現地訪問調査における共通調査項目をパネルにて検討した。また、本項目に 沿った質問状を作成し、訪問機関へ事前に送付した。

- (1) 調査対象分野における先導的な研究と要素技術の開発への取り組み (機関レベル)
- (2) 産業化への取り組み(機関レベル)
- (3) 特筆すべき事項(機関レベル)
- (4) 国家政策、重点研究領域、国際研究計画・プログラムへの貢献度(国レベル)
- (5) 研究機関の概要(研究体制、予算、人員、能力、設備内容)(機関レベル)

2.6 訪問対象国・機関、面会者

以下2点の基準から、Table 2の調査対象国・機関を選定した。

- (1) 新しい概念・手法で研究分野・技術を開拓し、先導する機関・研究者
- (2) 国際的な研究プログラムに参加し、中核的な役割を果たす研究機関・研究者 (Figures 7、8のオレンジ色の融合研究領域)

¹⁷ http://ocean.ceq.gov/activities/o_c_activities.pdf http://www.cordis.lu/fp6/projects.htm

ここで、訪問対象国については更に優先順位をつけて絞り込んだ。また、今回の調査からは、文献や日本国内で開催される国際シンポジウム等である程度状況が把握できる以下の機関は敢えて対象外とした。

- ・ゲノミクス・プロテオミクス研究、生理化学、深海生物探索研究(高性能のROV等を有する)等の分野で有力なフランス(IFREMER¹⁸、CNRS、INSU、CEVA、University of Evry等)
- ・ゲノミクス・プロテオミクス研究の分野で有力なドイツ (Alfred Wegener Institute、 Max Planck Institute等)
- ・米国(WHOI、海洋生物学研究所 (MBL)、Harbor Branch海洋研究所、Moss Landing海洋研究所、ワシントン大学、ハワイ大学等)
- ・カナダ (IMB等)

Table 2 訪問機関、面会者、訪問者リスト

グループ1 (米国西海岸地域)

訪問者:山崎秀勝、櫻本和美、近藤逸人、東美貴子

訪問日	訪問機関	面会者				
2005/10/31 (Mon)	スタンフォード大学 (Stanford University)	Prof. Stephen Monismith, Director Dr. Mike Conner (SFEI)				
2005/11/1 (Tue)	UCバークレー (Dep. Integrative Biology, UC Berkeley)	Prof. Tom (Zack) Powell Prof. Mimi Koehl Prof. Mark Stacey (Civil Engineering)				
2005/11/2 (Wed)	カリフォルニア州資源局 (Ocean and Coastal Policy, California Resources Agency)	Brian Baird, Asst Secretary Dr. Mike Conner (SFEI)				
2005/11/2 (Wed)	ゴードン&ベティ ムーア財団 (GBMF)	Dr. David Kingsbury, Director Dr. Lita M. Proctor, Senior Program Officer Dr. Michael Webster, Program Officer Dr. Mike Conner (SFEI)				
2005/11/3 (Thu)	サンフランシスコ沿岸研究所 (SFEI)	Dr. Mike Conner, Executive Director Prof. M. Stacy (UC Berkely) Dr. John Oran, Dr. Andrew Cohen Dr. Bruce Thompson, Dr. Jay Davis Dr. Don Yen, Dr. Letitia Grenier				
2005/11/4 (Fri)	モンタレー湾水族館研究所 (MBARI)	Dr. Marcia K. McNutt, President & Chief Executive Officer Dr. Chris Scholin, Science Dept Chair Dr. Robert C. Vrijenhoek, Senior Scientist William J. Kirkwood, Associate Director Dr. Francisco Chavez, Senior Scientist				
2005/11/4 (Fri)	スタンフォード大学ホプキンス 海洋試験場 (Hopkins Marine Station, Stanford University)	Prof. Steve Palumbi				

_

¹⁸ http://www.ifremer.fr/francais/

グループ2 (米国西海岸・UJNR参加)

訪問者:生田和正、協力者:田中祐志(東京海洋大学)、森田貴巳(中央水産研究所)

訪問日	訪問機関	面会者
2005/11/7-9 (Mon-Wed)	UJNR 養殖パネル第34回シン ポジウム	Dr. James P. McVey, Program Director of Aquaculture, Nat. Sea Grant College Program 他UJNR参加者
2005/11/9 (Wed)	カリフォルニア大学サンディエ ゴ校スクリップス海洋研究所 (SIO)	Dr. Lisa R. Shaffer, Director, Policy Program and International Relations

グループ3(欧州; オランダ、イギリス、ノルウェー)

訪問者:西山恒夫、岸道郎、平松一彦、東美貴子

訪問日	訪問機関	面会者					
2005/11/21 (Mon)	オランダ生態研究所-河口・沿 岸生態センター (NIOO-KNAW)	Prof. Carlo.H.R. Heip, Director Prof. Peter M.J. Herman, Head Dr. Jacco C. Kromkamp, Senio Organizer Prof. J.B.M. Middelburg, Senio researcher					
2005/11/22 (Tue)	プリマス海洋研究所 (PML) Alister Hardy卿海洋科学財団 (SAHFOS)	Prof. Nicholas JP Owens, Director Dr Ian Joint, Dr Sohali Ali, Jerry Blackford Icarus Allen, Dr David Robins, 他 (PML) Dr. Phillip C Reid, Director (SAHFOS) Roger Barnard, Technitian, 他 (SAHFOS)					
2005/11/23 (Wed)	サザンプトン国立海洋センター (NOC)	Prof . Peter Burkill Prof. Paul Tyler, Head, Dr. David					
2005/11/25 (Fri)	ベルゲン大学 (The University of Bergen)	Prof. Hans Petter Sejrup, Dean Prof. Jarl Giske, Prf. Ivar Ronnestad Clelia Booman, Research Coordinator Dr. Hans Ingolf Hoie, Postdoktor Prof. CF Christoffer Schander Dr. Reidar Handegard, ILAB Dr. Egil Ona, Principal Scientist (IMR) Dr. Hans Tore Rapp, Postdoktor, ILAB					
2005/11/25 (Fri)	ノルウェー国立海洋研究所 (IMR)	Dr. Ole Arve Misund, Research Director Tore Nepstad, Managing Director					

グループ4 (米国東海岸地域)

訪問者:小池勲夫、木暮一啓、永田俊

訪問日	訪問機関	面会者				
2005/12/8 (Thu)	マサチューセッツ工科大学 (MIT)	Prof. Edward F. DeLong				
2005/12/9 (Fri)	ハーバード大学 (Harvard University)	Prof. Ralph Mitchell Dr. Chiristopher J. Mcnamara				
2005/12/10 (Sat)	デラウェア大学 (University of Delaware)	Prof. David L. Kirchman				
2005/12/12 (Mon)	メリーランド大学マリンバイオ テクノロジーセンター (CoMB, University of Maryland)	Associate Prof. Anwarul Hug Prof. Shiladitya DasSarma Dr. Yossi Tal				
2005/12/12 (Mon)	メリーランド大学バイオイン フォマティクス・コンピュテー ショナルバイオロジーセンター (CBCB, University of Maryland)	Dr. Ivor T. Knight				

[3] 調査結果

3.1 全体概要

対象3分野について調査した結果、得られた特筆事項(Table 3)や国外の主な取り組み等を以下に示す。詳細については、本章3.3~3.6、およびAPPENDIXのサイトレポートに示す。

. 下层之后,十八百万余。	清外国の王44世の田4	米国(100S)での最優先課題。 米国NSFのファンドによる特定海域の長期モニタリング やNOAA、英国SOC等における動物プランクトンのデー タは、地球環境の把握に大きく貢献するものである。	米国DOE、GBMFの海洋徴生物イニシアティブ、UC Santa Barbara、BBSR(バミューダ生物研究観測所)、 バージニア海洋科学研(BATS)、メリーランド大学 COMB、ハワイ 大 学 (HOT)、MIT、J.C. Venter Institute、EU Marine Genomics Europe(MGE)、フランスCNRS、ドイツEMBL、ノルウェーベルゲン大学等	ハワイ大学 (HOT)、バージニア海洋科学研 (BATS)、NOAA BENOC等	CoMLにおけるツール開発グループ MBARI、MIT等	米国IOOSイニシアティブ,NOAA EU漁業総局の海洋戦略 ノルウェーIMR等	ノルウェーIMR、ベルゲン大学 米国チェサピーク湾周辺研究機関、SIO、NMFS、ニュー ハンプシャー大学、ハワイ大学、Oceanic Institute、 Harborbranch Oceanographic Instituteその他企業等	デラウェア大学 US-DOD、NACE 米国腐食学会 モンタナ州立大学 英国PML等	米国メリーランド大学CoMB、J. Craig Venter、DOE、オーストラリアAIMS、James Cook大学、カナダNRC-IMB、イタリア・ナポリ臨海実駿所、ドイツEMBL、ノルウェーSars国際海洋分子生物学センター、フランスCNRS、IFREMER、英国PML、MBA、ドイツ(GBF, Max-Planck-Institut等多数
H. H.		DMAC(Data Management and Communications)がキーワード。観測・解析データの品質向上(標準化)や生態系管理モデルの精度向上のため、観測・解析データの品質管理と利用者側のニーズ(使いやすさ)に基づく成果物(モデル、データベース)の改変等。	海洋環境中の生物集団のメタゲノム解析から得られる遺伝子発現・生理生態データと、海面温度、クロロフィル濃度分布等の衛星観測データ、及び温度、流速、栄養塩濃度等の現場観測データとのカップリングによるマルチスケールでの環境変化の把握。将来的には、リモートセンシングによるデータの連続・リアルタイム取得が可能となり、生態系管理を行う上で重要な役割を果たすと見られる。	マクロスケールの熱塩循環とマイクロビアルループ(微生物補食連鎖)等の部分スケールでの炭素・窒素・リン・シリカ等の生物元素の循環・動態との量比的データをカップリングし、海洋循環の理解とモデルの精度向上につながる研究。これにより、レジームシフトや(海洋)気象等の変化に対する生態系の変化について精度をより高めた解析が可能となる。	3次元の生物同定・分類システムや情報処理技術の高度化によるミクロ生物の画像解析システム開発検討やリモートセンシングによるDNA自動解析装置、音響アレーや生物の鳴き声による資源動態・相互作用の解析技術など、自律・自動・高精度を目指したツール開発の進展が近年著しい。	人工衛星による海洋環境の連続的把握、遺伝子解析による資源の動態把握など、近年の新しい技術の導入にも助けられ、生態系の仕組みを積極的に取り入れたモデルを利用した資源管理へと発展。 生物資源管理を行う上で、海洋生態系のレジームシフト等、変動メカニズムが未解明の現象が多く、生態系管理を行う上で、ネスら現象の解明は必須課題。	魚類養殖システムとその基盤となる人工制御型の養殖関連機器開発、自発摂餌システム、ワクチン開発、新種苗開発技術等、陸上養殖などを含めたゼロエミッション型の養殖システムヘシフトしていくことが重要。	設備・構造物の長寿命化、塗料などの有害化学物質の使用禁止という視点から、 微生物複合体 (バイオフィルム、バイオマット) による生物付着と構造物等の表 面との電気的・物質的な相互作用についての研究が米国や英国で長く取り組まれ ている。我が国でも、金属材料系企業などの微生物による腐食・防食についての 取り組みが年々活発化している。	かつて、日本の十八番であった分野。諸外国が化粧品会社等との産学連携の取り 組みを強化し、生物多様性に関するDBの拡充や大規模サンプリング調査等の研究基盤を固めて、新規生理活性物質の抽出・合成などの成果をあげている。海外各国の日本に対する評価の多くは、「経済産業省やJAMSTECでの活発な取り組みは過去の話」と見なしている。
	1 相目	データの品質管理	生物地球化学的観測データと生物がノムデータと もゲノムデータ とのカップリング	ロネルギー に栄養 施・必須 に来る に素の生態学的 ストイキオメト リー(量比的関	モニタリング技術開発	生態系の仕組み をベースにした 海洋生物資源の 管理	W だっエニッショ	生物活動による 構造物等の劣化 の科学	遺伝子 一様 一様 一様 一様 一様 一様 一様 一様 一様 一様
É	行即	升	管理分野(モニ	タリング・モデリ	ンング)	ŧ	機能遺伝子群分野		

3.2 調査結果の検討

調査結果を踏まえ、産業競争力の強化、研究基盤の整備、オリジナリティの視点から日本が今後重点的に取り組むべき研究課題の検討を行った。

- (1) 生態系管理(モニタリング・モデリング): 海洋生物資源の持続的利用のための生態 系管理研究として、特に生態系の食物連鎖の関係を積極的に導入したモデル研究と、モデルの不確実性を小さくするための観測データの拡充と品質管理が必要である。また、生態系機能に基づいたモデリングとモデルを用いた生物資源管理は、世界的に見て重要な課題の一つである。
- ・レジームシフトや地球温暖化に伴う海洋生態系の構造的変化は長期モニタリングを通じてのみ把握可能である。日本には、戦前から行われてきた世界にも貴重な海洋モニタリングデータ群や、CoMLでも活用される大量の水産資源データ(水産庁)がある。最新の観測・解析方法を導入しつつ、高機能のデータベースとして、今後も継続・整備していくことが大切である。
- ・観測データの品質管理として、観測・実験データの共有化と、データの品質管理への取り組みを強化する必要がある(DMACの徹底)。例えば、利用者ニーズを踏まえた相互利用性・情報サービス機能の充実化に向けた体系化・視覚化など。
- ・サブグリッドスケールの乱流や拡散・混合等の諸物理過程の適正なパラメータ化は、モ デルの精度向上に欠かせない。
- ・観測情報とカップリングしたエコゲノミクス研究の推進は、海洋環境の状態をより精密に把握できるという利点があり、取り組みが必要である。単にタンパク質や代謝産物を環境中から検出しても意味はなく、そこに海洋現場の観測データをカップリングすることが、次世代の環境モニタリングシステムを構築するという視点からは重要。米国MBARIにおける先端観測機器開発、DOE等におけるゲノミクス研究基盤の充実、世界の海で微生物の採種を行うという組織・機動力を鑑みて圧倒的に研究をリードしている米国とは大きく異なる研究の切り口が、我が国には求められる。例えば、ターゲット(微)生物(原核/真核生物、泥炭、沿岸、共生系、深海等)を、米国DOEやGBMF等が重点的に解析を進めるバクテリア群とは異なるものにすることや、解析が困難であるがために世界的に未着手な糸状菌を対象にするなど。
- ・複合微生物群の活性検出が可能な低コスト、省力、且つ高速・高精度な次世代解析技術 (既知遺伝子との相同性が低い新規ORF の機能推定など)や、ミクロ生物の同定のため の3次元の観察システム、画像認識システム等のツールの開発が必要。米国やノル ウェーをはじめとする各国が特に注力。また、研究基盤として、膨大なゲノム情報を意 味のある結果として解析するためには、コンピュータサイエンス(ソフト開発、バイオ インフォマティクスツール、プラットフォーム等)とゲノムサイエンスとの融合・連携 とトランスクリプトミクス等の解析データアーカイブ構築が必要。
- (2) 生物資源:海洋生物資源の持続的利用のためには、生物の生態学的特性をふまえた適

切な管理が重要である。近年、単一の資源生物ではなく、生態系の仕組みを基礎とした生物資源管理「Ecosystem Based Management」がキーワードとして各国で唱えられている。このような資源利用(管理)研究は、人工衛星による海洋環境の連続的把握、遺伝子解析による資源の構造把握などの新技術の導入に助けられ目覚ましく進歩しており、生態系の仕組みを積極的に取り入れたモデルを利用した資源管理へと発展している。地球環境の変化に伴う生態系の変化を予測し、持続的利用が可能な生物資源管理を行うには生態系の仕組みを正しく理解することが不可欠である。

- ・海洋生態系のレジームシフトのメカニズム解明と、それに伴って大変動する生物資源の変動メカニズムの解明、および自然変動する生物資源の管理手法の確立。日本の海面漁業生産量は、ここ20年間に約50%以下に減少している。海洋生物資源は、レジームシフトに伴って大変動することからも、安定的な確保に向けてそのメカニズム解明は重要課題である。また、生態系の変動モデルに基づく資源管理はこれからのアプローチとして期待されている。
- ・バイオフォーリングなどによる海中構造物の劣化・腐食の基礎的メカニズム解明による、 生物資源利用基盤の高効率・長寿命化への挑戦。また、劣化・腐食分野の産業価値は非 常に大きい。
- ・魚病防除、漁場環境改善、水浄化・脱窒素、高効率飼料、自発摂餌システム、完全閉鎖養殖系、などの技術開発による魚類養殖生産効率の高度化が必要。自然・人為災害による被害や漁場汚染、魚病被害の排除を目指す次世代の生物生産システムへの移行に向けたこれらの要素技術の開発が基礎となる。ただし、技術的ブレークスルーの壁と共に、コストの問題の壁も大きいという問題が残る。しかし、サケマス類では、飼料効率がすでに1.2まで進んでいる(餌1.2kg(乾燥重量)で魚1.0kgを生産)。我が国の生物(家畜)生産技術の優位性から見ても、魚の育種や飼料開発の潜在力(ポテンシャリティ)の高さに注目すべき。
- ・コスト問題をクリアしつつ、養殖技術の自動化に向けて飼料用のマリンサイレージ研究 や自発給餌システム(無駄な給餌と残餌を削減する管理システムで、光ファイバーセン サーの利用が多い)等の要素技術開発の課題が残る。水処理や給餌技術は、フランス、 ノルウェー、米国などでの取り組みはあるものの、日本の水処理技術のレベルの高さを 例にとっても、世界的にも優位性がある分野である。
- (3) 機能遺伝子群:ポスト・ゲノム関連技術の中でも、マリンバイオテクノロジー研究は 技術的インパクトが大きく、産業技術シーズとしての重要性が益々高まってきている。 21世紀の産業活動におけるイノベーションは、「持続可能性」を基盤とした資源の有効 利用や安全・安心な物つくりとして進展するものと考えられる。
- ・これまで、機能遺伝子群の多くをコードする微生物について、取り扱いが容易で生理機能の理解が容易な単細胞生物を、純粋、且つ大量に培養するという手法により、機能遺伝子群を活用してきた。また、極限環境の生物探査などの一時のトレンドも、ターゲットとする機能遺伝子群の情報が飽和状態に近づいてきている。よって、今後は、未だ十

分に解明されていない微生物の生存機能の特徴である環境適応性、効率性、安定性について取り組むことで、新たな機能遺伝子群の獲得が期待される。

- ・複雑な相互作用系を有する複合微生物系等、その機能解析のために必要となるツール・ システム開発は、これまでの技術の拡大・改良ではなく飛躍的なイノベーションが期待 される。
- ・環境修復等の製品分野では米国がリードするが、化粧品分野等での実用化は欧州が追随していることから、ターゲット分野や製品製造について、比較的特許取得数の多い分野(産業用酵素製造、CO2固定化技術、バイオモニタリング)を強化することや日本の強みであるシステム構築・エンジニアリング・加工技術(付加価値技術)分野を生かした大きく異なる研究の切り口が求められる。
- ・世界の情報把握と技術のキャッチアップのため、生物多様性ネットワーク(CoML、MarBEF)などの国際共同研究への積極的な参入が必要。生物多様性の「どこに」、「どのくらいの近縁種が」、「どのような条件で」というようなインベントリーは、国際的な機能遺伝子資源の獲得競争に勝つための道筋を教えてくれる海図のような役割もあることを認識する必要がある。

3.3 生態系モデリングと生態系管理(生態系管理分野)

海洋生態系は、地球規模~陸上からの淡水流入等の海水の流動、及び混合拡散などの物理特性と、その結果生じる栄養塩濃度分布特性と大小様々な生物によって構成されている。また、海洋生態系は陸域、海底および大気と接しそれぞれと相互作用しながら、成り立っているという非常に複雑な系である。よって、海洋生態系の機能と構造を充分把握しなければ、その利用と保全を行っていくのは困難である。

そのため、現場での観測(モニタリング)とその対象とする現象の数値モデル(モデリング)をバランス良く活用する必要がある。モデリングは、生態系の様々な現象の把握手段とその予測手法としての利点があるが、生態系をモデルとして再現するためには、現象を正しく観測する必要がある。また、モデルではサブグリッド(数値計算の格子間)スケールをパラメータ化しており、その妥当性について常に吟味する必要がある。

現在、人類は温暖化ガスに代表されるような人為的な活動によって地球環境に影響を与えている。このような人類の活動は複雑な生態系にも影響を及ぼしている。中でも、特に憂慮すべき問題は、外来生物と既存生態系との関係、有害・有毒プランクトンの増加(HAB)、及び大気のCO2濃度の上昇による海洋酸性化とそれによる甲殻類をはじめとした生物への影響である。どの問題にも共通する点は、生態系と物理システムの双方に着目したマルチスケールでの観測技術および数値モデルを充実させていかなければならないことである。

さらに、沿岸域は海洋全体の面積に比べると10%にも満たないが、その経済的な重要性は極めて高い。たとえば日本や米国の国民の半数以上は沿岸域に面した地域に住んでいる。人間の活動は陸から海へさまざまな物質や生物を添加している。このような添加物が





Figure 10 MBARI MUSE2000

Figure 11 微細構造観測プロファイラー

沿岸域でどのように輸送され広がっていくか充分な理解がなければ複雑な沿岸域での諸現象を予測することができない。この沿岸域の問題についても観測の重要性が挙げられる。現在、北米ではIOOSによって観測網の充実化が図られており、一般的な係留システムばかりでなく衛星やレーダー装置を用いた広域をカバーするシステムが導入され、センサーの精度向上等を目指した技術開発も同時に行われている。沿岸域での環境にとって物質の拡散は重要な問題であるため、これらの観測項目に加え乱流・拡散をモニターする方法の開発が重要視されている。なお、MBARIでは、海洋観測プロジェクトMOOS(MBARI Ocean Observing System)の下、MITやWHOI、ワシントン大学などとの共同研究により、移動式の発電・通信ブイ等の観測ツールおよびシステムの開発や、次世代ケーブル観測システム(MARS)、係留系、AUV、Glider、Drifter、Towfish及び衛星などを駆使してモントレー湾の総合的な観測(Figure 10)を行っている。また、観測ツールとしては、センサー技術の向上や微細構造観測技術の開発によって混合拡散に重要な乱流を直接観測することも可能になってきた(Figure 11)。

このように観測から得られた詳細な物理データと数値モデルを比較しつつ、用途に応じて様々な生態系モデルの開発が試みられている(Figure 12)。また、コンピュータの処理能力が上がるにつれ、長期にわたる将来予測も、ある程度の精度で可能になりつつある。ただし、モデルの性格や限界、その適用有効性の認識が重要である。

海洋生態系モデルは、フロリダ沿岸湧昇域のモデル研究(O'Brienand Wroblewski, 1972; Walsh, 1975) や 北 海 で の ERSEM 研 究(Euroean Regional Sea Ecosystem Model)¹⁹等に代表される(Figure 13)。内湾・沿岸生態系モデルでは、

http://www.pml.ac.uk/ecomodels/ersem.htm http://www.ifm.uni-hamburg.de/~wwwem/res/ersem.html

ナラガンセット湾 (Kremerand Nixon, 1978) やエムスエスチャリー干潟域 (Barettaand Ruardij, 1988) のモデルがよく知られている。

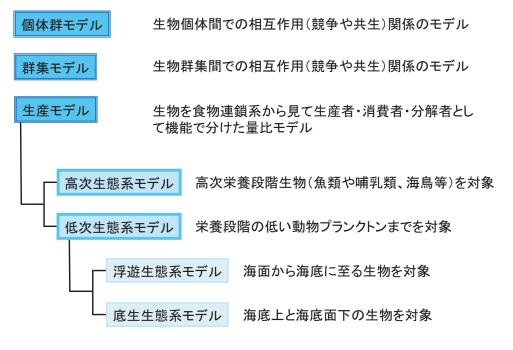


Figure 12 海洋生態系モデルの分類(参考:中村仁、2000、VOL42、JAMSTECR)

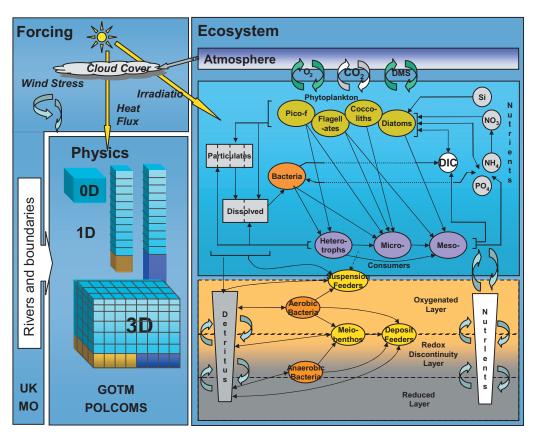


Figure 13 ERSEMの構成(提供: PML, Jerry Blackford氏)

3次元の物理-生態系結合モデルや赤潮のモデルには、岸道郎(現・北海道大学・JAMSTEC地球フロンティア研究センター)等²⁰のものがある。沿岸域のモデルとしては、KKYS²¹を用いたリンと窒素の循環を含んだ9コンパートメント(①PON(懸濁態有機窒素)、②POP(粒子性有機態リン)、③DON(溶存態有機窒素)、④DOP(溶存態有機リン)、⑤クロロフィル-a、⑥動物プランクトン、⑦NO3-N(硝酸態窒素)、⑧NH4-N(アンモニア態窒素)、⑨PO4-P(リン酸性リン)モデルを用いたものが最近は多い。²²

養殖漁場の物質循環を扱ったモデルとしては、五カ所湾の半閉鎖性漁場を対象とした水産総合研究センター養殖研究所のグループ等の研究例がある。23従来、日本で作られてきたモデルは、養殖されている魚や貝類の量は、漁獲量などから前提条件として与え、浮遊生態系モデルに対して、魚貝類の養殖が二酸化炭素、アンモニア、PONなどの負荷源、もしくは、プランクトンやPONの捕食者として働き、その結果、海域がどのように汚染されるか、そして浮遊生態系が養殖によって本来あるべき姿からどのように変化しているのかについて論じられてきた。すなわち、モデルの出力が「海」にとってどうなるか、というものであった。一方では、魚貝類の側にとって養殖場環境が良好かどうか、養殖魚や貝がどのように育つかに焦点を当てるモデルも作成されてきた(Kobayashi M., et al, Hofmann EE., et al.)。これらのモデルでは、反対に栄養環境(プランクトン量やPON 濃度)の観測値を与え、貝類の成長がどのように変化するかにのみ焦点を当てていた。

最近の物理-生態系モデルでは、カナダDalhousie UniversityのMichael Dowd (2005) やポルトガルIMARのJP Nunes et al. (2003)²⁴などのように、魚貝類と海洋生態系との相互作用の結果、海洋側の生態系がどのように変化するか、その結果魚貝類の成長がどう変化するか、という双方に対するフィードバックが入ったモデルが作成されている。その際、魚貝類の成長は生物エネルギーモデル(例えばRudstam,1988)で表すのが一般的である。

場としての生態系モデルというより、漁業における生物資源に着目した生態系モデルは、ノルウェーのIMRとアイスランドの海洋研究所が中心となり、アイスランド周辺海域、バレンツ海、北海等に適用するために開発された漁獲量、漁獲物の年齢・体長組成、資源量指数、胃内容物、標識再捕等を入力データとする魚類中心の漁業生態系モデル(Gadget)が有名である。ただ、Gadgetは魚類中心のモデルで基礎生産などは全く考慮されていない。また、カナダのブリティッシュ・コロンビア大学のDaniel Pauly教授が開発したECOPATHモデルやその派生モデルは、低次から高次の食物網を対象とした

²⁰ Kishi,M.J. and S.Ikeda (1986) *Ecological Modelling*, 31,145-174., Kishi,M.J. and S.Ikeda (1989): 177-180, Elsevier Publ.

²¹ M. Kawamiya *et al.*, J. Oceanog., Vol.51, 635-664 (1995)

²² 例えば、M. Kawamiya *et al.* Continental Shelf Research, Vol.16, No.13, 1683-1698 (1996), Oshima et al., 1999, Yanagi et al, 1997 等

²³ Kishi *et al.* (1991、1994、1995) の研究が、ここでの3次元-物理-生物結合モデルのベースとなっている

²⁴ J.P. Nunes et al. / Aquaculture 219 (2003) 257-277

漁業資源のマス・バランスモデルとして注目されている。このように、日本をはじめ、世界中で「Ecosystem based management」として、生物資源の管理に基づく持続的利用が目標として掲げられている。そのためには、資源変動のメカニズムの解明が不可欠である。しかし、実際のところ、世界中で資源変動のメカニズムが解明されている資源は1つとしてないのが現状である。そのために、代表的な資源管理の手法である総漁獲可能量制度(TAC)などはうまく運用されていない。それは、日本ばかりでなく、世界的にみても同様である。例えば、広域に回遊するマグロなどは地域漁業管理機関で国際的に管理が実行されているが、予測のためのシミュレーションは失敗するケースが多いのが現状である。その最大の原因は、資源変動のメカニズムについて生態系という観点からの理解がなされていないこと、またそのような理解を推し進めていくための海洋環境の物理的情報や生物学的情報が決定的に欠如していることにある。

ヨーロッパでは沿岸生態系モデルとしてBarettaとRuardij²⁵が、有名である。米国に ついては、NOAAをはじめ、各種研究機関・大学で精度の高いモデルが開発されている。 今回訪問した中では、スタンフォード大学の環境流体力学研究所や、UCバークレー (Integrative Biology) がある。スタンフォード大学の環境流体力学研究所では、「生態 系管理」という視点から、Bio-Geo-Physics融合研究を目指し、乱流および混合水、エ ネルギーシステムの中の対流、大気と海洋表層のメソスケールの現象解明、大気中の汚染 物質の移送と攪拌についての基礎研究とシミュレーションを行っている。、UCバークレー は、北太平洋海域モデル(3次元のNestedモデル)の開発を行いUS GLOBEC²⁶で中心 的な役割を果たしている。なお、UCバークレーでは、プリンストン大学のSimon Levin²⁷と生態系管理の理念に基づき、沿岸海域でのHAB(有害藻類ブルーム)を予測す る共同研究を行っている。ただ、生態系管理は、人と自然の持続可能な関係の維持という 概念が先走り、未だ十分な定義がなされていない上に、米国でも画期的、且つ体系的な管 理手法の研究や成果が出ている例は無いという。一例として、カリフォルニア州には、 Bay-Deltaというサンホアキン川とサクラメント川がサンフランシスコ湾に流れ込む大 きな河口があり、表流水、地下水、地質・土壌、魚類・水生生態系、植生・野生動物、農 業資源、都市構造、レクリエーション資源、洪水管理、発電・エネルギー等のデータを元 に環境影響評価を行い、生態系利用の意志決定を行うCALFED Bay-Delta プログラム28 が有名であるが、政治色が強すぎて、公平な生態系管理が行われていないという話であっ た。また、上記プログラムに関連し、SFEIでは、サンフランシスコ湾に流入するPCBや Hg等の化学物質のモニタリングと共に、3次元の物理-生態系結合モデルを開発し、化

²⁵ Baretta, J.; Ruardij, P. (1988). *Tidal flat estuaries: simulation and analysis of the Ems estuary. Ecological Studies: analysis and synthesis*, 71 Springer-Ver1a&1988 (邦訳、中田喜三郎:干潟の生態系モデル、生物研究社、1995)

²⁶ http://www.usglobec.org/

²⁷ http://www.eeb.princeton.edu/~slevin/ 生態系の複雑適応系理論を提唱

²⁸ http://calwater.ca.gov/ 1992年~

学物質の分布・移動についてシミュレーションを試みている。また、ヨーロッパでは、 EUのMASTプロジェクト (1991~1997; NIOZ, PML, IfM, MLA, VKI, UO, CEAB) として3次元物理-生態系結合モデルの共同開発が行われ、「誰でも使える」を目標にユー ザーフレンドリーなソフトが作られた。ERSEMがそれであり、2000年前後にはこのモ デルを用いて多くの論文がヨーロッパで書かれている。このように、最近は、標準的で汎 用性の高い物理-生態系結合モデルを開発する傾向が強く、中でも太平洋を対象とする NEMUROプロジェクトが有名である。このNEMUROプロジェクトでは、PICESモデル タスクチーム(水産庁、北海道大学、JAMSTEC地球フロンティア研究センター等を含む) が北太平洋の低次生態系の共通モデルを開発している。近年、グローバルスケールでの海 洋の生物生産力の評価や海洋中の炭素動態などの生物地球化学的な物質循環の研究に生態 系モデルが適用されている。29最近では、NEMUROに微生物の循環パラメータが追加さ れ、ALOHAモデルのように熱帯域の生態系にも適用できることを示した。また、 NEMUROの計算結果で得られたプランクトン量を餌とし、生物エネルギーモデルを用い てサンマの成長を計算するような成果も出ている。このように、NEMUROも「みんなで 使えるモデル」として開発が進みつつある。しかし、日本の沿岸に限ってみると、各地で 個別のモデルを作る(むろん海洋生態系には地域性があるので、生態系の構造は異なって いるわけだが、ERSEMは生態系の構造を自分で選択することができる)ことで留まって いる。これは、共通のモデルを構築するのに多くの労力を必要とすることによる。

ただ、モデル研究とその計算結果は、現場データと比較するとデータノイズが少ないため "綺麗な" 結果を得ることができ、あたかもそれが現実であるかのような印象さえ与えることがある。しかしながら、モデルの弱点は、計算を行なっているモデルの格子間の諸現象を、格子点で与えられた計算結果をもとにパラメータ化していることである。特に、乱流による混合課程や生物個体の行動がもたらす効果については、未だ妙案が得られていない上に、実際にどの程度、またどの状況でモデルの結果が現実からかけ離れたものになるかの検討は十分でない。また、植物プランクトンや動物プランクトン等の生物個体の行動は、更に問題を複雑にするため、充分な研究はなされていない。

以上のように、目的の違いにより様々な種類のモデルが存在し、使い分けているのだが、モデル化を行うには、いずれも様々な観測・実験データによって裏づけられなければならない。より高度で現実的なモデルの普及のためには、信頼性を検証するための観測データと現場における自然現象の確認、計算の初期条件、境界条件、モデルパラメータなどの条件設定に必要なデータセットの充実とデータの品質管理が重要な課題となる。同時に、ノイズの少ない観測データを効果的に取得するための自律・自動・高精度・リモートセンシング化を目指した観測技術の開発も重要である。

²⁹ NEMUROの精度検証に関連した論部は以下等を参考のこと

Fujii et al., (2002), Yoshie et al. (2003), Yamanaka et al. (2004), Kishi et al. (2004), Smith et al., (2004)

米国のIOOSでは、観測システムサブシステム、モデリングと解析サブシステムに加え、DMAC (Data Management and Communications; データ管理とコミュニケーション) サブシステムが設置され、地域のデータセンター、国がバックボーンとなるセキュリティの高いデータシステムの構築、標準化と統一されたプロトコールに基づくデータの共同利用が可能なITインフラについて、NOAAが中心となるDMACステアリング委員会にて検討されている (Figure 14)。30

欧州では、NIOO-KNAWがコーディネートする欧州海洋研究ステーション (MARS,1996年設立,40研究機関の参加) ネットワークや、このネットワークが中心となり提案したFP5,FP6の大型プロジェクト (BIOMARE, M@RBLE, MARBENA)、NIOO-KNAWが中心となるFP6生物多様性プロジェクトMarBEF、NOCが中心となるFP6のホットスポット生態系研究HERMESプロジェクト等のデータ管理への取り組みが参考になる。また、米国スローン財団がファンドするCoMLとその中のプログラムである、生物物理化学データを評価・統合し、世界の海洋生物の種類や分布・個体数などをデータベース化し、時間軸を持たせた3次元、且つ動的な地球規模のWebサイトである海洋生物地理学情報システム (OBIS) は、データ統合・品質管理の点で参考になる。

日本では、総合科学技術会議が検討を行った地球観測の推進戦略の中で、DMACに関する議論がなされている(平成16年12月27日付;第42回本会議答申)。31 これには、地

球観測で得られる情報を有効活用す るためには、観測実施機関が適切な 手法・技術による品質管理を行い、 各種観測で得られるデータの品質が 適切に評価されユーザーに示される 必要があり、データ比較における一 貫性の確保のためには、方法間の相 互比較を行い、標準化の必要性につ いての意見がある。また、観測シス テムとそのデータ利用システムがバ ランスよく開発、整備される必要が あり、観測で得られるデータは、 データ取得機関に分散して保存され ており、利用者が必要とする各種の データを取得することにはかなりの 困難が伴っているとの現状が指摘さ れている。

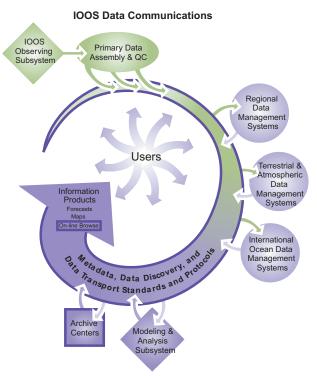


Figure 14 IOOS DMACフレームワーク(DMAC計画より引用)。中央のユーザーから出ている矢印は、ユーザーが全てのシステムにコンタクトが可能であり、データの品質管理に向けたフィードバック機構が成り立っていることを示す。

³⁰ DMAC計画 http://dmac.ocean.us/dacsc/docs/march2005_dmac_plan/dmac_plan.pdf

³¹ http://www8.cao.go.jp/cstp/output/iken041227_1.pdf

3.4 観測情報とカップリングしたモニタリング・エコゲノミクス研究(生態系管理基盤)

自然環境下での複数の生物種から構成される微生物群集を、機能を持ったひとつの生命体としてとらえ、群集を構成する生物の種類と数を分子レベルで網羅的に機能把握する研究が注目されつつある。

これまで、海洋細菌群集の機能研究では、同定・分類・培養の問題から個々の微生物を対象にせず、従属栄養細菌群集などとしてまとめ、その機能の発現である代謝速度などをRI-トレーサーを用いて解析してきた。そのため、海洋における微生物の機能と個々の微生物の代謝、生理活性、栄養塩サイクルや年間基礎生産力(植物の光合成による炭素固定量)との対応については「ブラックボックス」として扱われている。海洋に分布する微生物群集のうち、実験室で培養できる割合は現在でも1%足らずであり、群集を構成する微生物種の多様性やその意義についても充分に明らかにできないためである。

そこで、個々の細菌の培養手法に依存しない、海洋微生物群集全体を対象としたエコゲノミクスが提案され、ここから酵素などの機能性蛋白関連遺伝子を見つけ出し、微生物代謝・機能と結びつける手法が確立されつつある(Figure 15)。その結果、海洋における微生物、特に細菌群集の機能や生態系における役割の研究は、この十数年の間に、海洋細菌群集の機能に関する理解は大きく進展した。今後は、エコゲノミクスの次のステップとして、トランスクリプトミクスやメタボロミクス研究も、徐々にではあるが注目を集めつつある。しかし、個々の微生物の遺伝子から得られた情報を網羅的に羅列しても、「いつ」、「どこで」、「どのような条件下で」それらの遺伝子が発現し、生態系の諸プロセスが「どの程度駆動される」のかは明らかにはならない。そこで海洋現場の観測から得られる物理

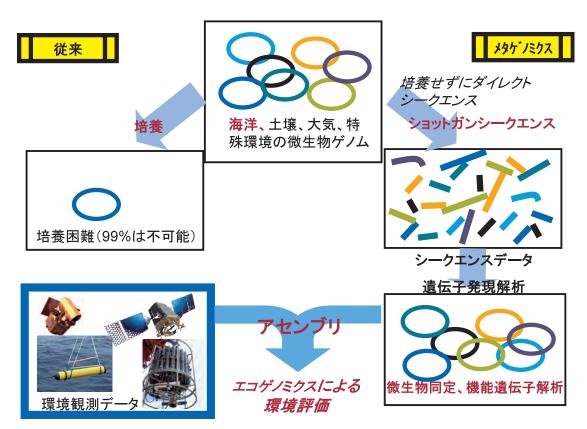


Figure 15 実際の環境情報とカップリングした微生物群集のゲノム解析概念(エコゲノミクス)

環境、化学・生物環境などの様々な環境情報を併せて解析することで、海洋における微生物群集の機能解析としての意味が出てくる。

この分野については、海洋微生物学の立場から群集ゲノミクスの研究を行なっている MITのE. F. DeLong博士や海洋中の溶存有機物の分解プロセスにおいて分子・生化学的 解析を行うデラウエア大学のD. Kirchman 教授、メリーランド大学バイオテクノロジー 研究所のマリンバイオテクノロジーセンター $(CoMB)^{32}$ 、NSFのグラントで長期海洋観測を行うD. Karl教授を中心としたハワイ大学のHOT (Hawaii Ocean Time-series) な平洋観測所、UC Santa Barbara、BBSR(バミューダ生物研究観測所)、バージニア海洋科学研究所による大西洋のBATS(Bermuda Atlantic Time-series Study) 34等で研究が盛んに行われ、世界的な注目を集めている(Figure 16)。

また、米国GBMFのMicrobial Genome Sequencing Projectによる海洋微生物の大規模ゲノム解析研究、NSFが推進する地球表層のあらゆる環境での微生物資源を観測/解析する基盤研究(Microbial Observatoryプロジェクト)、米国DOE が資金を提供す

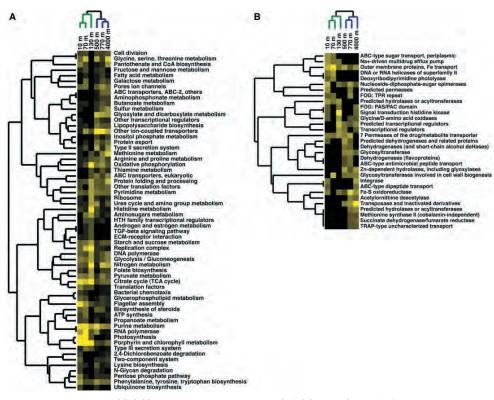


Figure 16 E.F. DeLong博士等による、ハワイのHOT観測点での表層から深層4,000mまでの各層における微生物群集のエコゲノミクスを中心に、各層で得られた、新たな光合成系、ビタミン合成系、窒素代謝の酵素系、細菌の付着や動きに関係する鞭毛などの機能遺伝子群の解析結果(Science誌より転載)。35

³² http://www.umbi.umd.edu/centers/comb.html

³³ http://hahana.soest.hawaii.edu/hot/hot_jgofs.html IGBP-JGOFSで始められた、海洋生態系の機能を時系列的にモニタリングするための観測点。15年以上にわたって維持している。

³⁴ http://www.bbsr.edu/cintoo/bats/bats.html

³⁵ Edward F. DeLong, et al. SCIENCE VOL 311 27, 2006

るメタゲノムプロジェクト(Genomes to Life; GTL)で、生物代替エネルギー研究所(IBEA:現・J. Craig Venter Institute)やBBSRの研究者等が上記BATSとの共同研究によりサルガッソ海等を対象として行っている研究等も注目されている。このサルガッソ海でのメタゲノムプロジェクトは、2001年以降、DOEから1,200万ドルがIBEAに対してファンドを行ったものである。1,500リットルの海水中の海洋細菌を分離培養せずに、全ゲノムDNAをショットガンシークエンス法により解析した。その結果1,800の新種の微生物と120万以上の新たな遺伝子(これまで微生物ではわずかしか確認されていないロドプシン様光受容遺伝子を782発見など)を発見した。この研究で解析が進む機能遺伝子群からは、新たな炭素隔離や代替エネルギー生産方法が開発できると期待されている。なお、この研究は、DISCOVERY CHANNEL社、GBMF、およびJ. Craig Venter 科学財団(JCVSF)からも資金提供がなさている(Figure 17)。

GBMFは、2006年1月に、カリフォルニア大学San Diego校(J. Craig Venter Institute, SIO-CEOAとのパートナー機関)に対して24.5百万ドルのファンドを行っている。その対象は、海洋微生物のゲノムデータ解析用のソフト開発、大学のスーパーコンピューターセンター(SDSC)を利用したゲノムデータベースのサイバーインフラストラクチャーの構築を目指すCAMERAプロジェクトである。また、ヒトゲノム計画でNIHとともに大きな役割をはたしたDOEのJoint Genomic Instituteは、ヒトゲノム計画の終了に伴いエコゲノム解析に乗り出しており、DOEのミッションの下でJGIが推進するMicrobial Genome Program,Community Sequencing Programにて海洋微生物群集の解析も行っている。



Figure 17 J. Craig Venter Instituteが有する微生物採種船舶Sorcerer IIの航海マップ

ハワイ大学は、NSFのグラントによりC-MORE Centerという以下4カテゴリーの研究を行うセンターを設立予定である。

- ① マリンゲノミクス:微生物群集を中心とした海洋生物の生物多様性の解明
- ② 物質循環:海洋微生物の活動と密接にリンクする炭素や窒素の循環や栄養塩の動態解析。キーワードは炭素・窒素・リン・シリカ等の生物元素のストイキオメトリー(量比的関係)
- ③ 連続モニタリング:衛星あるいは海洋設置型の測器による海洋微生物群集の連続的モニタ

欧州では、第6次フレームワークプログラム(FP6)のNetwork of Excellenceカテゴリーの下、フランス国立科学研究センター(CNRS)のCatherine Boyen をチェアとし、16カ国44の研究機関の約450名の研究者の参加によりMarine Genomics Europe(MGE)プロジェクトを進めている(Figure 18)。 36 しかしながら、欧州でのゲノミクス研究への取り組みは分子生物学研究への傾倒が強いため、米国のように観測データとカップリングさせるような取り組みは、やや弱い。

代表的な研究機関はドイツのHeidelbergにある欧州分子生物学研究所(EMBL)である。EMBLは、前出の米国DOEやJGI、Diversa社と共同研究を行い、大規模なエコゲノミクス研究を進めている。³⁷また、欧州の各国は、海洋生物に限らず生物全体を対象としたゲノミクス研究への取り組を強化している。これは、オランダゲノミクスイニシアティブにより「Ethical Legal and Societal Aspects of Genomics Research in the EU, Canada and the US」報告書にまとめられている。³⁸

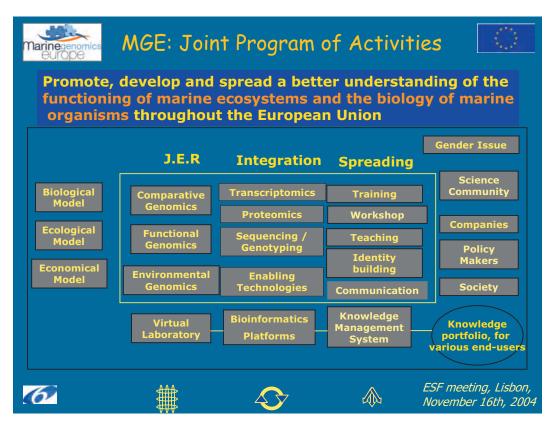


Figure 18 MGEプロジェクトの枠組み

調査方法

調査結果

むすび

射锌

Appendix 参考資料

³⁶ http://www.marine-genomics-europe.org/index2.php?rub=b&pid=36

³⁷ S. G. Tringe et al. Science 22 April 2005: Vol. 308. no. 5721, pp. 554-557 http://www.embl-heidelberg.de/aboutus/news/press/press05/press21apr05.html

 $^{^{38}}$ http://www.genomics.nl/homepage/research/funding_opportunities/eranet/NGI%20Inventory_NORSAGE_FP6.pdf

ノルウェーのベルゲン大学では、Christa Schleper教授等³⁹が中心となり、北欧諸国と共同で土壌や海洋の微生物についてメタゲノミクス研究を推進している。また、ベルゲン大学、オスロ大学、ノルウェー科学技術大学(NTNU)の3大学が中心的な研究実施となり、政府主導のFUGE(機能ゲノミクス)プログラムを推進している。ベルゲン大学が有するCBU(computational bioloy platform)がバイオインフォマティクスプラットフォームとして、またノルウェー構造生物学センター(NORSTRUCT)、ノルウェープロテオミクスセンター(PROBE)がサポートパートナーとしてFUGEプログラムに参画している。FUGEプロジェクトでは、陸上生物の他、サケ等の海洋生物も解析の対象としている。

オランダでも、オランダゲノミクスイニシアティブ(NGI)が2001年につくられた。NWOの下にゲノミクスセンターが設立されるなど⁴⁰、ゲノミクス研究と、そのための陸・海域の生物多様性の観測のためのネットワーク/プラットフォーム構築が、オランダおよびEUのフレームワークプログラムの下で進められている。オランダにおける海洋に関連した研究機関はIGBP-LOICZの国際プロジェクトオフィスを有するNIOZや、RIKZ、RIVO、RIZAの他、ダーウィンセンター、ユトレヒト大学などである。生物多様性研究の中核的なプラットフォームであるNIOO-KNAWは、ヨーロッパの海洋研究機関のネットワークつくりを目指すMARS Network⁴¹の本部を有し、MarBEF、BIOMARE等のEUフレームワークプログラムにおける生物多様性研究のプロジェクトのコーディネートを数多く行っている。

エコゲノミクス分野には、1gの土壌であっても2,500億塩基対の遺伝子を解析する必要があるという量的な難しさがある。これは、ヒトゲノムプロジェクトの解析ゲノム数が

自動シークエンサーの性能進歩

	市販年	解読塩基数 /サンプル*	解読可能+ プル数/回	ナン _{団*} 解読時間	総解読塩基 数/台·日
ABI3700(キャピラリ、全自動)	1998	600	96	3	46万
ABI3730(キャピラリ、全自動)	2003	850	96	2	98万
ABI373(スラブ)	1990	400	24	12	1万
ABI377(スラブ)	1995	500	96	8	14万
MegaBACE1000(キャピラリ) MegaBACE4000(キャピラリ) MegaBACE4500(キャピラリ) xxx(ナノチャンネル、全自動)	1998	550	96	1.5	84万
	2001	550	384	2	253万
	2004	850	384	3	261万
	2005?	850	384	3	261万

^{*}フル稼動したときの目安

現行:30~50塩基/秒/装置 →3Mbのゲノム⇒20日/台

Figure 19 自動シークエンサーの性能進歩

³⁹ Virginia Gewin. NATURE VOL 439 26 January 2006

⁴⁰ http://www.genomics.nl/homepage/

⁴¹ http://www.marsnetwork.org/

次世代シークエンス技術

| ·**454 Corp.: オンチップシークエンス, 20 Mb/4時間(現行の約** | **50倍**) コストは1/10以下?

- Perlegen: リシークエンシング用チップ10日毎に1ヒトゲノム (Science 18 February 2005:Vol. 307. no. 5712, pp. 1072 – 1079, http://www.perlegen.com/)
- Mobious Genomics: 分子共鳴シークエンス法300bp/sec (http://www.mobious.com/)
- •Solexa: 高並列リシークエンス法2004年に5倍速

(http://www.solexa.com/)

- Callida Genomics: 高密度マイクロアレイ法。リード長3倍
 (http://www.callidagenomics.com/)
- -US Genomics: GeneEngine™ (~1Mb/sec) JC Venter 参加 (http://www.usgenomics.com/)
- *現行: 30~50 塩基/秒/装置

Figure 20 次世代シークエンス技術(データは各社HPより)

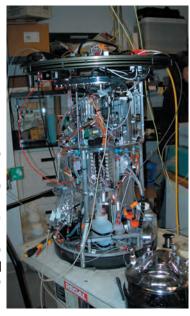


Figure 21 MBARI開発のESP

30億塩基対だったことから容易に推察される。J Craig Venter等のBAT観測所における微生物のゲノム解析は、10億塩基対であった。米国のメーカーは、シークエンサーの性能向上に向け、しのぎを削っている(Figure 19, Figure 20)。

シークエンス技術に関連して、船上で採種した微生物の特定部分の遺伝子配列を解析・ センシングする、あるいはリモートセンシングで特定生物の遠隔・全自動解析を可能とす る装置(Environmental Sample Processor, ESP; Figure 21)が、GBMFやNSF、 Keck Foundation、NASAの資金により、DNAプローブプロジェクトとしてMBARIで 開発されている (Chris Scholin等の研究)。このESPは、海水に含まれている生物をひ とまとめに採水し、バクテリア、珪藻類、プランクトン、貝類の幼生等の微生物の遺伝子 を抽出(遺伝子チップに流し込み)、解析、DNAチップ状での反応をカメラで撮影、陸上 基地へのデータ送信までを全自動にて行う。サンプル取得からデータ分析まで約2時間で 処理することができる。これを30分間隔で時系列的にサンプリングが可能。ESPの用途 として、HAB発生のリアルタイム検出や商業用貝類の幼生の生態研究、マイクロビアル ループの解明等、多くの研究(社会)ニーズがあり、今後の需要拡大が見込まれている。 研究船をはじめ、係留ブイ、AUV、ROVに配備することが可能であり、将来的には、よ り小型、多機能、丈夫、簡単で、多くの生物種の解析が可能になるような性能向上を目指 して開発を進めている。また、現モデルは1,000mまでの潜水が可能だが、次世代性能 として、4,000m程度の熱水噴出孔付近の微生物解析を可能とする自律型・深海耐性機 能を有するD-ESP(Deep Sea ESP)の開発も進行中である。ESPについては、東京 大学生産技術研究所とも共同研究を行っている。なお、NASAのファンドは、NASAが 進めるアタカマ砂漠から深海の極限環境に生息する生物探索プログラム (ASTEP)42の一 環として、350℃以上の高温、あるいは低温、高圧環境でも動作可能なESPの開発を推

進するものである。

我が国については、釜石にある(株)海洋バイオテクノロジー研究所⁴³における新たな メタゲノミクス手法の開発(SIGEX法)やJAMSTECが長年にわたって推進する極限生 物探索プロジェクトは、イギリスをはじめ世界でも注目を集めている。

ただ、繰り返しになるが、やみくもに大量の遺伝子を解析することには「持続的利用を 目指した生態系管理」としての意味はない。「どのような環境で」、「どのくらい近縁種が いるのか | 等の生物多様性情報を同時に把握することが重要であり、産業的な価値を生み 出す。

3.5 生物資源の持続可能な利用(生物資源)

1980年代中盤から、海洋生物資源の増減傾向が地球上の各海域において同期している ことが認識され始めた。海水の交換がほとんど無い海域間での同期的変動は、それが海洋 によってではなく、大気によって媒介されることを示すと考えられ、地球規模の気象変動、 大洋規模の海象変動と、海洋生物の個体数変動傾向が研究された。1990年代に入ってこ れら三者が数十年周期で同期的に変動していることが明らかになるに至って、PICESなど での共同研究を通じて「海洋生態系のレジームシフト」という認識が形成された。すなわ ち、風系や気圧配置などの気象現象が全球規模でひとつの状態から別の状態へ変化するの にともなって、水温・流系・鉛直混合などの海象現象が大洋規模で変化し、それに対応して 海洋生態系における生物生産の構造的枠組み(レジーム)が不連続に転換(シフト)する という認識である。

国連海洋法が海洋生物資源の管理目標としている「最大持続生産量」は、生物資源が定 常状態にあることを前提としている。「海洋生態系のレジームシフトに伴って自然変動す る海洋生物資源」という認識は、生物資源管理の考え方を根本から変更する。北海やカナ ダ沖合におけるマダラ資源の崩壊に見られるように、最新の資源管理理論を持ってして も、資源の持続的利用は未だ実現されていない。近年では世界の各海域で、大型の魚食性 魚類資源が減少する結果、平均生態的地位が低下するという現象が確認されており、非持 続型資源利用からの転換が緊急の課題である。

一方、1960年代末から「とる漁業からつくる漁業へ」というスローガンの下、日本の 漁業は狩猟型漁業から畜産型の漁業への転換を模索した。しかし、2004年の漁業・養殖 業生産を見ると、総生産量563万トンの中で、畜産型の給餌養殖業の生産量は27万トン と総生産量の5%未満であり、95%以上は海域の生物生産力に依存した生産である。本 調査では、高い付加価値を生産する畜産型養殖業の効率化のための給餌、水質管理・計測、 養殖漁場環境保全、養殖設備の劣化防止等について各国の研究手法、設備・施設の開発状 況を調査した。

⁴² http://ranier.hq.nasa.gov/astep/astep.html

⁴³ http://cod.mbio.co.jp/mbihp/j/index.html

米国腐食コスト 2,760億ドル/年

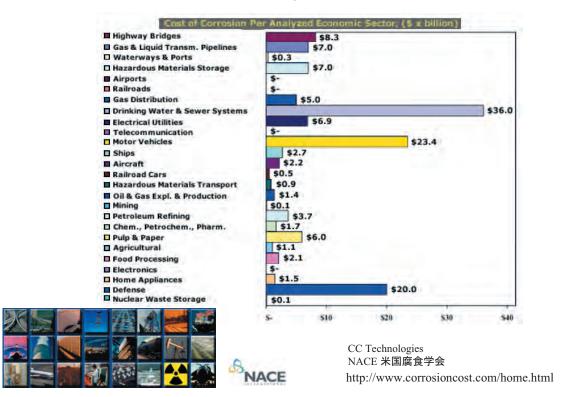


Figure 22 米国の腐食対策・緩和に要するコスト。年間2,760億ドルのコストとして算出されている。 (NACE 米国腐食学会 / CC Technologiesより引用)

養殖生産の持続性を妨げる問題の一つとして挙げられるのが、機器・施設・構造物の腐食・劣化である。ハーバード大学のRalph Mitchell 教授等は、環境効率の向上(設備・構造物の超寿命化)という視点から、水処理、船舶などの生物付着(バイオフィルム)をはじめとする微生物複合体と環境との関わり合いについて、界面化学および微生物の観点から研究を進めている。また、米国ではNACE(全米腐食学会)や国防総省(DOD)、海軍、モンタナ州立大学を中心として、生物付着(フジツボ、バイオフィルム等)やサビの原因となる硫酸塩還元細菌・鉄酸化細菌等についての対策研究が基礎研究を含めて推進されている。なお、Figure 22は、生物腐食も含めた米国の産業分野における腐食対策・緩和に要するコストを示している。

欧州では、英国PMLやMBA、バーミンガム大学、MABでも、バイオフォーリング (Biofouling;生物腐食)をキーワードに、抗付着物質の探索を行っている。この研究プログラムには、1996年から3年間、NERCのプログラムとして進められたMBTP(海洋バイオフォーリングテーマプログラム)44や続くM&FMB(海洋と水の微生物多様性プログラム)45、およびM&FMBにおけるBlueMicrobe研究者ネットワーク46等があり、多くの研究資金が投下されている。また、人的交流も盛んであり、今後、飛躍的な研究の進

⁴⁴ http://www.biosciences.bham.ac.uk/external/biofoulnet/default.htm

⁴⁵ http://www.nerc.ac.uk/funding/thematics/mfmb/

⁴⁶ http://www.bluemicrobe.com/home.htm

展が期待される。我が国でも、(社)腐食防食協会を中心とした物質・材料研究機構などの独立行政法人や、建設・材料関連企業、各大学において腐食研究が行われているが、バイオフィルム形成メカニズム等の基礎的研究は、米国が圧倒的にリードしている。

魚類養殖研究の世界的な技術開発の方向性は、低環境負荷型であり、具体的には、以下の3項目が上げられる。

- ① 環境への負荷が低い遠洋・沖合養殖、および陸上での完全閉鎖型の養殖技術
- ② 耐病性の強化による抗生物質投入量の抑制と食品の安全性
- ③ 省資源(水、餌、薬剤、電力、マンパワー)・省スペースによる生産性の向上(高効率・ 安定化)

先進的な養殖研究に取り組む国の一つとして、ノルウェーが挙げられる。ノルウェー研究評議会(Research Council of Norway)は、2005年に終了したAquaculture - Production of aquatic organisms(2000-2005)に続き、2006年から2015年までHAVBRUK; Aquaculture - An industry in growth(持続型養殖技術の開発と産業界との連携を強化するための研究開発重点投資)を推進する。⁴⁷中でも、ベルゲン大学、IMRにおける養殖関連機器開発、ワクチン開発、新種苗開発技術は世界のトップクラスである。また、ベルゲン大学ハイテクノロジーセンターには、世界でも類を見ない人工制御型(水温、光波長12チャネル制御)の水槽が177基完備されるなど、様々な条件下での養殖研究が可能である。一方で、ノルウェー産サケの1/4は、品種改良をした養殖起源の個体であるが、イケスからの逃げ出しによる遺伝子攪乱が問題となっているが、簡便で効果的な監視・識別技術が見出させていない状況である。

米国については、サケ・マス類の種苗放流については歴史が古く、ゲームフィッシングの対象魚種に関しては積極的な孵化放流事業を行っているが、栽培漁業については歴史が浅い。しかし、健康志向による水産物消費の増加、乱獲や環境変動等による世界的な漁業資源水準の低迷、アジアからの水産物輸入超過による貿易アンバランス等の理由により、米国政府として養殖産業の振興に注力し始めている。

メリーランド大学 CoMBにおいては、貝類や魚類、有毒性微細藻、微生物過程やその生産物に関する分子生物学的あるいは分子遺伝学的な基礎研究を踏まえ、養殖の改良、微生物を用いた環境の浄化、修復あるいは新たな海洋生物起源の医薬品の開発、微生物過程を利用した工業プロセスへの応用などを目指している。特に、チェサピーク湾沿岸でのブルークラブの養殖過程における窒素・有機排泄物の微生物的処理研究がユニークである。CoMB1階にある養殖センターでは、チェサピーク湾からの揚水でなく人工海水を作成

.

⁴⁷ 年間100百万NOK(約18億円)

http://www.forskningsradet.no/servlet/Satellite?cid=1088005975964&pagename=havbruk%2FPage%2FHovedSideEng

し、それを生化学的に浄化して循環・再利用するというシステムを採用している。ここからの排水は全て浄化の上、外部放出されており、比較的持続的な循環型の養殖方式が完成されている。また、海産魚種を海洋環境から完全に隔離した環境で養殖生産する、完全閉鎖型循環式陸上養殖技術の開発に民間企業のKent Sea Tech Corp. 48 が力を注いでいる。現在、カリフォルニア州の砂漠において、地下水に液体酸素と塩化カルシウムを添加し、コンピュータ制御で水質・水温を管理した淡水を循環して、海水魚であるストライプトバスとホワイト



Figure 23 カリフォルニア州南部におけるKent Sea Tech Corp.の完全閉鎖型循環式陸上養殖サイト(Kent Sea Tech CorpのHPより転載)

バス(スズキ類)の交配種を大量に生産し、世界各国に輸出している(Figure 23)。フロリダのHarborbranch 海洋研究所⁴⁹においては、海産のバナメイエビを淡水中で循環養殖する技術開発を行っているポートランドのベンチャー企業MariCal Inc.⁵⁰は、従来の給餌方法に替わり、ミネラルの調整により淡水循環水槽で海産魚を養殖するシステム(SuperSmolt®)を開発した。これらの循環淡水を用いた海産魚養殖技術は、海洋生態系から完全に隔離することによる環境負荷の抑止に加え、海水利用によるコストを減じ、さらに海産魚固有の病原体の感染を回避するという利点を有しており、これからの養殖技術の一つの大きな流れとして注目される。

米国では、沿岸住民の環境保全意識が高い地域が多く、沿岸域における魚類給餌養殖は法的に認められていない州が多い。よって、遠洋・沖合養殖への関心が必然的に高く、1999年に承認されたDOCの養殖政策、NOAAの海洋養殖プログラムやSea Grant等の下で研究が行われている。ただ、薬剤の多投入や赤潮・有害藻の発生を抑えるような環境低負荷型のシステム構築が課題として残っている。これらの問題に対し、沿岸環境への負荷を減ずる新たな養殖技術として、沈下式の大型網生け簀を用いた沖合養殖技術の開発に対してNOAAが強力に助成を行っており、ニューハンプシャー大学(OOAプログラム)、ハワイ大学、Oceanic Institute(ハワイ州)、NMFS(プエルトリコ)等において技術開発と実証試験が実施されている。その他にも、ミシシッピーーアラバマSea Grantコンソーシアムによるメキシコ湾沖合養殖コンソーシアム(OAC)51やウッズホール海洋研究所やCTSA(熱帯・亜熱帯水産養殖センター)が行う沖合養殖デモンストレーションプログラム(HOARP)、海洋生物の生理・生態研究に特化したハワイ大学海洋生物学研究

⁴⁸ http://www.kentseatech.com

⁴⁹ http://www.harborbranch.com

⁵⁰ http://www.marical.biz

⁵¹ http://www.masgc.org/oac/

所(HIMB)などがある。また、韓国の国立水産研究センターがこれらの技術を導入し、沖合養殖に積極的に取り組んでいる。なお、米国と日本は、1971年から続くUJNR(天然資源の開発利用に関する日米会議;水産増養殖分野)52において、増養殖技術に関する意見交換を毎年行い、研究協力や交流が盛んである。

我が国では、陸上養殖に向けた研究開発が北海道大学、東京海洋大学、近畿大学や(独) 中央水産研究所や都道府県の水産試験場をはじめ、テクノオーシャン(株)53や(株)オ プティマ・フーズ、(株)陸上養殖工学研究所54等の企業で進められている。陸上養殖シ ステムの特筆すべき点は、食べ残した餌を取る濾過器、魚の出すタンパク質を取る泡沫分 離器、電気分解による無投薬のpH調整技術、脱窒素技術、海水成分調整技術、殺菌装置、 免疫活性剤開発・利用等である。沖合養殖に比べて初期投資額が大きい上に、養殖が可能 な魚種や量的な限界という問題はあるものの、赤潮や台風等の被害や漁場汚染による魚病 被害の排除やダイオキシンやPCB等の化学物質汚染のリスクの回避が可能であり、結果 的に安定的かつ計画的な生産が可能になるといったプラス面も大きい。開発現状は、コス トの問題から、ヒラメやトラフグ等の比較的高価な魚種に限定されている。また、培養タ ンクの水供給形態が問題であり、現在は、海水を陸上タンクに汲み上げる「掛け流し方式」 が主流であるが、「環境低負荷」を目指す将来には、「半循環方式」、「(閉鎖型) 完全循環 方式」へ移行しなければならない。ここでも、コストが問題である。また、養殖技術の自 動化に向けて、給餌量を最適化する自発給餌システム等の要素技術開発の課題が残る。ま た、養殖の要素技術として、未利用の海藻や廃棄ノリを酵素で発酵処理することにより養 殖魚の飼餌料として利用する技術(マリンサイレージ)は、UJNRのシンポジウム等で各 国から高い興味が示される程にユニークな技術である。

3.6 マリンバイオテクノロジー研究(機能遺伝子群)

前述のエコゲノミクス研究と一部内容がオーバーラップするが、遺伝子の転写産物の利用という視点から項目を分けた。

海洋バイオテクノロジー分野については、1989年に第1回国際海洋バイオテクノロジー会議 (IMBC) が東京で開催される等、初期 (1980年代後半~) のリーダシップを執っていたのは日本であった。産業界と経済産業省の共同イニシアティブの下、MBI (海洋バイオテクノロジー研究所,釜石) が設立され、日本の研究に注目が集まった。また、1990年にJAMSTECは深海探索研究 (DEEPSTAR) を開始し、米国WHOIで開発された有人潜水調査船Alvinを改良した「しんかい2000」、「しんかい6500」等を建造するなど日本の研究動向に注目が集まった。その後も、JAMSTECの深海探索研究は今でも多くの注目を集める。しかし、大学・研究所にて関連分野の拡充が行われなかったこと、

⁵² http://www.lib.noaa.gov/japan/aquaculture/proceedings.htm

⁵³ 第7回「ジャパン・インターナショナル・シーフードショー」陸上有機マグロプロジェクト

^{54 (}独) 農業·生物系特定産業技術研究機構出資事業、 http://www.affrc.go.jp/ja/press/2005/050426/050426.html

MBIの縮小などが遠因となって、海洋バイオテクノロジー研究は一時の勢いを失っているとの評価もある。55とくに優位であった生理活性物質探索・合成研究の凋落やゲノミクス研究での欧米諸国の先行等は、看過できない問題である。

1960年代後半~1970年の米国は、ストラットン審議会、NOAAが設立し、海洋研究開発へ大きな一歩を踏み出した。その頃に、Sea Grant法に基づいたFigure 24の National Sea Grant program (NOAA)⁵⁶が開始された。政府は、その後まもなく、マサチューセッツ、ハワイ、カリフォルニア州等にある海洋バイオテクノロジー研究を行う大学・研究所に数十~百億の研究費を投入した。メリーランド大学 CoMBは、その頃に設立された研究機関である。現在、米国は、ヒトゲノムプロジェクトが一段落したこともあり、前述のJ. Craig VenterやDOEが先導し、環境(微)生物ゲノムの大規模解析に力を注いでいる。

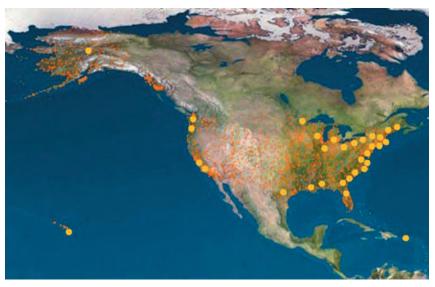


Figure 24 Sea Grant College Programネットワーク。現在、法律PL107-299に基づき、①養殖、②バイオテクノロジー、③沿岸海域交流&経済、④沿岸海域自然災害、⑤デジタルオーシャン、⑥生態系と生息種、⑦水産、 ⑧リテラシー、⑨シーフード科学技術、⑩沿岸都市、⑪水産拡大 (国家優先課題)、⑫有害藻ブルーム (国家優先課題)、⑬カキの病気 (国家優先課題)のテーマが設定され、30州にわたって約300の研究機関から3000人以上の研究者の参加によりプログラムが推進されている。(Figureは、NOAAのSea Grant College Programホームページより転載)。 57

オーストラリアでは、国家優先課題⁵⁸の下で研究を推進するAustralian Institute of Marine Science (AIMS) が1972年に設立され、グレートバリアリーフにおけるサンゴの生態研究や生理活性物質抽出、沿岸海洋研究等を進めている。現在、AIMSは、James Cook大学とジョイントベンチャー(AIMS@ JCU)を設立し、生物多様性研究や養殖研究など、独自の研究を行っている。また、AIMSは資生堂や東洋水産などとの共同研究も行っている。

⁵⁵ Prospects for Marine Biotechnology in the UK, Jan 2005

⁵⁶ http://www.seagrant.noaa.gov/index.html

⁵⁷ http://www.seagrant.noaa.gov/colleges/colleges.html

⁵⁸ http://www.aims.gov.au/pages/research/nrp/national-research-priorities.html

カナダでは、水産養殖・天然毒素・分子生物(ゲノミクス・プロテオミクス・メタボロミクス・バイオインフォマティクスなど)研究を中心とした国立海洋バイオサイエンス研究所(NRC-IMB)⁵⁹がハリファックスに設立された。現在、上記3分野について企業との共同連携を強化するために、十数の企業が入居可能な施設(ライフサイエンスクラスター)を設立している。

日米の活動が活発化してくるこの頃から、EU各国でもゲノミクス研究への取り組みが盛んになる。イタリアでは、海洋基礎生物学研究所であるStazione Zoologica(ナポリ臨海実験所)⁶⁰が分子進化と発生生物学等の生物多様性研究において強いイニシアティブを発揮している。

ノルウェーは、伝統的な海洋国家に加え、近年ゲノミクス研究に力を入れる4大学 (Oslo、Bergen、Trondheim、Tromsø) や養殖研究・海洋管理研究を行うIMR、NIFES、EMBLとのパートナー機関で分子生物・発生生物学が強いSars国際海洋分子生物学センター⁶¹等の活動が著名である。

フランスでは、Valorisation⁶²をキーワードに、バイオテクノロジー分野、特にゲノミクス・トランスクリプトミクス・プロテオミクス研究、生理活性物質探査・合成研究への取り組みと産学連携(Sanofi-Aventis、CTTP社等)が活発。1999年に開始されたGENOMERプログラム(Roscoff海洋生物ステーション⁶³が中核機関)が発端となり、GIS- GENOMERプログラム(2003年~)、EU-FP6での海洋ゲノミクスプログラム(2004年~)へ発展するなど、EUの中で、突出して海洋ゲノミクス研究分野への取り組みが活発(CNRS、IFREMER)である。また、米国WHOIやScripps研究所等との共同研究も活発に行われている。深海(微)生物と海藻を中心とした海洋生物資源からの生理活性物質抽出・合成研究分野では、先導的な立場にある。特に海藻研究では、コスメティック企業との共同研究が活発(IFREMER、CNRS、Univ Caen)である。また、バイオフォーリング、分子進化、抗生物質研究(IFREMER、MNHN、CNRS、Univ Bretagne Occidentale)、高度耐熱ポリマーの開発などの藻類の基礎~応用研究、生理活性物質の抽出・合成、生物多様性研究(Univ Bretagne Occidentale、CEVA、Univ Corse、Univ Pierre et Marie Curie)も先導的である。

2005年1月にDTIが発行したレポートは、英国における海洋バイオテクノロジー研究の大きな可能性を指摘している(前述2.3「日本及び各国の研究開発政策動向」を参照)。 このレポートは、SWOT分析の結果、英国は、研究機関が断片化しているため、ネット

⁵⁹ http://imb-ibm.nrc-cnrc.gc.ca/index_e.php

⁶⁰ http://www.szn.it/

⁶¹ http://www.sars.no/

⁶² "Valorisation" is the process of disseminating and exploiting project outcomes to meet user needs, with the ultimate aim of integrating and using them in training systems and practices at local, regional, national and European level. (ステークホルダーのニーズに合致するよう、プロジェクトのアウトカムを広める/開発するプロセス)

⁶³ http://www.sb-roscoff.fr/

ワーク化が必要であることも指摘している。海洋生物からの抗がん・抗ウィルス化合物の抽出や、サンゴから抽出した骨の代替化合物研究、環境汚染や毒素のセンサーや除去装置の開発など、広範囲に渡りこれまで成功を収めており世界の中でも優位性がある分野であるとも述べている。ただし、NERCのプログラムの下、PML、MBAやNOC等で海洋微生物の生理活性物質探索、バイオフォーリング研究等が推進されているが、ドイツ(IMaB Greifswald, Braunschweig)の生理活性物質探索技術(ハイスループット技術)やドイツ(GBF, Max-Planck-Institut)ゲノミクス・バイオインフォマティクス技術にはまだまだ劣る。

[4] むすび

私たち日本人は、魚やエビ・カニ、海藻などの魚介藻類を、太古の昔から「海の幸」として身近に感じ、その恩恵に浴してきた。しかし、はたと振り返ると、身近にあったはずのその海は遙か遠くのものとなり、海の恩恵についての実感が乏しくなっていることに気付く。

陸域は人類が生息する場であり、手を加えやすい領域であったため、開墾・開拓を繰り返しながら、食料の確保、人類の繁栄に大きく貢献してきた。しかし一方で、自然環境の破壊を増長してきたのも事実である。現代科学は、海が陸域環境と密接に係わっていることを明らかにし、人類の手が及ばなかった領域であった海の地球環境への役割の重要性を指摘すると同時に、海が持つ潜在的利用価値についても明らかにしてきた。海が人類にとって手の及ばない領域であった時代は過去のものとなり、現在ではあらゆる方面で、海を利用するようになってきている。特に、世界的な人口増加によって不足する動物タンパク質の確保や未利用の遺伝子資源の観点からも、海域生物生産への期待には大きなものがある。この期待に応えるためには、海が地球環境に果たしている役割の重要性も正しく理解し、ややもすると開墾・開拓を優先しがちになる中で、"知"によって、自然破壊を防ぎ、海の保全と利用のあり方を示す必要がある。

CRDS/JSTの井上グループの海洋G-TeCは、この観点から、山林・河川などの流域圏を考慮しつつ、環境劣化が著しい沿岸から外洋に至る海域について、今後日本が重点的に取り組むべき海洋生物資源の持続的な利用と保全に関する研究分野として、(1)生態系管理分野(2)生物資源分野(3)機能遺伝子群分野を対象に、日本および海外各国の研究開発の現状調査を行った。

海の恩恵を身近に感じにくくなっている現代においても、その感覚とは逆に、海の重要性は益々増大している。海を科学し、海を持続的に保全・利用することを可能ならしめる "知" の集積と地道な努力が求められている。本調査結果は、世界がその事の重要性を認識し、調査したすべての分野ですでに実行に移しつつあることを示すと同時に、我が国の取り組みの現状と将来に向けての課題について取りまとめた。海の恩恵を意識するとしないにかかわらず、この取り組みはスタートさせねばならない。

最後に、CRDS/JST井上グループと海洋G-TeCに参加して下さった皆様の母なる海への熱き思いに、座長として感謝する。

(G-TeC座長、東京海洋大学副学長 岡本信明)

[5]謝辞

本報告書作成にあたり多大のご協力を頂き、2005年11月に、メキシコ共和国で開催されたFirst DIVERSITAS Open Science Conference (国際シンポジウム)へのご参加を快くお引き受け頂いた中静(淺野)透 総合地球環境学研究所/東北大学大学院生命科学研究科 教授、米国Scripps Institute of Oceanographyの訪問に御協力賜りました田中祐志 東京海洋大学海洋科学部 助教授(現・カリフォルニア大学サンディエゴ校Visiting Scholar)、ならびに森田貴巳 (独)水産総合研究センター 中央水産研究所研究員、また国内の政策・研究動向について懇切ご丁寧にご指導くださいました木村忠正海上保安庁 海洋情報部 調査官に心より深謝致します。

参考資料 Appendix

参考資料(サイトレポート)

Environmental Fluid Mechanics Laboratory, Stanford University

http://www.stanford.edu/group/efml/

DATE: 11:00-16:00 31 Oct, 2005

PLACE: Department of Civil and Environmental Engineering, Terman

Bldg., Rm. M-29

■概要

・近年の計算機の発展に伴い、海洋物理現象の解明に向けた流体シミュレーションの先端 的研究を行っている。特に、サンゴや底生生物と混合拡散の関係など、生物・生態系と 物理環境の関係についての研究がユニーク。

・Monismith、Koseffの両教授は海洋物理学分野のトップランナーであり、国際的なレベルで展開されている海洋生態系研究についての知見が豊富である。

■研究室の概要

Monismith教授より、研究室の概要について説明を受けた。

スタンフォード大学環境流体力・水文プログラム (EFMH) 流体力学研究所 (EFML) は、スタンフォード大学公共・環境工学部にある研究所の一つである。その他には、統合施設工学センター (CIFE)、John A. Blume地震工学センター (Blume Center)、ダムの全米パフォーマンスプログラム (NPDP)、プロジェクトーベースドラーニングラボ (PBL)、The Peter A. McCuen 環境コンピューティングセンター、スタンフォードバイオフィルム研究センター、スタンフォード環境バイオテクノロジープログラム、スタンフォード環境研究所があり、環境工学研究を進めている。

EFMLは、1986年にHydraulics Laboratoryから現在の名称に変わった。ここでは、乱流および混合水、エネルギーシステムの中の対流、海洋と大気間のエネルギーおよび物質移動、大気と海洋表層のメソスケールの現象解明、大気中のローカル・グローバルスケールでの汚染物質の移送と攪拌についての基礎研究とシミュレーションを行う世界でも屈指のbio-geo-physics研究の拠点である。

同研究所施設の奥には、Verbatim社を世界最大のフレキシブルディスクの製造を手がける会社として発展させたPeter A. McCuenをリーダーとするEnvironmental Computing Centerがある。ここではメインマシンとして、最先端の商業用PCモジュール(Compaq Alpha)を利用し、BAYWULF(ベオウルフ・クラス)という名前のCOTS(Commodity off the shelf)クラスターシステムの構築によりユニークな環境シミュレーション設備を作成している 2 。このスーパーコンピュータを用いて、栄養塩や汚染物質の拡散流動等のシミュレーション研究を行っている。

¹ http://www.joss.ucar.edu/joss_psg/publications/decadal/

² http://fluid.stanford.edu/mccuencenter/baywulf.html

◆ 主な研究課題

Monismith教授が研究室と実験棟を案内下さり、現在行なわれている研究について説明を伺った。

現在取り組んでいる主な研究課題は、以下の海洋物理の諸過程に関する基礎・基盤的研究であり、そのファンディング元は、NSF、ONR、USGS、NASA、DOE、DOD、カリフォルニア州となっている。また、イスラエル、スイス、イギリス、中国、シンガポールなどの海外の研究機関との比較共同研究も活発である。

- 沿岸海域の海底堆積物と流体応力の関係
- サンゴを取り巻く流体運動の研究
- 内部波の海底斜面における砕波と混合に関する研究
- サンフランシスコ湾の環境問題

本G-TeCの目的にかなった課題としてサンフランシスコ湾の環境問題が挙げられるが、東京湾と類して、様々な研究組織が取り組んでいることもあり、全体を取りまとめる組織がないことが大きな問題である。

特筆すべき研究課題について、以下に列挙する。

・内部波の海底斜面における砕波と混合に関する研究

Digital Particle Velocimetry (DPTV) とLaser Induced Fluorescence (LIF) 等を用い、変動解析モデルである格子平均法 (LES; Large Eddy Simulation) により、内部波の物理過程内部波の物理過程・構造解析を行っている。研究所には、自然環境を再現するためのFluid tankが設置されていた。

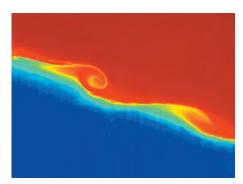


図 1 内部波の流体シミュレーション (画像は研究室HPより転載)



図2 研究所に設置されたFluid tank

・サンゴを取り巻く流体運動の研究

NSFのファンドにより、イスラエルのEilatをフィールドサイトとして、紅海海底で生じる乱流構造の解析とサンゴに与える影響評価研究を行う。海流は、栄養塩、幼虫、廃棄物など、サンゴの生育・繁殖のために欠かせない物質輸送の機能を果たす。乱流下部境界層を含む海流は、海底で発達するサンゴの複雑な構造に関係している。研究は、超音波流速プロファイラー(ADCP)、超音波ドップラー流速計(ADV)などを用いて海洋物理過程の調査を行っている。得られたデータは、サンゴ礁システムにおける、海底堆積物の荒さ、海流混合および栄養塩輸送の関係と過程を実験室のFluid tankにて再現し、統合シミュレートするために利用される。また、サンゴ礁や二枚貝等を対象とした類似の生物流体メカニズムの研究は、フロリダ州のKeys Fieldやハワイ州オアフ島のKaneohe湾でも行っている。このような生物流体メカニズム研究は数年前に新たに取組はじめたものであるが、現在では、全米でも注目を浴びる研究プログラムとなっている。最近は、CRAYミニスーパーコンピュータとシリコングラフィックワークステーションを導入し、シミュ

レーション研究に取り組んでいる。

・ジャイアントケルプ林を取り巻く環境と流体シ ミュレーション

カリフォルニア州サンタクルスの海岸のジャイアントケルプの生育環境における海流の垂直混合および乱流発生と、それによる生物・栄養塩輸送のプロセス解析を行っている。研究室は、1/25スケールのジャイアントケルプの人工生育環境を構築し、自然環境の再現とシミュレーション研究を行っている。

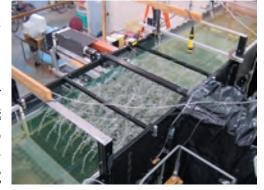


図3 研究室に設置された人工造成ジャイア ントケルプ林

◆ 海洋生態系管理研究について

Monismith教授より、海洋生態系管理研究プロジェクトを進める上での見解や日本の研究についてのコメントをいくつか伺った。

・人材育成・教育プログラムの強化

最近のNSFのプロポーザルには、かならずアウトリーチを提案に含めることが義務付けられている。また、今話題のUS OCEAN ACTION PLANでも、K-12から学生を対象に海洋教育への積極的な取り組みが謳われており、現在、全米各地でそれを反映した形でアウトリーチに関するワークショップが開催されている。アウトリーチ活動について、スタンフォード大学の欠点は、MBARIのように水族館と連携していないところである。

・日本に欠けている研究の視点

イノベーションがはやっているようだが、本当のイノベーションは分野融合からなる。生態系保全分野については、生物学、物理学、流体力学などの研究者を一堂に集めた融合型の研究とそのような場の提供が必要。学際融合研究は、スタンフォード大学のInterdisciplinary Graduate Program in Environment and Resources (IPER)³プロジェクトが既に同様な取り組みを行っており、参考になると思う。また、環境保全は政策によるところが大きいと思う。科学技術的な側面は難しくない。今回のUS ACTION PLANに関する政策的な動きも、研究者がポリシーメーカーを動かしたため、大きな流れができたものである。

◆ 国際連携: Singapore Stanford Partnership (SSP)4

スタンフォード大学公共・環境工学部がシンガポールの大学と行う環境プロジェクト (パートナーシップ) について伺った。

本研究室は、シンガポール Nanyang Technological University's School of Civil & Environmental Engineering と流体力学分野での共同研究を行っている。共同研究に伴い、Monismith教授は、客員教授としてシンガポールに数ヶ月にわたり滞在し、教鞭をとられている。シンガポール国は、世界のトップクラスの研究を行うために、外国からの研究者および学生を積極的に呼び込むという国策がある。スタンフォード大学からはDepartment of Civil & Environmental Engineeringに所属する約15名の教授が関係している。授業は、The Stanford Center for Professional Development (SCPD)の協力により、遠隔授業やweb上での情報共有など積極的な両大学の交流を進めている。学生の出身母体は、中国、インド、タイ、マレーシア、ネパール、ミャンマー、ベトナム、

³ http://iper.stanford.edu/program/message.html

⁴ http://www.stanford.edu/group/sspprogram/index.htm

インドネシア、台湾、シンガポール、フィリピンと国際色豊かである。

同国は、都市化とともにシンガポール川が汚染され、再生にあたって流域内での養豚を禁止し、汚水をたれ流す屋台を禁止してビルの中に収容するなど、強力な取り組みを行っている。また、シンガポールは水の約半分を、隣国マレーシアより輸入している。そのため、水資源の確保を目的として、島中に地下下水道を敷設し、国中の水路と河にダムを設け、家庭や工場から排出する汚水・汚物を完全に下水道に流し、きれいな雨水だけを水路に集めて河川のダムに流し込ませる浄化プロセスを採用するなど、水資源の確保・循環利用に取り組んでいる。Monismith教授は、ダム建設による河川の流体力学的な変化としての環境影響評価を行っている。

Integrative Biology, University of California, Berkeley

http://www-powelllab.biol.berkeley.edu/lab/index.html

DATE: 10:00-17:30 1 Nov, 2005

PLACE: 3060 Valley Life Sciences Bldg #3140, Berkeley CA

94720-3140

■概要

UC Berkeleyには、海洋の環境問題を物理的な視点から取り組んでいる著名な研究者が3名いる。Powell教授は、US GLOBEC⁵の立案・運営の中心的な役割を果した人物でNSF/NOAAなどのFunding Agencyなどにも広くネットワークを持っている。また、Powell教授は海洋環境の物理・生物プロセス解析とモデリングを中心とし、様々な分野の研究者と共同研究を展開し、第一線の研究者として活躍している。

Koehl教授は低生生物と物理環境に関する研究に対してMacArthur Foundation Fellowship Awardなどをはじめ名誉ある賞を数多く受賞している。

Stacey教授は、北米の若い研究者の中で、最も嘱望された研究者である。主に、混合・拡散と沿岸域の関係について研究を行なっている。彼の今後の研究に期待し、NSFは CAREER Awardを出している。このように、UC Berkeleyには、世界でもトップクラスの研究者が数多くおり、海洋環境に関するプロジェクトについて広い知識をもっている。

個別の研究に関しては、以下の部分を参照されたい。本G-TeCの趣旨に最も関係する事柄は、生態系モデルに関することと、サンフランシスコ湾に関する環境汚染問題である。生態系のモデルはPowell教授がHaidvogel教授と共同で進めているもので、対象とする海域をいくつかの段階でスケールの異なった流体運動と生物の分布を予測するモデルをつくり、最も解像度の高いスケールでの生態系の変動予測を行なう方法を開発している。

サンフランシスコ湾の環境変動を予測するためには、モデリングとモニタリングをバランス良く組み合わせて湾内の3次元的な流動を的確にとらえることが重要である。現在、Stacey教授は、サンフランシスコ湾の湾口においてCTD・ADCPなどを用いて流況のモニタリングを行なっている。サンフランシスコ湾においては、堆積物の役割が重要で、その分布及び移動に関するモデル開発が必要である。

-

⁵ http://www.usglobec.org/

◆ 主な研究課題

各研究者から、現在取り組んでいる主な研究について説明頂き、その問題点と今後の展望について伺った。

・Powellの関係するプロジェクト

PowellはUS GLOBECの立ち上げに中心的な役割を果たした。US GLOBECは1987年に開始され、3つの海域(東海岸、西海岸および南氷洋)を対象としたプログラムが展開された。全体のプログラムは2009年に終了する。IGPPレベルでGLOBECの後のプログラムとしてIMBERを計画している。USはいまだ体制作りに入っていない。

現在、Dale Haidvogel (Rutgers University) と共同で北太平洋海域モデル(3レベルのNestedモデル)の開発を行っている。さらに生態系モデルを組み込む作業を行っている。生態系モデルは日本のNEMUROモデル(北大・岸ら)に比較的近いものである。今後は、個体モデルを取り入れる計画である。さらに、解像度を高め、衛星データとの同時化および理合うタイムの比較を計画している。

Stacyと共同でSF湾と外洋の水理交換メカニズムに関するプログラムを行っている (NOAAのファンディング)。現場観測は終了し、現在、データの解析が進んでいる。次のステージとしては、得られたデータと数値モデルを組み合わせた湾内水理環境の予測モデルを構築することである。SF湾へNestedモデルを応用する用意がある。

また、生態系の複雑適応系理論を提唱した数理生態学者であるプリンストン大学の Simon Levin⁶と、Ecosystem based managementの理念に基づきHAB(有害藻類 ブルーム)を予測する共同研究を計画している。

・Koehlの関係するプロジェクト

これまでの研究対象は、低生生物と海底境界層の関係について流体力学的な見地から行っている。また、礁における外来種の問題や海草と流体の運動の関係などにも着目した研究を行っている。さらに、動物プランクトンの摂餌の問題などについても取り組んできた。現在、研究基金はNSF、ONR、マクドナルド基金などからもらっている。マクドナルドからもらっている基金では、エビやカニなどの甲殻類の生体センサー(嗅覚)のメカニズムについて研究している。乱流環境で、甲殻類をはじめ生物が拡散された低分子のにおいをどのようにセンシングしているかを解明することは大変チャレンジングなテーマである。7

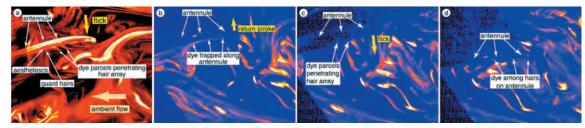


図4 乱流プルームにおけるエビの小触覚の感受性部位

・Stacevの関係するプロジェクト

モントレー湾では、ThinLayer(薄層)、すなわち植物プランクトンが極めて薄い層で発生し、この薄い層が長時間にわたり存在するという現象が発生している。この薄層の維持機構がHABの発生に関連しているのではないかと考えられており、メカニズム解明に向けた研究に取り組んでいる。

⁶ http://www.eeb.princeton.edu/~slevin/

⁷ Science 30 November 2001: Vol. 294. no. 5548, pp. 1948 - 1951

また、Ecological Forecasting(生態学的予測)という新しい概念に基づくプログラムを計画している。SF湾のHabitat Restorationがどのように低生堆積物の動態に影響し、光や生産性に影響を与えるかを予測するモデルを構築したいため、湾内の流れを的確に再現した3次元水理モデルを開発し、生態系および堆積物の動態モデルを組み込んだ予測モデルを開発しなければならないと考えている。

◆ 海外との共同研究

日本人の研究者は個人的なレベルは高いが、組織的な共同研究体制がとりにくい (Powell)。共同研究を行うにあたって重要な研究課題 (Critical Problem)を選定し、両者の見地の違いか出てくる別のアプローチについてお互い学ぶことを期待している。たとえば、東京湾とSF湾の環境問題の比較、外来種の問題やHABの予測問題などは Critical Problemであろう。特に、閉鎖性内湾のHABの予測モデルは重要な課題である。

◆ その他

Ecosystem based managementは未だ十分な定義がなされておらず、具体的管理 手法 や成果が出ている例はない。カリフォルニア州では、Ecosystem based management for fisheriesの計画がなされており、Powellはこの委員会のメンバーで ある。現在のアメリカの重要課題は、海洋観測ネットワークシステムの構築である。 IOOS 北西部のプログラムはNeptuneと呼ばれ、カナダとの共同出資でネットワーク を構築する計画である。

SF湾の監視・管理を統括する機関は存在していない。また、SF湾の環境に関連する多くの機関を取りまとめる中心的な人物も存在していない。しかし、それぞれの機関の個人レベルでの共同研究はすすめられている。カリフォルニア州を中心とした連邦政府と協力し推進するCALFED Bay-Delta Program⁸は注目すべき研究プログラムであるが、政治的な様相が強く、純粋科学の追求は重要視されていない。



図5 ミーティングルームにて (左からProf. Mimi Koehl、 Prof. Tom (Zack) Powell、Prof. Mark Stacey)

Gordon and Betty Moore Foundation (GBMF)

http://www.moore.org/

DATE: 14:00-16:30 2 Nov, 2005

PLACE: Meeting room, The GBMF, P.O. Box 29910, The Presidio of SF,

San Francisco, CA 94129-0910, Voice: (415) 561-7592

■概要

-

・イニシアティブ選定の視点: 現代の最先端のツールや技術を利用することにより、研究が飛躍的に進展し、社会的インパクトが大きい研究成果を得ることが可能な分野(ハ

⁸ http://calwater.ca.gov/



図6 イニシアティブ、ポートフォリオ作成に当たってのゴードン・ムーア氏とスタッフとのディスカッション内容を記したホワイトボード。3Fオフィスに現在でも残されている。

イリスクではあるがハイリターンな分野)を、独自のパフォーマンスマトリクスを用いて評価・選定する。

- ・財団のポートフォリオに沿ったイニシアティブの達成と社会的インパクトの大きい成果 を得るために、グランティー間の連携や、グラントを活用した他機関とのパートナー シップ形成を積極的に推奨している。
- ・研究成果は、必ずしも産業利用を最終目的とするものではなく、社会の注目度が高く、 且つ社会の受容度が大きい物を目指している。

◆ 設立と背景

「ムーアの法則」で知られるIntel名誉会長のゴードン・ムーア氏と妻Betty氏により 2000年11月に設立された、政府機関など、従来の団体から資金援助を受けることの難しかったプロジェクトや研究を選んで資金を提供する財団。特にムーア夫妻が強く興味を抱いている研究分野―海洋研究、生態系・生物多様性保全研究、看護婦養成施設―に巨額のファンディングを行っている。なお、対象は、米国内の研究機関・研究者に限らず、カナダや南米の国々など、財団のイニシアティブに合致し、飛躍的な成果を挙げることが期待されるものであれば国籍は問わない。

◆ 理念

ムーア夫妻の意向により、社会への還元が可能で、社会的なインパクトが大きく、研究成果を定量的に評価できる目的が明確な研究分野をターゲットとする。そのため、グラントの額も少額の資金ではインパクトのある成果が生まれにくいとの考えから、必然的に高額となっている。

財団のポートフォリオに沿った研究の達成と社会的インパクトの大きい成果を得るため に、グランティー間の連携や、グラントを活用した他機関とのパートナーシップ形成を推 奨している。また、ムーア財団自体も、自身のポートフォリオと合致するのであれば、他の財団との連携の機会を常に探しており、NSF、The John D. and Catherine T. MacArthur Foundation や The David and Lucile Packard Foundation 等の機関とサンフランシスコ湾や海洋保全研究などに取り組んでいる。

◆ 構成

スタッフは総勢70名。そのうち、 半数強が事務局(会計、ヘッジファンド運用戦略、監査、評価、渉外・ 広報、人事・キャパシティビルディング、法務、創造活動(Creative

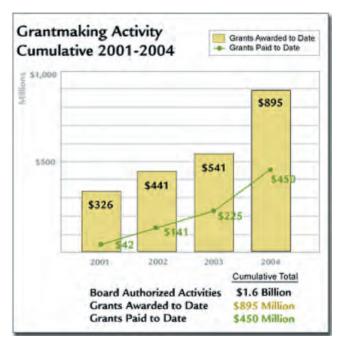


図7 グランドの年次推移

Experience)、システム基盤)であり、残りは、プログラムオフィサー、アシスタント、技術戦略家 (Technology Strategist)等のファンディングスタッフである。ファンディングスタッフのうち十数名は、大学教授者等のキャリアを有している上、NSF等でのPD、PO経験がある。理事会(Board of Trustees)は、設立者及び技術者の10名からなり、財団のイニシアティブやグラントの決定などに大きく携わる。

◆ 予算

財団の創設者であるムーア夫妻は、2001年1月に、評価額1億7300万ドルのインテル株の500万シェアを寄付した。翌月、慈善継承権信託(Charitable Remainder Trust)を設立し、1億7000万インテル株の利益配分を得た。2年後の2003年2月には、40億ドルの基金を得て信託は解散した。

財団は、設立以降急速に成長し、現在、約50億ドルの資金を管理し、約2000万ドルの年間運用予算をハンドリングしている。

◆ イニシアティブ

財団の理念の下、スタッフとアドバイザリーボードの話し合いにより以下のイニシアティブが設定されている。イニシアティブの新規立ち上げに要する期間はそれぞれ異なるが、海洋バイオロジーの場合、構想から2年かかっている。イニシアティブの継続期間は基本的には10年間であるが、それ以上の場合もある。しかしながら、財団自体が2000年に設立されたばかりであるので、イニシアティブの継続についてははっきりしたことは分からない。

- ≫ Andes-Amazon (2003年2月~)
- ≫ Betty Irene Moore Nursing (2003年11月~、10年間)
- ➤ California Institute of Technology (2001年10月~、10年間)
- ≫ Conservation International (2001年10月~)
- ≫ Marine Conservation (2005年7月~、10.5年間)
 世界標準の海洋保全管理ツールの開発を行う。
- ≫ Marine Microbiology (2004年4月~、10年間) 海洋における窒素、炭素、エネルギー循環や食物網の基盤を担う微生物の機能、

構成、生態学的役割の新たな知見を成果とする。

≫ Wild Salmon Ecosystems (2002年11月~)

日本でこの財団と関係が深いものは、PLoS (Public Library of Science、オープンアクセスジャーナルの出版団体)であり、本財団から900万ドルのグラントを受け、2003年から主に投稿料(1論文1,500ドル)によって運営されるオープンアクセスジャーナルを発行している。

◆ ファンディングプロセスと概要

ハワード・ヒューズ財団と類似しており、プロポーザルによる選考ではなく、財団が財

- ≫ 過去の実績
- ≫ 現在の研究活動状況
- ≫ 将来の研究成果が過去の実績よりも大きなものになるか
- ≫ イニシアティブ (ポートフォリオ) とマッチしているか

団の理念やポートフォリオにマッチした研究者や研究機関、NGO等をトップダウン的に選定する。選考は、左の4つの視点に

よる。

なお、選考過程で、財団のスタッフとグランティー(予定)である研究者・研究機関と 議論を行い、財団のポートフォリオにあうような研究目標の修正などを行い、明確な出口 を設定させる。その出口は、必ずしも産業化を目指しているものではなく、環境の保全や 教育の向上にある。

ファンディングは、1研究課題当たり3年~5年(稀に1年など)の研究期間であり、グラントは数千ドルから数百万ドルにわたる。2005年10月末時点で、約180の機関(研究者)へファンディングを行っている。なお、我々は、研究機関にファンドしているのではなく、研究者や研究プロジェクトにファンドしているという意識から、どの大学・機関にしてもオーバーヘッドは12.5%と決めている。ハーバード大学等のようなオーバーヘッドのパーセンテージが高い機関はなかなか認めてもらえないが、交渉し、対応している。5年間の研究期間のグラントに対しては、パフォーマンスマトリックスを用いて、採択3年後に中間評価を行う。海洋微生物のイニシアティブ研究については、2007年の予定。

個別イニシアティブ

Marine Microbiology

新たなイニシアティブを選定するに当たり、ムーア氏は、海洋研究の中でも取り組みが手薄で、最先端のツールの利用によって研究(理解)が飛躍的に進展し、且つ研究成果の社会的インパクトが大きい研究分野を希望した。海洋微生物研究は、遺伝子情報のアクセスが可能となった上に、先端ツールを用いた取り組みによるトランスフォーメーションが飛躍的に行える分野と判断し、イニシアティブとしてこの6月に立ち上げた。

海洋微生物の研究は、ヒトゲノム解析によるショットガンシークエンサーやマイクロチップなどの開発が飛躍的に進み、先端的なツールの利用が可能となりつつある分野である。同時に、海洋微生物の99%は人工培養ができず、未知の種や未知の機能のスクリーニングが困難な大変チャレンジングな分野である。

イニシアティブの主な中身は、海洋微生物のゲノム解析に基づくバクテリアルループ等の構成、機能、生態学的役割の理解であり、海洋の窒素、炭素、エネルギーの流れを生物地球化学的に理解することである。本イニシアティブは世界的に見ても萌芽的な分野である。

ここでは、研究者個人へのアワードとして、MITやワシントン大学などのこの分野で意 欲的な研究者と機関にファンドしている。最近、Nature誌に掲載されたOceans Biotechnology (September, 2005) の特集には、本財団がファンドしている2件の 研究が紹介されていた。本分野が、世間の注目と期待を浴びていることがわかる。一例と して、ワシントン大学Dr. E. Virginia Armbrust (2004, Science) は、シャーガッソ 海のDiatoms(珪藻)が尿素代謝やオルニチン回路、脂質代謝系を有していることを ショットガンシークエンスによる大量の情報取得に基づき解析し、海洋による窒素固定の 仕組みを理解する上で重要な発見をした。微生物ゲノムの情報は、過去から現在に至る海 洋の変動をシステムとして理解するうえで非常に重要な情報を与えるものである。また、 Microbial Genome Sequencing Project として、J. Craig Venter Institute や Rutgers University Foundation等のNPO機関へファンディングし、Sorcerer II航海 船を建設し、世界中の海洋からCyanobacteria等の86株の微生物を採取し、メタゲノミ クス解析を行っている。⁹生態系のモニタリング・機能把握、未知の情報の取得のためのア プローチ方法はさまざまであるが、近年、他の種で既知となっている遺伝子をプローブと したin silico解析により、効率よく機能解明を行う傾向にある。今後の課題は、未知の遺 伝子群の機能解析と検証、タンパク質構造解析にある。

なお、DOEが進めているGTL(Genomes to Life)プロジェクトは、バイオレメディエーションや水素発生・生産効率向上等の新エネルギー利用を目的としたグリーンテクノロジー的な微生物利用を出口にした微生物機能の解明であり、本イニシアティブの趣旨とは異なる。

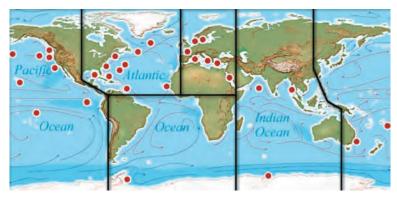


図8 Microbial Genome Sequencing Projectにおける海洋微生物の採取地

Marine Conservation

スタッフとアドバイザリーボードの話し合いにより、イニシアティブの対象地域として、重要な生物資源(サンゴ等)を与える生態系サービスの重要性、保全管理対策に対するキャパシティ、保全管理対策の移行性を踏まえた視点から、4つの主要地域(Gulf of Maine, British Columbia, California Current, フィジー)を選定した。なお、本イニシアティブでは、それ以外の地域は対象としていない。

このイニシアティブで目指すものは、地域特性(文化・社会活動)を踏まえた生態系管理、経済的なインセンティブを含めた漁業保全管理、保全意識に基づく革新的 (innovative) な管理ツールの開発である。

なお、採択課題の中には、UC Santa Barbara のMoorea StationやUniversity of California, San Diego, Scripps Institution of Oceanographyのように2004年度にNSFが新たにファンドしたLTERサイトも入っている。

-

⁹ http://www.venterinstitute.org/press/news/news 2004 03 04.php

Wild Salmon Ecosystems

地域や地方レベルで活躍する 専門家と協力し、サケがどのように北太平洋を回遊しているのか、その生態の全体像を明らかにすることを目的として、カムチャッカ、ブリティッシュコロンビア、アラスカの3地域にカーンビア、アラスカの3地域にあ研究機関やNPOにファンドしている。そのために、各地域の分断化された情報のまとめや、新たな知見を加えつつ、分布域

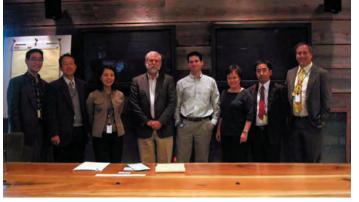


図9 ミーティングルームにて(左から、近藤、櫻本、東、 Kingsbury氏、Webmaster氏、Proctor氏、山崎、 Conner氏)

全体におけるサケの生息状況や回遊の変化をモニタリングしている。この研究により太平洋のサケが永続的に生き残れるよう、その減少を食い止め、逆に増加へと転じさせるための戦略を立てる事を目的としている。イニシアティブ課題の一つである「ステート・オブ・サーモン」は、GISツールで作成したインタラクティブ・マップに新規データを追加しつつ、充実化をはかっている。

Hopkins Marine Station of Stanford University

http://www-marine.stanford.edu

DATE: 10:00-13:30 4 Nov, 2005

PLACE: Oceanview Boulevard, Pacific Grove, CA 93950-3094

◆ 概要

沿岸海洋のための学際的共同研究 (PISCO) が1999年、The David and Lucile Packard Foundation により設立された。PISCOの理念は調査対象としてアメリカ西海岸全域をカバーし、沿岸域全域についての生態系を研究対象とした学際的調査・研究を行うことにある。調査研究はオレゴン州立大学、Hopkins Marine Station (スタンフォード大学)、カリフォルニア大学サンタクルス校、カリフォルニア大学サンタバーバラ校の研究者により主導的に進められている。

今回の訪問先対応者である、Prof. Steve Palumbilは、PISCOが実施している研究対象のなかで、遺伝的手法による調査・分析で中心的役割を果たしている。特に、魚ばかりでなくプランクトンレベルでの海洋生物に対するDNAチップを開発し、環境条件の相違に対する生物の反応を時空間的に遺伝子レベルで解明することを目的としている。プランクトンレベルでのDNAチップの開発は本研究で初めて行われた。海洋生物資源の管理、生態系管理等を行う上でこれらの知見は貴重な情報を与えるであろう。日本でも遺伝的研究は盛んであるが、海洋生物資源の生態を明らかにするためのこのような取り組みは皆無である。また、海洋生態系の保全を図るための調査研究を実施するには、このような広範囲の水域を対象とした横断的かつ学際的な研究が不可欠である。我が国では本プロジェクトに明示された理念や組織的アプローチがなされていないのは残念である。大いに参考とすべきであろう。

◆ 設立と背景

スタンフォード大学Hopkins Marine Stationはスタンフォオード大学生物科学学科の支部として1892年に設立された。太平洋側の海洋研究所としてはもっとも古い研究所

である。当機関のProf. Steve Palumbiは遺伝的手法を用いた調査・研究で、上記PISCOプロジェクトの牽引役を担っている。このような研究行っているPISCOの共同研究者はJack Barth (OSU)、Margaret Mcmanus (UCSC)、Libe palumbi (Stanford) などがいる。また、同教授はPEW OCEANS COMMISION のMarine reservesセクションの取りまとめを行い、保護海域(MPA)を政策導入するよう働きかけている。

Prof. Steve Palumbが推進するプロジェクトのHopkins Marine Stationにおける研究スタッフは10名程度。Moore財団、Packard財団、Meron財団から年間(?)約100万ドルの研究費が支給されている。

◆ 個別プロジェクト

Hopkins Marine Stationの主な研究プロジェクトについて説明頂いた。以下に、主な項目を記載する。

- 1) 遺伝的組成からみた魚類および無脊椎動物の分布組成の研究 遺伝的組成からみた稚仔の拡散のメカニズムの解明, 地域的遺伝距離の推定, 遺伝 的組成の地理的変遷
- 2) 遺伝子チップを用いた環境による遺伝的変遷 無脊椎動物の遺伝情報の解明,環境ストレスと遺伝子の反応

PISCOが実施している他の研究プロジェクト

- 3) メキシコからアラスカまでの生物拡散の調査 ケルプの地域的変動と分布、海洋環境(表層水温)と稚仔の生残過程,月齢と稚仔の 生残過程
- 4) 稚魚・無脊椎動物、魚の海洋学的な輸送メカニズム European Green Crab, Chinese Mitten Crab, Zebra Mussel, Seaweed, Caulerpa taxifold
- 5) 天然由来のサケの分布構造 strontium-86, strontium-87によるサケの分布構造の分析, 湾内の環境指標,農薬のモニタリング
- 6) ロックフィッシュ2種について、生息地、拡散課程、種組成の変遷を遺伝的組成、 マイクロケミカルから分析
 - PCBの変遷, Polycyclic Aromatic Hydrocarbon (PAH), 溶解有毒物質の検証
- 7) CRANE (Cooperative Research and Assessment of Nearshore Ecosystem) との関係

Wetland Project Tracker (http://www.wrmp.org/projectintro.html) EcoAtlas Information System (http://www.ecoatlas.org/)

◆ 国際的な協力関係

ニュジーランド、フィリピン、インドネシア、ドイツ、それ以外のヨーロッパのいくつかの国、台湾等。日本との共同研究は行っていない。日本では人間のDNAの研究は盛んで、海洋生物での養殖関係ではDNAのいい研究が行われているが、海洋生物に対するデモグラフィックなデータはあまり集められていない。

- ◆ 現在進行中のプロジェクトに関する詳細説明
 - ≫ 遺伝的組成からみた魚類および無脊椎動物の分布組成の研究:

2つの方法により海洋生物の分布構造を明らかにする。1つは卵が放出されlarvaが海流等、海水の動きにより輸送されるプロセスを海洋学の面から解明する。特に、浅海域での海流の状態を調べている。もう一つは、遺伝情報を用い、遺伝組成の地理的相違、分布パターンを明らかにする。生息域、輸送過程、遺伝組成の分布パターンの解明は、

産業上重要な魚種等も含め、生息地の保護海域の選定と規模の決定、マリンパークのデザイン設計等を行う場合の不可欠な情報である。全ての生物を研究対象とし、魚類では現在までに200種以上について調査している。

≫ 現在までに得られた成果:

フジツボとムラサキイガイを用い、ワシントン、オレゴン、サンフランシスコ、ミシガン、サンタバーバラまでをカバーして調査。フジツボは遺伝子組成から3パターンに分類可能で、その組成比は北部2箇所、中部1ケ所、南部2ケ所で大きく異なった。それに対し、ムラサキイガイの遺伝子の組成比は海域によってほとんど変わらなかった。前者は個別のlarval poolが沿岸にできるために混合がそれほど進まず、後者は大きなlarval poolが形成され混合が進むという2つのモデルが考えられる。2つの遺伝子プールが形成される原因は発生時期の海洋構造(海流)の影響が大きいことと考えられる。

≫ 巻貝2種 (Nucello emarginata, N. ostrina):

稚仔の遊泳可能性に大きく影響され、遺伝子組成の地理的分布が変わった。これらの研究は生態系の管理を考えるときに、生物によって再生産の戦略が異なることを十分考慮しなければならないことを示している。

≫ DNAチップ:

Hopkins Marine StationのGeorge Someroが海洋生物に対するDNAチップを開発し、海洋生物に対しても環境条件の相違が生命現象に与える影響を遺伝子レベルで分析することが可能となった。ムラサキイガイの例では、8000個の遺伝子を8000ドッ

トとしてプロットする。転写を 示す表現パターンの相違を調べ ることによって、時々刻々の生 命現象が捉えられる。プランク トンについては1000種以上で 調べている。プランクトンを集 める方法としては、プランクトンを集 りき性の生物の胃からプランクトンを取り出す方法も用いてい る(バイオコレクター)。海洋 生物に対してDNAチップを用 いた研究を行うのは本プロジェ クトが世界初である。



図10 Hopkins Marine Stationにて(左から近藤、 Stephen R Palumbi、山崎、櫻本)

SFEI

http://www.sfei.org

DATE: 9:30-16:30 3 Nov, 2005

PLACE: 7770 Pardee Lane, 2nd Floor, Oakland, CA 94621

■概要

SFEIの活動は、省庁・市町村・民間営利団体などから独立しているため、湾内の環境に関して中立的な見解を公表することができる。SFEIは設立当初、主に化学汚染物質に着目して湾内の汚染状況のモニタリングを行なってきた。現在も、水銀とPCBの汚染状態については注意深くモニタリングを続けている。現在のモニタリングの対象は、化学物質だけでなく、外来種の状態と赤潮の発生状態などに問題が広がってきている。この状況は、世界中の都市と閉鎖性内湾の環境問題として注目を集めていると共に、早急な対策が

施されなければならない分野である。この意味からもSFEIは世界の先駆的な活動を展開している。SFEIの年次報告書「Pulse of the estuary」は、湾内の環境状態について詳細な報告がなされている。SFEIは湾内の化学物質および生物要因などのモニタリングに関しては充分な人材がいるが、環境予測の精度を高めていくためには、湾内の3次元的な流動を的確にとらえたモデルに生態系の予測モデルを組み込む必要がある。Oran博士は、湾内の3次元モデルを開発するためにStacy教授との共同研究を予定している。

以上より、G-TeCに最も関係のある研究は、湾内の生態系および3次元流動モデルの開発と、このモデルに基づく生態系の変動予測である。特に、外来種急増や赤潮拡大問題は、世界中で問題が広がっている。基本的なPhilosophyとしては、Ecological forecastingを目指すことであろう。

注 What is Ecological Forecasting? (http://www.nbii.gov/about/pubs/efbrochure/page2.html)

Ecological forecasts predict the effects of biological, chemical, physical, and human-induced changes on ecosystems and their components. These forecasts do not guarantee what is to come; instead, they offer scientifically sound estimations of what is likely to occur.

Such forecasts answer "What will happen if ..." questions tied to these changes. Short-term forecasts, such as predicting land-fall of toxic algal blooms, are similar to those done for weather and hurricane prediction. However, many of these short-term events have both immediate and long-term ecological impacts. For example, a catastrophic insect infestation or wildfire could allow major ecosystem shifts more readily than would otherwise occur. Similarly, major flood-induced nutrient influx to freshwater or coastal systems could impose longer-term changes in productivity or shifts to new ecosystem states.

Forecasting large-scale, long-term ecosystem changes is more akin to macroeconomic forecasts that build from expert judgment, analysis, and assessment, in addition to numerical simulation and prediction. Forecasts of such broad-based, long-term effects are particularly important because some of the most severe and long-lasting effects on ecosystems may result from chronic influences that are subtle over short time frames

◆ 機関の概要

当該機関(SFEI)は1986年にサンフランシスコ湾を科学的な知見に基づき保全する目的で非営利機関として発足した。その運営資金の多くは、サンフランシスコ湾に流入する河川等に放流している排水量に応じて民間・公益組織を問わずそれぞれが収める排水経費(State Water Resources Board)から支払われている。その他の資金源としてSan Francisco Estuary Project、So. California Coastal Water Research Projectなどのプロジェクトベースのものや、大学や民間機関からの受託研究などもある。

サンフランシスコ湾に流入している河川の流域は、カリフォルニア州の70%に渡る広大な面積をしめている。特に、山岳地帯は19世紀の半ばゴールドラッシュに沸き、金の精錬が盛んであった。この精錬過程では大量の水銀が利用され、いまだに高レベルの水銀汚染が検出される。このような流域環境にあるため、サンフランシスコ湾の水銀汚染は未だに深刻な問題である。このためSFEIの重要な活動のひとつは、湾内の汚染物質の監視である。

■現在進行中のプロジェクトに関する個別説明(主な物を抜粋)

Dr. John Oram

ROMSを用いたLA沖の流況シミュレーション(2kmグリッド)。 生態系の要素を加えている。計算はNested Model.生物粒子の追跡を行う予定。 SF湾のPCBの分布状態のマルチBOXモデルシュミレーション

Dr. Andrew Cohen

SF湾における外来種に関する研究。1850年代には外来種は存在していなかった。1960年以降には外来種は平均して14週に1種の割合で新種が確認されている、現在外来種は250種に及んでいる。この内訳には植物プランクトンおよび動物プランクトンは含まれていない。バラスト水に関する規制は存在するが、規制が守られているかチェックするのは容易でない。

53種は日本を含む北太平洋からの外来種である。

SF湾と東京湾におけるそれぞれの外来種を比較することを推薦。

Dr. Bruce Thompson

セディメント(低性滞積物質)の環境状態に関する研究。

セディメントに関する汚染規制は現在のところない。セディメントの状態をモニターするため、汚染化学物質および低性生物のモニタリングが不可欠。生物にたいする影響はなにか。指標生物の選定、魚への影響評価。以上の評価基準を作成し、4段階に汚染度合いを判定する。1)監視を必要とする。(Reference)2)や や 汚 染 さ れ て い る。(Marginally impacted)3) 汚 染 さ れ て い る。(Impackted)4)極度に汚染されている。(Severely Impackted)

Dr. Don Yee

MeHgとHgに関する研究。MeHgは計測が困難である。Yee博士は、高精度のデータを取得する方法を確立した。MeHgは、Hgよりも生物に吸収されやすい。湿地帯においてHgからMeHgに変化する過程が存在する。はたしてSaltPondを湿地帯に変えることがいいのか?

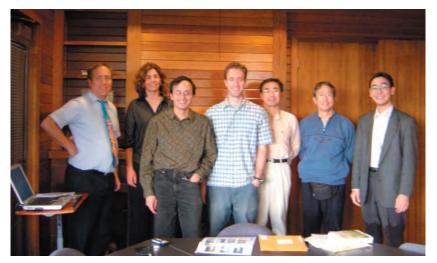


図11 SFEIミーティングルームにて(左からM. Connor, Letitia Grenier、?、M. Stacy (UC Berkely)、山崎、櫻本、近藤)

Dr. Letitia Grenier (Enviromental poluc management, UC Berkelev出身)

SF湾における食物網の役割。汚染物質と生物相との関係を調査するためStable Isotope (C,N,S) を用いた食物網のマッピングを行っている。生息域の分布状態を把握する。特に、窒素と炭素を用いた生息域の同定。

湾内の環境評価に重要な課題

- ・ 高精度の3次元の水理流況モデルによる流れの評価
- ・現場観測に基づくモデルの評価および調整
- ・セディメントの分布・移動予測モデルおよび検証
- ・3次元水理モデルと生態系モデルの開発

Monterey Bay Aquarium Research Institute

http://www.mbari.org/

DATE: 9:00-12:00 4 Nov, 2005

PLACE: 7700 Sandholdt Road Moss Landing, CA 95039-9644

Monterey Bay Aquarium Research Institute (MBARI) は、1987年David and Lucile Packard Foundationにより設立された私設機関である。科学と工学のパートナーシップという創設者の意向が色濃く反映したプロジェクトが展開されており、研究プロジェクトを始める段階、設備を設計する段階から科学者とエンジニアの連携が図られている。本G-Tecの観点からは、生態系を把握するための機器や設備の先端的な開発が科学に新たな発見をもたらすという発想に重点が置かれている印象を受ける。

海水に含まれる微生物の遺伝子情報を現場で分析するESP (Environmental Sample Processor)、レーザ光により海水やCO2ハイドレートとの境界層における化学組成を分析するLaser Raman Spectrometerなど、現場でしか得られない情報をその場で分析してしまう現場観測型 (In Situ) の分析器がいくつか開発されており、海洋観測機器のひとつの方向性を示しているように感じられる。

長期観測による時系列的データから、環境の変動に対する生態系の反応を明らかにしようとしているFrancisco Chavezらの研究も注目される。

◆ 機関の概要

- ≫ 1987年David and Lucile Packard Foundationにより設立された私設機関。 外部機関に依存した短期的なプロジェクトベースの研究ではなく、長期的なプライベートファンディングであるゆえにファンドを機関の裁量で使用できることが利点という。David Packardの設立思想は、科学と技術のパートナーシップ。従来海洋科学者は彼らの持っているツールだけで科学を行い、海洋技術者は新しいツールを開発すれども明確な科学アプリケーションが念頭に無いまま開発をしていた。技術者がそれまでに無かったツールを提供することで、科学者が従来の科学の限界を超えることができ、また、技術者が発明したデバイスが有効なものであるかどうかを科学者が示す役割を果たすというもの。
- ≫ 私設の利点として、設備の半分以上を投入するような機関のプロジェクトを実施することができる。この場合、ごく限られた数の投資家から受ける資金で請け負う。
- ≫ 科学者と海洋オペレーション担当者との緊密な関係が構築されている。設計の段階から科学者とオペレーション担当者が緊密に打ち合わせることで、汎用設備より使い勝手が良く、安全に使用できる。

- ≫ モンタレー湾水族館が教育、アウトリーチの役割を果たす。
- ≫ 海洋には大きなマーケットが無いため巨額の投資が難しい。他の分野が先端的に開発した技術を発展させて、海で使用可能なものを開発するというスタンス。現場観測型のセンサ開発にも力点が置かれ、水中で自動的に動作してデータを提供するという発想。
- ≫ 開発した技術や機器を商業ベンチャーで商品化。Laser Raman Spectrometer や Ultra Violet Spectrophotometer の 技 術 を も と に し た 化 学 分 析 器 や Autonomous Underwater Vehicleの推進装置などが例。
- ≫ Remotely Operated Vehicle、Autonomous Underwater Vehicle、調査船、 観測ブイなどの設備を保有。
- ≫ 機関全体の平均としては資金の75%がPackard Foundation、最大で25%が外 部資金。

◆ 個別プロジェクト

本G-Tecに関連あるものとして説明を受けた内容を以下に列挙する。

Midwater research: MBARI初期の頃のツールはROV (Remotely Operated Vehicle)。海中を観測し、サンプルを採取するといった内容を行ってきた。この分野では日本の研究者と協力を図り、JAMSTECと共同で日本海や日本周辺の海域とモンタレー湾の比較をした。Midwaterが広大な空間であるだけでなく、生物多様性があり、バイオマスの観点からも重要とのこと。Tiburonia granrojoという椅子ほどの大きさのクラゲが、ついここ数年前にも新たに発見されている。

Biogeochemical responses to climate variability: 1989年から観測ブイ等により長期にわたる定点観測を行っている。モンタレー湾で気温の変動に対するPrimary Productionやクロロフィル、硝酸塩等の変動をモニタ。エルニーニョによる気温上昇がPrimary Productionを大きく下降させている相関関係が見て取れる。Francisco Chavezらの研究。2/10℃の温度上昇が25%のPrimary Production減少を引き起こす現象が確認されている。Francisco Chavezの論文がサイエンス誌に。

MOOS (Monterey Ocean Observing System):機関プロジェクトの例。海底から水面に至るまでの空間に観測機器のネットワークを配置。水面には人工衛星との通信機能と太陽光発電パネルや風力発電機を持つブイがケーブルで結ばれる。電力の供給と通信をブイが担当する。定点を空間的に長期観測することができる。固定の物ではないため、これを別の場所へ移動可能なことが特徴。

また、陸から光ファイバケーブルを敷設して、さらに大規模な観測網を構築する計画が進行中。これはNeptune計画のテストベッドとしてモンタレー湾に構築中。北方ヘテストベッドを敷設すると現場へ行ける季節が限られてしまうことと、MBARIがROVを所有しているため、ケーブルや観測機器の投入、メンテナンスを迅速に行えることが場所選定の理由。ケーブルはアルカテルが敷設。資金はNSFから。

このような観測網にAUVを導入して、さらに3次元空間を観測するような方向性になっている。

 CO_2 の溶け込みにより、海水のpHが上昇した場合の影響を調べるために、海底に実際 CO_2 八イドレートを作り、生態系がどのような影響を受けるかを観測している。高圧チャンバ内ではこのような実験はできないため、実際に装置を沈めて実験。Laser Raman Spectrometerにより、海水や液化 CO_2 と海水との境界層の化学組成を調べることができる。

ESP (Environmental Sample Processor): 現場観測型の観測機器。海洋の微生物

をそのままの状態を保って培養することは研究室では難しく、死んでしまった細胞からは得たい情報が得られない。そこで、微生物の存在する海水中で採水、遺伝子取り出し、遺伝子分析までを全自動にて行う。海水に含まれている生物をひとまとめにして、そのまま化学的に均一化し、内部から遺伝子を取り出す。これを遺伝子チップに流し込み、反応をカメラで撮影、特定のRNAシーケンスを探索する(例えばリボゾームRNAなど)。分析された結果のデータ(何がどれだけ存在しているか)を陸上へ転送する。サンプル取得からデータ分析まで約2時間で処理することができる。これを30分間隔で時系列的にサンプリングが可能。共同研究を行いながら、さらに小型化していく方針。4000m深度で使用可能なDeep-ESPを開発中。NSF、W.M. Keck Foundation、NASA、GBMF等の資金による。Chris Scholinらの研究。東大生産技術研究所、国研、California Santa Cruz、(トプス大学)等との共同研究を行っている。

熱水地帯や冷水の湧出地帯における遺伝的な流れや分散を研究。例えば貝類を対象に、 Molecular Probeを使い、リボゾームRNA等をターゲットにして、有害種、外来種など の.生態系の構成を分析。世界の海洋生態系が動的に移り変わる様子を探る。生態系の保 全に役立てる。鯨骨にどのような生態系が取り付くかという研究も行われている。

◆ 海外との共同研究

- ≫ Midwater を対象としたJAMSTECとの共同研究。MBARI初期からのROVを用いた研究。JAMSTECと共同で日本海とモンタレー湾の比較をした。これが日本との共同研究のはじまり。
- ➤ ChrisのESPをさらに小さなシステムにするという方向で東京大学生産技術研究所の藤井輝夫助教授(マイクロ流体デバイス)との共同研究。

◆ その他

- ≫ 所長のMarcia K. McNuttはStanford Univ.のprofessorになる予定とのこと。
- ≫ 設備としては、調査船、ROV、AUV、観測ブイなどの設備を保有。オペレーション中の調査船やROVからの映像が山上のレピータを介して中継され、所内に居ながらリアルタイムにモニタできる。双方通信が可能で、モンタレー水族館からもROVの指令ができる。研究にもアウトリーチにも有効。

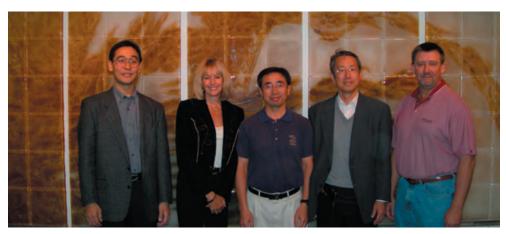


図12 左から、近藤、Marcia K. McNutt、山崎、櫻本、William J. Kirkwood

第34回天然資源の開発利用に関する日米会議(UJNR)水産増養殖専門部会

http://www.lib.noaa.gov/japan/aquaculture/aquaculture_panel.htm

DATE: 7-9, Nov., 2005

PLACE: Hubbs-SeaWorld Research Institute, San Diego, California,

USA

■第34回日米合同会議について

本会議は水産増養殖分野における日米の重点研究事項について、幅広く最新の情報を交換し、また研究協力を行うことにより相互の研究水準の向上を図ることを目的としている。今回のシンポジウムでは、「魚類の増養殖-新規高付加価値魚類の増養殖への技術的適応」をテーマとして、日本側13名米国側25名の参加者が両国の水産増養殖に関する最先端の技術に関して討議を行った。

日本側からは、(独)水産総合研究センターから10課題の報告があり、栽培漁業センター からクロマグロ、ブリ、メバル類の種苗生産技術について、養殖研究所からウナギの種苗 生産技術、ヒラメ、ニジマスを用いたマーカー選抜育種技術、仔稚魚の奇形発生制御技術、 廃棄ノリのプロトプラスト化による飼料利用技術について、中央水産研究所からアワビ腸 内細菌相について、瀬戸内海区水産研究所から未利用海藻の飼料利用技術について発表が あった。米国側からは、メバル類、ニベ類、ブリ、キハダマグロ、ヒラメ類、スズキ類の 種苗生産技術開発、閉鎖式循環養殖技術、ニューハンプシャー州およびハワイ州での沖合 養殖技術開発等について発表があった。また、新たな養殖技術として、米国ベンチャー企 業Mari Cal Inc.より、鰓のイオンチャンネルを修飾するカルシウム受容体の操作による 海水魚の淡水養殖技術の紹介があった。海洋における栽培漁業に関しては、日本は40年 以上の歴史を持っており、また水産庁が強力に推進していることから、種苗生産に関して は米国より技術的に進んでいる面もあり、米国側からの注目度が極めて高い。また、未利 用海藻の飼餌料としての利用技術に関しても、バイオマス利用の観点より、米国から大き な関心が寄せられた。米国においては、沿岸環境に対する市民の関心が高く、法的にも沿 岸域における給餌養殖が認められていないため、沖合養殖や循環式陸上養殖に関する技術 開発が協力に進められている。特に、広大な内陸部を活用して、海水魚を淡水循環養殖す る技術の開発が新たな研究展開方向の一つとして企業等で推進されている。

■米国の水産資源増養殖研究の現状

米国においては、内水面養殖に関してはUSDAが所管しているが、海洋における水産増養殖研究に関してはDOC下のNOAAが担当している。NOAAにおけるSea Grant College Programは、全米の水産・海洋関係の研究部門を持つ大学に事務所を置き、ディレクターを配置し、水産増養殖に関する研究の助成を行っている。また、NOAAの傘下にあるNMFSは、アラスカ(ジュノー)、北東(ウッズホール)、南東(マイアミ)、北西(シアトル)、南西(ラホヤ)の5つの海区水産研究所(Fisheries Science Center)を有しており、各海区の漁業資源管理、海洋環境調査とともに水産増養殖に関する研究を推進している。

米国においては、サケ・マス類の種苗放流については歴史が古く、ゲームフィッシングの対象魚種に関しては積極的な孵化放流事業を行っているが、栽培漁業については歴史が浅い。そのため、東海岸のヒラメ類、チェサピーク湾のブルークラブ、フロリダのスヌーク(スズキ類)、メキシコ湾のレッドドラム等の二べ類、チョウザメ類、西海岸のオヒョウ、ギンダラ、メバル類、ブリ、マグロ等について積極的な種苗生産・放流技術の研究開発とともに、沿岸生態系の生物多様性に与える影響に関する調査研究が推進されている。2006年9月には、シアトルにおいて第3回栽培漁業国際シンポジウムが開催される予定

である。¹⁰

また、養殖については、カキやアサリ等の貝類の無給餌養殖は歴史が古く、養殖法や漁場環境、疾病等に関する研究が盛んであるが、沿岸域における魚類給餌養殖に関しては、沿岸住民の環境保全意識が高く、法的に認められていない州もある。しかし、米国における健康志向による水産物消費の増加、乱獲や環境変動等による世界的な漁業資源水準の低迷、アジアからの水産物輸入超過による貿易アンバランス等の理由により、政府として養殖産業の振興に力を注いでいる。これらの問題に対し、沿岸環境への負荷を減ずる新たな養殖技術として、沈下式の大型網生け簀を用いた沖合養殖技術の開発に対してNOAAが強力に助成を行っており、ニューハンプシャー大学、ハワイ大学、Oceanic Institute(ハワイ州)、NMFS(プエルトリコ)等において技術開発と実証試験が実施されている。また、韓国の国立水産研究センターがこの技術を取り入れ、技術開発に取り組んでいる。また、米国政府は現在、国内で沖合養殖を推進するための法案を議会に提出中である。

また、海産魚種を海洋環境から完全に隔離した環境で養殖生産する、完全閉鎖型循環式陸上養殖技術の開発にも力を注いでいる。Kent Sea Tech Corp.は、カリフォルニア州の内陸に位置する砂漠の中で、地下水に液体酸素と塩化カルシウムを添加し、コンピュータ制御で水質・水温を管理した淡水を循環して、海水魚であるストライプトバスとホワイトバス(スズキ類)の交配種を大量に生産し、世界各国に生産物を輸出している。また、フロリダに所在する民間海洋研究機関であるHarborbranch Oceanographic Institute (Johnson & Johnsonがスポンサー)においては、海産のバナメイエビを淡水中で循環養殖する技術開発を行っている。バナメイエビの種苗生産技術については、ハワイに所在するOceanic Institute¹¹がウイルス等の病原体を一切保持しないSPFエビの生産技術を確立しており、ウイルス病等で低迷する東南アジアのエビ養殖産業に対して独占的に稚エビを供給している。循環淡水を用いた海産魚養殖は、海洋生態系から完全に隔離することによる環境負荷の抑止に加え、海水の使用によるコストを減じ、さらに海産魚固有の病原体の感染を回避するという利点を有しており、これからの養殖技術の一つの大きな流れとして注目される。

■生態系管理型養殖技術

米国海洋審議会の勧告に従った行動計画に基づき、「Ecosystem Based Management (生態系管理)」は増養殖振興施策においても大きく位置づけられるようになってきた。沿岸生態系と調和した持続可能な養殖生産に関しては世界的な流れであり、日本においても平成11年「持続的養殖生産確保法」が水産庁より提案され成立している。また、国連食料農業機構(FAO)においても、環境に配慮した水産業の発展のためのガイドライン「Code of Conduct for Responsible Fisheries」が作成された。このような経緯により、米国NOAAでも養殖における生態系管理についての国際的リーダーシップを計るべく、2005年4月、米国ハワイ州ホノルル市において、「International Workshop on the Role of Aquaculture in the Integrated Coastal and Ocean Management: An Ecosystem Approach (沿岸域の総合的管理に果たす養殖の役割に関する国際ワークショップ)」を開催し、多数の国からの参加があった。各国の生態系と調和した持続可能な養殖に向けた取り組みのシナリオ紹介が行われた後、①養殖に係わる生態系管理のための原則的なガイドラインの作成、②持続的な養殖業の発展のための沿岸生態系モデルの策定、③沿岸管理者のための生態系影響予測調査項目リストの作成、について討論が行われた。本会議では、物質循環を考慮に入れた生態系と調和した養殖システ

10 http://www.searanching.org

¹¹ http://www.oceanicinstitute.org

ム構築の重要性が強調され、環境浄化機能を持つ濾過食性の二枚貝や藻類養殖と魚類給餌養殖を各生物の特性をふまえて組み合わせたり、海域の特性に応じた施設の配置を考慮したりするなどの施策の必要性などが検討された。検討結果は、図書出版される予定。次回は2006年ベトナムで開催予定。

■米国増養殖研究の事例

1) NMFS北西水産研究センター 増養殖部門¹²

○増養殖部門概要

増養殖部門(ディレクター: Dr. Robert Iwamoto)においては、主にサケと底魚の資源回復プログラムを推進している。サケ資源回復プログラムでは、資源添加のモニタリングと評価、サケ資源のリスク評価について推進しており、海産魚資源回復プログラムでは、資源評価手法の精度向上と回復シナリオの構築を推進している。これらのプログラムは、米国連邦政府による希少種保全行動計画とMagnuson-Stevens行動計画に基づいて実施されている。これらの成果は、海洋生物資源の保全と持続的利用に直接寄与するものであり、行政施策への助言や論文等刊行物として公表される(2005年にサケおよび海産魚に関する出版論文数は200件以上)。産業的な応用は特に考慮していない。これらのプログラムは長期的な取り組みを必要としており、資源回復手法、バイオテクノロジー的手法、AUVやROV等の調査手法等の進展が不可欠である。

日本との共同研究体制は、サケの生理学、繁殖、内分泌学等の分野で実施されており、研究アイデアや技術的許容量の拡大のために日本との情報交換は不可欠でありさらに強化する必要があると考えている。

2005年度の年間予算は約6000万ドル。うち80%は政府予算であり、20%が競争的資金からで、民間資金はない。支出における施設経費は年間約200万ドル。

○海洋資源増殖プログラム (MEP)

増養殖部門におけるMEP(チームリーダー: Dr. Michael Rust)は、飼餌料技術チーム(NTT)と海洋生物学チーム(MBT)からなる。MBTは、主に海産魚の資源回復と保全を目的とした増養殖に関する研究を推進しており、種苗生産技術と飼餌料開発を主としている。また、ユニークな取り組みとしては、放流種苗の行動生態学に関する共同研究を推進している。これらの研究の主眼は、人工種苗放流の生態系に及ぼす負のインパクトを最小化し、資源回復効果を最大化することにある。他にユニークな取り組みとして、ギンダラ養殖における環境負荷低減のためのモデル構築を推進。NTTは、魚と人の栄養研究を推進しており、水産業における廃棄物の飼餌料への高度再利用等についても技術開発を実施。仔稚魚養成のための微少飼料の開発も行っている。また、MEPは、養殖における漁場環境へのリスクと生産物の毒化等による人の健康へのリスク管理のためのリスクアセスメント技術開発プログラムも実施している。

これらのプログラムは、漁獲漁業生産の低迷と水産物需要の拡大に対処するためのものであり、増養殖のもつ環境へのインパクトの実態を解明することを目的としている。養殖による環境負荷は、環境を悪化させる場合もあれば、逆に生産性を上げて多様性を増加させる場合もあり、環境管理施策担当者に対して正確なリスク評価手法を提示することが重要。

同グループは現在12種の魚種について種苗生産を可能にしており、資源の回復は水産業に対して経済効果をもたらす。直接的な成果としては、学術論文の他、養殖システムの確立や、行政への提言など。排他的経済水域(EEZ)における養殖を推進するための法案を議会に提出している政府をサポートしている。また、これらの技術のユーザーとして、

-65-

¹² http://www.nwfsc.noaa.gov

少数民族や政府、NPO、民間企業などを考慮している。日本との共同研究体制はまだないが、歓迎する。

また、上記海洋資源増養殖研究に加え、多栄養段階の海産生物の複合循環式陸上養殖技術の開発プログラムも推進している。このシステムは廃棄物やエネルギーコストを最小化することを目的としており、5R(respect、rethink、reduce、reuse、recycle)の理念に即すものである。

本プログラムの年間予算は、100~140万ドル。2006年度は予算削減により、100万ドルを下回る見込み。予算の30~50%はNOAAの政府予算で、50~70%が研究助成金、0~10%が民間やNPOから。民間からの予算は、「in-kind」と呼ばれる企業からの客員研究者などからの資金。私企業からの資金援助は受けられない。

2) ハワイ大学School of Ocean and Earth Science and Technology (SOEST) 沖 合養殖プロジェクト¹³

SOESTにおいては様々な海洋環境に関する研究が推進されているが、増養殖関連ではNOAAのシーグラントカレッジプログラム(前ディレクター: Dr. Charles Helsley)として沖合養殖技術開発に関する研究が推進されている。沖合養殖は、漁業や沿岸養殖が持つ多くの海洋環境へのインパクトを回避し、水産物を供給するための技術。今後10年間で世界の水産物供給の約半分が養殖に依存すると考えられ、沿岸域の利用は限界を迎えると考えられる。本研究で得られる成果は、公的情報として特許や論文として発表される。本沖合養殖技術は、ハワイ州と韓国において商業的に展開していると同時に、カリブ海その他の熱帯・亜熱帯地域へも普及されつつある。今後、沖合養殖にとって給餌技術、収穫技術、魚病対策技術等の進展が必要であると同時に、さらに多くの魚種への応用と種苗生産技術の確立が求められる。

年間予算は、6000万~1億ドル。民間からの寄付は約500万ドル。予算の内50%以上は人件費で、約35%が運営費、残りは設備費と旅費が同じくらい。施設運営費は約500万ドルで、ほとんどが政府予算からである。

沖合養殖技術にとって、モニタリング技術の高度化が必要である。また、周辺生態系保全のためには、逃げた魚が遺伝的多様性を攪乱しないよう地域系統を保全するための遺伝学的研究や、環境負荷を低減するための飼料開発が必要である。沖合養殖においては、収容前の稚魚の取り扱いに注意さえすれば魚病の発症率は低い。以前はいけす周辺の水質モニタリングを行っていたが、現在は海底質のモニタリングによる残餌や糞などの環境負荷量との関係についての調査を行っている。また、沖合養殖にとって、湾や、汽水域や沖合の水塊動態や物質循環を詳細に検討する必要がある。さらに、生態系保全の観点からの複合養殖技術への応用と経済性の検討が必要。養殖漁場における生態系管理モデルを開発しており、東海岸やワシントン州ですでに実用化されている。このモデルは、養殖許容量を算出するために、さまざまな条件下での養殖漁場で活用されている。

Scripps Institute of Oceanography

http://www.sio.ucsd.edu

DATE: 15:00-17:00 9 Nov., 2005

PLACE: 9500 Gilman Drive, La Jolla, California 92093-0210

_

¹³ http://www.soest.hawaii.edu

■概要

スクリップス海洋研究所は、海洋科学に関する研究、教育、公共事業等の実施を目的として1903年設立された米国最古で最大の海洋研究機関で、1912年にカリフォルニア大学サンディエゴ校の組織となり、その際に、設立者であるEdward Willis Scrippsと Ellen Browning Scripps兄妹の名前を研究所に冠した。カリフォルニア州サンディエゴ近郊のラホヤに位置し、太平洋に面した170エーカー(約69万平米)の敷地に多くの研究棟が立ち並んでいる。教職員数は100名であるが、ポスドクや常勤あるいは非常勤研究者(自身で研究予算を獲得して研究室を運営)が約300名、大学院生約200名、大学生約100名おり、その他の外来研究者や技術者、スタッフも合わせると、総勢1828名(2004年)が在籍している。年間総予算は約1億4千万ドル以上で、その内約65%は連邦政府からの補助金や研究費であり、その他民間企業からの委託契約予算や財団、個人からの寄付等も多い。また、研究所内にNOAAのSea Grant College Programの事務所があり、40以上の研究プロジェクトと45名の研修生の補助を行っている。

研究内容については、海洋に関する物理学、化学、生物学、地質学、地球物理学などで、保有している4隻の研究調査船とFLIPと呼ばれる沈下式海洋観測プラットフォームを用いて、世界中の海洋の海底構造や組成、波浪や海流、海洋と大気の相互作用等について調査を行っている。大気海洋相互作用、気候予測、地震、海洋動物生理、海洋化学、海岸浸食、海洋食物連鎖、海洋生物生態、海盆の地質史、地球環境変動などに関する300件以上の研究プログラムが常時進行している。

スクリップス海洋研究所は国際共同研究に関しても積極的に取り組んでおり、海洋調査研究に関しては我が国のJAMSTECと交流が深く、また漁業資源に関する研究に関しては遠洋水産研究所をはじめとする水産総合研究センターとの共同調査研究も実施されている。また、日本から多くの外来研究者を受け入れてきている。

■海洋生態系研究

海洋研究の新たな目的として、地球的な視野での海洋環境の解明と保全を目的とした新たな観測手法の開発が各国によって進められている。スクリップス海洋研究所においても、2004年からカリフォルニア州沿岸保全局より南カリフォルニア沿岸海洋観測システムの開発研究と沿岸海流モニタリングプログラムに2,100万ドルが計上されている。これらの研究は、カリフォルニア沿岸の海流モデルネットワークの構築と海流のリアルタイムマップの作成に大きく貢献するものであり、利用者に有用な情報を与えるという直接的な効用と同時に、沿岸海流の長期的変動過程を明らかにするための基礎的な海洋物理学への貢献も期待されている。また、スクリップスはマッサチューセッツ州に所在するWHOIと共同で、遠隔操作で海水温と塩分濃度を観測するスプレー・グライダーと呼ばれる高速船行で表層から水深1000mまでの潜行と浮上を繰り返し、浮上時に水温や塩分濃度などのリアルタイムデータを発信する小型海洋探査AUVを開発し、大西洋において950kmの観測飛行に成功した。気候変動と海洋環境に関する研究は、インド洋やアジアにおいても展開され、急激な経済発展による環境負荷が地球環境へ与える影響に関しても研究が進められている。

また、気候変動等の環境変化は、沿岸生態系に影響を与え、商業的にも大きな影響を与える。このことから、NSFは2004年よりカリフォルニア沿岸域をLong-Term Ecological Research (LTER) ネットワークのサイトとし、当面6年間にわたってスクリップス研究所に毎年500万ドルを計上する研究プロジェクトを開始した。このプロジェクトは、カリフォルニア海流の物理的変化が沿岸の生態系にどのような影響を与えるかを解明することにある。カリフォルニア沿岸は、カリフォルニア海流の湧昇流によって生産性が極めて高く、漁場としても価値が高い。プロジェクトリーダーのDr. Mark D.

Ohman (http://search.lternet.edu/directory_view.php?personid=13859) は海洋動物プランクトンの専門家であり、気候変動による海流の変化が食物連鎖を通じて沿岸生態系に与える影響の解明を目指している。

スクリップス海洋研究所の敷地内には、NOAA傘下のNational Marine Fisheries Service(国家海洋漁業庁)の南西水産科学センターがあり、漁業資源管理研究に関して密接な関係を持っている。カリフォルニア沿岸域はマイワシの漁場であり、日本近海を含む太平洋西部ではマイワシ資源が激減したのに対し、太平洋東部のこの海域では逆に増加している。このような、大洋規模のレジームシフトは海洋資源の変動に大きな影響を与えることから、重要な研究課題の一つである。また、南西水産科学センターにはアメリカ熱帯マグロ委員会も設置されており、マグロ資源や増養殖に関する研究も行われている。

■教育

研究プログラムと平行して教育プログラムも推進されており、学部生からドクターコースの大学院生まで受け入れており、学位を取得することができる。組織として研究部門の他に教育部門があり、生命海洋学、海洋物理学、海洋生物学、地質学、海洋化学、地球化学、地球物理学、気象学、応用海洋科学の8部門において、100人の教授と約300人のアカデミースタッフによって指導を受ける。ほとんどの学生は、研究室において研究助手として働き、給与を受けている。学生と教職員の比率は約2:1で、学位指導者と密接に研究を進めることができる。研究所の図書館は、海洋科学に関する蔵書が極めて豊富であり、コンピューター端末もすべてサンディエゴ・スーパーコンピュタ・センターに接続している。

また、米国においては、研究機関は広報施設を設置することが義務づけられていることから、施設内に一般市民が見学できるバーチ水族館が設置されており、小学生から高校生レベルを対象とした研究成果の公開を行っている。

Harvard University

http://www.deas.harvard.edu/mitchell/

DATE: 12月8日:11:00-14:30

PLACE: Division of Engineering and Applied Sciences, 29 Oxford Street

Cambridge, Massachusetts 02138

この研究室の主要な研究課題は、様々な環境中の表面(固層・気層界面や固層・液層界面)における微生物群集(Bio-film)の特性の解析と様々な分野におけるその応用であり、Prof. Mitchell, R はこの分野の開拓者の1人である。バイオフィルムは環境中のどの界面にも生じる微生物を主体とした高密度の生物群集とその生成物からなる複合体で、微生物群集が生成する多くの有機ポリマーの蓄積によって特異な環境を構成しており、その環境、素材によって組成その他は様々に変化するが、微生物と環境との関わり合いという観点からは興味ある対象であり、同時に水処理、船舶などの生物付着といった問題から、歴史的建造物、彫刻の劣化までの実際的な応用課題を持っている。

■微生物生態学の研究室としての活動:

Bio-filmは極めて広範囲の界面でその存在が認められるが、この研究室ではそこでの微生物学的解析(これは遺伝子レベルの特性も含む)、微生物の生成する高分子有機物(細胞外多糖類など)の役割、さらにその付着構造物の特性(金属、石灰岩等)を微細環境の解析も含めて、これらの相互作用を総合して研究・解析しているのが特徴である。さらに

微生物特にバクテリアの生産するポリマーはその付着する物質によって大きく変化し、そ の表面および内部でも異なるなど基礎的な研究としても充分評価出来るような問題発見型 のアプローチを行っている。また、ワックス、プラスチック、廃油などの微生物分解過程 に関する基礎的な研究も進めている。研究室では、これらの界面の応用例としてハワイに ある第2次大戦で沈没した戦艦アリゾナの保存(残存石油燃料の流出・分解や船の外壁の 腐食防止)などに対するバイオフィルムの影響や微生物群集の影響に関する研究などを 行っている。研究はこれらに関与する微生物群集の同定から油の分解や金属壁での腐食と 微生物活動との関係などの研究を進めている。また応用範囲は歴史的建造物や彫刻などの 表面保存技術(石灰岩、大理石)にも及んでいる。アメリカではバイオフィルムの研究を 行っている研究室は多くあるが、陸域、海域での歴史的遺産の保全とカップルしたバイオ フィルムの研究を行っている研究室はおそらくここだけであろう。その意味では微生物生 態学の中で特異な位置を占めている。現在、非再生資源の有効利用の1つとしてプラス チック製品の微生物分解に関する研究を始めている。これは微生物学の側面と、有機合成 化学の側面からのアプローチが必要であり、有機合成化学の研究者との共同研究でここで は微生物学的側面からの解析を進めているとのことであった。また、日本のある企業との 微生物を使った水の浄化などの共同研究も進めており、これらの分野での日本からの研究 員を受け入れている。

以上のように、Mitchell教授の研究グループは、界面における微生物現象に着目し、そこで現れる生化学反応や微生物プロセスの基礎的な機構解明を行うとともに、その知見や研究手法を、様々な界面環境(海洋、陸域を含む)の修復、保全、管理に結びつけるという戦略のもとに研究を推進している。この、基礎と応用を両輪として研究を進めるバランスのよさが、Mitchellグループの研究の特色のひとつであり、これが、ユニークな研究成果を産み出す背景となっていると思われる。

■これらの分野への研究費はどこからくるか?

基礎的な部分での研究費はNSFなどから得ているが、歴史的建造物の修復や、戦艦アリゾナの保存などのプロジェクトでは、内務省のファンドや美術館、あるいは海外の政府(例えばメキシコの遺跡の保存などはメキシコ政府など)、かなり多岐にわたる研究資金を得ているとのことであった。NSFのBio-complexity についての感想も聞いた。まだこれは継続されているがターゲットが広すぎてその成果があまり見えて来ないとMitchell教授の評価はあまりポジティブでは無かった。

■環境での微生物利用に関して今後重要と思われる分野について:

今後の微生物生態学の社会への応用として重要なのは、1)気候変動、2)エネルギーの2つであろう。気候における微生物の役割は炭素循環、窒素循環などにおける主要なドライビングフォースとしての微生物群集であり、特に有機炭素の無機化のプロセスでの微生物の役割評価は重要である。また、エネルギー分野では微生物による再生可能エネルギーの生産を考える必要がある。一方、環境中にはまだ、多くの知られざる有用な機能を持った微生物群が存在しているが、これらの多くは現状では培養出来ないため、その利用が限られていた。しかし、分子生物学の進展によって、培養できないがある有用な機能を持つ微生物群の遺伝子の特徴、あるいはその生理的類似性などを知ることが出来るようになった。この情報は、これらの培養できないが有用と思われる機能をもつ微生物を分離し培養できるようにする技術に発展させることが可能である。

Massachusetts Institute of Technology (MIT)

http://cee.mit.edu/index.pl?iid=7059

DATE: 12月9日:10:45-13:30

PLACE: Division of Biological Engineering and Department of Civil and

Environmental Engineering, Room 48-427, 77 Massachusetts

Ave, Cambridge, MA 02139

DeLong博士は、海洋における微生物を対象にした群集ゲノミクスの研究において世界の先頭をきっている研究者である。今回の訪問では、同博士の研究の特徴、その独創的な所や、アメリカにおけるこれらの研究に対する研究資金の流れ、さらに今後の研究の展望を中心にインタビューを行なった。以下、インタビューで得られた結果をまとめる。

■海洋における微生物生態学の新しい切り口としての群集ゲノミクスとその展開:

ここでの研究の特徴は、海洋科学の1つである、生物海洋学あるいは海洋微生物学の立場から群集ゲノミクスの研究を行なっていることであろう。海洋における微生物、特に細菌群集の機能や生態系における役割の研究は、海洋における1ml中に百万にも及ぶ、Free-living Bacteriaの発見、表層の光合成で作られる有機炭素の約50%が細菌群集を経由して代謝されるという微生物ループの概念の構築に始まって、この数10年の間に海洋における細菌群集の機能に関する理解は大きく進展した。その結果、海洋生態系の機能の理解に微生物群集を含める重要性の認識は定着した。しかし海洋に分布する微生物群集のうち、現在でも実験室で培養できる割合は1%たらずであり、そのため、海洋現場における微生物の機能と個々の微生物の代謝、生理活性との対応については知見の蓄積が遅れている。このギャップを埋めるべく進められているのが、個々の細菌の培養手法に依存しない、海洋微生物群集全体を対象とした群集ゲノミクスの研究である。

この分野でDeLong博士の抜き出ている点は海洋科学に基礎を置き、微生物群集の機能 との対応で群集ゲノミクスの研究を進めていることであろう。これまでの培養可能な微生 物群集の研究は、海洋分野においても分子系統の研究が多く、一方、海洋における細菌群 集の機能の研究では、個々の微生物を対象にすることが出来なかったので、例えば従属栄 養細菌群集としてまとめてその機能の発現である代謝速度などをRI-トレーサーを用い て解析してきた。従って、これらの間を結ぶ新たな手法として群集ゲノミクスが提案され、 ここから酵素などの機能性蛋白関連遺伝子を見つけ出し、微生物代謝・機能と結びつける 手法が確立されたわけである。この目的のためには遺伝子だけを環境から取り出しても意 味がない。そこに海洋現場における物理環境、化学・生物環境などの様々な環境情報を同 時に組み合わせることで、海洋における微生物群集の機能解析としての意味が出てくる。 アメリカの場合、NSFが支援している長期間にわたる継続的な海洋生態系のモニタリン グ観測点であるハワイ沖のHOT、大西洋のBATと言った統合的な海洋観測のデータが得 られる海域での共同研究がうまく働いているように思われる。現在、投稿中の論文でもハ ワイのHOT観測点での表層から深層4000mまでの各層における微生物群集の群集ゲノ ミクスを中心に.各層で得られた、新たに見つかったロドプシンを経由した光合成系、ビ タミン合成系、窒素代謝の酵素系、細菌の付着や動きに関係する鞭毛やピリなどの機能遺 伝子と環境との関係から微生物群集の表層から深層までの機能を論じており、まったく新 しい展開が期待される。

また、DeLong博士は、MITの前はモントレー湾水族館および海洋研究所に所属していたが、そこと比べてMITの有利なことの1つにコンピューターサイエンスが強力である点をあげていた。これは、現在の遺伝子解析は膨大な情報量を扱うことから情報科学との密接な連携によって得る利点は極めて大きいと考えている。微生物生態の関連では、Sallie

W. Chisholm教授、Martin Polz助教授などがDeLong博士とともにMITの海洋における微生物分子生態学の分野を担っている。

■MITにおける海洋科学特に生物関連の海洋科学の特徴:

アメリカにおける2大海洋研究所の1つであるウッズホール海洋研究所とMITは1968 年からMIT/WHOI Joint Program in graduate studiesを創設して120-130名規模 での大学院教育を2つの研究組織が行なっている。従って海洋関連の学位を得る学生の多 くは大学院学生として2つの組織に属し、海洋科学に関する研究を行なって学位を得てい る。学内の海洋学の関連分野では、このような教育組織を通じてウッズホール海洋研究所 との結びつきが強いこともMITの海洋分野の特徴となっている。学位を出すことの出来る 海洋科学の分野は、応用海洋科学および海洋工学、生物海洋学、化学海洋学、海洋物理学、 海洋地質および地球物理学があり、広い範囲の海洋学を網羅している。海洋微生物生態学 の研究分野は、ウッズホール海洋研究所の研究組織としては生物海洋学の分野に入ってお り、それぞれの研究組織から20-30名規模の研究者集団がこの組織に属している。ちな みにMITにおける彼らの所属は、DeLong博士の所属するCivil and Environmental Engineering お よ び Biological Engineering の ほ か に Environmental Health Sciences、Mechanical Engineeringなどの工学部、さらにはMITの Chemistryや Biology などの理学部・基礎科学分野にも広がっている。微生物生態の関連では、 Sallie W. Chisholm教授、Martin Polz助教授などがDeLong博士とともにMITの海洋 における微生物分子生態学の分野を担っている。

■MITの海洋の微生物生態学に対する研究資金:

アメリカの海洋におけるゲノミクスに対するファンドとしては、NSF,DOEが連邦の大きな研究助成機関である。この中で環境生物の遺伝子解析の分野ではDOEの役割が大きい。これはDOEでは人間遺伝子解析に大きな設備投資をしており、その施設・設備の有効利用が一つの理由でもある。DOEの資金では、研究者の提案によってどの微生物の遺伝子解析を行なうかを公募し、採択された場合は、その生物のDNA/Sequenceをどこまでの規模で解析するかが決められ、解析そのものはDOEとの契約で行なう研究機関に任され、公募が受理された研究者はその解析結果を受け取る方式になっているとのことであった。

これらの連邦の研究助成機関以外には遺伝子解析の場合、民間の財団が大きな役割を果たしているとのことであった。例えば、西海岸にあるGBMFは、海洋における微生物の全ゲノム解析を積極的に支援しており、有用な情報を生み出すと考えられる海洋細菌の全ゲノム解析を行なうことを公募し、研究資金を提供している。最終的には約100種の海洋微生物の遺伝子解析に資金を提供することが計画されている。DeLong博士もこのMoore Foundationから資金援助を受けており(5年間で530万ドル)、その資金によってポスドクや技術者を雇用しているとのことであった。また、この研究資金の場合、遺伝子解析そのものは民間の研究所に再委託することも可能で、応募した研究者はそこで得られた遺伝子解析で研究を行なうことが出来る。(上記金額はMoore 財団のHPから転載http://www.moore.org/)

■今後5-10年におけるこの分野の展望:

現在NSFの研究資金のカテゴリーの中に、今後大きな進展が期待される研究分野の拠点を設立するためのファンドがあるが、海洋ゲノミクスを中心にしてこのカテゴリーでのファンドをNSFに申請中であり、審査の最終段階に来ているとのことであった。このファンドを得ることが出来ればハワイ大学のD. Karl教授を中心に同大学にこの組織を立ち上

げることが出来、DeLong博士もその中核として参画することになっている。この研究組 織はC-MORE CENTERと呼ぶことになっており、次の4つの研究分野から構成され ている。1つ目はマリンゲノミクスで、キーワードは微生物群集を中心とした海洋生物の 生物多様性である。2つ目は、海洋における微生物活動と密接にリンクしている炭素や窒 素の循環や栄養塩の動態であり、炭素・窒素・リン・シリカ等の生物元素のストイキオメ トリー(量比的関係)がキーワードとなっている。3つ目は衛星あるいは海洋設置型の測 器による海洋微生物群集の連続的モニタリングのプログラムでありこれには多くの海洋環 境をモニタリングするための生物、化学センサーの開発が含まれる。ここでのキーワード は海洋環境の連続モニタリングである。最後の研究分野は海洋生態系のモデリングであり、 微生物群集の機能を含んだ将来予測型の生態系モデルの開発が期待されている。これらの 4つの研究分野を統合し、海洋ゲノミクスとこれまでの海洋科学の研究の蓄積を有効に生 かして新しい海洋科学の分野を切り開いていくことを目指している。ハワイ大学のD. Karl教授たちのグループはJGOFSで始められた海洋生態系の機能を時系列的にモニタリ ングするための観測点(HOT Station)をNSFのファンドですでに15年以上にわたっ て維持してきており、微生物を含む海洋生態系のプロセス解明に目覚しい成果を挙げてい る。これらの観測点での従来の研究に加えて、海洋ゲノミクスを総合的に展開することに より、大きな成果が期待できる。

さらにDeLong博士は、今は各研究者が個々に維持している環境ゲノムのアーカイブ構 築が将来は必要であると考えている。これは、従来の遺伝子の保存・維持が生物単位であ るのに対し、それぞれの生態系での微生物群集での群集としての遺伝子保存である点にそ の特徴がある。海洋環境における微生物群集の場合、単離して培養できる細菌は 1 %足ら ずであり、その大部分が培養不可能である。そのため、培養技術の確立を待っていては多 くの微生物の遺伝子集団が絶滅する恐れがある。これは、生態系の他の生物との共生ある いは寄生関係の微生物群集のことを考えると理解できる。これらの生物の絶滅と同時に密 接な生物的関係を保つことで維持されてきた微生物群集の遺伝子集団も絶滅する可能性が 高いことになるからである。従ってこれらの環境ゲノムのアーカイブを構築することで、 海洋に存在する遺伝子情報を将来に伝えることが出来る。

University of Delaware

http://www.ocean.udel.edu/cms/dkirchman/

DATE: 12月10日:16:30-21:30

PLACE: College of Marine Studies, 700 Pilottown Road, Lewes,

Delaware 19958

David L Kirchman 教授は、海洋生態系における海洋微生物、海洋細菌群集の役割を 様々な新しい手法で解析し、これらの分野で顕著な業績を挙げているアメリカの第1人者 である。特に海洋中に様々なプロセスで生成された溶存有機物の分解プロセスの分子的・ 生化学的な機構解析についての多くの研究は良く知られている。また同教授は、遺伝子情 報を微生物による炭素、窒素の循環といった地球生物化学的研究にも近年積極的に取り組 んでいる。インタビューはアメリカにおける海洋の微生物生態学が急速に拡大した遺伝子 情報をどのように利用しているか、また、微生物生態学の応用としてはどのような方向が 考えられているかなどを中心に行なった。

■海洋における微生物生態学の新しい切り口についての考え方:

海洋表層の一次生産の約50%は細菌群集に消費され、「微生物ループ」と呼ばれる重要

な物質循環系が駆動される。1990年代に展開された国際研究プログラムであるJGOFS (共同全球海洋フラックス研究計画)では、微生物ループの海洋における分布と機能に関 する研究が大きく進められた。しかし、これらの研究では、技術的な制約もあり、微生物 群集はひとつの「ブラックボックス」として扱われ、群集を構成する微生物種の多様性や その意義については充分明らかにされなかった。一方、環境中からDNAを抽出し、遺伝 子情報を読み取る技術(非培養依存法)の発展により、おびただしい数の新規微生物(系 統分類群)の発見や、新たな機能遺伝子(プロテオロドプシンなど)の発見があいついで いる。これらのことから、従来の「ブラックボックス」的なアプローチのみでは、微生物 群集が海洋生態系において果たす役割は充分明らかにできないことが明白になってきた。 しかし、遺伝子の解読から得られた情報を網羅的に羅列しても、実際の海洋環境において、 「いつ」「どこで」「どのような条件下で」それらの遺伝子が発現し、生態系の諸プロセス がどの程度駆動されるのかは明らかにならない。今日、「微生物ループ」として概念化さ れた海洋微生物群集の機能と、それを支える主要な細菌種の分布や機能遺伝子の発現の関 係を明らかにすることが、重要な課題である。Kirchman教授のグループはこのような認 識のもとに、個々の細菌種の活性を検出する新規技術の開発、海洋微生物群集の新規機能 である光従属栄養の活性や地理分布、汽水環境における群集ゲノミクスから検出された機 能遺伝子(セルラーゼなど)の発現解析、といった研究テーマに関して活発な研究を進め ている。これらの研究の大きな特色は、群集ゲノミクスの研究と海洋生態系機能の研究を 架橋しようという志向性にある。研究アプローチの細部においては違いがあるものの、全 体的な方向性としては、MITのDeLong教授の研究と共通点があるといえるだろう。

■海洋科学部における海洋科学、特に生物関連の海洋科学の特徴:

デラウエア大学海洋科学部はアメリカ東海岸では教員数が約40名と比較的規模の小さ い海洋学部に属するが、微生物生態学を含む生物海洋学から海洋生物地球化学、海洋物理、 海洋地質などの理系の教育・研究分野のほかに、沿岸域管理、経済、沿岸管理政策などの 社会科学的な側面を持つ研究者が相当数、在籍しており理系、文系を含めた総合的な海洋 学を行っていることがその特徴である。多くの研究は人間活動との関連が深い沿岸域を研 究対象としている。さらに、中級サイズの研究船を所有し、同じキャンパス内に研究船の 埠頭も設備されており、これらの研究船を利用した沿岸域研究を積極的に展開している。 現在保有している研究船は老朽化しているため、すでに新造船の建造が始まっており、 数ヶ月内に大学に引き渡されるとのことであった。なお、アメリカの場合、大学の研究船 の多くの建造には海軍の資金が使われているが(最近ハワイ大学で更新したモアナウエー ブがその例)、デラウエア大学の場合は大学で資金を集めて建造しているとのことであっ た。研究船の利用に関する1つの問題は、その運航のための研究資金の多くの部分を占め るNSFからの運航資金と個々の研究船を使った研究資金の連携が最近うまく行っておら ず、研究資金はすでに使えても、研究船の運航資金が足りないため、研究そのものの実施 が遅れることが起きているとのことであった。アメリカの場合、大学の保有する研究船の 運航は大学独自の資金やNSFを含む様々なファンドを集めて行なわれている。JGOFSの ような世界の外洋を対象とした大型の研究が終了した近年では、研究船の運航資金の総額 は減少しており、その影響が個々の大学での中級クラスの研究船にも現れている。

■海洋微生物生態学に対する研究資金:

Kirchman 教授の場合は研究費の多くはNSFから得ているとのことであったが、エネルギー庁の研究資金であるDOEファンドもすでにDelong博士の項で述べられたがゲノム解析では大きな役割を果たしていることも強調していた。エネルギー庁はカリフォルニアにおいてヒトゲノム計画でNIHとともに大きな役割をはたしたJoint Genomic Institute

を運営している。ここではNIHが興味を持たない人以外の環境ゲノム解析に大々的に乗り出しており、海洋における微生物群集のゲノム解析もこの中に含まれているからである。さらにアメリカの場合、DOEは火力や原子力発電所の排水問題に関連して、沿岸域での様々な分野の海洋研究の研究助成機関であった歴史があり、今でもこの傾向は変わらないとのことである。DOEは扱っている予算規模が大きいので、大規模な設備投資を必要とする人ゲノムプロジェクトなどの研究助成機関として役割を果たしたのではないかというのが同博士の見解であった。

さらに連邦政府の助成に加えて各州が運営しているSeaGrantと呼ばれる研究助成も海洋に面した州に位置する大学などの場合は大きな役割を果たしている。デラウエア大学の場合も沿岸域の保全からカキの養殖など幅広い分野でこのSeaGrantから研究資金を得ている。特にこの研究資金の場合は、その州が抱える沿岸域での問題解決のために出されるファンドであり、申請者がその州の研究機関に属していることが有利に働くため、ファンドの額は大きくないが有効に活かされているとのことであった。実際、デラウエア大学の海洋関係の施設のいくつかはこの資金が出発点になっている。

■今後5-10年におけるこの分野の展望:

最近の遺伝子情報の解析技術の進展は目覚しく、ゲノム解析に要する経費や、日数が大 幅に改善されている。このことは、海洋細菌群集を対象とした全ゲノム解析あるいは興味 ある領域の解析が急速に進むことを示唆している。例えば、454 Life Sciences Corp. の新しい手法を導入すれば、細菌では全ゲノム解析が1-2日で完了できるとも言われて いる。海洋における微生物群集の機能の基礎的な研究あるいは、特定の有害物質の分解除 去といった水質浄化などの応用的な研究にもゲノム解析の手法が多面的なアプローチの 1 つとして多くの研究者に利用されるようになる。この場合、それぞれの研究者は必ずしも 分子的手法の専門家である必要はなく、これらの情報が意味していることへの充分な理解 が得られていればその情報を使ってそれぞれの研究を進めることが出来る。実際、アメリ カのこの分野の研究はすでにこの段階に入っていると考えられ、ある程度の研究資金が獲 得できれば、大規模なゲノム解析でも外注することが出来るので、この分野での民間の受 注競争においては、日数、価格、信頼性を総合的に判断して行なわれているが、この傾向 はますます強くなると思われる。カリフォルニアベースの民間会社であるDiversaはこの 分野では有名である。現在、NSFが資金援助して進行中のMicrobial Observatoryプロ ジェクトは海洋だけでなく地球表層を中心にあらゆる環境での微生物資源を観測していく 基盤的研究であるが、近年におけるゲノム科学の進展がこれらの研究を可能にしている。

Kirchman 教授は、斬新な生化学的手法を駆使したこれまでの有機物分解プロセスにおける細菌群集の研究を基礎に、ゲノム解析の手法を加えることによって、海洋といった広大な自然生態系における微生物群集の役割をより明確に、かつ予測的に理解出来るようになると考えている。従って、今後の研究ではこれらの複合的なアプローチがもっと重要になる点ではDelong博士の見解とも一致している。

University of Maryland (CoMB)

http://www.umbi.umd.edu/centers/comb.html

DATE: 12月12日:9:00-14:30

PLACE: Suite 236, Columbus Center, 701 East Pratt Street, Baltimore,

MD 21202

■メリーランド大学バイオテクノロジー研究所海洋バイオテクノロジーセンターについて

メリーランド州は1985年にバイオテクノロジーにおける基礎科学と、人間の健康、海 洋環境、農業および蛋白工学および構造生物学への応用を目的とした先端研究の拠点とし てバイオテクノロジー研究所をメリーランド大学に設立した。海洋バイオテクノロジーセ ンターは5つある研究センターの1つとして1985年に創設されているが、ボルチモアの 波止場近くの一等地に施設が整備されたのは1995年である。他のバイオテクノロジーセ ンターと同様に、このセンターの使命は、最新の生物学および生物工学の知識を用いて、 海洋や沿岸の資源を守りながらその利用をより拡大することである。特にこの海洋バイオ テクノロジーセンターでは 1) 海洋の貝類や魚類、有毒性微細藻、微生物過程やその生産 物に関する分子生物学的あるいは分子遺伝学的な基礎研究を行うこと、2)1)で得られ た知見を用いて養殖の改良、微生物を用いた環境の浄化、修復あるいは新たな海洋生物に 起源する医薬品の開発、微生物過程を利用した工業プロセスへの応用などを目的とする。 3)として学部、大学院学生等の指導、社会への研究成果の発表、広報を通じてこれらの 結果をセンターの新たな研究に反映させる。これらの3つのうち、最も力を注いでいるの は1)であるとの印象を受けた。現在の教員数は18名、43名の技術者、32名のポスドク、 学生を含めて約170名がこのセンターに所属しているが、内、約30名は他の研究組織な どからの出向である。2002年における全体の予算は8.6百万ドルで、45%が連邦政府 からの様々な研究費、44%がメリーランド州からのサポートである。

■海洋の微生物生態学の応用としての微生物代謝の利用とその展開:

今回話を聞いた3名の研究者の専門は、カニ養殖における窒素、有機排泄物の微生物的処理、好塩細菌などの極限環境での生物学とその応用、および海洋における病原菌の役割などであった。なかでもメリーランド州の特産として有名なブルークラブの漁獲量が大きく減少していることからこのカニの幼生の大規模放流を計画し、すでに実行段階に入っている。このセンターの1階部分にある養殖センターを見学したが、すでに汚染されているチェサピーク湾からの揚水でなく、人工海水を作成しそれを微生物的に浄化して循環・再利用しているユニークな設備であった。ここからの排水は全て浄化されて放出されており、ほぼ完全な閉鎖型の養殖方式が完成されている。微生物学的には窒素の除去に、硝化・脱窒素反応を使い、最近発見された嫌気条件下で硝化・脱窒素反応であるAnomox反応の応用もすでに行っているとのことであった。同様の閉鎖型の養殖システムはタイの一種などの高級魚の養殖にも応用されており、基本的にはどのような養殖にも使うことが出来る。

また、極限環境での微生物代謝の研究者たちは、NASAとの共同で宇宙生物学のコンソシアムを結成して生命そのものの極限を定義することを始めている。この目的の1つは惑星系における生命の存在をその環境から予測することであるが、高温、低温、高塩分といった条件でどのように生命が営まれるかがその具体的なアプローチである。すでに高塩分条件ではより低温でも微生物代謝が維持できることが発見されており、現在、その生化学的、分子生物学的解析が進められている。一方、このセンターではマリンゲノミクスの研究も盛んで、その成果の1つは、最近のNatureに出された海洋での主要細菌グループの1つであるRoseobacterに属するSilicibacter pomeroyiの遺伝子解析である。その遺伝子解析からこの菌がCOやH2Sと言った還元型の無機物を使ってエネルギー生成を行なうLithohetrotrophicな生育戦略を持つことや藻類からの有機物や溶存有機物の光分解産物をすばやく取り込むいわば有機物粒子と密接なリンクを持った細菌であることが示された。このように多くの海洋細菌の遺伝子が明らかにされていくことで個々の細菌グループとその生態的機能の関係の理解がより進むことが期待される。

■海洋バイオテクノロジーセンターにおける研究資金:

すでに記したようにこの研究センターの予算の45%が連邦政府からの様々な研究費、44%がメリーランド州からのサポートであるが、他の研究機関に比べて州からの助成が多いのが特徴である。これはこの研究所が養殖の振興やチェサピーク湾の浄化など州の抱える問題解決を狙った多くのプロジェクトを展開しているからであると考えられる。連邦の助成機関では、NSF、NOAA、DOE、NIH、NASAなど多方面から助成を受けている。この分野における新しい研究助成組織として9月11日を契機として設立された、国家危機管理庁があり、微生物関係の様々な研究(生物防御)に大きな資金を提供し始めているとのことであった。これは、生物兵器に関するもの、微生物の同定やスクリーニングに関する技術など広範囲に及んでいる。また、ここでも民間の助成機関についてゲイツ財団の話がでた。この財団は沿岸も含めた様々な環境での病原菌の広がりについても発展途上国への助成を兼ねて一千万ドル規模の研究助成を行なっており、このセンターもその1部を得ているとのことであった。

■今後5-10年におけるこの分野の展望:

この研究所で行なっている幅広い微生物関連研究すべてに関する今後の展望に関してはまとまった話は聞けなかったが、基礎研究と応用研究をバランス良くやっていくことと特に基礎研究者がそれぞれの研究の社会的意義を常に考えながら研究を進めているという印象を得た。現在、応用でもっともうまく行っているのは、ブルークラブや海産高級魚の養殖であり、これらの応用研究を立てながら発生学や分子遺伝といった基礎生物学にも力を注ぎたいと考えているようである。また、このワシントン周辺には多くの政府の研究所や大学が存在し、巨大な先端研究のクラスターあるいはシンクタンク群になっているのでその利点を生かして共同研究を進めたいという意向であった。先に記したスペースサイエンスにおける宇宙生物学コンソシアムもその1例である。いずれにせよ、このセンターは前のNSF長官であったRita Colwellが設立したものであり、政治の中心であるワシントンに近いこともあって、彼女の政治力が遺憾なく発揮されて作られた研究所という強い印象を得た。

University of Maryland (CBCB)

http://www.cbcb.umd.edu/

DATE: 12月12日:16:30-20:30

PLACE: Center for Bioinfromatics and Computational Biology

Colwell教授は前NSFの長官であり、アメリカの科学行政に大きな貢献をした研究者であるが、専門は細菌の分類学から出発した海洋環境微生物学であり、メリーランド大学にバイオテクノロジー研究機構を構築した当事者である。6年近くNSF長官を務めたあと、昨年メリーランド大学に戻ったが、今度は、学内にCenter for Bioinfromatics and Computational Biologyを立ち上げ、そこの教授を務めている。また、John Hopkins大学にも籍を置く他、多くの大学、研究機関との繋がりがある。今回のインタビューでは、アメリカの科学政策やそこにおける海洋科学の立場などについて話を聞いた。

■アメリカにおける科学政策および海洋科学

クリントン前大統領からNSFの長官に任命されてから6年間で、NSFの予算を約2 倍に増加させることに成功したのは彼女の最も大きな業績であったが、この為には、いか に科学がアメリカ国民の身近にあるか、また科学の持つ夢を与えられるかが1つの課題で あり、このような努力があって始めて、議会等に予算を認めさせることが出来る。アメリカでは研究費の1定割合をその広報活動(out reach)に使うことが義務付けられるようになったが、予算を増やす為にはまず国民を味方にするというアメリカの論理は、日本でも通用する考えであろう。例えばワシントンD.C.にあるSmithsonian National Museum of Natural Historyでは、NSF, NOAAなどの資金提供のもとに、Ocean Science Initiativeという新たな一般市民向けの展示が企画され、これにColwell教授も関わってきた。このように複数の団体からの基金をもとに様々な施設を縦横に使った企画、立案を行う発想と財政基盤がわが国には乏しいと思われる。

また、大型予算の獲得のためには、関連分野がまとまって大きな夢のある話を出す必要がある。その意味では、例えば宇宙に関する研究が成功例である。しかし、海洋科学に関しては、そうしたビジョンがまとまらず、彼女の在任中に海洋での大きな研究費としての進展は見ることが出来なかった。似た状況はわが国でも見られるが、このような形で他の分野に遅れをとってしまうのは問題である。

また、彼女の研究に関連する分野では、いわゆるメタゲノムに関わる研究の重要性を指摘し、DeLong博士らの研究に対する高い評価を与えていた。これは、彼女が細菌学の分類的研究にいち早く分子系統の手法を取り入れてきたこと、コレラ菌の全ゲノム解析に関わってきたこと、さらにそうした分子的な手法を環境中の微生物群集に広げ、コレラ菌を中心とする特定微生物の分布や生理状態を解明ようとしてきたことの延長線にあるためであろう。その意味では細菌群集が海洋の物質循環に果たす機能的な側面に注目し、研究を展開してきたDeLong教授らの発想とは違いがある。

■日本との連携研究

Colwell教授は1960年代に初めて日本に来た時以来、多くの日本の研究者、研究機関と共同研究を行ってきた。海洋関係では、例えば東京大学海洋研究所、海洋マリンバイオテクノロジー研究所、JAMSTECなどがあげられる。さらに他のアジア諸国とは、バングラデッシュととりわけ強い絆を持ち、コレラ菌の疫学と生態学を展開してきた。彼女がこうした国際的な連携研究を行ってきたのはむろんその学問的な位置づけを重要視してきためであるが、それを可能にしてきたのは各国の科学制度のあり方、組織のあり方、その決定プロセスの"くせ"、などをよく理解し、鍵となる人々との関わりを綿密に築き上げてきたためであろう。彼女はその方向性や決定プロセスが見えにくい組織のあり方にはしばしば苦言を呈するが、つい"組織中心"の発想をし、実際に組織頼みの動きをしがちな我々日本人にとっては考えさせられる指摘も多い。

大学に戻ってからCanonがアメリカで立ち上げたCanon U.S. Life Sciences, Inc.の役員を務めている。この会社は、ゲノミクスに必要な研究機器の開発をアメリカ東海岸をベースにして行う会社であり、Ivor T. Knight 博士はそこの研究・開発部門の責任者であり、メリーランド大学の併任教員を務めている。まだ、立ち上がったばかりであるが、日本とアメリカの様々な業務のやり方や習慣の違いが目に付くようで会社そのものは高く評価しているものの仕事のやり方については多少批判的であった。

Center for Estuarine and Marine Ecology (NIOO-KNAW)

http://www.nioo.knaw.nl/indexENG.htm

DATE: 12:30-15:30 21 Nov., 2005

PLACE: Korringaweg 7, Yerseke, P.O. Box 140, 4400 AC Yerseke, The

Netherlands

1. 特筆すべき点

- ・生態系が有する環境収容力を知るために、生態系の本質的な現象を把握することをモッ トーとする。
- ・特筆すべき研究は、河口・沿岸部のセディメントにおけるバイオフィルムの形成とイガ イの生産量とのかかわり、バイオフィルムを構成する生物要素と栄養要求性、GISと併 せた赤潮発生モニタリングなど、基礎生態系の研究を行う。これは、科学的不確実性の 幅を少なくし、養殖等を持続可能な形態で行うための知見を提示することが重要と考え るからである。
- ・NIOO-KNAW (CEME) は、欧州における海洋生物多様性のハブ機関の一つ。イギリス、 ドイツ、フランス、ノルウェー、スペイン等、欧州の海洋機関・研究所の連携推進を目 指すMARS Foundationの本部が同研究所にある。

2. 機関の概要

Carloセンター長より、NIOO-KNAWの概要について以下の説明があった。

NIOO-KNAWはオランダ科学芸術アカデミーの下に設立された最も大きな非政府系研 究機関。NIOOは、Centre for Estuarine and Marine Ecology (CEME)、Centre for Limnology (CL)、Centre for Terrestrial Ecology (CTE) の3センターより構成 されている。今回訪問したNIOO-KNAW-CEMEは、以下の3部門で構成されている。

- ・生態系(Ecosystem Studies)
- ・マイクロバイオロジー (Marine Microbiology)
- ·空間生態系 (Spatial Ecology)

NIOO-KNAWの他にも、オランダには海洋生態系に関連した研究を行う機関として NIOZ¹⁴、RIKZ¹⁵、RIVO¹⁶、RIZA¹⁷の主要研究機関の他、ダーウィンセンター、湿地生 態学センター、ユトレヒト大学、アムステルダム大学等があり、相互に密接な連携を行っ ている。

また、MARS Foundationの本部を有しており、5th EC Framework Programme (FP5)やFP6におけるMarBEF、BIOMARE、M@RBLE、MARBENA等、20弱の研 究プロジェクトのコーディネートを行っている。18

研究者の構成は、テニュア研究者が12名。ノンテニュア研究者が4,5名。3人のイノ ベーションファンドからのポスドク研究員、他、訪問研究員やライデン大学などからの学 生、テクニシャン、事務局より構成されており、全体で100名強。予算は、NIOO-KNAW全体で、年間14百万ユーロ程度。

3. 沿岸管理に関する取り組みとその背景

Carloセンター長より、NIOO-KNAWの設立経緯について以下の説明があった。

オランダのロッテルダム港(ユーロポート)はシンガポール、上海に次ぐ世界第3位の 貨物取扱量を誇る、欧州最大の国際港である。ライン川が注ぐ北海海域は、世界最大の石 油化学工業地帯であり、石油メジャー各社のコンビナートが林立している。このため、重 油汚染の防止や海洋生物資源の保護・保全など、生態系管理に関するオランダ政府・国民 のニーズは高い。

17 http://www.riza.nl/

¹⁴ NIOZは1876年に設立したオランダで最も古い海洋研究所でIGBP-LOICZのIPOを有する。

¹⁵ http://www.rikz.nl/home/NL/index e.html

¹⁶ http://www.rivo.dlo.nl/

¹⁸ http://www.marsnetwork.org/projects.php

また、オランダと沿岸海域管理の歴史的背景は、1953年の大規模洪水にさかのぼる。この地方(ゼーランド地方)は、ライン川などから毛細血管のように支流が入組み、河口付近にデルタを形成しているとともに、干拓と改修の結果、州は徐々に整理されシンプルな形に整えられている。1953年1月31日の夜、北海から発達した低気圧が接近し、いくつもの高潮が発生、沿岸海域の約150,000haが浸水し、30万人が家財を失った。また、高潮による死者は2000名弱と、オランダは大きな被害を被った。その後、デルタプランが1957年につくられ、NIOOの前身となる機関「Delta Institute」が設立された。

このデルタプランでは、オランダの河口は堰によってふさがれた。しかし、1970年ころから生態系への影響が問題視されるようになってきた。そこで、1973年にクラーセンス委員会が開かれ、事業の見直しが行われた。その結果、すべての堰を閉めきるという計画は、東スヘルデダムを高潮の時だけ水門を閉める可動堰に計画変更したが、最終的に計画は完遂された。しかし、2003年に再び堤防が切れたことにより、堤防を高くするだけでは守りきれない現実に直面し、オランダは国を挙げて沿岸管理に取り組もうとしている。なお、1992年に、現在のEstuarine and Marine Ecology (CEME)、Centre for Limnology (CL)、Centre for Terrestrial Ecology (CTE) の3研究センターが統合され、NIOO-KNAWが編成された。

最近ではデルタプランに関係していくつかの問題が提起されている。第1は生態系への影響と一次生産量の低下(日本のカキがフランス経由でオランダ沿岸に大繁殖するなどの外来生物種問題も含む)、第2は都市化、第3は海岸線の更新、第4はライン川を含めた河川流量の増加(河川の人工的な直線化によるセディメントの流出問題も含む)である。NIOO-KNAWは、これらの問題について、生態系への影響という視点から研究に取り組んでいる。

4. 共同研究

Carloセンター長より、NIOO-KNAWが行う各国との共同研究について以下の説明があった。

アジアについては、インドネシア(旧宗主国)、中国との共同研究がある。発展途上国の急激な経済社会構造の変化に伴う生態系への影響や汚染等の視点からアジアとの共同研究を行っている。日本とは、研究者個人で行っている課題がいくつかある程度。日本とも機会があれば東京湾などの沿岸生態系の比較研究を共同で行いたい。

5. 海洋生物多様性のセンサス

Carloセンター長より、NIOO-KNAWのフラッグシッププロジェクトの一つであり (コーディネートを行う)、Carloセンター長がチェアを務めるMarBEF (MarBEF: FP6 Network of Excellence) MarBEFの前身とも言えるBIOMARE (FP5) プロジェクトの紹介があった(図13)。

BIOMAREは、NIOO-KNAW-CEMOがデータセンターとなって進めた海洋生物多様性のネットワークプロジェクトで、ヨーロッパ各国の30弱の研究機関をメンバーとして、1999年~2002年の間、情報の共有化を図った。BIOMAREを受け継ぎつつ、イノベーションと生物多様性とその機能把握(侵入生物種の問題なども含む)、アウトリーチに重点を置いたMarBEFプロジェクトが発足した。

ここでいう「イノベーション」とは、特に生物多様性の遺伝的機能を活用した産業化を 目指すことであり、現在、いくつかの企業との連携を画策中。例えば、イギリスの

http://www.marbef.org/outreach/downloads/MarineScientistarticle.pdf

¹⁹ http://www.marbef.org/index.php

Aquapharm Bio - Discovery Ltd等の養殖会社、ノルウェーの養殖に関わる機器開発関連企業、アイルランドのEcological Consultancy Services Ltd等の環境コンサルタント会社、SHELLなどのガス・石油会社、イギリスの海洋バイオテクノロジーインキュベーションセンターであるEuropean Centre for Marine Biotechnology²⁰との連携を想定している。また、FP6の遺伝子解析を中心としたMGE(Marine Genomics)プロジェクトとも連携・融合を図ろうとしている。しかし、MGEはロレアルなどの化粧品会社、機能性食品会社などと強力に連携しており、情報公開の点からも融合は難しい。

なお、MarBEFは、以下の3つのターゲットテーマと、データマネジメント、分類システム、データの品質管理、アウトリーチ、トレーニング活動で構成されている。

- · Global Patterns of Marine Biodiversity Across Ecosystems
- · Marine Biodiversity and Ecosystem Functioning
- The socio-economic importance of marine biodiversity

ターゲットテーマの中身である個別課題の研究推進形態は、Strategic Core Programme (SCP) とResponsive Mode Programme (RMP) の2つがあり、採択方式、予算の規模が異なっている。SCPは規模が大きく、個別テーマが既に決められている。RMPは、比較的スケールが小さく、MarBEFの目的にかなった萌芽的なテーマ、すなわちイノベーションにつながるようなテーマを重視しており、ピアレビューの際にイノベーションへの期待度が重視され、重み付けの度合いが大きい。また、産業(水産、養殖)、政策決定者、あるいは海洋生物資源をテーマとしたパブリケーションを行うなどのアウトリーチ活動が義務付けられている。また、RMPは、ファンディングの時期がケースバイケースになっている点もSCPと異なっている。



図13 BIOMARE→MarBEF。NIOO-KNAWはフラッグシップ機関

6. 主な設備

特筆すべき点は、17.55m長で、3次元での波動を制御することができるFlume tank、3Dポジショニングシステムにマウントされた超音波ドップラー式 3 次元流速計 (ADV; Nortek field version) や波動の動きの解析が可能な光学式後方散乱濃度計 (OBS turbidity monitor, D & A instruments Co.)。底生生物の挙動解析については、特別なセンサーはなく、光学カメラを設置して画像解析をするのみ。なお、Flume tankの性能向上に向けて、FP5におけるBioFlowプロジェクト(infrastructure) 21 で欧州各国の17-18研究機関とネットワークを形成している。

また、ハワイや琵琶湖、南米など世界各国から採取された400系統のシアノバクテリアのコレクションやdiatomのカルチャーコレクションも特筆すべき点の一つ。

-

²⁰ http://www.ecmb.org/

²¹ http://www.bioflow-eu.net/

Plymouth Marine Laboratory (PML)

http://www.pml.ac.uk/index.htm

DATE: 12:00-17:30 22 Nov., 2005

PLACE: Prospect Place, The Hoe Plymouth, PL1 3DH, United Kingdom

1. 特筆すべき点

- ・生物地球化学、プランクトン生物多様性、リモートセンシング・海洋光学センサー、統合モデルに特化し、研究成果の企業化の努力をしている。
- ・プランクトンの新規色素・機能探索、ファンクショナルゲノミクス(ゲノム機能学;生物からの有用物質生産や環境応答に関わる遺伝子のクローニング、ゲノム遺伝子の機能同定を行う)、海洋バクテリアのバイオフィルム・クオーラムセンシング研究、鉄散布による海洋の一次生産量の評価研究、海洋酸性化のシミュレーション、ERSEMなどに代表されるモデリング研究は世界的レベルにあると考えられる。
- ・海洋の酸性化のシミュレーション研究 (Willie Peterson) は、地球温暖化に関する英国の国際的なリーダーシップの確保および政府の優先課題としての位置づけに大きく寄与している。
- ・「イノベーション」と研究成果の活用を強く意識し、スピンアウト企業の設立やアウト リーチに注力。
- ・NERCの研究/協力7機関が合同で、2007年から2012年にわたる戦略研究プログラムを検討している。

2. 機関の概要

PMLの概要についてDirector/Professor Nicholas JP Owensより説明頂いた。

(1) ミッション

海洋科学技術における世界トップクラス、且つイノベーティブな研究を行い、研究から 生じた成果(製品)と体系化知識を広く展開すること

(2) 関連機関とのパートナーシップ \sim Plymouth - the Marine 'Science City' プリマスにある海洋関係の研究機関には、PML, The Marine Biological Association (MBA)、プリマス大学 (UoP)、Sir Alister Hardy Foundation for Ocean Science (SAHFOS)、国立水族館 (NMA) の5機関があり、これらは1999年にMOU (覚書)を交わし、研究協力、ジョイントベンチャー、施設の共同利用、大学院生の研究施設としての有効活用を目的にパートナーシップ (PMSP; Plymouth Marine Science Partnership) 22 を締結した。数年後には、プリマス市を海洋研究クラスターとするために、5機関が集結した施設の建設について政府に働きかけている(そのための資金として4000万ポンドの獲得にかかるロビー活動を行っている)。そのためのアウトリーチ活動にはかなり積極的で、特に、自我が確立し、将来の方向性を具体的に考えるようになる適齢期とされる12歳に相当する学年の小学生をターゲットにオープンラボや、所長自らが出かける「出前」の教育活動を行っている。

また、現在、NERCの研究/協力7機関が協力して、2007年から2012年にわたる 英国の海洋戦略研究プログラムを作成していることを伺った。

(3) 成果の活用を目指した研究

図14に示すように、最新の知識と技術を結集し、生態系モデル、衛星観測、生物多様性機能、生物地球化学、エコトキシコロジー(環境毒性)、分子生物学研究に取り組んでいる。英国内の大学、PMSP研究機関、NERC、国防省、DEFRA、環境局、MET等の

-81-

²² http://www.pml.ac.uk/pmsp/

英国政府機関、企業、NGOや欧州宇宙局(ESA)、米国NASA等の海外機関と多くの共同研究を行っており、活動の幅は広い。

主要なテーマは、以下の4つ。

- ・沿岸と河口の健全性と機能 (Health & Functioning of Estuaries & Coasts)
- ・生物多様性の機能(Functional Biodiversity)
- ·生物地球化学(Biogeochemistry)
- ・融合と推定 (Integration & Extrapolation)

PML - 'group' Strategic Strategic direction **Exploiting IP** partnership PML PMA Ltd Service Level Agreement Joint Tech. NERC Commissions Contracts ventures transfer core Commercialising **Patents** EcoAlert Ltd. Spin-outs GenePro Ltd.

図14 PMLと研究成果の技術移転・企業化フロー (資料提供: Direct.N JP Owens)

(4) 成果の事業展開

PMLは、自然環境研究会議NERC(Natural Environment Research Council)²³が 所有する沿岸海洋科学センター(CCMS)の1部であったが、2001年に独立し、NERCのコラボレートセンターとして、独立法人一保証有限会社(charitable company limited by guarantee(PML clg))となった。PMLは、成果の事業展開を重視し、政府が行う研究成果の商業化プログラムに基づき、スピンアウトして海洋生物の種数、バイオマス等のモニタリングデータの解析ソフトPRIMER-5 for Windowsを販売するPrimer-E Ltd(PRIMER Enterprises Ltd)²⁴、水質診断キットを販売(図15)するEcoAlert社と共同企業化を行うGenePro社等の会社を設立した(2002年以前に5社、以降2社)。PMLの研究成果は、多くの日本の機関と同様(バイドール法)に、PMLがパテントの権利を有し、発明者には契約により一定の報酬が支払われる。しかし日本と異なって企業化する政府の補助金はほとんどないとのことである。

企業化のための直属の会社であるPMA Ltdには、2人の技術移転専門職がおり(PMLの何人かの研究者もPMAを兼任してPMA社が時間を「買う」かたちで給料も払うことができる)、彼らは主にパテント管理、コーディネート等を行っている。

(5) PMLが参加する主な研究プロジェクト

PMLは、CASIX、GLOBEC、AMT、RSDAS等の国際・国内プロジェクトの事務局をホストしている。これは、PMLの存在を国際的にアピールしていることにつながる。

(6) アジア諸国との共同研究 英国政府の政策により、中 国との共同研究を積極的に推 進している。昨年度、海洋微

Potential EcoAlert field applications



- ⇒ fully portable for analysis on-site
- ⇒ versatile
- ⇒ downloadable data
- ⇒ user-friendly
- indicator of potential toxicity / eutrophication using biological parameters



図15 EcoAlert社が販売する水質診断キット (資料提供: Direct.N JP Owens)

²³ http://www.nerc.ac.uk/

²⁴ http://www.pml.ac.uk/primer/

生物に関するワークショップを開催し、生理活性物質や機能遺伝子群の探査に関する議論を行った。また、今年度8月には、海洋バイオテクノロジーの推進に向けた中国との共同セミナー (DTI Global Watch Mission Seminar)²⁵をBRISTOLにて開催した。中国は、上海にあるゲノムセンターを活用し、創薬などに向けたゲノム研究に積極的。

(7) その他

5年間の雇用契約で、PMLの研究者の給与のうちの60%はPMLが支給し、残りの40%は、ファンディングCommissioned Research (CR) から補填する。2001年の組織改革により、PMLは優秀な研究者の確保が容易になった。そのため、モデリング研究者として、優秀なプログラマーを民間会社からヘッドハンティングするなど、博士号取得の有無に関わらず、能力を重視した国際的且つ画期的な人事を行っている。

3. 海洋微生物研究に関する取り組み

PMLが行う重要研究課題の一つである微生物研究について、Dr Ian Jointより説明頂いた。

- (1) 英国は、微生物のメタゲノミクス(環境ゲノム解析;海水、土壌等の環境中のサンプルから抽出した環境DNAを「メタゲノム」といい、その解析をメタゲノミクスという)研究を優先課題のひとつとして取り上げている。
- (2) ノルウェーのベルゲン大学とのメソコスム研究や米国NSF、GBMFの海洋ゲノミクス研究プロジェクトに参加し、外部研究資金を獲得している。
- (3) 学術的興味を抱きつつ、研究成果を社会に貢献するために、最終的な研究成果の出口のひとつとして、化粧品会社、食品会社との共同による新規有用物質・有用遺伝子群の獲得を目指す。
- (4) 最近の特筆すべき研究では、Willie Wilson研究グループ²⁶による、ブルーミングの原因であった植物プランクトンEmiliania huxleyiを観察していたところ、Phycodna virusesが相互作用(感染)していることが分かった。更に、そのウイルスの遺伝子解析を行ったところ、ウイルスとしては非常に長い塩基配列を有し(407339bp,うち472の遺伝子を有する)、シグナリング物質などをコードする多くの未知遺伝子をコードしていることが分かった。
- (5) 地球温暖化で円石藻類の増殖が注目されている中、同藻類のブルーミング中に、同藻類を駆逐するウイルスが存在していることをつきとめた。このウイルスの今後の応用、研究に注目している。
- (6) バイオフォーリング (biofouling; 藻類等による金属・構造物の腐食や汚泥など) による産業損失は全世界で年間6.5billion\$にもなる。このため、藻類のlarvaeの発芽 を阻害するバクテリアを発見し、発芽抑制因子の解析を企業と共同で行っている。これ は成果のインパクトも大きく、非常に期待される。
- (7) 植物プランクトンが発する色素は波長域が長いため、化粧品としての活用を出口に据えた新規生理活性物質のスクリーニングをHPLC等により行っている。なかでも、UVサンスクリーン色素の探索、赤潮(HAB: Harmful Algae Bloom)を衛星リモート観測するための、特定のプランクトン種の色素波長の分析も行っている。Dr Ian Jointによれば、植物プランクトンから抽出されたSunscreen化合物はビタミンEより強い抗酸化活性、抗癌作用、免疫システムの支持活性が検出されているという。なお、抗酸化剤であるカロテノイドの世界市場は2005年までに935百万ドル、Astraxanthinは1kgあたり10万ドルとその市場は大きい。

²⁵ http://www.marine.gov.uk/Marine_flyer2.pdf

²⁶ http://www.socgenmicrobiol.org.uk/pubs/micro_today/pdf/110205.pdf

(8) 環境アセスメント技術を出口に据えた、英国海峡における窒素循環(マイクロビアルループ・生物多様性の機能群解析)研究やバクテリアガスの研究を行っている。

4. モデリング・予測研究に関する取り組み

PMLの生態系モデリング研究についてJerry Blackford、Icarus Allen両氏より説明頂いた。

ERSEM(European Regional Sea Ecosystem Model)は、およそ15年前から始まったプロジェクトで、現在の年間予算はおよそ4000万円(20万ポンド)である。このモデルはユーザーフレンドリーな部分の開発にかなりの労力を費やしてきた(インターネットでERSEMのホームページを見ると、生態系モデルのパラメータや構成要素の数を入力するだけで簡単なボックスモデルを動かすこともできる)。「From cell to global」がひとつの目標で、簡単なボックスモデル、鉛直一次元モデル、3次元モデル、そして3次元モデルには地球規模のものを沿岸のモデルにつなぐ、いわゆる「nested model」も作成されている。低次生産生態系モデル(いわゆる「NPZDモデル」に加えて、炭素循環、円石藻類、底性生物、石油の流出などを含むモデルを作成し、さまざまな場面を想定した多くのバージョンをPMLが中心となって他のヨーロッパの多くの研究者とともに作成してきた。

- (1) EUROOCEAN, SOLAS, MARQUEST, EMCO2/TSEC, MERSEAなどヨーロッパの主要な海洋プロジェクトにもERSEMは使われ、またそれとともに様々なバージョンが作成されている。
- (2) 3次元のモデルの開発には高性能な並列コンピュータが必要であり、このための予算も獲得している(値段は不明)。
- (3) プリマス大学には海洋モデリングの部門があり、2005年5月にはAMEMR (Advanced Marine Ecosystem Modeling Research) という国際シンポジウムも 共同で開催され、当地(プリマス)を海洋生態系モデルの一大研究拠点とするような動きも顕著である。
- (4) 今後はERSEMとCELLSiM (in sillico 型バーチャル細胞環境物理モデル)のカップリングモデルなども作成し、環境変化が個々の細胞に与える影響なども見積もっていきたいとのことである。
- (5) また、CO₂地中隔離による炭酸ガスの地中・海洋への拡散シミュレーション研究も政府の研究の一環として行う予定である。





図16 PML訪問後、近郊のSAHFOSを訪問。1925年に初めて使われたプロトタイプのCPR (Continuous Plankton Recorder) から、現在のモデルが棚に並ぶ。1930年代からプランクトンのサンプリングが始まり、北海における定常サンプリングは、1946年から現在に至る。この連続した長期観測は、非常に意味のある貴重なデータを提供し続けている。

The University of Bergen, Dept of Biology

http://www.ifm.uib.no/code/startside/home.php

DATE: 9:00-13:00 25 Nov., 2005

PLACE: Post box 7800, N- 5020 Bergen, Norway

■特筆すべき点

- ・ノルウェー全体として、主要産業である石油、漁業の共生にむけた海洋の「健全」な管 理のために海洋汚染対策や海洋環境のモニタリングに注力。
- ・ベルゲン大学は、生物資源の持続可能な利用、付加価値の高い水産加工に向けた研究を 行う。
- ・そのための試験研究は、同じベルゲン市内にある国立海洋研究所(IMR)と協力して推 進。また、ベルゲン大学と大学のサイエンスパークであるハイテクノロジーセンター (HIB)との産学連携により、大学における研究成果を養殖や観測・計測機器等への産 業分野に技術移転し、関連ベンチャーの創出を目指している。
- ・漁業については、採る漁業から育てる漁業への転換と、そのための管理システムの構築 に向けた要素技術の向上に注力。日本は、稚魚を養殖し、その後、海に放流するという 手法が主であるが、ノルウェーは稚魚から採取に至るまで循環した総合管理形態を採 る。
- ・餌の開発技術は日本が先進的。稚魚の変色や奇形発生率は高い。

説明者と説明内容

1 数学・自然科学部学部長 Seirup教授から、ベルゲン 大学の学生数、大学院学生 数、教授スタッフなどの陣容 の発展、さらに海洋生物学、 海洋学に関連する分野の主 要な研究分野、予算規模、学 外研究機関との協力体制、お よび将来構想について説明 を受けた。

・大学開設年の1950年から 現在まで、登録学生数は増加 傾向にある。この間、2回の Funding (accounts) for 2004 for The University of Bergen and research centers (Unifob)



Funding (accounts)	Uo B total	Totalt MNS	MNS (%)	Marine Biology	Marine Biology of total
Government	1 850 000	361 725	196		
Grants	401000	170 077	424		
Unif ob research centres	350 000	113 325	32,4		
Total NOK K	2 601 000	645 127	24,8	141 782	5,45 %
Total USD K	382 500	94 872	24,8	20 850	5,45 %

The Marine biology calculations do not include central administrative operating costs for the University of Bergen

> 図17 ベルゲン大学の外部資金獲得額 (資料提供: Clelia Booman)

学生数躍進の期間がみられた。これはノルウェー領海内の北海石油開発などの社会経済 的な変化や水産養殖などの学問研究分野の進展に対応したものと考えられる。2003年 現在学生数は17.000~18.000名である。

- ・予算規模は382 x 103 US\$に相当し、数学自然科学部は全体予算の20%、さらに海 洋関連分野は全体の5%に相当する(図17)。
- ・学部は時代の研究分野の進展に対応して、研究センター、研究拠点を新設しており、こ の中には、海洋生物分子学研究センターとして、1997年に設立したSars International Centre for Marine Molecular Biology²⁷、気候、石油、コンピュー

²⁷ Georg Ossian Sars(1837-1927)は1800年代後半から1900年全半にかけて活躍したノル ウェーの著名な海洋生物学・水産科学者。その父親であるMichael Sars (1805-1869)も多くの 新種を発見した海洋動物学者であった。Sars センターホームページ:http://www.sars.no/

- タ科学など43分野の研究拠点を設置している。
- ・海洋科学分野における学外の協力機関として、ノルウェー国立海洋研究所(Institute of Marine Research)があり、協同研究の推進のほか、同研究所からの併任教授の受け入れ、さら同研究所が管理運営する海洋調査船(外洋調査用)、フィヨルド調査船(内湾、沿岸調査用)の共同利用が行われている。
- ・大学研究予算のうち、外部資金として、ノルウェー国科学財団(Norwegian National Science Foundation)およびEU 委員会から受ける割合は42.8%に相当する。
- ・大学としては高度な水準の研究を目標としており、これは欧州連合(EU)の研究基盤 (research infrastructure) の一角を担う上で重要である。
- ・学科では、スピッツベルゲン島のスヴァルバードに所在する研究施設を、他大学を含めて4大学で運営し、学部および大学院学生の教育研究に利用している。
- ・学科の大学院教育水準は高く、2004年には、55名に博士学位を授与した。教授陣で博士の学位を有する者は55名で、そのうち13名は海洋生物分野での取得である。
- ・現在、研究費の外部(民間)提供基金はない。しかし将来は、水産養殖業や魚類薬品業などの団体や業界からの提供が見込まれる。
- ・欧州連合研究基金が援助する60の研究プログラムのうち、ノルウェーはその30%を受託している。
- 2 ベルゲン大学生物学科(Dept of Biology) について、学科長のJarl Giske教授から 学科の概要について説明を受けた。
- ・生物学科は2年前に新設された。教職員数は200名以上で、教授陣 70名、技術職員 60名他で構成されており、550名の学生の教育研究を担当している。大学院学生は修士課程および博士課程の学生数はそれぞれ150名、100名である。特色として、教授 陣の30%が外国人であることが上げられる。
- ・学科には、16の研究群があり、その中には、水産養殖や魚類学も含まれる。研究計画は100を数える。
- 外部研究資金にもとづく研究プロジェクトとして、EUのフレームワークプログラムの下、ECOBE、CODYSSEIT、IBACS、CODTRACEなどがある。
 - モデリング関係では、ETHOFISH、EUROGEL/GEL、BASICS、SPONGES、ALFAなどの研究プロジェクトに関与している。また、さけます類の新型ウイルス病の研究も行われている。これらの研究は、主にノルウェー南アフリカ協力協定、EU、NORFA(Nordic Academy for Advanced Study) 28 、NFR(Research Council of Norway)との協力・資金援助による。
- ・学科および大学のハイテクノロジーセンター内(後述)に大規模な研究施設(飼育実験棟)が付置されており、Industrial Laboratoryと称せられ、養殖関連研究、魚病研究に焦点を向けた施設である。この研究施設の拡大計画が進行中である。完成後には、現存の177基の水槽のほかに、水温調整に光波長12チャンネルの制御を加えた条件が管理され、国内外の多種にわたる水生生物の生息環境に対応する多様な実験環境が創出される(図18)。ここでは、主に、光を活用した魚の成長制御実験が行われている。日本でも、光制御技術については、ヒラメの養殖等に採用され既に実用化されているが、ノルウェーでは、タラ等の主要産物について、実用化された技術もあり、かなり先進的であった。また、施設へのウイルスの持ち込みを阻止するための消毒管理が徹底していた。

-

²⁸ http://www.nordforsk.org/index.cfm?&lid=3





図18 飼育実験棟 (ILAB)。177基の水槽が設置され、いくつかは水温調整に光波長12チャンネルの制御を加えた条件での管理が可能。

- 3 ノルウェー海洋研究所主席研究員でベルゲン大学生物学科併任教授のEgil Ona主任研究員より、漁業音響計測学の研究分野について説明を受けた。
- ・最新式の音響計量計測システムは300人の研究者を擁する海洋研究所において、魚類や動物プランクトンの研究に積極的に利用されている。
- ・本来、水中音響機器は1934年に海中の潜水艦探査に用いられたのを嚆矢とするが、それ以降、水産分野の資源調査や魚群探査に実用的に用いられている。
- ・基本的には、18kHzから304kHzまでの間の2つの周波数が利用されるが、魚種によって鰾(うきぶくろ:swim bladder)の有無で,エコーの反響が異なる。
- ・現在新しいエコグラムシステム (New Synthetic Ecogram) を研究中である。これは小型の稚仔魚、クリル (Krill:オキアミ類)、そして大型の魚類までを検知して、計測計量することが目標となる。このシステムでは、すべての周波数帯を用いることが特徴であり、6種類の異なる周波数を同時に操作できる。新型ソナーは幅広い周波数帯を利用し、低周波数が100kHzである。
- ・実証研究には、生物飼育タンクを用いた実験を行い、また最新式音響計量計測システムを用いた海洋における実験は、海洋調査船G.O.Sar号およびJohan Hjort号によって行われている。
- ・植物プランクトンは高周波に反応するが、気泡を発生させる。(気泡は低周波に反応するから)植物プランクトンの現存量の研究には、光学的手法と音響学的手法の併用が必要である。

4 ベルゲン大学生物学部研究員Hans Hoie博士による魚類耳石の研究の説明

- ・魚類耳石研究は水産資源研究の基礎をなし、中核となる分野であるが、「魚類耳石化学」 の手法や進捗は魚の成長や、分布、生息場の環境を把握追跡する(traceability)上で 極めて大切である。
- ・魚類耳石のアラゴナイト(Aragonite: 霞石)中の元素、すなわちCa、C、O、H、Na、O、S、Pなどの種類と量を分析できる。特に、Na、Mg、Sr、Mn、Baなどの微量元素の濃度を決定できるようになった。これには、耳石化学分析装置として、微小穿孔技術、レーザー光線技術、高性能走査型電子顕微鏡、ICMPCの技術を組み合わせることにより可能となった。
- ・この耳石化学手法を用いて、魚類の系群解析に役立つ成果が得られた。すなわちアイスランド海(Iceland Sea)、北海(North Sea)、アイルランド海(Irish Sea)のタラの特徴が識別された。年齢決定のほか、系群を判定できた。また耳石8元素を分析して、野生と養殖魚の識別、稚魚期のニシンでも産卵場の違いを特定することができた。

- ・耳石中の酸素安定同位体比の測定技術の利用により、化石魚の耳石から過去の気候環境 や安定同位体の季節変動を明らかにできるようになった。
- 5 ベルゲン大学生物学部のChristoffer Schander 教授(海洋生物多様性学分野)から 海洋生物の多様性分野に関する説明を受けた。
- ・ノルウェー海域を中心として、魚類、軟体動物、甲殻類、海綿動物、多毛類、プランクトンなどの動物群の多様性が研究対象となっている。
- ・研究対象生物は、潮間帯から深海まで幅広く、大学の収集標本試料や、諸域の野外実験 所や船舶(深海掘削船を含む)で採集された標本、さらに国立博物館に保管された試料 を扱っている。
- ・動物群の中では、海綿動物と線虫動物門の知見が極めて少ないことが明らかとなった。 これらの分野の知見が充実しなければ、動物群の分類学(taxonomy)が成り立たない であろう。
- ・生物多様性を研究する上で、分子生物学に基礎を置いたBiological Barcoding (生物学的記号体系化?)を行っている。ノルウェー海域では深海からフィョルドの動物群やアフリカ深海生物群を対象に、現在6つの研究計画を実施している。
- ・北大西洋で重要な問題となっている多年生海藻類(Kelp)と汚損生物(fouling)との 関係を(多様性学の立場から?)研究している。
- ・寒帯性深海海綿類とサンゴ類(刺胞動物)の動物相の研究も多様性学の立場から実施している。なぜ海綿類とサンゴ類が深海に進出しているのか、を生物活性や細胞毒性の立場から研究したい。*Hymedesmia*(タイラカイメン類)や*Geodia baretti*(チョウズバチカイメン類)の化学構造が明らかにされ、新しい化合物が発見された。
- ・また、Br, NH, NH₂などの物質の特異的な存在も明らかとなった。将来深海性海綿類の養殖が行われ、人間に有用な化学成分の抽出の可能性が期待できる。
- ・海綿には多くの随伴するバクテリア類が見出される。これが共生関係(symbiosis) なのか、未確定である。
- ・「分類学」は生物多様性を学ぶ上で、学生や研究者にとって身に付けなれればならない 大切な基本的は科目であるが、どのようにして訓練するのか?の質問に対しては、伝統 的な(授業)方法と分子生物学的な知見をあわせた授業の展開が行われているとの回答 があった。
- 6 ベルゲン大学生物学部のJarl Giske教授(前出)よりモデリングに関する説明を受けた。
- ・モデリングは、海洋生物資源(Marine bioresources)の 利用と管理にあたっては、 不可欠な分野であり、外洋性魚類資源、魚類養殖および魚類医薬治療の分野でそれぞれ 異なるモデリングが適応されている。水産資源量評価のモデリングはIMRで専門的に 行っており、大学では、魚類や動物プランクトンの分布など、4つの分野で扱われてい る。
- ・モデリングの手法として、生活史、生物量の統計量変動、ゲーム理論、生物個体ベース の遺伝アルゴリズム、ニューラルネットワーク、などが用いられている。
- ・魚類への適応例として、カラフトシシャモ(Capelin)の動態研究がある。モデリング 研究の応用から、従来考えられていたこととは異なる生物現象の存在が指摘された。 バレンツ海のタラについては、産卵は毎年行われると考えられ、資源変動要因解析や資 源量の予測が行われてきたが、モデリング研究から、産卵が省略される年もあることが 明らかとなり、従来の繁殖理論の再検討が求められている。
- ・遺伝アルゴリズム(Genetic algorhism)の適応例として、動物プランクトンのカイ

アシ類の季節動態が解明されたが、単純な関係は導かれなかった。

- ・カラフトシシャモの生活史のING モデルへの適応も行われた。
- ・新たなモデリングの試みとして、動物の行動変化が起因すると考えられる情緒面を要素 として含めたHedonic modelingを構築している。

7 生物学部Ivar Ronnestad教授から日本との協同研究例の紹介を受けた。

- ・魚類発生生物学の分野で日本の研究者と長年にわたり協同研究を実施し、成果を挙げた。
- ・ 魚類養殖の基本として、卵稚仔魚期の生存率を高めることは、種苗生産、健苗選択に欠かせないが、この分野で大西洋マダラの初期生活期の栄養学的研究が行われた。
- ・大西洋マダラ稚仔魚が育つまでに、小型のふ化稚魚が早期に成長し、そのためには多くの食物を必要とする。人工的な餌料に適応させるためには、稚仔魚の消化器官系の形態学的、生理学的知見が必要であり、この分野の協同研究は1989年から実施された。
- ・日本においては、ヒラメを試料として研究が進められ、消化管機能を表す指標として pH値が重要であることが明らかにされた。現在、三重大学と共同研究を行っており、 フグを材料に、DNA coding, 哺乳類のホルモンとして知られるLeptinを調べている。 また大西洋産サケの食欲増進、成長促進、などの分野の研究を行っている。

8 その他、ハイテクノロジーセンターについて

1985年に政府の支援により設立。大学に隣接した建物には、海洋生物およびIT系の研究室と、技術移転のための事務所が入っている。設立の主目的は、地域における研究の商業化、大学における様々な成長ステージの研究シーズの技術移転とベンチャー企業の創業支援である。この中には、飼育実験棟や漁病解析室、衛生管理施設がある。ここでは、大学の基礎研究を行っているが、同時に産業分野の応用研究も進めている。また、大学研究者と企業間の交流の機会は、ベルゲン商工会議所の協力により提供されている。

HIB発の設立ベンチャー例としては、1995年に海洋バイオテクノロジーのスピンオフ企業²⁹であるBiosense Laboratories³⁰。飲料水の汚染検出キット(BIOSENSE ENVIRONSAFE™)、バイオマーカーを使った内分泌攪乱物質検出キット(BIOSENSE PRODUCTSAFE™)、ELISA法に基づくダイオキシン等による貝毒汚染(BIOSENSE FOODSAFE™)等の診断キットを販売する。関連企業の母体国は、EU各国、アメリカ、台湾、韓国、インド、日本など世界数カ国にわたる。

また、HIBには、ライフサイエンス分野におけるベンチャー企業の資金調達や商業化ベースにうまく乗せるために必要なマネジメントを行う(ベンチャーキャピタル)サルシア・イノベーション社(SI)³¹が入っていた。SIは、ベルゲン大学(約4割弱)、政府系ベンチャーキャピタルであるSIVA(2割弱)³²、民間金融機関(約4割強)の出資による。

なお、技術移転の活発化に伴って建物の拡張が計画されており、訪問時には、第2の HIBの建物が建設中であった。

²⁹ Biosense Laboratories社は、ベルゲン大学創出の特許を元にしたベンチャーではなく、アイディアを元にした企業であるため厳密な意味での「スピンオフ」ではない。

³⁰ http://www.biosense.com/

³¹ Sarsia Innovation。2001年に創業。2005年には、子会社であったForinnova 社を合併した。 http://www.sarsia.com/Default.aspx?tabid=578

³² The Industrial Development Corporation of Norway, http://www.siva.no/

9 その他、Sars International Centre for Marine Molecular Biologyについて 1997年、ノルウェー研究議会(Research Council of Norway)、教育研究省、およびベルゲン大学の共同出資により設立。HIBの中に生物学科、分子生物学科、情報学科と共に設置され、欧州分子生物研究所(EMBL)のパートナー機関等になっている。 "Funksjonell Genomforskning i Norge"(FUGE)プログラムの下、海洋生物の発生生物学的研究やゼブラフィッシュのプラットフォームを目指したエンハンサートラップ等の遺伝子解析を推進する。

なお、このセンターの活動は、外国人で構成される評価委員会Scientific Advisory Committee (SAC) により、毎年評価されている。

Institute of Marine Research (IMR)

http://www.imr.no/english/main

DATE: 14:00-16:10 25 Nov., 2005

PLACE: Nordnesgaten 50, P.O.Box 1870 Nordnes, N-5817 Bergen,

Norway

■特筆すべき点

・水産資源管理の勧告などを行う政府系の研究機関であるが、生態系を全面に押し出した 研究を行い、生態系研究に基づいた資源管理の勧告を行っている。

- ・最近研究組織の大幅な変更が行われ、従来の専門分野別の階層的組織から、生態系研究 を基本とした目的別の研究グループから成る組織となった。
- ・生態系モデルの開発、ロシアとのバレンツ海生態系の共同研究、ノルウェー海生態系に 関する図書の刊行等、海洋生態系研究の推進とその広報活動も活発である。

■機関の概要

水産省所属の研究機関で、バレンツ海・ノルウェー海・北海・ノルウェー沿岸の海洋資源や海洋環境、および養殖の研究を行ない、行政当局・業界・一般国民に対して科学的助言を与えている(我が国の独立行政法人水産総合研究センターにほぼ対応すると思われる)。

2002年にノルウェー政府が生態系アプローチを海洋生態系の管理の基本方針としたことにより、IMRにおいても生態系アプローチに対応した研究組織への変更が行われた。2004年までに、これまでの専門分野別に分かれた古典的な階層構造の組織から、生態系研究を基本としたフラットな構造の研究グループの組織となった。

全職員数650名で内研究者190名、8隻の調査船を持つ(船舶職員105名)。訪問したベルゲン以外に4箇所の支所がある。年間予算は7400万ユーロ(約100億円)で、その6割近くが水産省からのものである。

研究組織としては19の研究グループ、研究支援部門、発展途上国の漁業支援センター等からなる。研究グループの内訳は、「バレンツ海生態系と水産資源」、「ノルウェー海・北海の生態系と水産資源」、「沿岸域生態系」、「海洋および気象」、「プランクトン」、「貝類・甲殻類」、「海底環境」、「海洋環境」、「漁業および魚類資源」、「観測技術」、「海産哺乳類」、「責任ある漁獲方法」、「集団遺伝学」、「海洋ゲノム研究」、「成長と再生産の生理学」、「生産される魚の福利」、「魚の健康と病気」、「餌・摂餌と魚の質」、「加入生態と行動」である。一部の研究者はベルゲン大学の併任教授として大学での研究教育にも当たっている。

■海洋生態系管理に関する取り組み

ノルエェー近海のタラやニシンの資源量はこれまで非常に大きな変動を繰り返してきた。これらの変動の原因は、漁業と生態系の変化が組み合わさったものであると考えられている。生態系アプローチを海洋生態系管理の基本とするノルウェー政府の方針や、水産資源管理における最近の単一種ベースから生態系ベースの管理への移行に伴い、生態系をベースとした研究とそれに基づく管理が行われるようになった。

例えばバレンツ海ではノルウェー・ロシア共同の生態系調査が行われ、タラ、ニシン、シシャモ等の水産資源や海産哺乳類、海鳥の分布や資源量に関するデータが集められている。このような調査データや漁業データを基に資源評価・資源解析が行われ、資源管理の勧告がなされる。資源評価の方法は、単一種ベースで一部に環境要因を考慮しているものから、Gadget等の生態系モデルを用いるものまで、魚種により様々である(現在は単一種の資源管理から生態系ベースの資源管理への移行期にあると思われる)。ノルウェー海・バレンツ海の水産資源は、一部を除いて現在比較的良好な状態にある。

19の研究グループのうち海洋生態系管理に関連深いものとしては以下のものがある。

- ・バレンツ海生態系と水産資源グループ バレンツ海におけるトップダウン型の生態系に基づく資源研究とモニタリング
- ・ノルウェー海および北海の生態系と水産資源グループ ノルウェー海および北海のボトムアップ型の生態系に基づく資源研究とモニタリング
- ・沿岸域生態系グループ 沿岸域の資源、環境、養殖の生態系に基づく研究とモニタリング
- ・海洋および気象グループ 海洋生態系の動態に影響する物理・気象プロセスの研究のモニタリング
- ・プランクトングループ 海洋生態系における植物プランクトン・動物プランクトン・魚卵・仔魚のモニタリング と研究

1993-2001年にはGLOBECの下での地域プログラムとして、ノルウェー海生態系に関するプロジェクト研究が行われた。この成果は「The Norwegian Sea Ecosystem(ノルウェー海生態系)」としてまとめられている。

また、ロシアのPINRO (Polar Research Institute of Marin Fisheries and Oceanography) とは、共同調査や共同シンポジウムの開催など活発な研究交流が行われている。

Tore Nepstad氏より、ノルウェーのEU非加盟の背景について伺った。

ノルウェーは、北海油田や豊かな漁場を有し資源に恵まれていることから、EUに頼らずとも自活できる国家である。EUに加盟することによって、油田や水産資源を抱える排他的経済水域の欧州共同化の問題が生じ、自国の利権が守られなくなってしまう。つまり、EUのメンバー国になると①欧州単一の海 (Blue Europe³³)の実現、②海洋資源の保護、③国際競争力の低下防止の3点を大目標に掲げるEU共通の漁業政策(EU共通漁業政策;CFP)に従わなければならならず、資源採取量や汚染基準などがEUで規定された数値に準ずることになる。EU非メンバー国であれば、既に採択している国連海洋法に基づいた200 海里の排他的経済水域を主張できる。

この中で、多少の問題はあったが、現在、漁獲、養殖の単一市場は形成されており、欧州単一の海、Blue Europe政策も200海里設定によって実現されている(ただし、沿岸

³³ http://www.europarl.eu.int/factsheets/4_2_1_en.htm

から12海里は伝統的漁業権益を残している)。また、海洋資源保護のための具体的な政策として、我が国も行っている許容総漁獲量(TAC)、漁獲割当を設定し、漁獲量制限を実施している。更に、漁業指導財政基金(FIFG)を設備の近代化、港湾整備、養殖業への転職支援と設備支援、離職者・廃船への経済的支援などにあてている。

このCFPによると、海洋資源保護が大きな目標となっており、年々、漁獲量の削減が必要とされている。しかし、そのために、EU域外らの安価な水産資源を輸入するようになり、結果として、セーフガードの強化に始まり、EU域内の水産資源の価格高騰につながる。ノルウェーは、EUに加盟していないことにより、このような問題を避けることが出来る。

■主な設備

25トンから4000トンまで8隻の調査船を所有する。中でも、G.O.SARS号は、オートメーション化において世界最先端の機能を有しており、世界各国から注目を浴びている。

■その他

- ・刊行図書「The Norwegian Sea Ecosystem (ノルウェー海生態系)」について 1993-2001年にIMRが中心となって実施された、ノルウェー海生態系に関するプロジェクト研究「Mare cognitum (既知の海)」の研究成果を基にまとめられたものである。 ノルウェー海生態系の現在までに得られた知見の集大成となっている。 560ページの大著であるが、図表やコラムも豊富で一般向けに書かれている。
- ・生態系モデルGadgetについて

Gadget (Globally applicable Area Disaggregated General Ecosystem Toolbox)は魚類を中心とした生態系モデルで、IMRとアイスランドの海洋研究所(Marine Research Institute)を中心に開発された。モデルでは各魚種の生長、捕食、加入、移動、漁獲等による資源量の変化を記述し、モデルのパラメータは、漁獲量、漁獲物の年齢・体長組成、資源量指数、胃内容物、標識再捕等のデータを再現するよう推定される。アイスランド周辺海域、バレンツ海、北海等の資源動態の研究に用いられている。

Gadgetは魚類中心のモデルで基礎生産などは全く考慮されておらず、このため同じ生態系モデルでも二次生産まで扱い魚類を含まないERSEM等とは全く異なったものとなっている。

Gadgetのプログラムやマニュアルはウエッブサイトhttp://www.hafro.is/gadget/index.html から入手可能である。

G-TeCレポート

「海洋生物資源の持続的利用と海洋生態系の保全管理技術」 CRDS-FY2005-GR-06

独立行政法人 科学技術振興機構 研究開発戦略センター 井上グループ

〒102-0084 東京都千代田区二番町3番地 麹町スクエア3階

電話 03-5214-7485 ファクス 03-5214-7385 http://crds.jst.go.jp/

平成18年2月

Copy right ©2005 CRDS/JST

許可なく複写・複製することを禁じます。 引用を行う際は、必ず出典を記述願います。 ATTAATC A AAGA C CTAACT CTCAGACC

CT CTCGCC AATTAATA

TAA TAATC

TTGCAATTGGA CCCC

AATTCC AAAA GGCCTTAA CCTAC

ATAAGA CTCTAACT CTC G CC

AA TAATC

AAT A TCTATAAGA CTCTAACT CTAAT A TCTAT

CTCGCC AATTAATA

ATTAATC A AAGA C CTAACT CTCAGACC

AAT A TCTATAAGA CTCTAACT

CTC G CC AATTAATA

TTAATC A AAGA C CTAACT CTCAGACC

AAT A TCTATAAGA CTCTAACT

ATTAATC A AAGA C CT

GA C CTAACT CTCAGACC

0011 1110 000

00 11 001010 1

0011 1110 000

0100 11100 11100 101010000111

001100 110010

0001 0011 11110 000101

00 11 001010 1

0011 1110 000001 001 00001 0111101

0101 000111 0101 00001

001101 0001 0000110

0101 11

00110 11111100 00010101 011