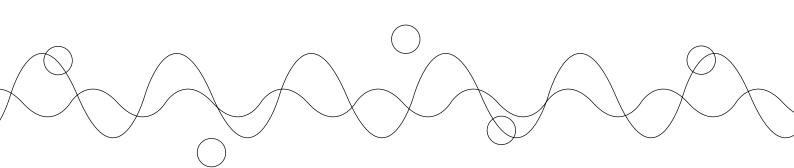
調査報告書

海洋生物多様性の把握に関する 科学的ニーズと先端計測技術シーズの邂逅



[巻頭言]

海洋生物多様性問題と計測技術の邂逅

研究開発戦略センター長 吉川 弘之

本調査が対象とする「海洋生物の多様性」とは、科学技術者にとっても巨大で困難な話題であり、最近メディア等で取り上げられる「生態系サービスの損失」に繋がる問題の根本である。もちろん、生物、生命は海洋から生まれたという説もあることから、海洋生物多様性は生物学、生命科学の根本的な問題とも言えるが、同時に一方で「持続性時代」(地球温暖化や炭酸ガス排出など、工業的な問題を元にした地球環境レベルでの調整が必要となる時代)においては、この「海洋生物多様性」は一つの中心に位置づけられるべきと思われる。今回、この重要な「海洋生物多様性」を計測しようということで、直感的にも非常に難しいものだと感じている。そもそもまだわからないことの多い「海」、その中でも解明が十分に進まない「生物」、そして、全貌を体系立って語ることの出来ない「多様性」を統合して、「海洋生物多様性計測」という概念をつくろうという試みである。

計測という問題は「科学」を進める上で必要不可欠なものであり、計測の限界が、その科学の有り様を決定までしてしまう。計測(実証)をしなくてもいい哲学者は、哲学者の数だけ哲学があるというようになかなか収束しない。しかし、科学というものは一つ時代を経て一つのものにまとまっていくべきものであり、その中心に計測がある。その計測が、「開発の時代」から「持続性の時代」へと移ってくる過程で、かなり変わってきている。この計測問題を根本的に考えなければ、この海洋生物多様性というのは解けないのではないか。

「開発の時代」の科学は、基本的に小さく見れば見るほど詳細がわかってきた。例えば、物質をミクロに見ることで、最初は連続体だったものが原子で構成されているとわかり、電子、さらには素粒子という話まで進んでいった。その過程で様々な応用が考えられ、構成する原子がわかれば、異種原子を混ぜれば素材の性質も変わるとわかり、そして新材料がつくられる。新材料の開発という大きな仕事は、まさにミクロに見ることができるようになって開発が進んだと言える。生物科学も同様に、ゲノムが見えたことで、その遺伝子の制御によって難病を治療できるようになってきたわけである。

このような新材料開発や病気の治療、創薬などが、「開発の時代」に行われてきたわけだが、「持続性の時代」には、地球温暖化などの非常に難しく、従来にはなかった問題が科学の対象となってくる。例えば、空気の組成や温度などの測定であるが、これはミクロ領域だけではなく、地球全域に亘って予測しなければいけない。いわばミクロの積み重ねだけでは絶対に解けないような本質的な違いを、「持続性時代」の計測は我々に求めているのである。ミクロでもなく大きな宇宙でもない、この地球という有限だが中途半端な空間スケールの測定を扱うことに、現代の科学はあまりにも不慣れである。しかし、持続性問題は常に地球という有限の範囲を離れることはできない。さらに時間スケールでも、「開発の時代」においては時間スケールが実験室時間であり、実験室の中で起こる現象を動的に調べていた。しかしながら、持続性時代では 100 年先の気候や、何万年、何億年とい

う進化などを取り扱わなければならない。

このように海洋生物多様性の計測が、まさに「持続性時代」の計測の一つであるということで、今までの計測技術が二次元、三次元であったのに対し、今後は四次元だと考えている。これは予測問題の単なるシミュレーションではなく、まだ起きていないことを見るという本質的な難しさを言っている。おそらく多様性問題は、結果的に多様性がどうなるかを予測することであり、この予測も広い意味で計測の対象に入ると思っている。

今回の調査では、課題解決へと向かわせる糸口として、「邂逅」を重視した。これは計測一般に「ニーズとシーズの邂逅」と言うように、我々は様々な場面で邂逅というキーワードを用いている。社会的期待と科学的解決手段の邂逅や、第4期科学技術基本計画の大きなコンセプトである課題達成型イノベーションにおける課題に対するイノベーション、科学技術の邂逅などである。私はこの邂逅は、基本的には"違う分野の様々な考えを持った研究者が出会い、面と向かって協力的に議論する"ことにほかならないと思っている。今回の調査結果を発端として、様々な研究者が本分野に興味を抱き、課題解決に向けて勇気を持って取り組んでもらえることを、心から期待している。

(以上)

エグゼクティブサマリー

(背景・目的)

我々は食物や資源など、海洋から多くの生態系サービスを得て豊かな生活を送っている。 このサービスは、海洋生態系のバランス、そして関連する物質循環サイクルの健康度に依 存しているが、現在、多くの地域で気候変動、水質汚染、乱獲、生息域破壊、侵略的な生 物種の持込みなど、外因的なインパクトに脅かされ、また、その状況を正確に捉えている だろうか、との指摘がある。したがって、「海洋生物多様性の把握」は、生態系の健康度、 管理等海洋政策の適正さを評価する上で重要であり、これを観測・モニタリングする手法 の高度化、極限化、普遍化は、科学技術に対する大きな期待となっている。

科学技術振興機構研究開発戦略センターでは、「計測は科学の母(mother of science)」と位置付け、どんな学問分野においても、計測の限界に突き当たると科学の進歩が止まることを示してきた。現在の「海洋生物多様性の科学」をさらに深化させるには、その計測(海洋生物多様性計測学)を発展させること、現在の計測技術の限界を突破することが重要と言える。また、新しい計測技術の創出には、計測ニーズと技術シーズの邂逅がポイントであることを示している。今回、海洋生物多様性の把握に関する科学的ニーズを体系的に整理し、これをメジャランド(測定可能な物理量)として設定することで、先端計測技術開発の可能性を検討することを計画した。

本調査は、海洋生物多様性の科学の深化を追求する研究者(海洋生物研究者)が、現在、解明を深化させるために、限界となっている課題を明確にし、その打破に向け、必要とされる計測技術のイメージを浮かび上がらせることを目的とした。

(結果・まとめ)

海洋生物研究者が推進する「海洋生物多様性の把握」に関する研究では、海洋に生息する微小生物から魚類・無脊椎動物・大型動物や植物までを対象とした分類、分布、生活史(卵→幼生→親の成長過程)、形態、生理生態学特性について、また被食・捕食、共生などの生物間の相互関係、個体群や生態系の動態と環境との関係について解明することを目指している。その計測対象は、生物情報と環境情報(物理量、化学量)であり、特に生物量を測る技術は、まだ不足していることが指摘されている(これまでは、船舶で現場へ赴き、底引き網などでごっそりと生物を採取し、研究室へ持ち帰ってから分析)。

本分野の研究を深化させるに当たり、①海洋生物の分布・移動の空間スケールが極めて広大、②海面から海中が見通せない、③深さにつれて水圧が増加、④洋上では場所(位置)がわからない、という海洋環境における計測の制約条件を乗り越える工夫が必要であり、【プラットフォーム】、【サンプル採集技術】、【計測技術】、【システム技術】、【情報技術】の5つの技術を統合した計測システムとして研究開発していくことが重要となる。各技術において掲げられた開発すべき技術シーズ/計測システムの例を以下に示す。

開発すべき技術シーズ/計測システムの例

《プラットフォーム》

- ・表層付近の流れの強い場所における操作性の良い AUV、ROV
- ・複数のプラットフォーム(船舶、ブイ、AUV、ROV等)の協調システム化

≪サンプル採集・技術≫

- ・立体構造や周辺環境(含圧力・温度等)を維持したままのサンプリング機器の開発
- ・現場センシングによる微細粒子と浮遊生物の分離手法
- ・AUV、ROV に搭載可能な高性能なマジックハンド

≪計測:イメージング≫

- ・衛星センシングによるサンゴ礁や藻場などの形態の解析
- ・ラマン・ライダーによる水溶存 CO。の遠隔観測
- ・周期律表全元素、全同位体のリアルタイム測定方法の開発

≪計測:画像・映像技術≫

- ・光超音波イメージングによる暗闇でのその場観察
- ・AUV、ROVに搭載可能な焦点深度の深い3Dカメラ、ビデオ装置
- ・触ると壊れてしまうような生物を非接触で観察できる装置

≪計測:音響技術≫

- ・広域を一気に観測することができるセンシング技術(例えば超音波による自動魚種 判別)
- ・光・音・電界等を使った水中パッシブセンシング技術
- ・種別生産量(個体数)と個体サイズの分布、その季節変化の把握

≪計測:バイオロギング≫

- ・より「長期」「小型」「深く」まで測定可能なバイオロギング、タギング技術
- ・泳ぐ動作の振動からエネルギーを取得するバイオロギング技術

≪計測:化学分析・遺伝子解析≫

- ・海洋環境中で DNA 分析や質量分析を可能とする計測機器の開発
- ・新たな発想にもとづく海洋生物専用の DNA バーコーディング技術
- 特定の機能(微生物の硫酸還元機能)判別に使えるデジタルチップアナライザー
- ・環境変動を把握できるバイオマーカーの発見と簡易検査方法の開発(腸内細菌など)

≪情報技術≫

・海洋生物多様性に関する膨大で多種多様な情報の中から、課題・目的に適した情報 を整理して抽出するデータマイニング技術

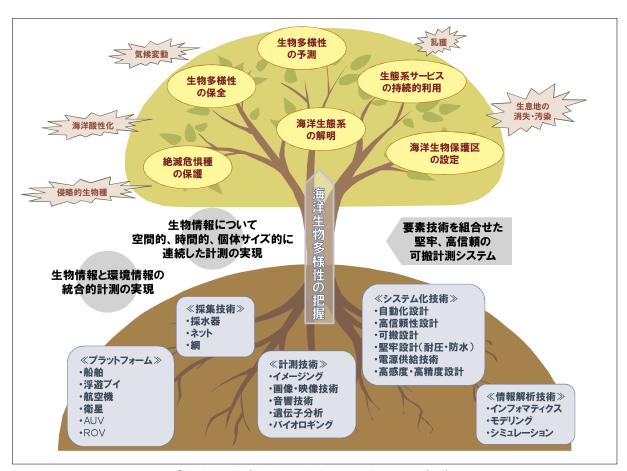
海洋生物多様性の把握に関する研究において、上記に掲げられた個別の開発すべき技術シーズ/計測システムの例を実現していくためにも、海洋生物研究者と計測技術者が連携し、各構成要素の関係性を検証することに重点をおいた技術開発を推進すべきである。また、海洋環境の制約条件を乗り越える工夫が必要であり、信頼性、安定性の高い運用システムとしてパッケージ化することもポイントとなる。

推進すべき技術開発のポイント

- ・生物情報について空間的、時間的、個体サイズ的に連続した計測の実現
- ・生物情報と環境情報(物質循環等)の統合的計測の実現
- ・要素技術を組合せた堅牢、高信頼の可搬計測システムを構築することがポイント

今後も、海洋生物研究者と計測技術者による具体的テーマを絞った邂逅が継続されることで、新たな計測システムを具現化させていくことが必要である。その際、国際的に見れば、装置をつくるだけではなく、情報産業として国内および国際的な情報を持っている団体が強いことを知るべきで、関係するステークホルダーは、装置、情報通信のプラットフォームを作り、国際標準をリードしていくことで「海洋産業」を育てていくことが求められる。

そして、科学的な知見が充実し、海洋生物多様性の未来予測が可能となるところまでが一つの社会的な大目標である。その後、生態系サービスの持続的利用、海洋生物保護区の設定などの海洋政策ともリンクすることで、海洋大国日本における「海洋生態系サービスのエコシステム」構築が期待される。



「海洋生物多様性の把握」研究開発の概念図

目 次

[巻頭言]

エグゼクティブサマリー

Ι.	1	はじ	めに	• • • • • • • • • • • • • • • • • • • •	• • • • • • •		• • • • • •	• • • • • • • •	• • • • • • •	• • • • • • •		• • • • • • •	• • • • • •	• • • • • •	• • • • •	• • • • • •	 1
2.	訓	間査	方法	• • • • • • • • • • • • • • • • • • • •			• • • • • •	• • • • • • • •	• • • • • • •	• • • • • • •		• • • • • • •		• • • • • • •		• • • • • •	 . :
3.	訓	間査	結果						• • • • • • •								 . 5
	3.	1.	海洋	生物多	多様性の	の把握は	2関す	る科学	≤的二-	ーズ		• • • • • • •		• • • • • • •		• • • • • •	 5
	3.	2.	海洋	生物多	多様性の	の把握に	こ関す	る先端	#計測排	支術シ	ーズ						 8
	3.	3.	ニー	・ズとミ	ノーズ(の邂逅	•••••		• • • • • • •			• • • • • • •		• • • • • • •		• • • • • •	 11
4.	ŧ	<u> </u>	x														 19
E			<i>(</i>)														Τc
υ.	訓																
		間査	の詳	细					• • • • • • • •								 15
	5.	周査	の詳 ワー	細 ·クショ	 ョップ				• • • • • • • • •	• • • • • • • •							 15 15
	5.5.5.	問査 1. 2. 3.	の詳 ワー 有韻 アン	細 ·クショ i者イン ·ケー	 リップ レタビ: い調査		······		• • • • • • • • • • • • • • • • • • • •								 15 15 73 95

[調査後記]

1. はじめに

◆背景

人類は陸地で生活しているが、地球は「水の惑星」と呼ばれるように表面の 70%を水で覆われている。また、四方を海で囲まれた日本は、排他的経済水域 (EEZ) まで含めた領土としては世界第6位の広さを持ち、深さを掛けた体積で見積もれば世界第4位と言われている¹。当然、我々が昔から海産物を食してきたのは自然なことであるが、この他にも資源やレクリエーションなど、海洋から多くの生態系サービス²を得て豊かな生活を送っている。このサービスは、海洋生態系のバランス、そして関連する物質循環サイクルの健康度に依存しているが、現在、多くの地域で気候変動、水質汚染、乱獲、生息域破壊、侵略的な生物種の持込みなど、外因的なインパクトに脅かされ、また、その状況を正確に捉えているだろうか、との指摘がある。したがって「海洋生物多様性³の把握」は、生態系の健康度、管理等海洋政策の適正さを評価する上で重要、これを観測・モニタリングする手法の高度化、極限化、普遍化は、科学技術に対する大きな期待となっている。

一方、最近の国際的な動向として、2010年10月に名古屋市で開催された生物多様性条約第10回締結国会議(COP10)では、愛知目標として「2020年までに海域の10%を保護地域などにより保全すること」が掲げられた。また、経済学的観点から生物多様性の喪失について世界レベルで研究された成果を取りまとめた「生物多様性の経済学(TEEB)」統合報告書が公表された。いずれも生物多様性の評価方法が明確ではないことが指摘されている。さらに、2000~2010年に行われた国際共同研究プロジェクト「海洋生物のセンサス(Census of Marine Life)」では、世界の海洋に100万種を越える生物が生息し、そのうち未発見の種が少なくとも75万種いることが示唆された。すなわち、まだ人類が未解明の部分がかなり残っていることが明確になったわけである。

科学技術振興機構研究開発戦略センターでは、「計測は科学の母(mother of science)」 ⁴ と位置付け、どんな学問分野においても、計測の限界に突き当たると科学の進歩が止まることを示してきた。現在の「海洋生物多様性の科学」をさらに深化させるには、その計測(海洋生物多様性計測学)を発展させること、現在の計測技術の限界を突破することが重要と言える。また、先の報告書では、新しい計測技術の創出には計測ニーズと技術シーズの邂逅がポイントであることを示した。今回、海洋生物多様性の把握に関する科学的ニーズ⁵ を体系的に整理し、これをメジャランド(測定可能な物理量)として設定することで、先端計測技術開発の可能性を検討した。

出典: 松沢孝俊「わが国の 200 海里水域の体積は?」 Ship & Ocean Newsletter, 第 123 号、2005.9.20

² 生態系サービスは、多様な生物の相互作用により維持されている。環境省による海洋生物多様性保全戦略(2011年)では、生態系サービスを、調整サービス(気候の安定、水質浄化など)、供給サービス(魚介類、高機能食品・医薬品、遺伝子資源など)、文化的サービス(ダイビングなどのレクリエーション、精神的恩恵など)、基盤サービス(光合成、栄養塩循環など)の4つに区分している。

³ 海洋生物多様性とは何かについて、その定義は多種多様であり難しい。本調査では、生態系サービス機能が健全に保たれている、持続 的に利用可能であることとし、これを維持していくための計測、および計測技術の開発に焦点を絞っている。

⁴ 出典:調査報告「科学における未解決問題に対する計測ニーズの俯瞰調査」(2011 年 3 月発行)、科学技術振興機構研究開発戦略センター http://crds.jst.go.jp/output/pdf/10rr05.pdf

⁵ このほか生物多様性把握に関する政策ニーズがある。国際的には 1990 年代最後に国連海洋法が発行され、リオの地球サミットでアジェンダ 21 が採択、その 17 章で海洋についての様々なプログラムが組まれた。これを受けた形で、日本でも 2007 年に海洋基本法ができ、海洋の利用は自由という風土から、海洋は総合的に管理すべきという方向へ進んでいる。これは環境問題や資源の乱獲など様々な問題が起こってきたことと、各国に沿岸域 200 海里までの管理を委ねたことが影響している。世界的にも海の管理は、科学的な知見の蓄積、活用をもとに行う流れとなっている。マリン・スペシャル・ブランニングは 200 海里について、またラージ・バリア・エコシステムは広大な海域について、まず情報・データを集め、分析することで保護や活用の政策に繋げようとしている。

◆目的

本調査は、海洋生物多様性の科学の深化を追求する研究者(海洋生物研究者)が、現在解明を深化させるために限界となっている課題を明確にし、その打破に向け、必要とされる計測技術のイメージを浮かび上がらせることを目的としている。特に、これまで海洋とは接点のなかった計測研究者や計測政策立案者に対して、議論に参加できるレベルまで、整理して示すことを目指した。

◆対象とする計測分野

CRDSでは、"長さ・重さ等の計量標準"、"半導体産業等の生産プロセスのチェック"、"計測機器産業の発展"など、計測が関与する研究開発領域における様々な課題の混同を避けるため、表1のマトリクスを作成し、計測技術に関する研究開発を目的別に整理している。すなわち、測ることを手段として用いる研究開発(計測ニーズ主導)と、測ることを目的とする研究開発(計測シーズ主導)を上下段に分け、さらに国が行うべき国家技術、アカデミアが行うべき科学技術、産業界が行うべき産業技術の3つに分け、全体で6領域に分類したものである。

本調査において対象とする計測分野は、上記の背景・目的にあるように測ることを手段として用いる科学技術分野(第3領域)である(各領域は明確に線引きされるわけではないため、今回の調査の議論でも他領域の課題の混入もある)。また、進展させる科学技術は、生命科学と環境・エネルギー科学の両方にまたがる「海洋生物多様性の科学」に関する分野を対象としている。

表 1 計測技術に関する研究開発の分類(目的別)

	(基幹) 国家技術	(基礎) 科学技術	(応用) 産業技術
計測を基盤とする 他分野 (測ることを手段 として利用)	(第1領域) 公共インフラ、テロ 対策、防犯等の安心・ 安全の保障	(第3領域) 生命 ナノ・物質、 情報・通信、環境・ エネなど基礎科学の 進展	(第5領域) 医薬、食品、素材、 資源、電子機器、輸 送機械等の産業発 展・ベンチャー創出
計測分野 (測ることが目的)	(第2領域) 長さ、重さ等の計量 標準の設定	(第4領域) 計測科学(計測工学、 分析化学、ナノ計測、 計測システムなど) の進展	(第6領域) 計測(機器、分析サービス等)の産業発展・ベンチャー創出

はじめに

2. 調査方法

図1に計測における一般的なニーズとシーズの邂逅プロセスに海洋生物多様性のキーワードを加えたものを示す⁶。計測技術の使用者と提供者が異なる場合、必ずギャップが生じてしまうため、邂逅には3つの要素が必要という仮説を立てている。すなわち、両者が議論し、課題を解決するアイデアを具現化していくためには、①海洋生物多様性計測の体系を整理すること、②中間的な研究者⁷がいること、③具体的なメジャランドを共通コミュニケーション・ツールとして明確化しながら議論していくことである。体系の整理では、必要とされる計測の意義や背景等を含め、記述されることが重要としている。

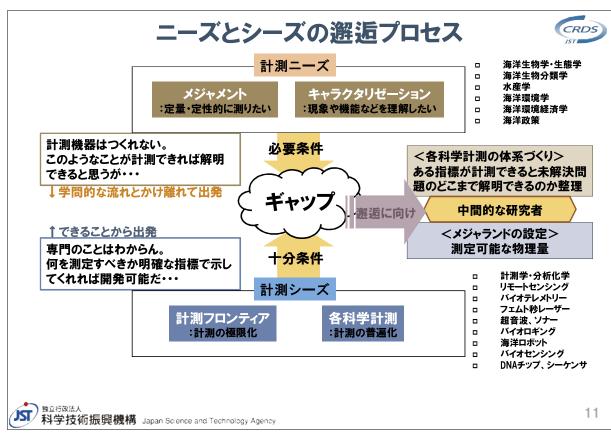


図1 計測におけるニーズとシーズの邂逅プロセス(概要)

海洋生物多様性計測に関する既存の研究状況の整理は、文献調査、および有識者に対するインタビュー、アンケートにより抽出した。ニーズ側の有識者として、海洋生物学・生態学、海洋生物分類学、水産学、海洋環境学、海洋環境経済学、海洋政策などの分野を、シーズ側の有識者として、計測学、分析化学、リモートセンシング、バイオロギング、フェムト秒レーザー、超音波・ソナー、海洋ロボティクス、遺伝子分析、バイオセンシング、DNA チップ・シークエンサ等の分野を対象とした。その後、両者を一堂に会した邂逅ワー

⁶ 出典:調査報告「科学における未解決問題に対する計測ニーズの俯瞰調査」(2011 年 3 月発行)、科学技術振興機構 / 研究開発戦略センター http://crds.jst.go.jp/output/pdf/10rr05.pdf

⁷ 中間的な研究者とは、科学の壁を乗り越えるために、自ら計測技術の開発までを行う研究者、すなわち計測ニーズとシーズの両方に明るい人材を意図している。研究戦略を立案するために幅広い知見を有する JST 研究開発戦略センターフェローも、この位置付け。

クショップを開催し、必要となる研究開発や今後の課題など研究開発戦略について検討を 行った。

◆有識者インタビュー

叩き台となる素案を出すため、もしくは、本調査の意義を確認するために実施。各科学分野の有識者へ個別に訪問インタビューを実施し、研究内容と今後の課題等について意見を伺った(インタビューした内容を 5. 2 章に示す)。

- 調査期間:2011年7月~11月
- 対象:各分野の有識者
- 調査方法:現状の研究内容、課題を広く意見収集

◆アンケート調査

文献調査、インタビュー調査で得られた素案に対してニーズ群の骨子を固めるため、アンケートによる意見を収集した。

- · 調査期間: 2011 年 11 月 28 日 ~ 12 月 14 日
- ・ 調査対象:ニーズ側研究者
- 調査方法:メール送付によるアンケート形式

◆ワークショップ

アンケート調査によって固められたニーズに対して、シーズ研究者との邂逅、重要な課題を整理するためワークショップを行った。

- · 開催日:2011年12月19日
- · 開催場所: JST 東京本部別館会議室
- ・ 参加者:海洋生態学関連、および、計測技術の有識者と計測分野の有識者(話題提供者、コメンテータ)。

3. 調査結果

3. 1. 海洋生物多様性の把握に関する科学的ニーズ

◆海洋生物多様性の把握に関する科学的研究の例

- 人間活動が地球の気候や生態系に与える影響として、人類にとって壊滅的な地球規模の環境変化が起こる許容限界(プラネタリー・バウンダリー)を定義している (Rockstrom et al., 2009)。「生物多様性の減少」が最も緊急の課題であり、限界は "100 万種あたり年間 10 種まで"であるのに対し、現在は大きく超えていることが示されている。
- 種の専門家である分類学の研究者がまず知りたいことは、どの海域 8 、どの深さ、どの季節にどのような生物がいるかの基本情報である。日本周辺海域で同定されている種が 33,629 種に対して、同定されていない未記載種は 121,913 種 (Fujikawa, et al., 2010)。約7割は未同定。
- 海洋に生息する微生物から魚類・無脊椎動物・大型動物や植物までを対象とした分類、分布、生活史(卵→幼生→親の成長過程)、形態、生理生態学特性について、また被食・捕食、共生などの生物間の相互関係、個体群や生態系の動態と環境との関係について解明すること。
 - ▶ 植物プランクトンから魚類などの高次栄養段階生物に至る食物連鎖の中でのエネルギー転送過程や、物質循環過程を解明すること。
 - ▶ 例えば、ある海洋生物は数百〜数千メートルの潜水をおこなうことが知られるが、 海洋生物の行動と、その仕組みを解明すること。
 - ➤ サンゴ礁などの個別生態系について、共生関係も含めた生態系を解明すること。 また、外乱に対する劣化メカニズムを解明すること (カタストロフィ分析)。ダイバー潜水では時間の制限が大きく難しい 30m 以深の調査は手段が限られ、あまり行われていない。
 - ➤ 海洋の現場で、微生物を中心とした微細3次元構造の把握が、微生物/有機物複合体であるマリンスノーを初めとする生物館の相互作用や代謝機能の発現等が重要

◆海洋生物研究者が計測する対象

海洋生物多様性の把握に関する科学的研究において、その計測する対象は、物理量、化学量、生物量に区別できる。このうち、その場の環境情報を示す物理量、化学量については、計測センサーの要素技術は比較的揃っている。ことに対し、生物量を測る要素技術は、まだ不足していることが指摘されている。また、生物情報と環境情報(物理量、化学量)の相関関係を統合的に計測・理解することが求められている。

⁸ 海洋生物の生息区分として、水平方向には大きく【内湾・沿岸】、【外洋】に、鉛直方向には大きく【表層】、【中層】、【深層】、【底層】 に分けられる。

⁹ アルゴ計画:世界気象機関(WMO)、ユネスコ政府間海洋学委員会(IOC)等の国際機関および 各国の関係諸機関の協力のもと、全世界の海洋の状況をリアルタイムで監視・把握するシステムを構築する 国際科学プロジェクト。アルゴフロートと呼ばれる観測機器は、水深 2,000m から海面までの間を自動的に浮き沈みして 水温・塩分等を測定する。世界中の海洋で 3,000 台稼働させる計画。

(1) 物理量 10

最も広く用いられているその場の環境計測として CTD プロファイラがある。これは塩分を算出するための電気伝導度 (Conductivity)、水温 (Temperature)、水深 (Depth) を計測するセンサーを配備した装置で、海洋の環境計測 (物理量、化学量) には欠かせない。

● 塩分 (密度):電気伝導度によって検出

水温:海水の温度水深:測定場の深さ

● 流れ (流向・流速):海流の方向、速さ

● 光量・日照時間:太陽からの光の量、時間

● 透明度(濁度):海水の透明度(特に沿岸域で重要)

● 位置:測定場の緯度、経度

(2) 化学量

● 溶存ガス成分:酸素、COx、メタン等

● 栄養塩:硝酸イオン、アンモニア、無機リン酸等

(3) 生物量

生態系の被食-捕食関係を見ることが生態系を知ることに繋がる。したがって、ある海域における生物種毎の生物量、個体数・量、バイパス、そして大きさを知ることが重要。 個体サイズがどのように分布をしているか、季節的、時間的にどう変化するかを把握することが重要。

(目に見えるもの)

数十 μ mのプランクトンから数十mのクジラなどは目に見える、いわゆる形態的に識別が可能なものである。

- 第1次生産者:植物プランクトンなど
- 第2次栄養段階生物:動物プランクトンなど
- 第3次栄養段階生物:イワシ、ニシン、タラなど
- 高次栄養段階生物:マグロ、イカ、サケ、サメ、クジラなど、大きいものは 20 メートル以上ある。

(目に見えないもの)

数ナノメートルのウィルスから数 μ mのバクテリアなどの微生物は、目に見えない、いわゆる形態的に識別が不可能なものである。これらの多くは遺伝子的な解析によって分類をしようという方向に進んでいる 11 。

- バクテリア (細菌):海洋に生息し、増殖にナトリウムを要求する細菌群。
- ウィルス:数nm~数百nmのサイズ。海水1リットル中に、数百億~数千億個が存在すると言われている。

◆海洋環境における計測の制約条件

陸上と比べ、海洋では下記に示すように、活動の制限が大きいことがネックとなり、そ

CRDS-FY2011-RR-06

¹⁰ アメダス(AMeDAS: Automated Meteorological Data Acquisition System)は、降水量、風向・風速、気温、日照時間、(積雪の深さ)の観測を自動的に行っている。全国で約 840 ヶ所(約 21km 間隔)に設置。

¹¹ ただし、海洋微生物の 99.9% は培養できないと言われている。

の科学的な解明も遅れてきた。

~海洋環境における計測の制約条件~

①海洋生物の分布・移動の空間スケールが極めて広大

海洋は、地球の表面積の約7割を占めている。そして、ある生物は太平洋の日本側からアメリカ側までを回遊し、海流・潮流によって卵・稚仔が広い範囲に拡散する。また、海洋生物は深海にも分布し、ある生物は、1日当たり、季節的にもかなりの範囲で深浅を移動する。海洋生物の分布・移動を理解する場合、計測・モニタリングするシステムは、極めて大きな空間スケールを持つ必要がある。

②海面から海中が見通せない

海上から海中を見通すことが出来ない。海中では情報伝達の手段として光を含め電磁波が使えず、使えるのは音波だけである。

③深さにつれて水圧が増加

深さにつれて水圧が増す。この非常に大きな水圧に耐える工夫をしないと、海の深いところでの計測はできない。

④洋上では場所(位置)がわからない

見落とされがちだが、陸上と違って海上で自分がどこにいるか、地球上のどこを測っているか、実はその計測も難しい。最近は GPS を使って相当正確に測れるようになったが、本質的な問題を持っている。

海洋生物研究者による従来からのフィールド調査では、船舶で現場へ赴き、底引き網を使用するなど、サンプル採集技術によって生物を採取し、研究室へ持ち帰ってから分析を行ってきた。したがって、時間、空的、個体サイズなどの連続計測が困難な状況にある。

3. 2. 海洋生物多様性の把握に関する先端計測技術シーズ

◆関連する先端計測技術

海洋生物多様性の把握に関する科学的研究を深化させるに当たり、海洋環境における計測の制約条件を乗り越える工夫が必要であり、表2に示す5つの技術を統合した計測システムとして研究開発していくことが重要となる。

表 2 関連する先端計測技術

プラットフォーム	海洋環境における計測を実施するための空間的な移動手段を総称してプラットフォームと呼ぶ。船舶、浮遊ブイ、飛行機、人工衛星、ROV、AUV、グライダーなどの技術。
サンプル採集技術	計測の対象物を分析するために海中から採集する技術 (特定のもののみを分離する技術も含む)。海洋に生息する微生物から魚類・無脊椎動物・大型動物や植物までの生物サンプルや、その場の海水サンプルなど。採水器、ネット、網などの技術。現状、100 μ m 程度までは採水器、それ以上はネット、網による採集を行っている。深海などでは、周辺環境の圧力や温度を維持したままサンプル採集する必要がある。
計測技術	①イメージング:試料の情報を様々な方法で測定して画像化・視覚化する技術。採集したサンプルを船上等で分析する顕微鏡やフローサイトメトリーなどから、生物多様性の変化のモニタリングとして利用される衛星からのリモートセンシング(例えば植物プランクトンのクロロフィル・センシング、赤潮モニタリング、サンマ漁場のセンシングなど)を含む。
	②画像・映像技術:海中カメラ、海中ビデオなど、ダイバー、もしくはROVなどの移動手段によって、海中から画像、映像を取得する技術。高感度画像技術や3次元映像技術など、さらなる高度化が求められている。
	③音響技術:いわゆる超音波・ソナーを使った計測技術。海水中では、光や電波の減衰が大きいため、伝統的に音響が広く用いられてきた。最近の医用超音波技術の海洋への適用が課題。
	④バイオロギング:人の視界や認識限界を超えた現場において、生物自身やそれを取り巻く周辺環境の現象を調べるための手法。具体的には超小型のデータロガーを生物自身に装着して様々なデータを取得する手法や、電波、超音波発信機を動物に装着して遠隔的に動物の行動や現場の情報を得るテレメトリー手法を用いた研究。この分野では、日本の研究者がパイオニアとして独創的なアイデアに基づいて独自の機器を開発し、優れた研究成果をあげてきている。

はじめに

	⑤化学分析・遺伝子解析:分析化学手法、バイオセンサなどの技術である。従来から、海水等をサンプリングし、船上または研究室に持ち込んで計測、分析を行うスポット的な観測が一般的。これらの手法は、サンプリングの環境変化にともなう状態変化の可能性が排除できない、物理、化学及び生物的な計測、分析が別個に行われるためにデータの整合性がとれない、時空間的に連続したデータが得られないことなどの問題がある。これらを解決する現場型センサーが求められている。レーザーライダーの応用も課題。
システム技術	海洋環境という制約条件において、計測の目的を達成するために必要な技術全般を言う。自動化設計、高信頼性設計、可搬設計、堅牢設計(耐圧・防水)、高感度・高精度設計、電源供給技術、エネルギー・ハーベスティング技術、無線通信技術など。
情報技術	各種の計測された膨大な高精度データの解析技術や、得られたデータを統合し、現象をモデル化する技術、さらにはモデルに基づいて挙動予測を行う手法を言う。バイオインフォマティクス技術、モデリング技術、シミュレーション技術など。データからノイズ情報を除いて骨格の情報を明らかにするするデータマイニング技術なども含む。

◆先端計測技術の開発方向性

上記5つの技術について、オンサイト・その場計測、リアルタイム計測などを実施していくためには、人の手を介すことを極力減らした自動化の方向へと進むことが求められている。すなわち、海洋環境中ではプラットフォーム、もしくはサンプル採集技術のみを利用していた従来に対し、計測技術、情報技術、システム技術までも含めて海洋環境中で使用する方向へと進むことが求められている(図 2)。

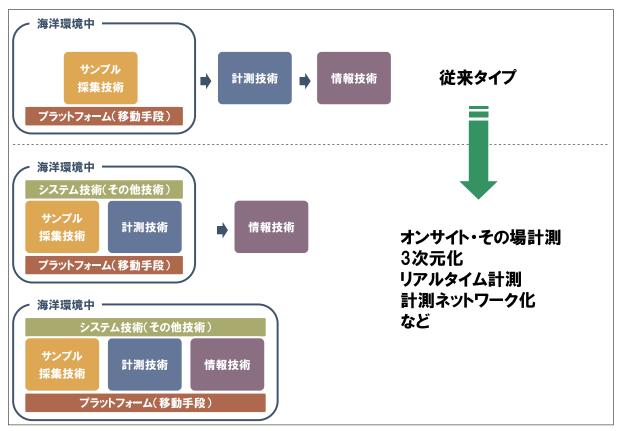


図2 先端計測技術の開発方向性

はじめに

3. 3. ニーズとシーズの邂逅

横軸に計測すべき物理量、化学量、生物量を、縦軸に計測技術、計測手段を記載したマトリクスを図3に示す。邂逅作業を進めるに当たり、このマトリクスを埋めていくことでヒントが浮かぶことを期待した。マトリクス内の黄色で示された項目が、アンケート結果で技術開発課題(例)として示されたものである。

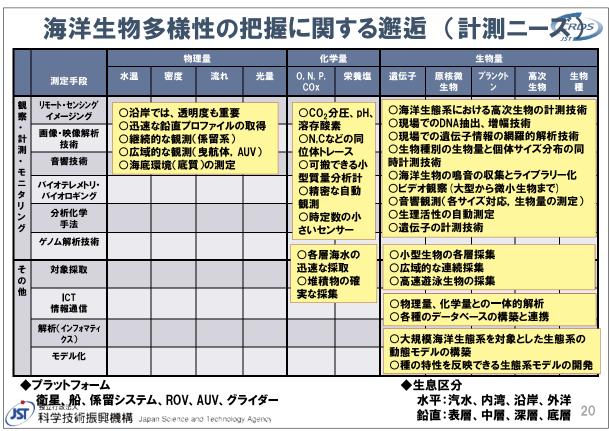


図3 ニーズとシーズの邂逅マトリクス

上記の邂逅マトリクスをもとにして、5つの技術について有識者から集められた開発すべき技術シーズ/計測システムの例を以下に示す。

開発すべき技術シーズ/計測システムの例

≪プラットフォーム≫

- ・表層付近の流れの強い場所における操作性の良い AUV、ROV
- ・複数のプラットフォーム(船舶、ブイ、AUV、ROV等)の協調システム化

≪サンプル採集技術≫

- ・立体構造や周辺環境(含圧力・温度等)を維持したままのサンプリング機器の開発
- ・現場センシングによる微細粒子と浮遊生物の分離手法
- ・AUV、ROV に搭載可能な高性能なマジックハンド

≪計測:イメージング≫

- ・衛星センシングによるサンゴ礁や藻場などの形態の解析
- ・ラマン・ライダーによる水溶存 CO。の遠隔観測

・周期律表全元素、全同位体のリアルタイム測定方法の開発

≪計測:画像・映像技術≫

- ・光超音波イメージングによる暗闇でのその場観察
- ・AUV、ROVに搭載可能な焦点深度の深い3Dカメラ、ビデオ装置
- ・触ると壊れてしまうような生物を非接触で観察できる装置

≪計測:音響技術≫

- ・広域を一気に観測することができるセンシング技術(例えば超音波による自動魚種 判別)
- ・光・音・電界等を使った水中パッシブセンシング技術
- ・種別生産量(個体数)と個体サイズの分布、その季節変化の把握

≪計測:バイオロギング≫

- ・より「長期」「小型」「深く」まで測定可能なバイオロギング、タギング技術
- ・泳ぐ動作の振動からエネルギーを取得するバイオロギング技術

≪計測:化学分析・遺伝子解析≫

- ・海洋環境中で DNA 分析や質量分析を可能とする計測機器の開発
- ・新たな発想にもとづく海洋生物専用の DNA バーコーディング技術
- 特定の機能(微生物の硫酸還元機能)判別に使えるデジタルチップアナライザー
- ・環境変動を把握できるバイオマーカーの発見と簡易検査方法の開発(腸内細菌など)

≪情報技術≫

・海洋生物多様性に関する膨大で多種多様な情報の中から、課題・目的に適した情報 を整理して抽出するデータマイニング技術

4. まとめ

推進すべき技術開発のポイント

海洋生物多様性の把握に関する研究において、3.3章に掲げられた個別の開発すべき技術シーズ/計測システムの例を実現していくためにも、海洋生物研究者と計測技術者が連携し、各構成要素の関係性を検証することに重点をおいた技術開発を推進すべきである。また、海洋環境の制約条件を乗り越える工夫が必要であり、信頼性、安定性の高い運用システムとしてパッケージ化することもポイントとなる。

推進すべき技術開発のポイント

- ・生物情報について空間的、時間的、個体サイズ的に連続した計測の実現
- ・生物情報と環境情報(物質循環等)の統合的計測の実現
- ・要素技術を組合せた堅牢、高信頼の可搬計測システムの構築

個別の邂逅作業の継続

今回の調査における邂逅ワークショップは、ニーズとシーズの邂逅という作業の糸口をつくったに過ぎない。引き続き、「AUVやROVなどプラットフォーム」や、「ミクロンオーダーの海洋微生物(形態的識別のできないもの、培養の困難なものなど)の現場観測」、「海洋現場での微生物の3次元構造の把握」、「音響技術を用いた種別生物量の把握」など、テーマを絞って邂逅を行っていくことで、この分野の進展に繋がることが期待される。

ファンディングのあり方の精査

この分野は9割がモデル研究者であり、計測機器を用いた実験系フィールド研究者は1割しか存在しない。これは研究用観測船への乗船機会に限りがあることが原因だが、海洋生物多様性の把握に関する研究のパラダイムシフトを起こすためにも、実験系フィールド研究に対する評価のあり方を再考する必要がある。

モニタリング自体は、長期に亘って継続することに意義があり、短期的な目標を設定して結果を得るというタイプのファンディングにはなじまない。例えばモニタリング装置の開発を補助しても、ものを作ったところで終わってしまい後が続かない。

国際的に見れば、装置をつくるだけではなく、情報産業として国内および国際的な情報を持っている団体が強い。したがって、国際標準をリードしていくことが大切で、やはり米国、EUが一歩進んでいる。科学者の物差しだけでは駄目で、装置、情報通信のプラットフォームを作り、「海洋産業」を育てていかねばならない。

「海洋生物多様性の把握」という国際的な意義・重要性を踏まえ、日本発の海洋生物多様性計測の国際標準の提案と国際的な議論のリードを実践することで、民間企業も交えた海洋生物多様性計測のエコシステム構築が期待される。

将来的な期待

新たな計測技術が開発、利用され、科学的な知見が充実し、海洋生物多様性の未来予測が可能となるところまでが一つの社会的な大目標である。その後、生態系サービスの持続的利用、海洋生物保護区の設定などの海洋政策ともリンクすることで、海洋大国日本にお

ける「海洋生態系サービスのエコシステム」の構築が期待される。

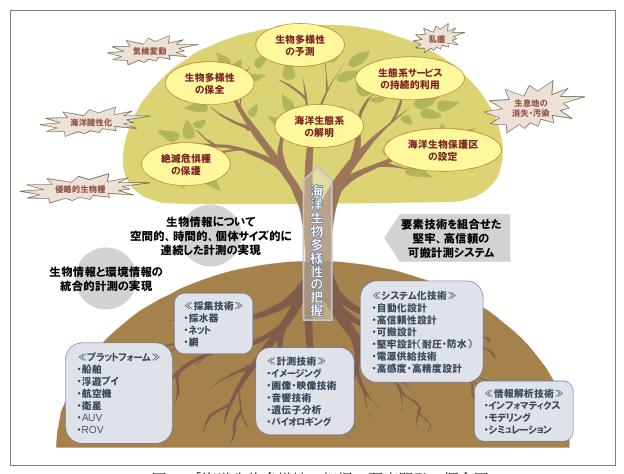


図4 「海洋生物多様性の把握」研究開発の概念図

5. 調査の詳細

5. 1. ワークショップ

【開催趣意書】

背景と目的

独立行政法人科学技術振興機構(JST)研究開発戦略センター(CRDS)は、科学技術に求められる社会的・経済的ニーズを踏まえて、国として重点的に推進すべき研究領域や課題を選定し、そのファンディング戦略を明確にするための活動を行っている。計測技術に関する横断グループでは、今年度、「海洋生物多様性の把握」を目的として、海洋科学、水産科学等における未解決の科学的ニーズを探索するとともに、そのニーズを充足する先端計測技術の研究開発戦略の検討を行っている。

(海洋生物多様性の把握)

我々は食物や資源など、海洋から多くの生態系サービスを得て豊かな生活を送っている。 このサービスは、海洋生態系のバランス、そして関連する物質循環サイクルの健康度に依 存しているが、現在、多くの地域で気候変動、水質汚染、乱獲、生息域破壊、侵略的な生 物種の持込みなど、外因的なインパクトに脅かされ、また、その状況を正確に捉えている だろうか、との指摘がある。したがって、「海洋生物多様性の把握」は、生態系の健康度、 管理等海洋政策の適正さを評価する上で重要であり、これを観測・モニタリングする手法 の高度化、極限化、普遍化は、科学技術に対する大きな期待となっている。

(ニーズとシーズの邂逅)

CRDS では、2011 年 3 月に発行した調査報告「科学における未解決問題に対する計測ニーズの俯瞰調査」 において、「計測は科学の母(mother of science)」と位置付け、新しい計測技術の創出には、計測ニーズと技術シーズの邂逅がポイントであることを示しております。今回開催するワークショップでは、海洋生物多様性の把握に関する計測ニーズを体系的に整理し、これをメジャランド(測定可能な物理量)として設定することで、先端計測技術開発の可能性を検討致します。 さらに次のステップで実行に向けた推進方策のあり方等について議論する予定でおります。

<u>オーガナイザー</u>

吉川 弘之 JST研究開発戦略センター センター長

兼 同センター 計測技術に関する横断グループ 総括

モデレーター

佐藤 勝昭 JST 戦略的創造研究推進事業さきがけ

「革新的次世代デバイスを目指す材料とプロセス」 研究総括 兼 研究開発戦略センター 計測技術に関する横断グループ・フェロー

期待するアウトプット

(1) 海洋科学、水産科学等における「海洋生物多様性の把握」に関する未解決の研究

¹ 参照:調査報告「科学における未解決問題に対する計測ニーズの俯瞰調査」(2011年3月発行)科学技術振興機構/研究開発戦略センター http://crds.jst.go.jp/output/pdf/10rr01.pdf

課題と優先度の高い計測ニーズ

- (2) 「海洋生物多様性の把握」に関する計測ニーズの体系的整理とメジャランド(測定可能な物理量)の設定
- (3) 「海洋生物多様性の把握」に資する先端計測技術開発の可能性

【プログラム】

- ◆名称 「海洋生物多様性の把握に関する科学的ニーズと先端計測技術シーズの邂逅」ワークショップ
- ◆主催 (独) 科学技術振興機構 (JST) 研究開発戦略センター (CRDS)
- ◆日時 2011 年 12 月 19 日 (月) 13:00 ∽ 18:00
- ◆場所 JST 東京本部別館 2階 会議室 A-② (東京都千代田区五番町7番地 K's 五番町)

◆プログラム

オープニング

 13:00 ~ 13:05
 主催者挨拶
 吉川 弘之 (JST/CRDS)

 13:05 ~ 13:20
 趣旨説明
 佐藤 勝昭 (JST/CRDS)

セッション 1. 海洋生物学者からのニーズの提示(1)

13:20~13:40 小池 勲夫 (琉球大学)

13:40~14:00 和田 時夫 (水産総合研究センター)

セッション 2. 海洋生物学者からのニーズの提示 (2)

14:00 ~ 14:20 安岡 善文 (JST/CRDS)

14:20 ~ 14:40 張 勁 (富山大学)

14:40~15:00 石丸 隆 (東京海洋大学)

15:00~15:20 <休憩>

15:20 ~ 15:40 宮下 和士 (北海道大学)

15:40~16:00 菊地 淳 (理化学研究所)

セッション 3. 計測技術者からの提案

16:00 ~ 16:10 椎名 毅 (京都大学)

16:10~16:20 染川 智弘 (レーザー技術総合研究所)

16:20 ~ 16:30 中野 義昭 (東京大学)

16:30~16:40 豊田 岐聡 (大阪大学)

16:40~16:50 北川 正成 (タカラバイオ)

16:50~17:00 小菅 一弘 (東北大学)

セッション 4. 総合討論

17:00~18:00 まとめ

(敬称略)

【参加者】

参加有識者 順不同、敬称略

小池 勲夫 琉球大学・監事

和田 時夫 (独) 水産総合研究センター中央水産研究所・所長

安岡 善文 (独) 科学技術振興機構研究開発戦略センター・フェロー

張 勁 富山大学大学院理工学研究部・教授

石丸 隆 東京海洋大学海洋科学部·教授

宮下 和士 北海道大学北方生物圏フィールド科学センター・教授

菊地 淳 (独) 理化学研究所植物科学研究センター・チームリーダー

椎名 毅 京都大学大学院医学研究科・教授

染川 智弘 (財) レーザー技術総合研究所・研究員

中野 義昭 東京大学先端科学技術研究センター・所長/教授

豊田 岐聡 大阪大学大学院理学研究科・教授

北川 正成 タカラバイオ (株)・執行役員

小菅 一弘 東北大学大学院工学研究科·教授

寺島 紘士 海洋政策研究財団・常務理事

中村 哲也 日油技研工業 (株)・海洋機器 Gr リーダー

矢津 敏弘 JFE アドバンテック (株)・海洋・河川事業部長

紀本 岳志 紀本電子工業 (株)・代表取締役

青木 仁 古野電気(株)・東京支社統括部長

笹倉 豊喜 フュージョン (有)・代表取締役

小山 謙一 (株) ソニック・取締役水産機器部長

堀之内 英 (株) 日本アレフ・代表取締役社長

JST 関係者

吉川 弘之 JST/CRDS・センター長

佐藤 勝昭 JST/CRDS 計測技術に関する横断グループ・フェロー

丸山 浩平 JST/CRDS 計測技術に関する横断グループ・特任フェロー

金子 健司 JST/CRDS 電子情報通信ユニット・フェロー

福田 哲也 JST/CRDS 環境・エネルギーユニット・フェロー

川口 哲 JST/CRDS ライフサイエンス・臨床医学ユニット・フェロー

永野 智己 JST/CRDS ナノテクノロジー・材料ユニット・フェロー

奥山 隼人 JST 研究領域総合運営部第一研究領域担当

オブザーバー

井上 諭一 文部科学省研究開発局海洋地球課・課長

【ワークショップ議論内容】

目次

(1)オープニング		20
【趣旨説明: 佐藤勝昭	JST/CRDS]	20
(2) セッション 1: 海	洋生物研究者からのニーズの提示①	23
【話題提供: 小池勲夫	琉球大学】	23
【話題提供: 和田時夫	水産総合研究センター】	26
(3) セッション2: 海	洋生物研究者からのニーズの提示②	31
【話題提供: 安岡善文	-	31
【話題提供: 張 勁	富山大学】	35
【話題提供: 石丸 階	• • • • • • • • •	39
【話題提供: 宮下和士	· · · · · · · · ·	42
【話題提供: 菊地 淳		45
(4) セッション3: 計	測技術者からの提案	49
【話題提供: 椎名 毅		49
【話題提供: 染川智弘	レーザー技術総合研究所】	52
【話題提供: 中野義昭		56
【話題提供: 豊田岐聡	大阪大学】	59
【話題提供: 北川正成	タカラバイオ】・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	62
【話題提供: 小菅一弘	東北大学】	65
(5) セッション 4: 総	合討論	67

(1) オープニング

【趣旨説明: 佐藤勝昭 JST/CRDS】

JST の研究開発戦略センター (CRDS) の計測技術横断グループでは、計測分析技術を「計測は mother of science である」と捉え、物理、化学、生物などの領域を全部束ねた上に置くようなメタサイエンスでなければならないという方針の下、調査を行い提言を行ってきた。

こういう考えの下に 2010 年 12 月に「科学の未解決問題に対する計測ニーズの俯瞰ワークショップ」を開催し、計測技術の課題を引き出そうとする試みを行った。

(調査活動の背景と方針)

このワークショップに加え有識者のインタビューやアンケートなどを総合して浮かび上がってきたのは、計測ニーズの約60%がライフサイ東であり、より複雑な現象解が必要になってきていることなどであった。さらいることなどであった。さらいることなどであった。さらいったがであった。からものをメジャランに、かり測定可能な物理量に落としこむよ

科学における未解決問題に対する 計測ニーズの俯瞰調査(2010年度):概要



- 「mother of scienceとしての計測」にフォーカス
- ■「科学における未解決問題」において必要となる「計測ニーズ」を俯瞰的に調査。
- 有識者インタビュー、アンケートによって意見を収集し、ワークショップによって内容を確認。各分野の課題リスト、水準(特徴)とトレンド、全体の俯瞰図を導出。大きな視点から以下の点が明らかになった。
 - ロ 計測ニーズの60%が「生命科学」分野
 - □ より複雑な現象解明へ取り組むための計測ニーズが多い
 - □ 未来予測も含めた計測ニーズが含まれる(4次元レンズ)
- 計測ニーズ(ウォンツ)は、「メジャメント」と「キャラクタリゼーション」のどちらを目的 としているか分離し、さらに測定可能な物理量(メジャランド)に落し込む作業が あってこそ、計測技術の開発がスタート可能(ニーズとシーズの邂逅)。
- ニーズと幅広いシーズとの邂逅の場の設定が重要

調査報告「科学における未解決問題に対する計測ニーズの俯瞰調査」(2011年3月発行) 科学新聞「科学における未解決問題に対する計測ニーズ俯瞰」 6回にわたり連載

p立行政法人 科学技術振興機構 Japan Science and Technology Agence

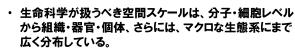
うな作業が必要であり、そのためにはニーズとシーズの邂逅が必要だということが浮かび上がってきた。²

これを受けて、計測技術横断グループは、2011年度の方針として、ライフサイエンス

分野についてニーズとシーズの邂逅を行うことになった。ライフサイ、分子・細胞レベルのミクロから、組織・器官・個体、さらにはマクロスをのうなもで広く分布しているが、このう多様性研究に資する計測技術」の判野に注力することになった。この判断の根拠となったのは、COP10において「生物多様性の経済効果」を考えるというTEEB³報告書が公表され

CRDS計測横断G

生命科学計測技術のニーズ・シーズ邂逅方針



- ・ 今年度は、このうちマクロスケールの「海洋生物多様性に 資する計測技術」に注力する。
 - TEEB:生物多様性の経済効果→根拠となる多様性評価法は?
 - COP10愛知目標→海域の10%の保全→基礎データは?
 - 「より複雑な現象解明」、「未来予測も含めた計測技術」という 昨年度調査によって出た計測ニーズにマッチ
 - ニーズ・シーズとの邂逅が必要な「課題解決型研究」である

與正行政法人 科学技術振興機構 Japan Science and Technology Agency 10

CRDS

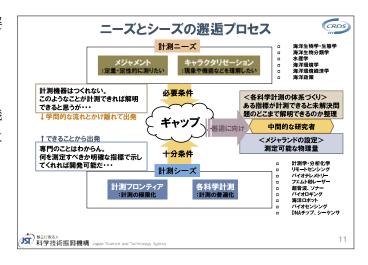
 $^{^2}$ この結果については、調査報告書を刊行し、Web にも掲載したほか、科学新聞に 6 回にわたって連載し、科学の未解決問題に対する計測ニーズ俯瞰における邂逅の重要性を指摘した。

³ 「生物多様性の経済学(TEEB)」報告書。経済学的な観点から生物多様性の喪失について世界レベルで研究された成果を取りまとめたもの。2010年10月に名古屋市にて開催された生物多様性条約(CBD)第10回締約国会議(COP10)でTEEB統合報告書が公表された。

たが、生物多様性の評価方法が明確ではないこと、COP10の愛知目標で2020年までに海域の10%の保全が求められたが基礎データがないこと、海洋生物多様性の計測は、より複雑な現象解明、さらに未来予測も含めなければならないという意味で、まさに計測ニーズにマッチしていることである。さらに、課題解決型の第4期科学技術基本計画では、非常に広いシーズ、非常に広いニーズをうまくマッチさせることが求められるが、そのテストケースの1つになるのではないかないかと考えられ、そういうことで海洋生物多様性の問題に取り組むことになった。

(ニーズとシーズの邂逅)

計測におけるニーズとシーズの邂逅を考えるとき、ニーズ側にはこういうものを測りたい、あるいはこういうものを明らかにしたいというウォンツがあるが、必ずしも計測機器はつくれない。一方、シーズ側はいろなことができるけれが、メジャーランド(何を測定すべきからないがよりできる。そのできるいかにつなけるの役割ということになる。



このワークショップでは、生物多様性とはなにかという問題には踏み込まず、生態系サービス、つまり生態系が人間やあるいはほかの生物に対するサービスを明確化し、持続的に利用できるかどうかに絞る。そして、外的なインパクトに対する人間活動の影響をいろいろなものから見ていくこととしたい。

(社会的・政策的ニーズ)

経済性について特に日本は世界第6位の排他的経済水域(EEZ)を持っている。我が国は領土面積としては61位にもかかわらず、6位の排他的経済水域、さらに体積で見ると4位の水域をもっている。特に日本近海は豊かな海であって、これを保全しなければならない。日本には3万4,000種の多種多様な生き物が生息しており、しかも確認されている全海洋生物の約15%とされている。



計測技術の位置づけとしては、我々はやはり科学系なので、科学技術の進化としてとらえようと考えている。ただし、背景には生態系サービスというもの、さらに経済の問題、あるいは政策の問題、そして社会的な取組の問題、こういうもののニーズに基づき、ここ

における科学的な計測の位置づけというものをはっきりさせていきたい、予測までできればというところが我々のミッションになる。

(インタビュー調査)

このワークショップに当たり、事前にたくさんの有識者インタビューを実施した。

このインタビューの結果、「計測情報としては現在ではこういうものを使って計測分析しているが、もっとこういうふうにやってほしいなというニーズがある。例えば喫緊の課題として、高度なセンサあるいは小さなもの、防水だとか耐圧、電源の問題、ブイの問題、COML、さらに海洋空

インタビュー対象(敬称略)	月日	専門内容	キーワード
石丸 隆(海洋大·教授)	7/22	海洋生物学	自動昇降ブイ
竹山春子(早大·教授)	8/02	マリン・バイオテクノロジー	珊瑚礁、メタゲノム
小池勲夫(琉球大·監事)	8/03	海洋生物地球化学	生態系サービス
浦 環(東大・教授)	8/11	海中ロボット学	水中自動走行ロボット
安岡善文(CRDSフェロー)	8/11	リモートセンシング	
和田時夫(中央水研・所長)	9/15	水産学、環境学	海洋空間計画
才野敏郎(JAMSTEC+PD)	9/21	海洋生物学	生物多様性を物質循環で
宗林由樹(京大・教授)	9/30	環境解析化学	微量金属元素
宮下和士(北大・教授)	10/3	水産科学	バイオロギング
寺島紘士(OPRF常務理事)	10/28	海洋政策	現状を把握する科学的知見重要
張 勁(富山大・教授)	11/29	化学海洋学	同位体計測
菊地 淳(理研)	11/30	代謝、NMR	NMRでバイオマーカー見付ける
西 達也(ジナリス)	12/2	ゲノム解析	
北川正成(タカラバイオ)	12/8	ゲノム解析	
豊田岐聡(大阪大学)	12/8	質量分析	
染川智弘(レーザー総合研)	12/9	レーザー	

間計画(マリンスペーシャルプランニング)というような非常に大きなスケールまでキーワードがいろいろ出ている。そして、こういうファンディングがあったらいいなというところまでインタビューとアンケートから出てきている。

計測ニーズのトレンドであるが、二次元、三次元、さらには四次元ということ、さらには二次的な認識として情報処理や、測って情報処理をしてモデルをつくって、あるいは比較をしてということ、さらに機器というものについてのいろいろな問題点が出てくる。

(邂逅のマトリクス)

物理量、化学量、生物量を測りたい。そうすると、こちらには技術がいろいろあり、手段がいろいろある。いずれにしろ物理的な技術と、化学的手法、そういうものと物理量、化学量、生物量をうまく対応させていく。さらに生物的なものとしてはゲノムともうまくマッチさせていくということが非常に重要であろう。この平りクスを埋めていくのが今回の邂逅作業である。



以上が本ワークショップの趣旨説明である。活発な議論を期待したい。

セッション 1: 海洋生物研究者からのニーズの提示①

【話題提供: 小池勲夫 琉球大学】

海洋における生物多様性・生態系研究のための技術開発のニーズについて、話題提供す る。

(生物多様性研究の現状)

海洋における生物多様性研究の多 くは種の分類が基礎である。分類の 研究者がまず関心を持つのは、どの 海域、どの深さ、どの季節に一体ど のような種類の生物がいるかという ことである。2000年から2010年に かけて Census of Marine Life という 国際プロジェクトが実施された。こ こでかなりのことが分かってきた。 というか、分かっていないことがわ かってきたというのが現状である。

例として日本近海での種を考える。 この辺りでは種としてわかっている ものが約3万種。きちんとした記載 がなされていないというものが 12万 種あるということになっている。つ まりかなりの部分がまだ分かってい ない。

(生物多様性の重要性)

では、このような生物の多様性は 何が重要なのか?我々に対する多様 性の代表的な機能としては生態系 サービスが挙げられる。これは生態 系が人間に対して有機物を生産し、 物質を循環し、地球システムを支え る機能である。つまり生物多様性は 間接的に人間も含めた地球システム を支えているのである。

(生物の認識手法)

生物の種類を認識する手法につい て述べる。海洋の場合多くが海水、 すなわち水の媒体の中に生物は存在

海洋における生物多様性に関する研究の現状

種の専門家である分類学の研究者がまず知りたいこと

- どの海域、どの深さ、どの季節にどのような生物が居るかの基本情報 (Census of Marine Lifeによる10年間の活動)
- → 日本周辺海域で同定されている種は33,629種に対して、同定され ていない未記載種は121, 913種になる(Fujikawa, et al., 2010)。約7割は未同定である。さらに未発見の生物もかなり多いとされる。
 - → 分類群ごとの専門家が少なくなっていて、名前が付けられない。
- ■最近の研究では、世界の海洋で約25万種が記載されているが、未記載 の種は原核を除いてもおそらく220万種にのぼり、90%近くが記載されていな

沖縄久米島海域で2009年 の1週間の調査で海底から 発見された未記載種



生物多様性はなぜ重要か?

生物の活動によりもたらされる、有機物生産、物質循環など地球システムを維持する「生態系機能」は生物多様性とリンクする。

その機能の中で、海洋生物が人類を含む地球上の生物へもたらす恩恵は海洋の「生態系サービス」として表現される。

生態系サービス (ecosystem service) の分類

振整サービス: 気候の安定、水質浄化など 供給サービス: 魚介類、高機能食品・医薬・ 文化的サービス: ダイビングなどのレクレーシ 一条人類、高機能食品・医薬品、遺伝子資源など ダイビングなどのレクレーション、精神的恩恵 光合成、栄養塩循環など

(環境省 海洋生物多様性保全戦略 2011)



多様な生物の相互作用により生態系サービスが維持されている

海洋生物の種類を認識するための手法

- ・海洋中に分布する海洋生物にはナノミクロンオーダーの ウイルスから20m以上のクジラまで9桁の大きさの違い がある。
- ・大きさが 「数ミクロンまで: 主に遺伝子解析による種の識別 数ミクロン以上: 何だかの形態的な識別が可能
- ・海洋中での主に形態的な特徴による識別法 海洋の現場:
 - ・光学的な手法 ビデオ、カメラ、水中顕微鏡など
 - ・音響的な手法 魚群探知機など
- 船上・あるいはラボ:
 - ・100ミクロン程度までは採水器による
 - ・それ以上はネット、網による採集が必要

している。大きさからの視点では、ナノ・ミクロンオーダーのウィルスからクジラの大きいものは 20m 以上ある。従ってここに 9 桁のサイズ的な違いがある。まず大きさが数 μ m までの生物は形態分類が難しい。最近ではこれらの多くについてはいわゆる遺伝子的な解析によって分類をしようという方向にいっている。一方、大きさが数 μ m 以上の生物は、何らかの形態的な識別が可能である。よって、いわゆる「かたち」によってまず見分けよう、分類しようというやり方が伝統的である。

(計測技術者への要望)

2点、計測技術者への要望について言及する。

1つ目は、操作性の高い AUV または ROV である。 現在、JAMSTEC で PICASSO(ピカソ)という AUV を保有している。しかし、それは基本的に 1,000m 程度の深さまでで比較的流れが強くないところが対象である。サンゴ礁の壁のように流れが強く、しかもぎりぎりまで近づいて行きたいようなところにこれを持っ

海洋微生物の多様性・生態系研究で求められ ている技術開発

- ・微生物を中心とした、海洋の現場での微細3次元構造の把握が、微生物/有機物複合体であるマリンスノーを初めとする生物間の相互作用や代謝機能の発現等で重要である。
- ・海底堆積物では、固体系なのである程度の3次元構造を維持したサンプリングは可能であるが、水中ではこれが難しい。
- ・海水中の3次元的な微細構造を、生物の代謝機能等 を維持したまま、固定出来る技術開発は可能か?

ていくのは困難である。従って操作性が高くあるいは過酷な環境でも位置が保持できるような AUV、あるいは岸に近いので ROV がニーズとしては大きい。それから、焦点深度が非常に深い 3D のカメラやビデオの要望もある。このような装置にサンプリングの機能があるとさらに良いだろう。

2つ目は、三次元的な微細構造を生物の代謝機能を保持したまま固定できる技術である。 これはかなり願望に近い。しかし、物質循環を基本的に動かしているのは微生物をはじめ とした微小生物と有機物およびその相互作用である。従って実際にそのような作用が現場 として三次元的に保持された形で解析したいというのが願望としてある。海底堆積物など は堆積物があるため、三次元的な構造が保持されやすい。それに対して水の中は流動的で あるため難しい。植物プランクトンやバクテリアなどと共にマリンスノーなどの非常にア モルファスなものを三次元的に固定化することが可能になれば、実際の代謝活性や物質循 環を正確に把握することが可能になり、生物多様性のダイナミズムの解明に大きく寄与す ると考えている。

【質疑応答】

(Q: 質問、C: コメント、A: 回答)

(3次元の相関関係)

Q: 三次元化したい物質の大きさはどのぐらいか。

A: 様々な大きさが考えられる。多くは 5mm 程度か。いわゆるマリンスノーといわれているものである。

- **Q**: 画像として三次元で撮るというようなことは考えていないのか?例えばポログラフィのような。
- A: 簡単ではないだろう。例えば 10cm³ ぐらいを撮りたいが、海の中の自然な状態で撮ることを考えるとかなり難しい。ゲル化するような仕組みを考えたこともあるがうまくいっていない。このような技術は水の中を対象とした研究開発の多くにニーズがあると考えていい。三次元的な相関関係を測定したいという要望は大きい。
- C: いまの発表にもあったが、熱水系に潜っているので、pH1.4、水温 118 $^{\circ}$ 、このような環境で動作が可能なセンサが欲しい。

(AUV の動作環境)

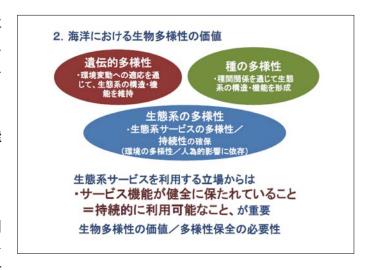
- Q: AUV は波があるところは難しいのか。例えばサンゴを対象にした場合、完全に浮いていると流される。サンゴにしがみついて観察するという考えはないのか?
- A: 自然破壊に繋がることを懸念している。つまり固定化する際にサンゴに危害を与えて しまう可能性がある。例えばサンゴの表層から 1m ぐらいのところをキープできるよう な技術があるといい。
- C: 沿岸だと海流の影響を受けやすい。浅いと流れが複雑で設置してもどう動くか読みにくい。ROVが嫌われるのは引っかかった場合に巨額の賠償を請求される可能性があるからだ。

【話題提供: 和田時夫 水産総合研究センター・中央水産研究所】

本日は海洋生物学、特に水産学の立場からニーズについてお話ししたい。

(生物多様性の3つの側面)

海洋も含め生物多様性の考え方は 3つの側面がある。1点目は個体また は個体群間の遺伝的な多様性。人に よって顔つきが異なるということ。 遺伝的多様性は、環境変動への適応、 緩和を通じて、生態系の構造や機能 を維持する上で重要な役割を果たす。 2点目は種の多様性。例えば魚でも イワシやサバ、マグロがいること。 種の多様性は、生態系の中での種間 関係(「食う-食われる」の関係)を 通じて、生体系の構造、機能を形づ



くる上で重要な役割を果たす。3点目が生態系の多様性。これは表現が難しいが、例えば岩場の海、砂浜の海、あるいは温かい海、冷たい海などがあること。これは生態系サービスの多様性に繋がり、また持続させる意味で非常に重要な役割を担う。この生態系の多様性をもたらす背景には、場の環境の多様性や、人間の関わり方等も大きな影響を及ぼしている。

一般の方は生物多様性といえば生物種がたくさんいることを思い浮かべるが、生物種が多ければそれでよいという訳ではない。海洋生物の場合、種の数は高緯度で少なく、低緯度では多いという傾向がある。例えばベーリング海や北海などの亜寒帯水域は、魚種、数は少ないが、それぞれの魚の生物量は非常に多く、漁業生産を考える上では豊かな海域となっている(わずか5~6種類の魚で各国の漁獲量全体の8割ぐらいに達する)。それに対して、例えば日本や韓国は、全体の漁獲量の80%に達するのに18~20種類の魚で構成される。この場合、ノルウェーやアイスランドの海が生物学的に貧しい海かと言えば、そうではない。

このように、水産のような生態系サービスを利用する立場から言えば、サービス機能が 健全に保たれていること、言葉を変えれば持続的に利用可能であることが重要で、このこ とが生態系における生物多様性の価値であり、多様性を保全していく意義になる。

(目に見える生物多様性の捉え方)

この生物多様性の捉え方としては、生物ピラミッドが一つの指標になると考えている。 海洋生態系の被食・捕食関係は、大きなものが小さなものを食べるということで成り立っ ており、明瞭なサイズ階層が存在する。したがって、この生物ピラミッドの低次栄養段階、 すなわち食べられるもの、あるいは個体サイズの小さなものほど生物量は多くなっている。 この生物ピラミッドは、環境の変化や様々な生物過程、また人為的な影響によって形状 が変化する(とがり方が変わってくる)。また、季節、年代によってもこの形は変わる。 したがって、この生物ピラミッドの 形がどのように変化するかという様 式が生態系の多様性にほかならない。 このため、海洋生物の多様性を考え る上で、ある海域における生物種ご との生物量と個体サイズが非常に重 要で、特に、個体サイズの頻度分布 がどのようになっているか、季節的、 時間的にどう変化するか、が重要だ と考えている。

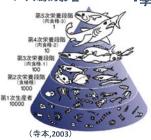
(目に見えない生物の多様性の捉え方)

一方、海洋生態系において微生物が非常に重要な役割を果たしている。 1点目は、分解者あるいは合成者として海洋生物ピラミッドのすべての段階に働き、海洋生態系における物質循環を制御していること。2点目として、共生者あるいは病原体として個体または個体群の進化や生存、成長、増殖などに影響していること。水産上非常に大きな問題になってい 3. 生物多様性の指標としての生物ピラミッド

海洋生態系の被食-捕食関係:

- 大きなものが小さいものを食べる(サイズヒエラルキー)→生物ピラミッド(低次栄養段階ほど生物量が大)を形成
- 環境変化/生物過程 /人為的影響

 *軽節/年代により形が変わる



生物ピラミッドの形と変化様式 =生態系の多様性

ある海域における生物種ごとの 生物量(個体数)と個体サイズ 分布、その季節変化の把握が 必要

4. 海洋生態系における微生物の重要性

海洋生態系における微生物(ウイルスを含む)の役割:

- ①分解者/合成者として物質循環を制御
- ②共生者/病原体として個体、個体群の進化、生存、 成長・増殖に影響
- ③極限域に生息ー未知の機能への期待
- ・分離、培養が困難なものが多く、種の判別も困難 構造や機能の解明が遅れている
- ・地球温暖化、水産物貿易/船舶のバラスト水を介して、 有害な微生物が新たに侵入、拡散、定着する恐れ
- 海洋微生物全体のゲノム情報の網羅的解析による、 微生物叢の構造と機能、およびその変化の解明が必要 (海洋微生物のメタゲノム解析)

る赤潮などの発生も、実は一緒にいるバクテリアやウィルスが大きな役割を果たしていることが明らかになりつつある。3点目として、あるグループの微生物が、極限域(例えば、海底の熱水鉱床や深海底)にある生物の遺骸、クジラ等の骨などに生息をしていて、独特な生態系を構成していること。これらも我々の知らない機能を持っている可能性がある。

しかし、このような微生物やウィルスのなかには分離、培養が困難なものが多く、種の判別もできない。したがって、その群集の構造や機能についても解明が遅れている。また、近年の地球温暖化や、水産物貿易の活発化、船舶のバラスト水などを通じて、有害な微生物が我が国周辺に新たに侵入し、拡散、定着することが懸念されている。これに対応する意味でも、目に見えないミクロな生物について、海洋微生物全体のゲノム情報を網羅的に解析し、構造や機能の時空間的な変化の解明が必要である。

(海洋観測の制約)

海洋生物多様性を把握するため、生物ピラミッドの状態、または微生物を調べるとき、現場が海洋であることによる制約条件が存在することを認識するべき。「人類は先に月に行った」と言われるように、海洋、特に深海域を調査することは困難が伴う。

計測上の制約条件として、一つには海洋生物の分布・移動の空間スケールが極めて大きいことがある。非常に深い深海にも生物は分布し、生物によっては太平洋の日本側からアメリカ側までを回遊し、海流・潮流によって卵・稚仔が広い範囲に拡散する。また、1日

当たり、季節的にもかなりの範囲で 深浅移動する。例えば動物プランなど は、1日当たり数百メートルの幅で 、1日当たり数百メートルの幅で 、2000ででは、100でで 、300でである。また、 、400である。また、 、400である。また、 、400である。また、 、500である。また、 、600である。また、 、600である。 、700である。 、700で。 700で。 700

5. 海洋の生物多様性の計測における制約条件

計測上の制約条件:

- ①海洋生物の分布・移動の空間スケールが極めて大
 - 深海にも分布/大洋規模での回遊/海潮流による 卵稚仔の拡散/日周・季節的な深浅移動
- ②海面から海中が見えないー情報伝達の手段として 電磁波が使えない(音波だけ)
- ③深さにつれて水圧が増加
- ④洋上では場所(位置)がわからない

従来の計測の基本スタイル:

- ・プラットフォーム: 船舶(調査船、漁船など)
- ・探集手段: 網(様々な網目の"網"(漁網〜プランクトン ネット〜フィルター)により海水を濾過

時間的、空間的、個体サイズ的に連続的な計測が困難

ある。さらに、海中では情報伝達の手段として光を含め電磁波が使えず、使えるのは音波だけである。加えて、深さにつれて水圧が増すことも大きな問題である。大きな水圧に耐える工夫をしないと、深海での計測はできない。さらに、よく見落とされがちだが、陸上と違って海上では自分がどこにいるのか、地球上のどこを測っているかを知ることも難しい。最近は GPS を使って相当正確に測れるようになったが、本質的な問題である。

(プラットフォーム)

このような制約から、従来の観測では、移動可能なプラットフォームとしては船舶を使ってきた(専門の調査船や、場合によっては漁船)。採集手段としては、いろいろな網目の網(漁網からプランクトンネットなど)、またはフィルターを使って海水をろ過し、生物を採取してきた。したがって、時間、空間、個体サイズなどの連続的な計測が難しいという問題を持っている。

(必要な技術開発事項)

これから必要な技術開発事項として、1点目は、生物種別の生物量、個体数、個体サイズ等の分布、その季節的な変化の計測がある。この具体的な方法は、例えば広帯域の超音波を利用した魚群の計量システム構築と、その運用技術の確立がある。従来の魚群探知機は、特定周波数の音を使って、魚の生息場所や魚の生物量の多少を調べていた。これに対して、例えばスチールの机と木の机

6. 技術開発が必要な事項

- (1)種別生物量(個体数)と個体サイズ分布、その季節 変化の把握
 - ①広帯域の超音波を利用した魚群計量システムの 機等と運用技術の確立
 - ②海洋生物の鳴音を利用した生物情報(種、個体数)の収集システムの構築と運用技術の確立
- (2)海洋微生物のメタゲノム解析
 - ①現場でのDNA抽出、増幅、解読装置及び装置の プラットフォームの開発並びに運用技術の確立
- (3)共通事項
 - ①多種/大量データの統合的解析技術の開発
 - ②生態系の動態モデルの高度化
 - →成果の可視化/普及・啓発/政策等への反映

を叩くと違う音がするように、材質に応じた様々な周波数の反射音が混ざり、音の違いからその性質が判別できる。いろいろな周波数がミックスになった音波を出し、その反射音から、対象物の質や大きさなどを聞き分ける技術である。また、海洋生物自体がいろいろな音を出しているが、それを聞いて、種判別し、個体数を計数するシステムを構築、運用する技術の確立が必要である。

2点目は、海洋微生物のメタゲノム解析で、具体的には現場で DNA を抽出し、それを 増幅、解読する装置の開発である。また、その装置を搭載して実際にいろいろな海域に行っ て解析をしてくるプラットフォームの開発である。そして、そのプラットフォームの運用 技術の確立が必要である。

(共通データベース)

共通の事項として、計測によって得られる多種大量のデータを、専門のデータベース構築とあわせ、統合的に解析する技術が重要になる。さらに、生態系の動態モデルの高度化も重要な課題であり、単なるシミュレーションではなく、一つの計測手段として生態系の動態モデルを使っていく必要がある。さらに、その成果が可視化され、実際にいろいろな現場で使われ、政策等へ反映されることが重要である。

(技術開発への期待)

要素技術は既に結構開発されている。例えば広帯域の送受波器はプロトタイプが作られ、運用試験が行われている。DNAの解読装置も、小型・高速のものが開発されつつある。プラットフォームとしてのAUVやROVの技術も、非常に進歩してきている。したがって、この要素技術を組み合わせて、信頼性、安定性の高い運用システムを開発することが重要である。また、この装置の運用方

7. 技術開発への期待

- (1)運用面も含めた実用的な計測システム構築
 - ・要素技術はある: 広帯域の送受波器/小型・高速 DNA解読装置/プラットフォームとしてのAUV/ROV
 - ・要素技術の組合せによる、信頼性があり安定的に 運用可能なシステムの開発を期待
 - ・装置の運用方法やデータの処理技術、数値モデル の開発も重要な課題
- (2)日本発の海洋生物多様性計測の国際標準の提案と国際的な議論のリード
 - ・ポストCoML(Census of Marine Life)、ポスト生物多様性条約COP10(名古屋)における、海洋生物多様性の保全と海洋資源や海洋空間の持続的利用を巡る国際的な調査研究、政策論議をリードしたい

法やデータ処理技術、数値モデルの開発なども重要である。

(国際的なリーダーシップ)

これらを通じて、もう一つの大きな期待は、日本初の海洋生物多様性の計測に関する国際標準の提案や、例えば Census of Marine Life の後継プロジェクトの議論、生物多様性条約など、様々な国際的な取決め、枠組みについての議論、海洋生物多様性の保全、海洋資源、海洋空間の持続的利用という観点からの国際的な調査、研究、政策議論などについて、日本がリードしていくことを期待している。

【質疑応答】

(Q: 質問、C: コメント、A: 回答)

- C: 海洋に対する研究は、日本だけではなく世界的にも注目されてきており、特に海洋生物多様性という方面はこれからの分野である。日本は完全ではないが、海を対象とする研究は部分的な要素も含めて相当行われてきている。むしろ世界をリードするという戦略で取り組むことが大事。
- Q: メーカーで超音波関係をやっている方からのコメントはないか。

- A: 現在、日本でも世界をリードして開発が進んでいる技術がある。メーカーの方から言えば、装置開発の整備だけではなく、それを使って得たデータの解析まで広範囲で研究しなければ、結局つくっただけ、使ってデータ取っただけということになる。そういう観点も最初から考えながら開発と運用の両面を考える必要がある。
- Q: リモートセンシング分野からのコメントはないか。
- A: リモートセンシング分野では、衛星観測したデータから最後の施策につながるところまでの仕組みづくりがやはり重要になっていて、日本が個別の要素技術のみによる計測ではなく、計測されたデータを用いて仕組み化して、組み込んでいくことが非常に重要な問題だと思う(温暖化の関連は既にやられようとしている)。
- C: 例えば 3,000 ポイントのあるアルゴの情報を組合せるソフトを提供するようなことがあるといい。
- A: 例えばアルゴでは、そのデータと衛星データをうまく組合せて、それを標準化していくということ。それによっていろいろな対策がとられたとき、その効果を評価までつなげれば、ある種の世界標準を取っていけるという議論がある。
- C: 議論だけではなく、本当に進んでほしい。

(3) セッション 2: 海洋生物研究者からのニーズの提示②

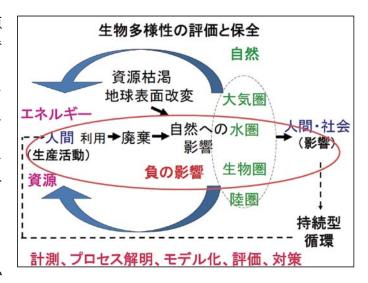
【話題提供: 安岡善文 JST/CRDS】

(はじめに)

私は計測屋でリモートセンシングを行っているが、海洋の専門家ではない。CRDSではシステム科学技術ユニットに所属しているので、計測の要素技術だけではなくそこから最後の利用までのシステム的なアプローチについて話題提供したいと思う。

(環境研究のアプローチ)

人間は自然からエネルギーや資源 を得て利用し廃棄する。その過程で 資源が枯渇したり地表面が改変し、 それが自然へ影響を及ぼしさらとえられが自然へ影響を及ぼしさらとえられが人間社会に影響する。たとえまの影響があってもこの循環がらここは自いが問題である。ここは一世という要素が一気通貫で表がした。 対策という要素が一気通貫で繋ばないとなかなか回らない。今回はられを計測や海洋生物多様性の視点から繋げる。



生物多様性というのは、生物圏の負の影響の部分に焦点を合わせることがポイントになる。この系の中に人間がいようといまいと自然はぐるぐる回るので、それはベースラインとして非常に重要である。環境研究とは人間の活動が系に外乱を及ぼすのを指すので、自然の中だけで回るシステムはそこに含めない。

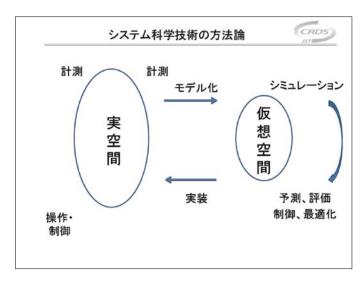
国際自然保護連合によると、生物多様性を脅かす要因として土地利用の変化や過剰利用・ 採取といった人間活動が大きいという。ここで計測から最後までつなげる研究例として、 国立環境研究所・福島氏の研究を紹介する。北海道の回遊魚がダムによって受ける影響に ついて、彼は魚種数を計測し統計モデルから評価した。また、タイ・メコン川のダム建設 が魚の生態系に及ぼす影響を調べるために、彼は魚の耳石に含まれる様々な微量元素を LA-ICP-MS(Laser Ablation Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry)を使っ て計測し、魚の回遊パターンを調べた(耳中石微量元素分析法)。

2011 年 10 月号の Nature 誌でメコン川のダムによる生態系への影響について特集しており、その中で彼の研究が紹介されている。これはダム(人間活動)による負の影響だけではなく、どのようにダムを管理すべきか(持続的な循環)に繋げる一例である。ここでは、高度の計測から最後の出口(評価・対策)までをシステムとして見るという視点が重要になる。

ここで留意すべきは、循環を何年で評価するかという時間軸(1年か、10年か100年か)、また空間軸(地域レベル、国内、世界)によっても違うので、焦点を絞らないといけない。 学問領域も生物学・化学などがあり、最後は政策科学までいく。この流れを閉じさせるの が重要で、これがシステム的アプローチである。

(システム的アプローチ)

当ユニットではシステム科学技術の方法論として、実空間から仮想空間へのマッピングとして特徴づけることに取り組んでいる。実空間の様した現象をあるパラメータに着目してもである。と、そのにはの中でシミュレーションにもり予測・評価ができる。最適化やにより予測・評価が決まると実空間に移る。と、そこでまた計測をする・かがよったがいたりまくの流れをいかにうまくつくるかがシステム科学技術である。

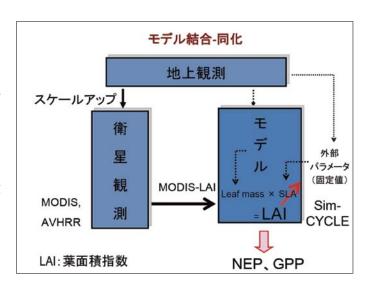


計測・モデル化の際、仮想空間上で要素が統合できるように行うことが重要である。当 ユニットは 2010 年にシステム科学を「人間・社会・人工物を適切な要素に分解して、各 要素と各要素のつながりを適切に記述することにより、要素及び全体の振舞いを予測評価 する。各要素及び全体の振舞いを望ましいものにする。」と定義したが、これは先ほどのルー プと重なる。

(生態系研究と計測科学技術の邂逅)

海洋生物多様性の場合、ピラミッドの頂点にいる大型魚類やその下のプランクトンなど様々な要素があるが、どのようにモデル化し統合化するかは難しい。ここで検討すべきことがある。

陸域生態系の例だが、東京大学の 気候システム研究センター(現・大 気海洋研究所)と国立環境研究所と フロンティア研究システムで作った、 大気と海洋のカップルモデルを取り 上げる。これに「Sim-CYCLE」(炭

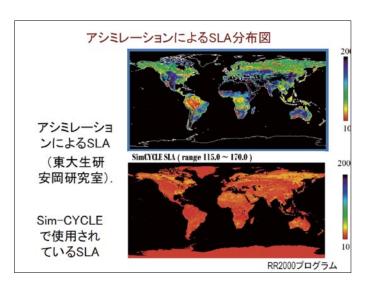


素循環モデル)をカップルし、さらに衛星観測による計測パラメータ、葉面積指数(LAI)、 を Sim-CYCLE に繋げる。 そのモデルの出力を衛星による実観測に合わせ込むように SLA(Specific Leaf Area)という一つのパラメータを同化させる。

このようにして SLA の地球規模での分布を出したものが上の図である。これに対し Sim-CYCLE で使用していた SLA は均質で、モデルとの同化で推定した先ほどの分布図 とはかなり異なる。このパラメータ (SLA) の性質上、世界で測るのは非常に難しくほと

んど測られていないために、これまでモデルで用いてきた SLA 分布図は均質にならざるを得なかった。衛星では表面しか測れないが、その下の部分はモデルで記述されており、その一番上で合うようにある種のパラメータを同化することで、これまで計れなかったパラメータが地球規模で推定されたことになる。

SLA の分布が分かれば将来の予測ができる。文部科学省の RR2000「人・自然・地球共生プロジェクト」では、

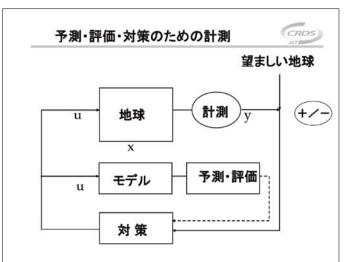


生態系の純一次生産量を大気・海洋のモデルと合わせて出した。

海洋で何がLAIやSLAに相当するかよく分からないが、あるとすれば深さ方向の部分も何らかの形でモデルに取り込むこともできるかもしれない。

(まとめ)

しい地球ができる(望ましくない地 球にならないようにできる)のではないか。



【質疑応答】

(Q: 質問、C: コメント、A: 回答)

(全球レベルのモニタリング:陸から海へ)

- **Q**: 陸の話から学ぶものは非常に多いと思うが、実際に海に持って行くのは難しいのでは。
- A: リモートセンシングで海洋を全球レベルで測るとなると、まだ難しいと思う。
- C: 結局、海洋でグローバルに衛星でモニタリングできているのはクロロフィルぐらい。 また、アルゴ計画のように常に海中を動いているものを測り、半年ほどの集積によって、

- ある程度カバーしたデータになる程度。船で観測するのも多数あるが、全球レベルにするには50年分のデータが必要になる。
- C: ないものねだりせずに、今使えるものでこのような情報処理やシミュレーションを活用するのが大事なのだろう。
- C: グローバルな基礎生産のモデルでは、海面の情報と日射や水温からある程度鉛直的な クロロフィルの分布を推定しようという試みが行われている。
- A: モデルが使えると、当然三次元になる。モデルで出た表層のデータを衛星で合わせ込めば、下のモデルの構造がある程度あれば、モデルの精緻化はできるだろう。

【話題提供: 張 勁 富山大学】

化学海洋学の観点から、水にかかわる環境をフィールドとして物質の循環を研究している。海では、濃度が陸上の100万分の1と低いものが多くあり、化学的手法を用いて海洋を正確に知るのに最大の敵はコンタミネーションである。

(GEOTRACES プロジェクト)

2000 年代になり、70 年代と比較すると海洋観測技術が飛躍的に進歩したため、海を正確に見ようという国際的な機運が高まり、GEOTRACESプロジェクトが始まった。その目的は、現在の海の変化を知ることであり、様々なモニタリング手法が取り入れられた。現在、世界30カ国が参加しており、日本は計画段階(2001年)から参画している。2006年の計画合意以降、10年間かけて海を調べ、断面図を描いている。2006年の計画合意以降、10年間かけて海を調べ、断面図を描いている。研究室が関与している。

(海洋の観測技術)

日本の海洋学における観測は、世 界において高い技術レベルにある。 海洋観測では、現場でいろんな深度 における海水の水温や塩分などを測 定しながら一回で約36層の海水が採 れる CTD 採水器や、1トンの海水が 採取可能な大型採水システムがあり、 さらに海底の堆積物やマリンスノー の採集器具などと合わせ、これらが 一つの船の中でマルチフルに行って いる。日本の周辺は海底地形が複雑 であり、沖縄トラフを含めた深海底 の熱水システムや、過去(古海洋環境) を記録した堆積物、さらに今話題の メタンハイドレートなど、様々な研 究フィールドが日本の周辺に存在し ている。

海水分析の歴史

- 主要成分: 組成一定(19世紀に!)
- 微量元素: 時代とともに濃度低下傾向(まだ未確立)

判断のめやす

最大な敵!コンタミネーション

真の値?

- ●値が低い方
- 分布がなめらか
- 既知の成分との相関性

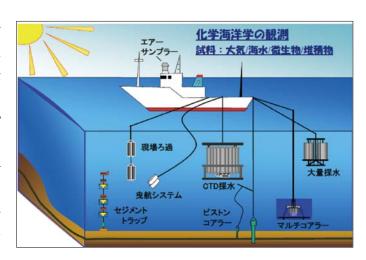


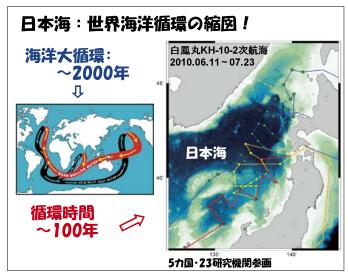


白鳳丸はアジア随一の観測船であり、クリーンシップとも呼ばれている。採水の通信ケーブルはチタン合金でできており、船上にはクリーンルームがある。これが海洋を知るのに最大の敵であるコンタミネーションを防いでくれている。

(日本海)

日本海は、世界においてスケール 的には小さいが、世界大循環と類似 した循環システムを持っている。表 層には赤道生まれの対馬暖流水があ り、深層にはロシア北部沿岸で冷や された海水が沈み込んで循環が成り 立っている。この循環時間は100年 程度で世界大循環より短く、最近の 気候システムをよく反映するとされ ている。例えばここ100年間の世界 平均気温では、東京での平均温度上 昇が一番である。そして、表層海水 温の上昇率は、太平洋側では縁辺海 になると高くなる傾向があり、日本 海では1.6℃もの上昇で世界でトップ 3に入る。これは地球温暖化が既に 日本海では表れ始めていると考えら れ、IPCC のレポートにも日本海がモ デルとして載っている。私は以前、 海洋観測研究には国境は無いと思っ ていたが、実際は日本、ロシア、韓国、 北朝鮮の国情から、なかなか国際的 な調査を進めることが難しい。船は





フローティングユニバーシティであり、研究船は研究員だけでなく学生も多く乗っている。 多国籍のコラボレーションが船の上では可能になる。世界が繋がっている海洋での調査は、 「地球人」として名実ともに国際的であるべきものである。

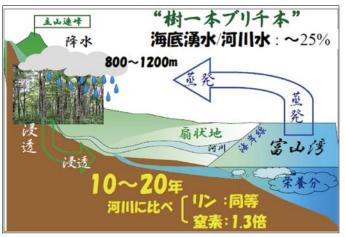
(東シナ海)

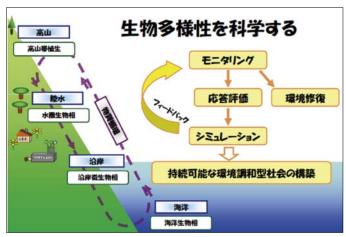
東シナ海は非常に複雑である。黄海、渤海と接し、そして長江や黒潮からの流入があり海水自体が複雑である。栄養塩や様々な物質は、基本的には海流がベルトコンベアのように海水とともに運んでおり、水塊解析を行うために必要な化学指標を「複合型化学的トレーサー」という名前をつけた。水塊の詳細解析と水塊の移流は、合計10個以上もの化学トレーサーを使うことで初めてわかってきた。

(海底からの湧き水)

次に、沿岸海域における海底からの湧き水についてだが、海水は海底から出てくる淡水

の600倍も濃度が違う。わずか1% の海水が混ざっただけでも、もう何 を測っているかわからなくなってし まう。海底から海底湧水をうまく採 水する技術を開発するのに丸1年か かった。水深 10m 未満の深さの場合 は自分で潜って採水するが、一回の 潜水では数十分しか潜っていられな い。そこで、長時間の連続採水シス テムができたらいいなと思った。自 分で作製したチャンバー(湧出量計 測器)で海底湧水を測定することに 成功し、それによると、海底湧水は、 もともと標高 800 ~ 1,200m あたり の山岳地帯で、ちょうどブナの分布 帯に降ってきた雪や雨であることが わかり、地下に浸透して10年~20 年かけて、ようやく海底から沸き出 ていたことがわかった。その海底で は植物プランクトンが増えており、 周辺海域の生物生産を支えているこ





とわかった。海底湧水の湧出量は河川流量に比べて大体4分の1ぐらいだが、栄養塩の量 で比較するとリンと窒素がほぼ同等になる。研究では、酸素・水素安定同位体比とトリチ ウムやリン・窒素・窒素の濃度を用いたが、全てが森由来の窒素であることを証明するた めに窒素安定同位体比を使った。要するに、この一つマンガ(全体図)を描くのに、複数 のファクターが必要になるということであるが、富山大学の一連の研究結果から展開して、 初めて森と海を具体的につなぐことができた。富山県の地元では小学校での行事として、 山にブナの苗を植えに行く。そして、魚津市では森林組合と漁業協同組合が連携しており、 魚津市も環境保全基金を創設した。地元・富山の子どもたちでさえ、あまり海のことを知 らないいうことから、富山県教育委員会ではここ 10年間、親子を乗せた船上での海洋探

検教室を、富山湾でおこなっている。

(まとめ)

生物多様性を考えるとき、海洋に は様々な環境があり、必ずしも生物 にとって恵まれた環境ばかりとはい えない。しかし、海底温泉(チムニー) のような過酷な環境においても、そ れに適応したさまざまな生物種が見 られる。たとえば台湾近海の海底湧 水は、毒性の金属を含み pH1.4 とい

まとめ

海洋環境・生物多様性を知るために

- <国家的に取り組むべき、今後の計測技術開発ニース>
- ・四次元、real time計測技術: e.g.周期律表全元素・全同位体
- · in-situ 型 (e.g. 質量分析計)
- <国際連携>

国家レベルでの会話:国策!(脱経済主導, 国境・EEZ etc)

競争的研究資金(複合型研究枠)拡充、特にDC、PD 将来への投資: e.g.非近視眼的(評価システム)

<人材育成>

野外教育法 専門科目の枠や座学の限界を越える教育効果 (幼児園~) 複眼的に問題を把握し解決できる能力の育成 う過酷な環境であるが、様々な生物が生息している。深海もまた、生物にとっては豊かな 環境とは言えない。沿岸海洋のような人間と生物が深く関わりあっている場は、生物の種 類も量も豊かで非常に大事であり、生物多様性は高いことはみんなが知っている。しかし、 そのような沿岸域ではどのような海洋環境があるのだろうか?河川水や海底湧水、海流や 深層水の湧昇流に加えて、人間活動による環境負荷など、その現状と変化を調査すること で、豊かな生物多様性を育み、守っていくことが可能となる。海という器の多様性が、生 物の多様性を生み出しているのである。

海はつながっている。遠い外洋も、深い深海も、眼前の沿岸域も、それぞれを探求し続けなければ、持続可能な調和型社会の構築は砂上の楼閣となるであろう。

全般的に化学海洋業界は何が必要かというと、夢的な話だが、四次元、リアルタイム計測技術、できれば周期律表全元素・全同位体を自動的に測定する技術開発。in-situの質量分析技術。国際連携の観点では、経済排他的水域における国策・国家レベルでの会話が求められる。異分野融合研究を促進するファンディング、特に海洋計測に関しては環境の枠を拡大すべきではないか。また、近視眼的な評価に陥らない、中長期的な評価システムが必要である。人材育成に関しては、野外教育法が必要である。同じ船の中では同じ釜のご飯、そして同じ風呂に入っているので、自然且つ円滑に人間関係が構築され、いろいろな発想が生まれるのである。

【話題提供: 石丸 隆 東京海洋大学】

生態系の特徴に関する迅速な観測と的確なサンプリングおよびセンサを搭載するプラットフォームについてについて述べたい。

(海洋生態系の把握)

生物多様性というのは生息空間におけるニッチの多様性の反映である。一方、海洋の生態系はそれぞれの地域の海域が持っている。よって、多様性を把握するためには地域を分割し、それらをモデル海域としてニッチを観測することが重要である。

この観点で、CTDは当初は水温と塩分を測って採水するというシステムだった。しかし、 最近はさまざまなセンサを付加することにより、水中の照度、クロロフィル、海底からの 高さなどを同時に測定、採水することができるようになった。現在、このような同時的な 観測が盛んに行われている。

これは海洋深層水くみ上げ装置である。図は、200m ぐらいのところから水をくみ、海面付近の水と混ぜて水平方向に放出したところである。低層の栄養塩をたくさん含んだ水をある一定の密度のところに放出し、そこのプランクトンを増殖させる。そしてその効果を検証する。

効果の検証にはウラニンを用いる。 ウラニンの蛍光の広がりを船を航走 させながら測定する。そしてそのウ ラニンの広がりを放出した水と想定

船舶を航走させながらプロファイラ? により各パラ? メータを連続 観測(Tow-Yo観測)ーウラニンの広がりを追跡し、硝酸塩の分布 等を測定、別途、光合成活性の上昇を測定

Sea Pointクロロフィル蛍光

し、その中でのプランクトンの詳細な分布を把握する。

(センサーシステムの問題点)

こういった観測結果からこれまで 様々な知見を得ることができた。 かし、課題も多い。例えば、複数に を搭載すると運用が非常に煩 雑になる。まり、時定数の問題がある。 のまり、時定数ない ものがある。例えば、時定数ない ものがある。例えば、時定数のいか とした後に測定するため早い。 は励起した後に測定するためがよい。 というなると比色定量反応時間が

問題点

- ・長期間センサーシステムを運用することの煩雑さ
- 各センサーの時定数の問題

時定数小:水温・塩分・クロロフィル蛍光・ウラニン蛍光・ 光束透過率・水中照度・硝酸塩濃度

(紫外線吸収測定)

時定数大:リン酸塩(比色分析)

- ・光合成活性一FRRF高速反復フラッシュ蛍光光度計(紀本電子) データ数が多く、同時にはデータを取得できない 計算後のデータだけを取得することが必要
- 電源(線上から送電,電池)

必要になりプロファイラーとしては使えない。こういうリン酸塩などを早く測れる装置がきれば非常に有り難い。

次に光合成活性。これは、高速反復フラッシュ蛍光光度計(FRRF)を用いて光合成の電子伝達系をモニタする。しかし、これはデータ数が多いため、CTE のシングルコンダクターのアーマードケーブルでは転送できない。そういうことを同時にやるためには、計算後の少なくしたデータだけを取得することが必要である。また、情報を転送する技術も必要になる。データの伝送技術をもう少し高めない限り多くの場合対応できない。

電源の問題に触れる。伝送は船の上からが基本だが、容量が大きくなると電力を消費する。電池を使うこともある。これも操作を煩雑にしている一つといえる。

(サンプリングについて)

サンプリングについても述べたい。 海洋生物の採種に多段階閉ネットと 呼ばれるものがある。これを福島沖 でツノナシオキアミという大体年間 に4、5万tの漁獲量があるような生 物の捕獲に用いた。ツノナシオキア ミの放射能汚染が懸念されたからで ある。いま考えていることは、この ネットへのセンサの搭載である。さ らに、ビデオプランクトンレコー ダー、デジタルホログラフィ、多波 長音響計測システムなどが搭載でき ると大型の生物から小型の生物まで 同時に測ることが可能となる。それ をある程度リアルタイムでモニタし ながら採集をしてしまえば非常に時 間が短縮できると考えている。

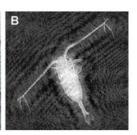
次にデジタルホログラフィの例を 示す。AはJohns Hopkins 大学で開 発中のものである。CのeHolocam はCDL Ltd という会社が開発してい る。いずれもホログラフィで海洋生 物の撮影に成功している。

- ・現状では予めプランクトンの時空間分布がある程度分かっていることが必要
 - 搭載センサー:水温·塩分·水深·海底高度·クロロフィル・ 水中照度
- ・観測採集の高度化 プランクトンネットをプラットフォームとして高度なセンサー を搭載することが必要
- ・ビデオプランクトンレコーダ
- ・デジタルホログラフィー
- ・多波長音響計測システム

(周波数の異なる音響反射から生物のサイズと分布量を 計測)

デジタルホログラフィーの例









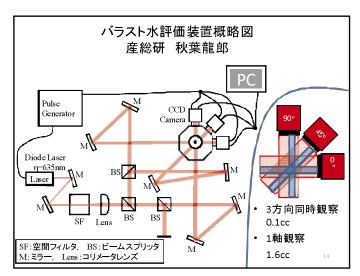
A,B: Holocamera: Johns Hopkins Univ. C,D: eHolocam: CDL Ltd.

(バラスト水の評価)

これは私たちが開発していたバラスト水の評価装置である。バラスト水の評価では水中に複数個以上の生物が存在している必要がある。そしてこのサイズ計測と数計測を同時に行う必要がある。この装置は、レーザーとしてスピリットビームを活用することで、直角2方向45度の3方向の同時観測が可能となった。

さらに多周波音響計測装置について解説する。これもウッズホールのものである。 38kHz から 1MHz ぐらいまでの 6 波長のセンサを上下に並べ、これによって生物のサイズと生物量とを同時に測る。この装置は多様な用途で広く使われている。東京海洋大学に もタップスという6波長の音響装置がある。アメリカのガレージ企業の製品である。ガレージ企業は、すぐに倒産したり、壊れても責任を負わないなど課題は多い。こういう先端技術は国産化し、日本らしいフォローアップが行える体制を整えて欲しい。

最後に長期観測するためのプロファイラーについて述べる。これは 光が当たって光合成を行うような水 深の環境と光合成速度、基礎生産量 などを同時に測定する装置である。



様々なバリエーションをつくり、すでに海底に設置することを試みている。こういった装置は外国をターゲットにし、標準化を目指す必要がある。私たちのプランでは、これを 32 のプロビンスに 1 個ずつ入れれば、いながらにして人工衛星データとマッチアップしてモデルができると考えている。現状では今のところ 2 個、観測船の「みらい」でやっている K2 と S に入れているという状況である。

【質疑応答】

(Q: 質問、C: コメント、A: 回答)

- C: 実際売れる装置ということになれば、海外展開の可能性も出てくると思う。アルゴ 計画などへの採用などが期待としてあるのではないか?
- C: 我が社は20年来、石丸先生と共同研究を行っている。日本でここまでできると、 日本の研究者よりも海外の研究者のほうが評価してくれる。ことしは20件ぐらいの 機関から問い合わせがあった。
- Q: 売れているのか?
- C: 海外からは、新しいセンサの搭載や試行的なデータ収集を希望する方が多い。売り上げはけして十分ではない。
- C: 石丸先生の使われていた音響技術が専門だが、多周波の技術というのはまだまだ普及していないのではないか?技術的に可能でも海の中でとってきたデータの解釈が科学者によって異なる。また改良を重ねていくうちに専門家しか使えなくなる。こういう問題があると考えている。

【話題提供: 宮下和士 北海道大学】

(海洋生態系計測学)

世界的に最も生産量の高い北方海域において、海洋環境変化と生物資源変動のメカニズム解明及び資源の持続的利用を図るための海洋生態系の総合診断に関する研究をおこなっている。具体的には、生態計測学の見地から海洋生態、特に海洋生物資源にフォーカスを当てて包括的にモタリングする手法を開発している。また、開発した手法を用いている。最物資源の動態解析も行っている。最

研究·技術紹介 海洋生態系計測学(専門)

海洋生態系計測学とは・・・

植物プランクトンや海藻などの基礎生産者や動物プランクトンなどの低次消費者から、大型回遊魚、海生哺乳類などの高次捕食者に至る海洋生態系のあらゆる段階を同じ土俵(標準化して)で定量的に比較するための手法を開発する研究であり、その応用も含む。

(海洋生態系を定量的に可視化することを目指すことで、海洋生態系の状態を診断する術を身に着けようというもの。)



近はシステム水産科学を体系化すべきと考えており、その前段階として、海洋生態系計測学を学問として構築したいと考えている。基礎の生産あるいは分解者のような低次な生物の生態系からより高次の捕食者まで、あらゆる段階を同じ土俵で定量的に比較できるようにするための手法開発を提唱している。

(計量魚探)

主な技術としては水産資源を対象 とした「水産音響」を対象とし、高 度な計量魚群探知機を使って海中の 生物の状態、例えば量やサイズ、種、 餌、その関係はどうなっては「藻場」 や沿岸の生態系サービスに関して、 実際の藻場の変遷の上に乗っかって ということを定量的に把握する研究といるを をおこなっており、被食者・捕食者 間および競争者間の生態系モデルを

マス・技術紹介 主な計測技術(機器)①

計量魚探の用途

現存量推定 従来の使用法・藻場の推定も可能

被食者、捕食者、競争者の定量的空間配置推定食物網の定量的可視化

群の行動・個体の行動推定 移動速度、移動方向、昼夜変動、季節変動、年変動



考える上でこれらが重要となる。また、個体や群れの行動推定をおこない、具体的に様々なスケールで考えることができ、1秒間にどのぐらいのスピードでどの方向へ移動するのかという話もあれば、大体この季節にはこっちからこっちに1カ月の間にこのぐらい移動する、という単位での推定方法もある。あるいは昼夜、昼夜で生物はいわゆるバーティカルな変動をするが、それが物質のポンプ(生物ポンプ)の役割をしているということもいわれている。

(バイオロギング)

注目されている手法として、バイオロギングがある。バイオロギングとは、動物に直接

多様なセンサを持たせ、各種の情報 を取得する方法そのものの総称であ る。ポップアップといって、ある時 限になると動物から機器が離れて データを回収するような「ロガー」 があり、欲しいデータをとるために 生き物にそのデータをとってきても らおうというコンセプトになってい る。音響テレメトリーという方法で 生物を追跡するシステムも今発達し ている。例えば発信機(音響タグ) は今非常に小さいものができている。 受信機と組み合わせてテレメトリー をおこなう。受信機が一つしかなけ れば、海中に沈めて船でずっと追跡 するという方法もあれば、海に受信 機を敷設して、その近くに来たもの の情報を集めるという方法もある。

(音響テレメトリー)

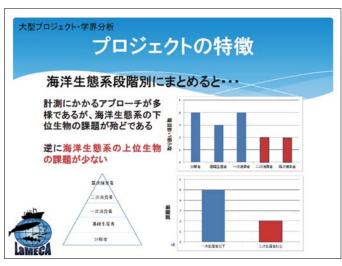
カナダは海洋産業、海洋計測産業に非常に力を入れている。カナダではベニザケのお腹に毎年3,000個体のタグをつけて(タグーつで大体4万円ぐらいする)、バンクーバー近くの川からアラスカまで受信機のカるとできない。また、オーシャントラッキングる。また、オーシャントラッキといる。また、カというもう一つ大域に移動する生物を調査している。

(日本の研究プロジェクトの特徴)

日本の研究プロジェクトは生態系 計測学的見地から見ると、広域、定量、







連続を目的とした課題が不足しており、さらに高次生物を対象とする課題が少ないことがわかる。また、学会の活動は、海洋学会は理学的な側面、水産学会は産業的な側面、水産海洋学会はちょうど中間的な側面にあり、網羅的に全ての栄養段階を計測として取り扱うことができていないところにボトルネックがあると考えている。定量的な情報がない状態であるために、生態系モデルのアウトプットもリアリティに欠けてしまうことになる。下

位生物というのは受動的な移動のた め、定量モデル化が比較的簡単だが、 一方、上位動物は能動的に移動する ため非常に難しい。計測する場合は 相当の数が必要になるが、一つ一つ の単価が高いことが問題になる。こ れを解決するためには、低価格、小型、 高性能な計測機器を開発し、大量に 使えるような環境と、情報を活用し たネットワークを構築することが必 要になる。さらに重要なのは、その ネットワークシステムを真に使うた めの、長期的なプログラムを継続し てできる環境をつくることである。 実際に私は、1周波当たり1,500万 円ぐらいする計測機器を100万円程 度にまで低価格化するためのプロ ジェクトを実施している。これはバ イオロギングについても同じであり、 例えば、5万円のものが1万円にな れば5倍使える、1,000円になれば 50 倍使える。ポピュレーションダイ ナミクスを読むためには、数万の単 位で個体に付ける必要があり、一つ 一つクリアしていくことが重要に なってくる。

(ボトルネックとなる課題)

・小型化の課題はなにか

チップが小さくなることと、バッテリーの問題がある。電力をバッテリーとして持っているものはいずれ限界が出てくると思われるため、例えば動いたときに電力が供給できるようなシステム、そのくらいの小さい電力で機能するようなものをつく

題抽出·分析

ボトルネックとなる課題①

課題を社会的側面で整理すると・・・

海洋生態系全体を網羅した研究を行う学会が無い

海洋生態系の上位生物の計測技術を扱うプロジェクト課題が少ない

故に海洋生態系の上位生物の計測技術を扱う研究 そのものが少ない



海洋生態系計測学の見地から は極めて深刻・・・(当該学術社会 の構造上の問題ともいえる)

課題抽出·分析

ボトルネックとなる課題②

海洋生態系上位生物の定量情報が無いと・・・

生態系モデルによるアウトプットもリアリティーに欠ける(厳しく言うと絵に描いた餅である)

ポピュレーションダイナミクスの解明に何時までも到 達できない

海洋生態系のダイナミクスの解明についても同様



海洋生態系上位生物の定量化 は避けて通れない・・・

課題抽出·分析

ボトルネックとなる課題③

ではなぜこれまで海洋生態系上位生物に対する定量計測研究は少ないのか・・・

海洋生態系下位生物は受動的な移動のため定量 化・モデル化が比較的簡単であるが、上位生物は能 動的に広域を移動するためそれが難しい

母集団に対するそれ相当の調査努力が必要となり、 現行のインフラでは限られた環境での利用しか実現 していない



母集団がそれ相当に大きいため計測機器の数も多く 必要となるが、計測機器そのものの単価が高い

ることは考えられると思う。また、コストを下げるためには量産化が重要になる。

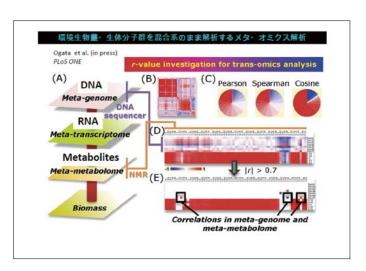
【話題提供: 菊地 淳 理化学研究所】

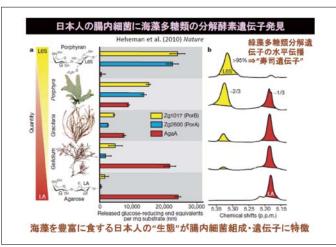
(はじめに)

生態系ピラミッドは、メートル単位あるいは年単位の物質循環で成り立っている。しかしその物質そのものは、例えば樹木では細胞内の遺伝子発現からバイオマスへの重合があり、ミリ秒の酵素反応やナノメートルオーダーの分子・生体分子群のネットワークでできている。こうしたミクロとマクロの間をうまく繋ぐような意識でオミクス解析を行っている。

計測そのものは環境中のサンプルでも実験室のサンプルでも同じで、DNAを抽出あるいは複合微生物系であればそのままゲノム DNAを抽出して一斉計測する(メタゲノム)。また私が行っているメタボロームでは、複合系のまま土壌や糞便などを抽出して計測する。データが数値になれば、マトリクス上でそれらの互相関をとれる。

比較的進んでいる動物の腸内細菌・ 代謝系に関する研究について、海外 動向も含め話したい。



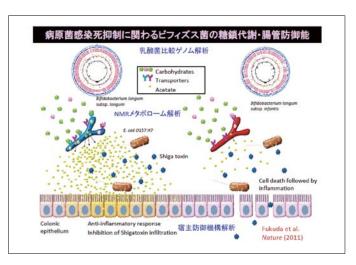


(腐食連鎖系)

2008年の Science 誌では、動物の食性の違い(草食・雑食・肉食)による 16S-リボソーム DNA 遺伝子数のプロファイルから、採取した場所(動物園や自然界など)よりも食物によって腸内微生物叢が変わることが報告された。いかに食べるという環境の情報を腸内細菌叢の組成が持つかが分かる。

腸内細菌の研究は、健康という点から動物よりもヒトの方が非常によく行われている。 2008年の DNA Research 誌では、日本の研究グループが日本人の健康な家族 32人の 糞便から採取した腸内微生物のメタゲノム解析について報告したが、海外のグループがそのデータからさらに興味深いストーリーを 2010年の Nature 誌で発表している。海藻、特に緑藻類(ラクトース 6 硫酸を持つ多糖類が豊富)を多く食べる日本人ではこれらを分解する腸内細菌遺伝子が水平伝播しており、この酵素の遺伝子は「寿司遺伝子」と名づけられた。その遺伝子を発現させて緑藻類を分解した産物を NMR で見ると、糖の構造に違いが見られた。これは、海藻を多く食する日本人の生態が腸内細菌叢の組成あるいは保有遺伝子に現れることを示す。

またイギリス人・アメリカ人・中国人・日本人(全4,630人)の代謝疾患系を比較したINTERMAPプロジェクトでは、尿のNMR計測から人種や食物の違いで主に欧米系と東洋系の2つにNMRの示す代謝プロファイルがクラスタリングされた。一方でこうした違いに関わらず、アラニンや馬尿酸といった非常に単純な物質が高血圧傾向に共通するバイオマーカーとして知られ、これによ

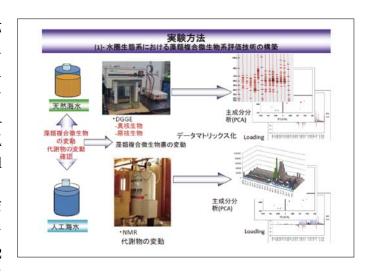


り高血圧の発症前診断ができる。環境から採取したサンプルもこうした単純な物質で診断できれば、環境の変動を特徴づけられることに着目している。さらに重要なのは、日常では食物や体調などに揺らぎがあり、それ以上に頑強なバイオマーカーが必要なことである。

我々も O-157 による感染死を抑制できるビフィズス菌とできないビフィズス菌の違いについて、微生物や乳酸菌のゲノム解析、宿主腸管の mRNA (トランスクリプトーム)解析、そして糞便のメタボローム解析を行った。結論は、大腸で繊維質の高分子物質や分解され難い多糖類が、その分解系を有する有用菌が取り込み分解代謝して酢酸を大量に出せることが、宿主の腸管免疫系を保護して感染死を抑制できるということ、こうした腸内の嫌気性細菌による腐食連鎖系が重要であることを見出した。

(複合微生物系)

こうした複合微生物系による共代謝の解析技術を水圏の複合生物系に適用しようと、自然界から採取した水や小動物を使い、その相互作用を調べることを試みている。微生物組成の情報は変性剤濃度勾配ゲル電気泳動法(Denaturing Gradient Gel Electrophoresis、DGGE)を使い、時系列で変動する微生物の16S-リボソーム DNA のバンドのパターンを数値化した。この強度と泳動度を2列のマトリクスにして、主成分分析



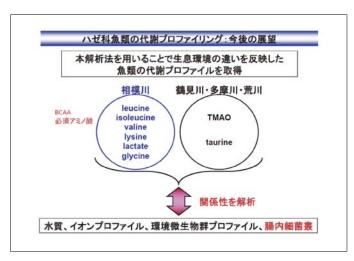
を行った。有機物に関しては NMR のスペクトルを利用し、代謝物の構造(周波数)と量(強度)の情報を 2 列のマトリクスにして主成分分析した。

お台場の天然海水あるいは人工海水で培養した DNA では、特徴的な真核生物あるいは バクテリアがクラスタリングされた。生成される有機物も、天然海水の場合と人工海水の 場合とでクラスタリングされ、特に光合成をする藻類から生成されるものが特徴づけられ た。

動物に関しては、近辺で採集できるハゼ科の魚類で同様に NMR にて代謝プロファイリ

ングをしている。ハゼは回遊せず、 地域の環境情報を濃縮すると考えられる。驚くことに、河川の違い(相 模川と鶴見川)の方が種の違い(ハ ゼとヌマチチブ)よりも大きく特徴 づけられた。

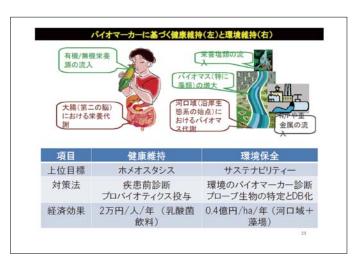
さらに多摩川や荒川のデータも加 えて、この変動の特徴がどのような 物質に依存するのかについてロー ディングブロットを見ると、主にア ミノ酸類やトリメチルアンモニウム



オキサイド(TMAO)が特徴的であった。比較的きれいな相模川と比較的汚い鶴見川とでこのようにクラスタリングされるため、こうした含アミノ基物質の出現は環境水に含まれる窒素栄養と、その代謝能に関連する生物側との両方の差を反映するのかと想像している。特に動物がつくれない必須アミノ酸やTMAOといった物質はまた腸内細菌の関与を示唆するものでもあり、今度は魚の腸内細菌も調べたいと思う。

(まとめ:陸と海を繋ぐ海岸)

提案したいのは腸内細菌と同様のストーリーで、ヒトでホメオスタエコにように、イオマを維持するのと同じようティーを維持するためにさきることがあること。があることがあることがあることがあることがあるととれている。その際に、腸内細菌は宿主



と同じ環境の情報を濃縮していると考えられるため、対象とする生物に微生物の腐食連鎖系を加えて調べることが重要である。

【質疑応答】

(Q: 質問、C: コメント、A: 回答)

(オミクスレベルと個体レベル)

C: 私は一つ一つの個体をバイオロギングで見るが、やはりポピュレーションダイナミクスという、個体数の変動などを定量的に見られればという考え方である。逆に、オミクス解析のようなものを環境の指標として使うのは極めて重要。その意味では、迅速にリアルタイムに近い形で検出できればもっと良いと思う。

(化合物のデータと生物との関連づけ)

- Q: 自然の系には多くの種類・レベルのものが含まれているが、NMR で得た水中の化合物のデータと生物との関連づけについて、どう考えているか。
- A: なかなか難しい仕事だと思っている。今のところ、一緒に動くものの相関をとることを想定している。両方とも同じように2行のデータマトリクスになるので、相互の相関を見ることはできる。ただし、たまたま出た相関と本当の連関の区別は今のところわからない。
- C: 多変量解析では色々な因子がリニアコンビネーションになっており、それ自身が何を 意味するか解釈が大変難しい。
- A: そのとおり。しかしながら、ヒトの腸内細菌の研究で健康とそうでないものを分けるようなざっくりとした研究でも、Nature 誌に載っている。その理由は、健康というのは非常に複雑な現象で、1つずつミクロに見てそれらを全部足していっても、最終的に健康・不健康というマクロな情報にはたどり着かないから。むしろ Nature 誌の例として紹介した高血圧傾向の例のように、結果からトップダウン的にクラスタリングさせることでバイオマーカーとしている。環境の研究もそれと同じアプローチが有効かと思う。

(時間規模)

- **Q**: 魚類の環境マーカーの中でも、腸内環境だと割と時間スケールが短い。逐次の比較はできるが、長時間での変化をどう評価するか。
- A: これから検討するが、魚の腸内細菌をマーカーにしようと思っているので、比較的長い時間の情報を持つ骨など、組織別のデータと比べるのが一つの解かと思う。

(4) セッション 3: 計測技術者からの提案

【話題提供: 椎名 毅 京都大学】

音響計測の方からシーズ提案として話題提供する。専門分野は海洋と関係ないが、エコー、超音波に関する研究を行ってきており、魚群探知機などとの関係で意見交換できるかもしれない。バックグランドは工学系で計測屋。研究分野は生体医工学、医用システムで、生体センシングや医用イメージングが専門。検出する情報は、生体の場合、形態情報、機能情報、組織性状の三つで、モダリティとして超音波を使っている。

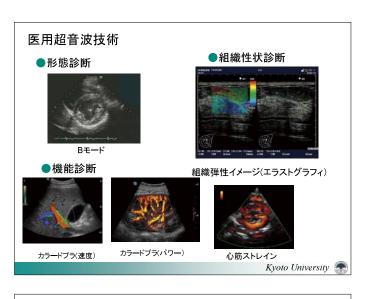
(学会発表サーベイ)

学会は医学と工学の両方にまたがっている超音波医学会、超音波エレクトロニクスシンポジウム(日本の工学系超音波計測で一番大きな学会)に所属しており、最新の研究をサーベイしてきている。超音波エレクトロニクスシンポジウムでは、超音波に関する工学計測のすべてを網羅しているが、300件ぐらいの演題があり、医用関係が最も多く、水中音響の分野は20件以上である。今回は、生物に絡むものは数件で(テッポウエビが出す音の環境雑音評価、サバやアジの魚群探知機を用いた識別など)、ほとんどが計測や情報伝達、通信の関連であった。

(医用超音波技術)

医用超音波技術について簡単に説 明する。大きく形態、機能、組織性 状の診断情報が取り出せる。その中 でBモードは形態の断層を取ること ができ、ドプラ法は血流の移動、最 近出てきたエラストグラフィは弾性 の情報が得られる。いわゆる魚群探 知機はBモードの技術である。様々 な物理量の情報を各手法によって取 り出すが、ほとんど全身に適用でき る(肺だけは空気で超音波が通らな い)。また、癌や動脈硬化、肝硬変など、 固さが変わっている部位の診断は、 エラストグラフィによって可能と なっている。エラストグラフィは固 さを画像化する手法で、普通の超音 波診断装置ではわからないものでも 固さを見ることで、癌などが診断で きる。通常の診断では見えない前立 腺の癌の部位も描出可能となる。

その他の技術として、おそらく医 用超音波で特殊なものだと思うが、





マイクロバブルを使う技術がある。これは造影剤にバブルを使う特殊法で、そのバブルによって生み出されるハーモニクス(非線形性)を利用している。また、中に薬を入れることによって治療に使うやり方がある。特に医用超音波の領域では、広帯域を使うことが常識になっている。

また、最近できた光と超音波の融合技術である光超音波イメージングがある。光を当て、 その吸収時に断熱膨張で発生する超音波を受ける原理である。医療の場面では、近赤外光 は血色素に吸収されやすいため、微細な血管の分布がわかる、また、光のスペクトルと組 み合わせて酸素飽和度との関係がわかる、などのメリットがある。乳がんの検査に使われ ており、新生血管、酸素飽和度が可視化でき、早期診断への利用が期待されている。

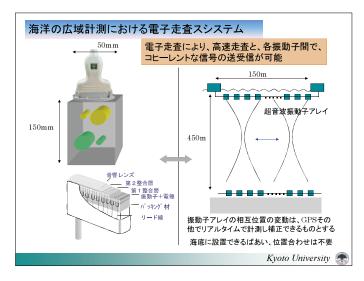
水中音響でも使われている符号化パルス法は、圧縮することで感度や解像度、フレームレートなどを上げる場合に使われる。

医用超音波は急速に進歩してきており、最近プローブのマトリクス素子数が増え、さらに cMUT というマイクロマシン技術からの応用も見られている。また、携帯電話ぐらいのサイズの超音波診断装置も出てきている。そのほか、リアルタイムで心臓の弁の動きを見る技術、血栓における血流をはっきり見ることが可能な技術、内視鏡型、放射圧を使って粘弾性を測る新しい技術等もある。

(海洋音響への適用)

海洋音響は医用音響と比較すると、 周波数が 100 分の 1 ぐらい、深度が かなり大きい(水中ではキロメート ル、医用はセンチメートル(生体は 減衰が大きいため))という特徴があ る。海洋で必要とされる条件、すな わち開口(測るスパン)、測定点、移 動速度(医用は毎秒数 cm から 1m)、 フレームレート(医用は 30 フレーム が必要)の詳細を理解していないが、 門外漢から言えば、医用との一番の 違いは、ビームフォーミングだと考 える。

医療の場合は電子プローブですべてのコヒーレントな処理をする。よって前提としてデータ間の位相差情報が完全にわかっている。船で移動しながら使う魚群探知などの機械走査方式は、医用超音波ではごく一部でしか使われない。もし電子プローブ方式で検出できれば、コヒーレントな処理によって様々な情報取得が可能。実践する場合、センサを150m



医用超音波技術の海洋領域ニーズ対応の可能性について-3 2. 現時点で対応技術のないもの ■エラストグラフィ ●音響放射圧のイメージング利用 ●光超音波イメージング などの新技術 海洋計測 ロボットアームなどで対象にプローブを接触させ、体内の粘弾性 適用:海洋生物(動きの遅いもの) エラストグラフィ 非接触法 ・対象にビーム照射し、音響放射圧でひずみ、あるいは shear waveを生じさせ、粘弾性を計測。 適用:海洋生物の他に、海底の堆積層の力学的特性評価など。 光超音波顕微鏡で、微細な吸収体(色素、脂肪)などの等の分布 光超音波イメージング 適用:組織や、プランクトンを含む海水のサンプルなど。 接触、あるいは非接触で、対象にレーザ光を照射し、生じた 超音波 信号を受信して、同様なパラメータの計測 適用: 光の透過や反射の少ない海洋生物 Kyoto University 🍠

の間に 200 個ぐらい並べて検出することが考えられる。もし水面で難しければ、GPS 通信による位置補正や、海底にセンサを置くことも考えられる。

エラストグラフィの場合、例えばロボットアームでプローブを接触させ、海洋生物に触ることで、体の中の固さがわかる。また、遠方ではビームを当てて、そのビームで組織を動かせば、非接触で固さを測ることができる。

光音響の場合、ミクロ計測の場合はサンプルを顕微鏡で測ると、脂肪などの組成、血色素、ヘモグロビン、ミオグロビンなどが検出できる。酸素飽和度なども測れるので、サンプリングをすれば、多くの適用が可能。マクロ計測の場合は、接近してもよければ光を照射し、得られる超音波信号から検出ができる。

【質疑応答】

(Q: 質問、C: コメント、A: 回答)

(スケールアップ)

- Q: 生体での検出のスケールアップで対応できると感じるが、超音波計測メーカーから 見てどう感じたか。
- A: 大きな領域を見るために、複数の受信機を利用する開口合成という手法もあるが、通常船に乗せたときの船の変動が波長を越してしまうため、極めて合成が難しい。海底に置く方法もあるが、数ラムダ程度であろう。
- C: 波長レベルで精度よくやる場合には海底に置くしかない。船から検出する場合は、コヒーレントを確保するため例えば横に動く精度を高めるなどが考えられる。
- A: 音波が極めてゆっくり (1,500m/s) であり、750m 下を見ようとすると1秒に1回 のフレームレートしか送信できない。音波の尻をたたいて速く動かせればよいが、そこ が難しい。
- C: 生体の場合は反射法が基本であるのに対し、海中では透過法が可能である。過去、ホログラフィの研究が行われていたが、金魚を見るのみで終わってしまったように思う。 再度、水中は透過法で検出できるメリットを活かすべき。

(光音響イメージング)

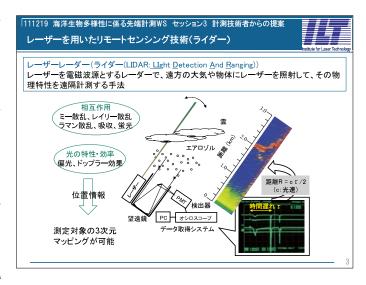
- Q: 光音響イメージングは適用の可能性が高いのではないか。
- A: (光音響イメージングではないが) ギガヘルツ帯に近い音波を用いた水中音響カメラとして、軍事技術の転用で一部に存在している。ただ、このスケールでは見ることは難しい。海水中では魚の位置まで高周波の音波が届かず、近くしか見えない。非常に分解能がよくて使いたいが、遠くまで届かないというトレードオフがある。ただし、既に魚の遡上、行動、群れの構造を計測することに使われている。医療方面でも、泳いでいるときに組織、骨がどのように動いているか、というバイオメカニクス的研究も行われている。
- C: もう少し対話をして、その辺のトレードオフも縮めていく研究も必要である。

【話題提供: 染川智弘 レーザー技術総合研究所】

これまで海洋生物多様性の把握に関するニーズが示される中、電磁波のみでは完全な把握は難しいとの指摘もあるが、ここではレーザーを用いた海洋リモートセンシングの可能性について紹介する。特に、リモートセンシングやフェムト秒レーザーという計測シーズの観点から、海水溶存物質のマッピング観測(物理量と化学量)に向けたラマン・ライダーの開発と、水中でのレーザー誘起ブレークダウン分光法(LIBS)による成分分析について紹介する。

(ライダーについて)

レーザーを用いたリモートセンシング技術である「ライダー」(LIDAR; Light Detection and Ranging) は、レーザーを電磁波源とするレーダー技術である。ライダーは、遠方の雲やエアロゾルに対してレーザーを照射し、散乱光などを望遠鏡で集め、オシロスコープ等で分析する。観測データは雲などの距離によって信号の時間遅れが生じるため、演算することで距離情報が得られることに報意を表し、結果、例えば雲の分布などが観測可能となる。



このようにレーザーと対象の相互作用を用いたライダー技術として、ミー散乱、レイリー 散乱、ラマン散乱、吸収、蛍光、偏光、ドップラー効果などを用いたものがあり、それぞ れの測定対象の3次元マッピングが可能となる。

(ラマン・ライダーについて)

ラマン分光法では、レーザー入射に対して分子等の振動エネルギー準位による波長のずれたラマン散乱光を利用する。この波長ずれからその物質の同定が、強度からその物質の 濃度が求められる。

このラマン・ライダーの応用として、水蒸気分布からの降雨予測の研究が行われている。 波長 355 nm のレーザーを照射すると、窒素が 387 nm、水蒸気が 407 nm の波長にラマン散乱光が得られ、これを分光測定すると、横軸に観測時間、縦軸に信号の時間遅れから計算される距離で示された図が得られる。 窒素と水蒸気のラマン散乱値の比を取ると、特徴的なプロファイルが得られる。 このようにラマン・ライダーは対象ガスの高度分布情報の取得が可能となる。

(ラマン・ライダーの海洋への応用)

このラマン・ライダー技術を海洋観測に応用する研究も行われつつある。海水はレーザー等を透過しにくいが、比較的透過しやすい緑色のレーザーを投射し、水溶存 CO。のラマ

ン信号を検出する実験を行った。対象を CO_2 としたことは、海底CCS、いわゆる海底に CO_2 を埋める国家プロジェクトにおいて、そのCCSの漏洩モニタリングへの使用を視野に入れているためである。 CO_2 のほか、メタンも同じようにラマン散乱を発するため、 CH_4 メタンハイドレードの掘削施設の漏洩モニタリング、また H_2S であると海底熱水鉱床の探査につながると考えている。

今回の海中溶存 CO_2 のラマン・ライダーでは、レーザー照射に対して、同波長の信号と少し波長のずれた水に溶けている CO_2 分子由来のラマン散乱光を測定することで位置と濃度情報を得ている。ナノ秒パルスのライダーを用いて、試料は市販の炭酸水(強炭酸水、弱炭酸水、蒸留水)を測定した。後方約 25 度の位置から光を集め、波長分解 0.23nm の分解能で測定を行った結果、炭酸水については、水溶存 CO_2 のラマン信号が非常にきれいに検出できることがわかっている。

(遠隔観測)

実際の海洋計測への応用は、船底からのレーザー照射や、光ファイバーなどで海底に設置して照射することが考えられる。また、海洋ロボット等にシステム自体を搭載して測ることも考えられる。

そこで実際のライダー応用を想定し、炭酸水入りのビンを 20m 離れた位置からレーザー 照射し、20m 離れた位置から望遠鏡で測定した。結果、20m 離れた位置に溶存 CO_2 のラマン信号が示され、水溶存ガスのマッピングが原理的な実証可能性が示唆された。

(レーザー誘起ブレークダウン分光法 LIBS)

海洋観測のニーズに関する話の中で、成分分析も重要というものがあった。レーザーを用いた成分分析手法として、レーザー誘起ブレークダウン分光法(LIBS; Laser Induced Breakdown Spectroscopy)という手法について紹介する。こちらの観測システムは非常に単純で、レーザーを物体に集光照射し、そのプラズマ発光を分光器で測定するだけである。20種の物質を入れた気体に対する信号は、初めのプラズマ発光スペクトルはブロードな黒体輻射の成分を含むデータであるが、時間経過によって原子の信号等が非常にきれいに分離できる。

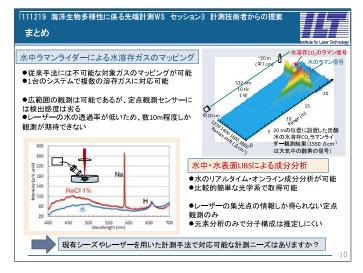
LIBS の特徴は、試料の前処理が必要ないことで、リアルタイム・オンラインの成分分析が得られる。また、ほぼ非破壊計測で、固体・液体・気体のすべてに適用可能といった手法になる。よって、水のリアルタイムのオンライン成分分析技術を目指し、パルス幅がフェムト秒からナノ秒にわたるようなレーザーを用いて水と水表面の LIBS 法を行っている。このように水中に直接集光することも可能で、集光してやれば同じようにナトリウムの D 線を観測することができる。

(まとめ)

水中ラマン・ライダーの場合、今まで不可能なマッピング観測が可能になり、1 台のシステムで複数の溶存ガスに対応可能というメリットがある。ただし、定点観測センサに比べると検出感度では劣ること、レーザーの水透過率が低く、数十 m 程度しか観測は期待できないこと、というデメリットがある。

LIBS については、リアルタイム・オンラインが可能で比較的簡単な光学系で取得可能

である。ただし、定点観測しか行えないこと、元素分析のみで分子の構成は推定しにくいこと、というデメリットがある。



【質疑応答】

(Q: 質問、C: コメント、A: 回答)

(フェムト秒レーザー)

- Q: フェムト秒レーザー装置はかなり大きいが、船に積むことは可能か。
- A: 一応動くとは思うが、非常に高価でもあるため不向き。レーザー誘起ブレークダウン 分光 (LIBS) 分析の場合は検出感度が向上するメリットがある。
- Q: LIBS 分析にはフェムト秒レーザーを使う必要はないのでは。
- A: LIBS にフェムト秒レーザーを使うと、ナノ秒レーザーよりも検出感度が高くなる。
- Q: 例えばファイバーレーザーのような手軽な装置はないか。
- A: ファイバーレーザーでも、LIBS は行うことができる。

(ラマン・ライダー)

- Q: ラマン・ライダーの利用は非常に興味深い。深海系に応用する場合、センサ類の重さはどのぐらいか。数十キロにおよぶか。
- A: 重さに関する数値は持ち合わせていないが、レーザー自身は通常の計測システムと同じぐらいの重さであり、積載は可能なレベル。
- Q: 水位計などへの応用が考えられるが、海洋は濁度が高い。どの程度の懸濁率まで分別可能か。
- A: そこがレーザー応用の対応できていない最大の課題だと考えている。多分懸濁している状態では、視野というか計測できる距離が短くなると思う。皆さんの専門的な意見をお聞きしたい。
- Q: この技術を衛星から使うことは可能か。
- A: ラマン・ライダーでは、空から緑色レーザーを利用するため、目に入るなど危険。
- Q: 過去、アラスカ沿岸におけるニシンの産卵場を、ライダーによって観測する研究が 行われている。ライダーを使えば、水深 10m ぐらいは魚群をきれいにトレースできる とのことだった。直接見るような応用は出来ないか。
- A: 生きているサンゴなどは蛍光を発するため、その生死を観測することは行われている。 蛍光ライダーで行っている。一般的に海洋では蛍光ライダーと偏光ライダーがよく使われているが、蛍光ライダーでは、蛍光を発するものしか測れないが、ラマンであればい

ろいろ対象の幅が広がる。

C: 最近、無線操縦飛行機などの利用も増えており、人が少ないところでは、可能性があると思う。

【話題提供: 中野義昭 東京大学】

専門は、光電子工学、オプトエレクトロニクスで、半導体レーザーや発光ダイオードや 太陽電池や光と電子デバイスの接点を研究している。海洋計測に関して、情報通信の分野 からどのような貢献ができるのかを、ご提案したい。

(データロガーの紹介)

10月30日のテレビで、ウミガメの背中にデータロガーを乗せたケータロガーを乗せた生生の紹介を見た。これは宮下先生の発表にもあったが、海洋の生物を見たが、カメよりももあったが、カスようには、がうちからなきがではない。ではないのでするとどうしたがでいる。電子工会のようにある。電子工



http://hiiaymbl.seesaa.net/article/145644659.html

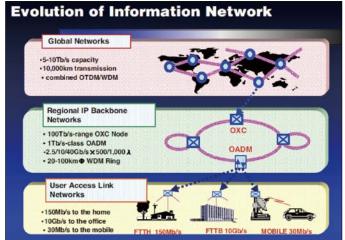
学のシリコンの LSI とか、あるいはガリウムヒ素を使った化合物半導体の光デバイスとかそういうのを応用することで、こういうものを小さくつくるということに関しては、そうした成果を活用できると考えている。

特にシリコンの LSI もそうだが、私自身が先ほど冒頭に自己紹介したように、光エレクトロニクスというものを専門にしてきたので、この観点からきょうはお話しするということにしたい。

(光ファイバーの海底通信ケーブル)

光エレクトロニクスの一番の成功 例は、光ファイバー通信だが、その ほかこのマイクも光空間伝送で動い ている。マイクのここを握ると声が 出なくなる。それは光空間伝送で、 そこからそこらと通信している。そ のほか光ディスクや光波応用計測と いうのが発展している。これがうま くすると本日の話とつながる可能性 がある。

その光ファイバー通信だが、グロー



バルなネットワークから地域のネットワークまで、一番最後のアクセスの部分以外は全部 光ファイバー通信でネットワークができている。

グローバルに見ると、実はもう海底にものすごくたくさん光ファイバーの海底通信ケー

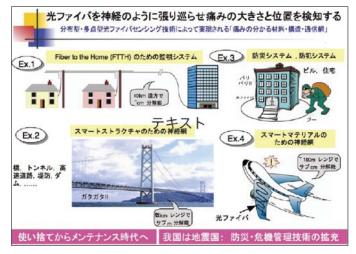
ブルが世界中の海に張り巡らされている。ただ、それが全く海洋計測には使われていない。 当たり前だが、インターネットや電話を運ぶためだけに使われていて、そのインフラとい うのは海洋計測の観点からするとかなりもったいないことになっている。

光ファイバー通信というのは、光ファイバーの両端にレーザーとフォトダイオードをくっつけて、電気信号と光信号の変換をしている。最近だと、海の中に光アンプというのを多数沈めていて、この光アンプに電源を与えるために実は地上からたくさんの電力を送るケーブルがこの光ファイバーとともに海に沈められている。海底には電源もあれば、情報を伝えるための線もたくさん走っている。そういったインフラを今後活用するということは十分あり得るのかなと。そのためにはでもその通信行政と水産資源確保という行政が手を組まないといけない。せっかくのインフラを縦割りで相互には使わせない。技術の問題よりはむしろ縦割り行政をいかに解消するかという問題のような気がする。

(光ファイバーセンシング)

光ファイバーを使って構造物のひずみを見て、どこかにひずみがかかって壊れそうだったら壊れる前に教えてくれるような光ファイバーセンシングシステムや、飛行機の中でも光ファイバーで神経をつくって、羽根などの構造物が破壊する前に情報がわかるようにするというような研究が進められてもいる。こうした、分布センシングが非常に得意である。

もう一方で、内視鏡に代表される



ように、組織に突っ込んで観測するということもできる。最近は光ファイバーの先にマイクロマシンを集積して、センシングするだけじゃなくて、アクチュエショーンする。医療の場合だったら治療するとか、あるいはサンプルを採取してくるということがある。光ファイバーの長所は、この距離をいくら伸ばしてもいい。人間の場合だったらせいぜい数 m

しか必要ないが、工業用の内視鏡だと何十m、あるいは100m ぐらいまで伸ばせる。もともと光ファイバー通信は1,000km という距離を飛ばすことができる技術なので、長さの限界はないと思っていただいていい。

(カプセル内視鏡)

あとは線を切っちゃってこういう カプセル内視鏡的な技術もあるので、 これは先ほどの冒頭のバイオロギン グに使えるような共通に使えるよう



な技術というのも出てきている。 http://www.gamenews.ne.jp/archives/2008/09/post_3929.html

(海洋生物への応用の可能性)

海洋計測上の制約条件、空間スケールが極めて大であるという問題に対しては、空間スケールの大きな光ファイバー通信のネットワークを活用するということがあり得るのではないかと考える。

海面から海中が見えない問題については、光だと先ほどお話あったように緑とかあるいは青の光を使えば、ある程度の距離は水中を伝播させることができるし、それ以上はやはり光ファイバーを沈めて敷設していくという形で適応可能と考える。

水圧の増加は、光ファイバーにとっては全然問題ない。大概の水圧はもたせることができる。海底ケーブルは非常に大きな水圧のもとで普通に動いている実績がある。

それから、洋上で場所がわからない場合、これはケーブルをつけて引っ張って持ち上げるか、でなければやはり GPS を使って場所を特定するということで対応できる。

電源については、これからのセンシング機器はバッテリーなしで光があれば太陽電池で取るし、振動があれば振動で電力を取り出す。それぐらいのエネルギーで動くぐらい非常に低消費電力にできる。このように、自然界からエネルギーをハーベスティングすることで、電源の問題は小さなセンサについては解消できると思われる。また、大きなものに関しては、やはり海底に張られている電力網である光ファイバー通信ネットワークの電力を使うことも考えたらいい。もちろん船から電気を送るということも考えられる。いろいろな形で解決できると思われる。

(まとめ)

重要なのは、コモディティの部品を徹底的に転用するというやり方を追及しないと、どれも最初は高い。従って、数が出るものと共有化することで安くする必要がある。内視鏡なども同様で、カプセル内視鏡もそれだけである程度の数は出るが、それ自体、そもそも数の出る電子回路技術を 100%活用して安くしようとしているので、携帯電話の技術とどこまで共有化できるか、それによって値段が決まってくる。携帯電話の部品を共通で使えることをまず念頭に仕組みを考えていくというのがいいのではないかと思う。

【質疑応答】

(Q: 質問、C: コメント、A: 回答)

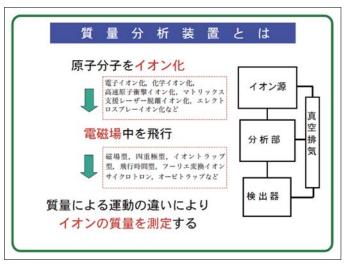
- Q: 小さくする技術はあるし、小さなものに電源を供給する技術もある。また、光ファイバー通信網と融合し、光ファイバーネットワークをもっとうまく使えないかという 提案だったが、その実現性は?
- A: 海底の電線を使って海の状態を計測するというような例は聞いたことある。光ファイ バー網というような最新のものと結び付けてというのは聞いた事がない。
- Q: 電源だけをとるとなると、通信技術者は協力しないのでは?
- A: 通信を妨げない範囲で、人類のためにこういうデータを集めるということをどうやって両立させるか。難しければ独自のファイバーネットワークを張るしかないが、ちょっと資金が高額になる。

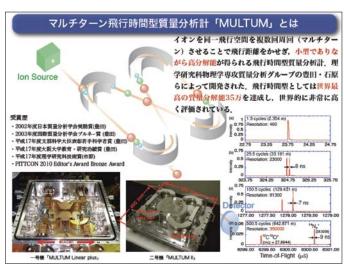
【話題提供: 豊田岐聡 大阪大学】

質量分析の装置開発をおこなっている。大学では H23 年 10 月に発足した理学研究科 附属基礎理学プロジェクト研究センター学際理学部門に所属しているが、当初は研究室名 を「メタ計測学講座」という名前にしようと提案したことがあり、CRDS の吉川センター 長の計測に対する視点と同じである。開発したマルチターン飛行時間型質量分析計 (MULTUM) を核に、様々な分野の人に加わってもらいながら、新しいサイエンスを切り拓こうとしている。これまでは、宇宙地球科学の観点から海洋探査をおこなっている研究者に加わってもらっているが、海洋生態系計測に携わったことはない。

(質量分析装置について)

質量分析の歴史は、ちょうど 100 年前に J.J. トムソンが始めた技術だ が、日本では1930年代に大阪大学の 浅田常三郎先生を中心に初めて開発 された。それ以来、我々の研究室で はずっと装置開発の伝統を引き継い でいる。質量分析はもともと原子核 物理の原子質量測定が中心だったが、 化学や生物学の分野で活用され、今 ではライフサイエンスにおいてなく てはならない技術になっている。ま た、惑星探査におけるニーズに応え るかたちで始めたのが「マルチター ン飛行時間型質量分析計 (MULTUM)」である。質量分析の 特徴は、原子や分子の質量を測れる ことであり、様々なイオン化法や分 析法をいかにうまく的確に選ぶかに よって、変わってくる。私はもとも とヨーロッパの宇宙探査計画のロ ゼッタミッションにおいて「彗星探 査機に質量分析装置を載せたい」と いうことで声をかけられたことが開 発を始めたきっかけであった。宇宙



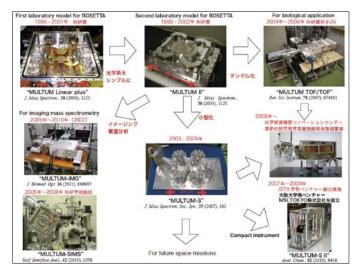


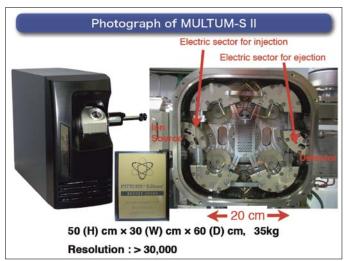
探査機に質量分析を乗せることは NASA を含め多くの機関が取り組んでいる。探査機に乗せるということは当然、小型化・軽量化が必要になる。地球上で通常使用するものに比べてスケールが全く異なり、重量 2kg(電源込み)ぐらい、大きさは $35cm \times 30cm \times 8cm$ 、それこそノートパソコン並みの大きさと重さを要求される。さらに、地上で行うような試料の前処理が宇宙ではできないため、小型化と高性能化の相反する要求に悩まされた。そこで開発したのがマルチターン飛行時間型質量分析計であり、同じところをぐるぐ

る飛ばすような飛行時間型の質量分 析計になっている。飛行時間型質量 分析計というのはイオンの徒競走で あり、距離が長ければ長いほど、近 い質量のものを分けることができる。 閉空間をつくって飛ばすことで距離 を稼いでいる。ちょうど 40cm 四方 ぐらいの板の上に乗っている装置で、 500 周ぐらいの閉軌道、距離にして 640m を飛ばして、質量分解能 35 万 以上を達成している。普通の市販装 置の質量分解能は1万~2万ぐらい が普通であるため、それをはるかに 凌駕するような性能を実現すること ができた。もともとロゼッタミッショ ン用に開発したが、様々な理由から 乗らなくなったため、結果的に地上 で使えるようにした。バイオ分野で タンパク質のペプチド分析に使うこ とや、イメージング質量分析として も使えるようにした。また、小型化 を進めて様々な業界へ製品として売 り出せるところまできている。

(オンサイトマススペクトロメト リー)

小型化に関しては、質量分析装置がちょうどデスクトップパソコンぐらいの50cm×60cm×30cmぐらいのところに、電源も真空排気系も全部収まった状態で35kgというのを目指して開発してきた。すでに今、ノートパソコンが横に1台あれば動くという状態まできている。将来的にはこの中にコンピュータも入れ、さらなる小型化も達成したいと考えている。





オンサイトマススペクトロメトリー

- □ 「現場(オンサイト)」で質量分析を行なう。オンサイトで測定 を行なえる装置開発とアプリケーション開拓。さらにはそこか ら切り拓かれる新しいサイエンス。
- □ 質量分析装置を「現場 (オンサイト)」に持ちこむことは様々な分野で切望されている。
 - ☆ 医療現場 (医学, 歯学, 法医学, . .)
 - ☆ 食品(食品加工現場,残留農薬...)
 - ☆ 環境(温暖化ガスモニター、環境モニター、、)
 - ☆ 安全・安心(危険物質検知,違法薬物検知...)

質量分析装置を「現場 (オンサイト)」に持ちこむことによ

り、これまでにない新しい知見を得ることが可能になる

我々は理学部の人間であり、開発した装置を活かして「オンサイトマススペクトロメトリー」という新しい学術領域を切り拓きたいと考えている。すなわち、装置をオンサイト (現場) に持っていって使えるようにすることで、これまで見ることができなかった様々なモノを見れるようにすることであり、まさに今回のワークショップの課題と整合してい

る。様々な分野でオンサイトに持っていくことで、今までは得ることが出来なかったような新しいデータが得られるようになり、そこからでいる。なせこれまではオンサイトを持ていなかったかといえば、やはり装置が大きく、質量分析だったがはり装置が行うのが当たり前であり。惑星探査用の開発がたからであり。惑星探査用の開発がたからであり。惑星探査用の開発があるところまできている。これ

まとめ

□最近の動向

- ・メーカーが、測定できるもの/できないものを決め、測定の仕方を決め、分解能を決め、ユーザーは測定の能力や範囲を越えるアプリケーションを真剣に考えることを半ばあきらめている
- ・外部資金をとらないと研究できない
 - → ところが、外部資金は結果が見えてないと申請も獲得も困難。 できるかどうか分からないような「夢」の申請はなかなかできない。
 - → 成果を出すことに追われ、他のことをする余裕がなくなる。

□「夢がイノベーションに」

- こんなことしたいという「強い願望・夢」
 - 誰も実現を信じないようなこと、でもどうしてもやりたい、あると世界が変わる、
 - -> 何としても夢を叶える装置を「実現」
 - 手本がない状態での手探り、独創的なアイデアや技術の持ち寄り
- -> 20-30年後には、ごく当たり前のように使われる「発展」 当たり前に使われるまでには、これまで見ることができなかったものが見えるよう になったことによる新しいサイエンスがある。

「独創的な装置開発なくして、世界をリードできるような独創的な研究は行えない」

までもポータブルの質量分析装置はいっぱいあったが、いずれも性能が悪く、様々な分野における目的を達成することまではできていなかったというのが現状だと思う。

我々装置開発屋としても「夢」が大事と考えており、何かしたいということがやはり重要だと思っている。夢のあるニーズに対して、我々はそれを実現する装置を開発していく。そのような装置を将来的にはごく当たり前に使えるようにしていきたい。一方で、短期間で結果を出すことはなかなか難しく、短期間の成果を求めることで新しいものが生まれなくなるという懸念についても、仕組みとして手を打たなければならないだろう。

【質疑応答】

(Q: 質問、C: コメント、A: 回答)

- Q: 海洋計測において、オンサイトの意味はとても大きい、将来的に周期律全般をカバーできるようなものはできないか。マーケットは膨大ではないか。
- A: 重金属の分析ができると一番おもしろいと思っている。ICP 質量分析計を海に持っていくのは不可能(高圧ガスを使う)なので、フェムト秒レーザーで一挙にイオン化するのがポイントになると考えている。そのためにはフェムト秒レーザーを何とか小型化したい。
- Q: 将来的な本当のオンサイトとして、海中での測定の可能性はあるか。
- A: 不可能ではない。私たちから考えれば、宇宙へ持っていくよりも簡単なことだろう。

【話題提供: 北川正成 タカラバイオ】

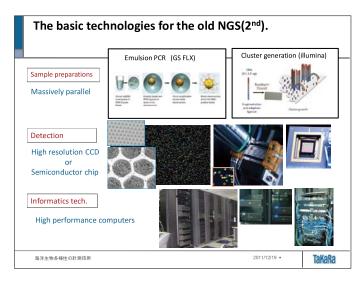
(次世代シーケンサーの要素技術)

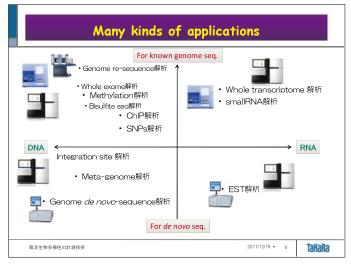
次世代シーケンサー、いわゆる第 二世代と言われるようなシーケン サーの基本的な要素技術は3つある。 1 つは Massively parallel、非常に多 くのシーケンス・クローンを並行し て読む。つまり、Emulsion PCR (ポ リメラーゼ連鎖反応)、あるいは cluster PCR をベースにして局所的 に1分子をもとにDNAをふやし、 それをパラレルに読む技術。もう1 つは、酵素反応によって放出される 光や取り込まれる蛍光物質を検出す る CCD カメラの高精度化。なお、最 近はpHを1つずつ測るセミコンダ クターチップも出てきている。3つ 目は、そこから排出される大量のデー タを処理する計算機能力の進歩であ

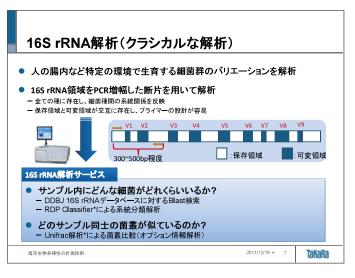
現在の性能について述べる。 RocheGS FLX とイオントレント Ion PGM は同じような方向性である。また HiSeq、Illmina と Lifetechnology の SOLiD も似た性格を持つ。共通しているのはリード長である。読み取り量は、HiSeqで、大体 600Gb のデータを約2週間でとるというような性能を有する。

(次世代シーケンサーのアプリ)

このような次世代シークエンサーはいろいろなアプリケーションを提供している。一番単純なゲノムシーケンス、それからトランスプトーム、また最近よく行われるのがメタゲノム。この会で一番関係するのはこのメタゲノムの解析だと考えている。







これに関しては HiSeq とか Roche の装置などがよく使われている。

16S の rRNA の解析を例に具体的な解析手法を説明する。rRNA 中の V1 などは多変領

域である、つまりそれ以外のところ は比較的保存されている。この多変 領域のバラエティで生物の分類を行 う。これが基本である。バクテリア だと主には V2 部位をよく使う。こ こを PCR でふやし、それを読み取る。 例えば Roche 454 という機械は 100 万種類の DNA 配列を一遍に解読す ることができる。この結果を DDBJ や NCBI などのデータベースと照合 しサンプルの中の微生物を見積もる。

一方、最近は先ほども述べたよう に HiSeg などは 600 ギガレベルで データの取得が可能である。そうす ると、圧倒的な解析度を追及すると いうような方向に性能が向上し、メ タゲノムも 16SrRNA ではなくて、 ホールゲノムでの解析が可能となる。 環境中の DNA を丸ごと読んでしま おうという方向性がすでに見えつつ ある。

(次世代シーケンサーの利用状況)

実際に最近どのぐらいゲノムデー タが出ているかというのを JGI で確 認してみる。すると、メタゲノムと いう項目がすでに設定されているの が分かる。ここにはスタディで340、 サンプルで 1,927 とあり、すでに様々 なサンプルが解析にかけられている。

一方で、アイソレートゲノムとい うのは培養したゲノム DNA をカウ ントしているものである。これもす でに様々な生物を対象に行われてい る。コンプリートなプロジェクトを カウントすると既に3,000を超えて

圧倒的な解析量の追求 ⇒メタゲノムもWhole genome 解析へ

解析種別	Fragment RUN (片鎖解析)	Pair-end RUN (両末端解析)
リード長	100bases	100bases x 2
リード数	~2億リード (x8 lanes)	~2億リードx2 (x8 lanes)
データ量	~20Gb (x8 lanes)	~40Gb (x8 lanes)

(8 lanes / slide) x 2 slides on HiSEQ2000 => 600Gb/run





海洋生物多様性の計測技術

2011/12/19

TakaRa

1分子シーケンサ

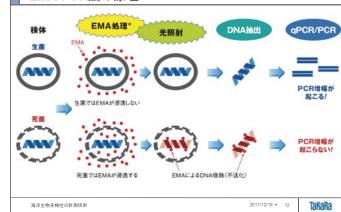
- Helicos
 - 超並列に読み取る
 - 短い読み取り
 - PCRなしに鋳型調製
 - 個別リードの精度は低い
- PacBio
 - Real timeに読む
 - 長く読める
 - 個別リードの精度は低い
 - 修飾塩基を検出する技術

- Nanopore
 - 核酸をそのまま直接読む?
 - ・ 修飾塩基を検出
 - 個別リードの精度は?
 - 読み取り塩基長は?
 - 4型の調製は?
 - 必要サンプル量は?



海洋生物多様性の計測技術

選択的膜透過性色素(EMA:ethidium monoazide) EMA-PCR法の原理



いる。インコンプリートも含めてゲノムプロジェクト全体をみると1万を超える数の生 物のゲノムが決定されつつある。これだけのゲノムが特定されると、リファレンスの配列 というのも圧倒的に多くなる。従って、メタゲノムでもホールゲノムでもその結果を機能 にリンクをさせることが可能になる。こうなると実際にはコンピュータのパワーが非常に 重要になる。先ほど言ったように億単位でデータが出てくると、それをこういったリファ

レンス配列に対して相同性を検索する必要性が生じる。しかし一般的な計算機では結果が 出るまでに時間がかかり過ぎる。地球シミュレーターレベルのコンピュータが必要になっ てきたといえる。

(次々世代シーケンサー)

第二世代の次の世代はどのようなシーケンサーなのだろうか。1分子シーケンサーというものがそれである。実は技術としてはかなり前から存在している。既に Helicos や PacBio という解読装置が発売されている。これに関してはこんなものがあるという程度で本日は紹介程度に留めることとする。

(生菌の検出技術)

最後に、シーズということでタカラバイオの技術を紹介する。生菌の検出技術である。 先ほど環境中の DNA を丸ごと読む話しをしたが、そこにいる生物が生きているのか死ん でいるのかという区別はつかない。これを検査試薬で確認するのがタカラの技術である。

具体的にその原理を示す。この技術では膜透過性の色素エチヂウム・モノアザイドを用いる。生きている菌はこの色素が膜を透過できない。ところが、死んでいる菌というのは膜が壊れているので細胞内部の DNA が修飾される。修飾された DNA は PCR の対象にならない。よって生菌だけを検出することができる。この技術のメタゲノム解析への応用が可能ではないかと考えている。

【質疑応答】

(Q: 質問、C: コメント、A: 回答)

- Q: シークエンサーの大きさはどれくらいなのか?
- A: 機械の大きさはテーブルに乗るぐらいである。
- Q: 船にも積めるのか?
- A: 不可能ではない。
- Q: 多検体同時検索は可能なのか?
- A: 基本的には今 96 まではタグ配列はつけることができる。むしろ難しいのは、96 個を 均等に混ぜる技術である。

【話題提供: 小菅一弘 東北大学】

(ロボット関係の紹介、Field Robotics (海洋ロボットのもこの一分野))

ロボットの特徴としては、移動ができるということと、それから触る、マニピュレーション、センシング、これらは、CPU等の高速化や、周辺技術の発達によって様々な応用が可能となりつつある。

また、画像情報のリアルタイム処理も、最近 open CV ⁴ というフリーのソフトウェアで、色々なことが可能である。たとえば、多数の画像から、微細なものの三次元のデータを構築することもができる。

(Probabilistic Robotics)

確率論的にいろいろな処理をするアルゴリズム、例えば、SLAM (Simultaneous Localization and Mapping) という手法では、自分の位置を計測できなくても、また地図がなくても、人のように動き回り情報を収集することで、地図を作成しながらその中で自分がどこにいるかもわかるようになった。そのアルゴリズムを開発したセバスチャン氏は、スタンフォードのテニュアドポジションを捨て、現在グーグルカーの開発を本職にしている。

(アンダーウォーター用の SLAM)

潜りながら地図をつくりながら、その地図の中で今自分がどこにいるかがわかるようになりつつある。

(シーグライダー)

福島の原発で活躍したパックマンを開発したiROBOT社が開発、グライダーなので動力が不要、潜りながら目的地に移動し、データを集め、それが終わると浮上し、アンテナを海面から出して、衛星回線を使って、衛星回線を使って、各種計測をして上がってきる。海中で、各種計測をして上がってきてだってある。記憶デバイ蓄とが安価になり、大量のデータを送る。ことが可能になった。



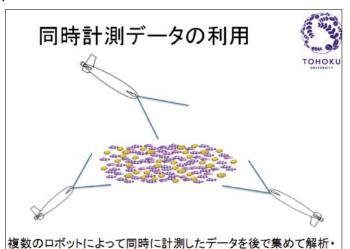
これらを使うと、複数のロボットによって魚群など対象を同時に計測し、そのデータを蓄積して、海上に上がってきたら、時間を合わせ、情報を合成し、融合して、何か知りたいものを見つけるということができる。

⁴ open CV: インテルがオープンソース化し、Willow Garage に引き継がれた画像処理ライブラリ

(水中ロボットのバイオロガーへの適応)

魚群のスピードとその範囲により 水中ロボットによって追跡できる対 象は決まる。ソナーで魚群をずっと 追跡し、その経路を、SLAM で位置 情報を較正しながら追跡することが 可能になる。

このように、ロボットを使うことによって移動範囲や観測範囲を大きくすることができるので、海洋生物を対象として今までと違う観察が可能になるであろう。



融合し、単体のロボット・装置では不可能な計測を可能にする?

(ロボット開発の反省と提案)

日本のロボットのプロジェクトというと、1回だけの試作で終わる場合が多い。これでは、実用に絶対につながらない。試作機はできるが、それは壊れたら終わりだし、保守費用もない。どうしようもない。11月1日現在の自然の放射線のレベルを含んだ東日本における放射線強度のマップがある。例えばセシウム134と137の地上の地図が、文部科学省のほうから発表されているが、海中では、どうなっているかさっぱりわからない。

ロボットを用いれば、それらの実態を明白にする事ができる。セシウム 137 だと、半減期が 30 年、こうした震災対応のモニタリングニーズとともに、それに合わせて海洋生物の調査を長期にわたってモニタリングすることが必要で、この機に何らかの国産の観測、観察システムをつくって、会社を育てることも可能かと思う。日本の製品というのは先の話でもあったように、性能が高いので買ってくれるところが出てくる。そういうビジネスのエコシステムをつくるが重要であると思われる。

【質疑応答】

(Q: 質問、C: コメント、A: 回答)

(海中ロボット)

Q: 電源は?

A: 自動車用リチウムイオン電池の高性能化により、転用できるのでは? 東大浦教授が何らかのソリューションをお持ちのはず。

Q: 走行スピードや 30m 以浅の走行性能は?

A: スピードについては仕様によるが、高速走行は水の抵抗のためエネルギーが必要、東大の浦教授はかなり深いところまで潜れるが、30m以浅でも座礁しなければ大丈夫かと思われる。

Q: ゆっくりで浅層対応できるロボットが必要

A: ゆっくりだったら大きな問題はないのでは?

Q: 波があるときの問題は。

A: 従来にないようなシステム提案を海中ロボットの専門家にしていただければ、実現可能であると思われる。

(5) セッション 4: 総合討論

(Q: 質問、C: コメント、A: 回答)

本日の論点を整理する。【1】新たな計測の要素技術・システム開発、【2】海洋政策への科学技術の活用、【3】ファンディングのあり方である。

【1】新たな計測の要素技術・システム開発

(要素技術開発)

- Q: まず、技術開発について議論したい。本日、様々なシーズが披露された。例えば超音波技術によって海洋を対象として硬さ、弾性を測ることや、レーザー技術によって数十メートルまでの深さにおける活用が示された。中にはシーズはあるけれども活用される仕組みがないという話もあった。その辺り、ニーズとシーズのディスカッションがもっとあればいいと思うが、民間企業の方から何かコメントはないか。例えば基礎研究として必要な要素技術開発や、現場ニーズなどの意見。
- C: 我々は要素技術開発として、70年以上もセンサをつくってきている。実際のフィールドでどのように使われ、何の物理量の測定が必要なのかをよく理解することが大切で、その上で、回路設計、金型設計、制御プログラム、設備技術開発など、要素をつくる立場から一緒に取り組むことが重要である。

(バイオロギング/電力、動力の課題)

- Q: 小さなセンサをつくる技術は十分あるという発表があった。この点へのコメントはないか?
- C: 小さな稚魚などにもチップなどのセンサをつけ、履歴を追いかけたいとのニーズがあった。永遠の目標と言われていたが、本日、技術的に組み込めるまで進んでいることがわかった。電力に問題があるが、例えば魚の泳ぐ動作から動力が取れるという可能性があれば、必要な要素であり、技術開発の投資が必要。
- C: IC タグ・チップは 1mm ぐらいにできているため、1cm ぐらいの魚には十分付けられる。
- C: 実際、まだ海中では利用が難しいが、トレーサビリティへの利用として、RFID などを稚魚に埋め込み、市場に上がってきた魚をバーコードで読み取ることが行われている。また、淡水であれば、受信機によって外部から読み取りが出来るが、海水では難しい。これまでは小型化を優先して、自ら電波を発することのないパッシブ型センサしか可能性はなかった。振動から電力を拾えるという話であれば、要素技術として投資する価値があると思う。
- C: 最近急速にエネルギー・ハーベスティングという技術の開発が行われてきている。振動、光など、様々なエネルギー源がある。
- C: 海中では光が届かないところに移動し、そのまま電力が尽きると可能性がある。魚は常に動いているので、その振動をエネルギーに変えられれば理想的。

(プラットフォーム)

Q: プラットフォームへのニーズやシーズについて意見はないか。例えば、沿岸域にお

ける可動ブイなどのプラットフォームのあり方など。

- C: 目的や対象がこれだけ多いと絞れない。だからこそ生物多様性と言えるが。個人的には、二つの種類に機械は分けるべきと思う。一つは沿岸域で、電源供給設備が近くにあるものは、本日の様々な先端技術を海洋生物多様性研究に応用できる。一方、外洋の電源供給が限られる場所では、電池で動くセンサや、機能・性能の極限化(例えば、計量魚群探知の高帯域化によるプランクトン種類の同定など)を追究すべき。
- C: 基礎研究が必要となる。
- C: 計測技術を電池利用の可否に分けることで、使用される海域も分けられる。
- Q: 現在、海外からの引き合いのある製品開発は、海域としては外洋と沿岸域のどちらか。
- A: 光ファイバーを使ったリアルタイム観測がカナダで実施されている。800 キロのループをつくり、浅いところから深いところまで断続的に観測している。また、自然エネルギー、例えば洋上風力や波力発電を近くに持ち、そこから電源供給するシステムを構築している。多くのセンサを設けた自動昇降ブイである。さらに、電源供給ができないため、電池で動く小型センサに絞って開発するシステムもある。多様なパターンがあるという印象。
- C: ニーズが多様で、個別に対応する必要があるということか。 量産ができない理由とも言える。
- C: やはり海はとても広いため、各地で様々な現象や対象がある。
- C: 海洋関係の担当になって感じることは、研究者のシップタイムが足りないということ。 AUV や様々な観測機器がつくられても、結局船に乗る時間がない。研究船を多くつく ることは困難であり、ロボット技術等を活用するなど、船がなくても調査して回れるも のが欲しい。
- C: 沿岸域の話が出ているが、個人的には沿岸域の場合、比較的プラットフォームは揃っていると思っている。例えば漁船のチャーターは一般化されている。その意味でも大きな研究船を使う目的はやはり外洋を把握することになると思う。技術開発には、大きな研究船がなくても使えるような技術開発が求められると思う。船に特殊な設備を必要とすことは、AUV や ROV でも使いにくいことを意味する。一般の普通の船をプラットフォームに使う条件で、計測システムを開発してもらうことも一つの考え方だと思う。
- Q: 浮遊ブイメーカーから意見はあるか。
- A: センサの要素開発から研究しているが、高度なセンサも簡易なセンサも研究している。 大事なことは、そのセンサがどの程度使われるかというニーズの大きさである。現在、 AUV に注目している。センサをつけて海洋観測ができれば素晴らしいと思った。1台 しか売れないということでは商売にならないが、AUV につけるオプションによって役 割りを変えることが出来れば、有効性も出てくる。例えばカメラ、映像装置、ホロレビュー など、おもしろいビジネスに繋がるのではないか。例えば海底地質の探査目的に、海底 の底をマッピング監視する目的もある。今後もそのようなプラットフォームにどのよう なセンサを取りつければ有効であるかという視点で考えていきたい。
- Q: 魚群探知メーカーから意見はあるか。
- A: なかなか船に乗る機会を持てないとの話が出たが、おそらく国内の調査船数には限りがあると思う。現在、通常のフェリーを利用することで、沿岸海域のデータ収集を始めようとしているが、そのためには簡便、安価で、安定的にデータ取得できる計測ユニッ

トが必要となる。このような計測ユニットが開発されれば、気象庁アメダスのような一つの指標で大量データ収集が可能となる(ウオダスと呼んでいる)。また、個人的には AUV に興味がある。漁業では、例えば3~4隻の船団を組んで魚を探して獲りに行く。現在、船1隻つくるために数億〜数十億円の費用が掛かり、後継者もいない中、例えば安価なセンサをつけた AUV があれば、漁船にとって代わってロボットが活躍する場もあるように感じた。漁船は魚群を探すために高価なソナーを付けているが、AUV によって近い距離で探索できることになればおもしろい。バッテリーの問題なども考えられるが、魚群を探索する AUV や、魚を網に追い込む AUV など、数が出れば商売として成り立つ可能性もある。

(モニタリングの国際連携)

- Q: GEOSS (Global earth observation system of systems) の海洋版が必要で、各国が協調して取り組む仕組みが必要ではないか。
- A: GEOTRACE 自体が GEOSS の海洋版と言えるか分からないが、同様の取組みを行っている。基本的には世界の海を1枚の青写真にしようとの発想。まずツールの構成からスタートし、2年間で大西洋と太平洋を1航海ずつ同じ船で50カ国以上を回った。それぞれが分析を受け持ち、各国に戻ってデータを利用し、最終的に10年かけて1枚の写真にしようとしている。その中に当然モデリングは入っている。
- C: 海洋は非常に大事であり、船1隻で出来ることも限られるため、国際条約の下で各 国が協調して研究が進められれば良い。
- C: GEOSS は陸だけではなく、大気、海も全部入っている。特に海の場合は、かなり国際的ネットワークが形成されていて、例えば物理的なパラメータはきれいに集められている。また、化学的なパラメータもかなり集められているが、一番の問題は生物的なパラメータ。データの標準化が非常に難しく、整理の仕方が今一番の問題。
- C: 話の中で、物質循環というキーワードが出てくる。物質循環の把握は、化学分析が非常に重要となるが、その中で質量分析はキーとなる技術だと思う。
- Q: 横断的、国際的なネットワークは、陸に比べれば海洋の方が形成されていると思う。
- A: GEOSS の方から、世界各国の政府を回り、研究費の支出をお願いし、かなりの国が OKした話を聞いた。海洋生物多様性研究についても、このような活動が必要。

【2】海洋政策への科学技術の活用

(海洋政策ニーズとの連携)

- Q: 海洋政策ニーズからのコメントはあるか。
- A: 自然科学、工学的な話を興味深く聞くことが出来た。多少感じたことは、この海洋生物多様性の把握に関する科学的ニーズと先端計測技術シーズに加え、生物多様性把握に関する政策ニーズがあると思う。特に最近、国際的には1990年代最後に国連海洋法が発効され、リオの地球サミットでアジェンダ21が採択、その17章で海洋についてのいろいろなプログラムができた。また、それを受けた形で、我が国でも2007年に海洋基本法が出来た。その中で海洋の問題は今までと異なり、総合的に取り組むべきとの意見が多く出されている。海洋は自由という風土が長く定着してきていたが、国際的にも海洋は総合的に管理すべきという方向へ進んでいる。これは、やはり環境問題や資源の

乱獲など、様々な問題が起こってきたことが一つの理由である。もう一つは、各国に沿岸域 200 海里までの管理を委ねたため、各国が自国の海を管理し、しかも国際的に協調すべき動きが出てきたことである。そのとき、海をどう管理すべきか、海のことをほとんど知らないことから、やはり科学的な調査による知見を蓄積し、その活用によって管理する流れとなっている。マリン・スペーシャル・プランニング(Marine spatial planning: 海洋空間計画)という考え方も 200 海里について、またはラージ・バリア・エコシステムというのは広大な海域を管理するために、まず情報・データを集め、分析することで保護や活用の政策に繋げようとしている。

- Q: 優先度をつけるということか。
- A: 優先度をつける仕組みである。沿岸域の問題についてはきめ細かく実施する必要がある。これは生態系サービスの利用が重なり、また、陸域からの汚染もあるため。その中で魚はたくましく生きているが、どのように移動しているのかわからない。沿岸域では例えばスズキにその小さな電子ロガーをつけて移動を把握することで、その繁殖のために重要な時期、場所を保全するなど、きめ細かな管理のために、バイオロギングのような計測技術がものすごく必要。ただし、まだ最近始まった研究であり、政策ニーズと、実際の科学技術の研究開発が連携できていない。海洋基本法では、例えば12の基本的な施策の中で海洋調査の推進を書いているが、その中で調査に必要な施設、設備、解析技術等の革新、人工衛星等の活用を推進することが書かれている。これは2008年につくられ、近く見直しであるため、本日の提言をそのような中に入れ込んでいくとよい。
- Q: 海洋政策学会としての意見を政策に反映することが近道か。
- A: 海洋基本法をつくった政治家と有識者の会があり、そこと議論して国会議員などを通じて政策に反映させていくことが一つ。それから、最近、海洋政策学会が発足しており、まだ動き出したばかりだが、そのような場の活用によって将来的に大きな流れになると期待している。

(科学技術の活用)

- Q: 技術も大事だが、サイエンスをしっかりと進めることが大事との意見があった。
- A: もともと海は、まずデータ、情報がない。よって、海洋管理の在り方についても、海洋基本法の基本理念で科学的知見の充実が掲げられている。サイエンスがあって初めてそれに基づいた政策が考えられるということ。マリン・スペーシャル・プランニングという考え方があるが、大きな海域を管理するため、まずは情報データを集めて海がどうなっているのかというのを把握して、それに基づいて政策を決定していくことが必要。
- Q: そのためには海洋政策を科学的に実行するヘッドクオーターが必要ではないか。
- A: 日本では、2007年の基本法で内閣に総合海洋政策本部がつくられた。ただ、本部長は総理大臣で、その熱心さに依存する。合わせて海洋政策担当大臣をつくったが、これもその熱心さに依存してしまう傾向。
- Q: 国交大臣が兼ねていると聞いたが。
- A: 兼ねる仕組みにはなっていないが、当時から通念的に国交大臣が海洋政策担当大臣に 就いている。

(科学を海洋政策に活かす仕組み)

- Q: 様々な科学技術を政策に生かす仕組みに関して、どうお考えか。
- A: そういう意味では、沖合も大切であるが、沿岸域は最も人間が関わっている場所である。
- Q: 海洋は、まず生態系サービスの持続のために政策を議論すべきとの考え方が強い。
- A: その意味では、沿岸域を管理することが国際的な共通の関心事項となっている。では、生物的プロセスや人間と生物の関わり方を含め、我々は沿岸域のことをどれだけ知っているかを考えると、意外にまだよくわかっていないところがある。それを、日本も、また国際的にもしっかり調査をしようとしている。今日の話にも象徴されるように、いきなり太平洋や北大西洋など、外洋のスケールで実行することは無理にしても、場所を限れば、示されたシーズ技術を使っていけるところはある。よって、我々が沿岸域等でやるべきことは何なのかをより明確にした上で、今使える技術と、それを使うことによって何ができるのか、手段と目的をしっかり合致をさせることがやはりこれから必要になってくると思う。
- C: 深海域を考えれば、例えば水圧や、岸から離れることによる不便さなどの課題があるが、沿岸域は海が浅い分だけ制約条件が緩い。よって、既存の技術やデバイスなども、工夫するだけで応用、展開が可能となる。まず沿岸域から新しい先端的な計測技術をどんどん応用していき、科学的ニーズや政策的ニーズを十分満たしていくことがいいのではないかと考える。邂逅ワークショップを設定する場合、出会の場所、土俵として、沿岸域を設定することは理にかなっていると思う。

【3】ファンディングのあり方

(ファンディングの課題)

- Q: この分野では、データを待っているインドアサイエンスとモデリングの研究人材が ほとんどで、フィールドで調査研究する研究者は全体の1割とのことだった。実際、 モデル研究ばかりが行われているのか。
- A: この傾向は世界共通。その理由は評価システムにある。船に乗って実測する研究プロポーザルを書き、運よく許可されても、1年~3年後にようやくシップタイムが回ってくる現状。その後、調査観測をするが、途中で研究費は途切れ、自分のポケットマネーで継続することになる。サンプルを採取して持ち帰れば、さらにデータ解析に1年が掛かり、論文発表には3年間のタイムラグがある。これでは評価はされない。学生も賢くて、すぐに研究成果が見える分野へ行ってしまう。もう一つは、国からの政策として、市町村レベルまで落として議論することが必要。沿岸海洋では、漁業権が強すぎ、狭い富山湾であっても、新潟県、富山県、石川県の介在によって、フィールド研究は困難。これらのシステム整備が必要。
- Q: やはりヘッドクオーターをしっかり据え、様々なコミュニティを超えて指令できる 仕組みが必要ということか。
- A: 内閣府に本部ができ、事務局も置かれ、議論できる体制はできたものの、まだ十分に 機能していない。
- Q: このような場に各方面の政策関係者に集まってもらい、議論する仕組みが必要ではないか。
- A: 必要と思う。

- C: このような国家予算による研究開発を、私は公共事業と呼んでいるが、日本における 公共事業は土建屋さんの箱もの、港を中心に大概筋が悪い。これに対して、カナダでは、 サケのモニタリング事業を年間 50 億円かけて数十年続けている。日本でも、計測やモ ニタリング事業も公共事業化しないといけないのではないか。
- C: 政策ニーズの話は難しいと感じている。海洋生態系に関しては主として環境省が取り組んでいる。環境省自体が審議会等を持って主体的に政策を練っており、文部科学省との関係は遠くなっている。もう少し政策立案者との接点の場があってもいいと感じた。また、文部科学省も課題解決型で政策ニーズに基づいたファンディング・プログラムを実施しているが、文部科学省などが現場を知らないため、政策ニーズに沿っても、適用される現場ニーズと異なり、結局適用されない場合が多い。また、ファンディング後のフォローがないという指摘とも繋がるが、結局社会で使われているかの問題は、民間企業など実際に成果を使うところ、研究開発する方々、そして政策サイドによる繋ぐ仕組みの検討不足も反省する必要がある。

(ファンディングの継続性)

Q: ファンディングのあり方について何か意見があるか。

A: 海洋関係では 1985 年に研究開発を始め、90 年代は非常に盛んだった。ジェイゴフス(JGOFS)、ステーションノット(Staion KNOT)、琵琶湖での生態学研究センターが中心となった 10 年プロジェクト(バクテリアからブラックバスまであらゆる生物のエコロジカル・ストイキオメトリーを実施)、それから環境省のプロジェクトもフェリーを使って観測を開始した。ところが 2000 年に入り、ほぼすべてのプロジェクトが止まった。10 年間の継続的支出によって研究は終わったとの理由である。今残っているプロジェクトは、二酸化炭素のフェリー観測と富士山観測ぐらい。この状況から言えることは、モニタリングは行政になじまない仕組みだということ。モニタリングは継続的に実施しないといけないが、行政には目的があり、お金を払って目的を達成することが原則。したがって、計測やモニタリングを長く続けるためには、エージェンシー、例えば、エンバイロメンタル・プロテクション・エージェンシーが必要だと感じている。そこで科学的なデータを蓄積すべき。GEOSS プロジェクトは 2000 年の打ち切りにともない、人材不足が顕著になってきている。大学で続けられるわけがなく、民間企業で新たな技術を開発してきた仲間も定年を迎えている。今回新たなプロジェクトを実行するのであれば、その問題点を考慮して欲しい。

(まとめ)

C: 新たな技術が開発され、海洋生物多様性研究に活用されていくことを期待しているわけだが、本日のワークショップでは、結構多くの可能性があるという印象を受けた。特に若手研究者が新しい技術開発に興味を持っているため、今後もお見合いの場を広げ、シーズとニーズを組合せていくことで海洋研究も進んでいくように思う。このような企画の実施に感謝している。

5. 2. 有識者インタビュー調査

【概要】

叩き台となる素案を出すため、もしくは、本調査の意義を確認するために実施。各科学分野の有識者へ個別に訪問インタビューを実施し、研究内容と今後の課題等について意見を伺った。

- 調査期間:2011年7月~11月
- 対象:各分野の有識者
- ・ 調査方法:現状の研究内容、課題を広く意見収集

【個別のインタビュー内容】

(目次)

①石丸 隆	(東京海洋大学海洋科学部海洋環境学科・教授)	74
②竹山 春子	(早稲田大学理工学術院・教授)	74
③小池 勲夫	(琉球大学・監事)	75
4浦 環	(東京大学生産技術研究所海中工学国際研究センター・センター長/教授)	78
⑤和田 時夫	((独)水産総合研究センター中央水産研究所・所長)	78
⑥才野 敏郎	((独)海洋研究開発機構・プログラムディレクター)	81
⑦宗林 由樹	(京都大学大学院理学研究科化学専攻・教授)	84
⑧宮下 和士	(北海道大学北方生物圏フィールド科学センター・教授)	85
⑨寺島 紘士	(海洋政策研究財団・常務理事)	87
⑩張 勁	(富山大学大学院理工学研究部・教授)	92
⑪菊地 淳	((独)理化学研究所植物科学研究センター・チームリーダー)	93

①石丸 隆 (東京海洋大学海洋科学部海洋環境学科・教授)

(栄養塩と溶融酸素量のバランスをアダプティブに制御)

・ 東京湾の栄養塩と溶融酸素量が生態系に及ぼす影響について調査・分析を行っている。栄養塩が多いと赤潮の原因になり生物多様性を損なうが少なすぎると魚が減少する。測定データを下水処理場にフィードバックすることにより、適切な濃度にアダプティブに制御することを提案している。

(自動昇降ブイを開発)

・ 広い海域のモニタリングのために、CREST/SORST の予算で自動昇降ブイを開発、 表層から水深 100m の範囲でセンサを搭載したブロックを昇降させ収集したデータを衛星に送っている。現在は1台しかなく、観測船に乗せて移動しているが、 将来はあちこちにモニタリングポストを置くことを検討している。

(プランクトンの採集と形態分離、基礎生産量のモニタリング)

- ・ 生物種の特定は観察しかない。プランクトンの採集には 1920 年代に開発された機械式の CPR が使われてきたが、現在では VPR を船から降ろして撮影し記録し、 画像処理で形態分離を行っている。
- ・ 植物プランクトンの基礎生産量のモニタリングのために、短時間でモニタできる高速フラッシュ励起蛍光光度計を開発した。日本の技術で小型化され、親潮のデータロギングに使われた。

(海洋の物理量計測、サンプリング)

- ・ 物理量に関しては国際的なコンソーシアムが形成され、リアルタイムで情報が入手できるインフラが整備されている。海洋の物理量として CTD (電気伝導、温度、水深)の測定が行われている。電気伝導度は塩分の測定の尺度になる。モニタリングのメッシュは 100km くらい。緯度線に沿ってデータが測定され、WOCE によって公表されている。ARGO 計画では世界の海域にモニタリング装置を 3000 個ばらまいて、1500m くらいの水深から上の深さ方向のプロファイルを採っている。
- ・ 生物多様性モニタリングのためのサンプリングに関しては、200 m~ 1000m の海域の生物の採種をいかに行うかが問題。計測に関しては化学量自動分析法の開発やフロー計測技術が必要である。

(バイオロギング)

- ・ バイオロギングについては、石丸教授と内藤氏がカメにカメラを取り付けたのが最初である。その後、技術が進んで、超小型カメラと加速度センサやメモリを搭載して探査するのが世界の潮流になった。このほか、海中ロボット(ROV)を操縦して観察したりしている。
- ・ 化学分析や画像解析などの技術は、民生や軍事で転用可能な物も多く、国のプロジェクトでは、工学などの異分野や民間企業の参画、予算の継続的措置の必要性などについて強調された。

②竹山 春子 (早稲田大学理工学術院・教授)

(生命系計測のマーケット)

- ・ 生命系の計測装置は、医療用などマーケットの大きなところには企業も参入するが、 生態系モニタリング用途などは、多品種少量なのでビジネス化が難しい。大きな国 費を投じて開発しても、プロジェクト終了と共にあとが続かない。研究用途として 利用頻度がとても高いのであれば商業化の可能性も考えられる。
- ・ 米国ではすでに観測ブイに DNA チップ等を搭載した生物観測システムなどの開発

は進んでいるが、産業ベースではない。海洋研究は軍事的色彩もあるのかもしれないので研究開発は必ずしも日本とは異なるのかもしれない。

(メタゲノム手法を導入)

- ・ 海洋微生物の99.9%は培養できない。メタゲノム解析によってゲノム情報を解読し、 環境の状況を知ることが可能であり、さらにはそれらの遺伝子情報を産業利用することも考えられる。しかしながら、現在のメタゲノム解析のやり方には、生物 種と遺伝子の関連が見えにくいという問題点があり、新しいアプローチ方法が必 要である。例えば、生命現象解析で国内外を通じて技術開発が進んでいるシング ルセル解析を念頭に置いた解析と新規デバイス開発とその活用は、生態系におけ る微生物の役割等での新しい発見をもたらすであろう。
- ・ 日本の海洋研究では深海研究やそこからの資源開発に多くの研究費が投入されてきたが、日本には、広大な浅海域もあり、種多様な環境が存在する。これら広範囲な領域での計測技術が期待される。

(サンゴ礁生態系は環境変化の影響のモデル系)

- ・ 生物多様性把握研究の現場としてサンゴ礁生態系が注目されている。例えば、沖縄では、サンゴの状態が健康なものから、白化、死滅してしまっているものまで、同じ時間軸のなかで存在している。環境変動と生物とのかかわりを紐解くには長い研究期間が必要であるが、少なくともそれらを短縮させることができる。サンゴ礁での生物多様性の高さは広く認知されてことからも、多様性というものを新しい物差しで評価するには非常に良い対象である。
- ・ サンゴに共在している微生物として、微細藻類が有名であるが、バクテリアも多くの種類が見られる。それらは、ホストであるサンゴの健康状態も反映している。また、健全なサンゴ礁生態系からは窒素固定微生物や多様な生物種が見いだされる。このようなことから、サンゴ自身や取り巻く環境の微生物変動を解析することで、環境変動を評価・予測する手法論が見いだせると考えられる。そして、その環境に特徴的な指標種や遺伝子を見出すことも重要である。

(生物多様性計測におけるニーズ・シーズの邂逅に向けて)

- ・ 欧米の科学技術における国家戦略では、計測システムを中心にして、そこから様々な科学分野に波及させる構造が出来ている。わが国の最近のバイオ系の研究プロジェクトを見ると特定分野の一部に計測手法開発が組み込まれているのが現状である。新しい技術開発は外国にリードされており、日本の科学技術レベルの向上が見込めない。次世代シークエンサーが良い例である。
- ・ 海洋という特殊環境における新しい技術開発には、そのアウトプットの設定が重要である。研究者の個人の興味を具現化するための技術開発ではなく、グローバルなリーディング技術になる、チャレンジングな課題であれば異分野からの技術の流入が起こると考えられる。海洋多様性評価技術としていくつか柱を立てて、問題点を明確化したうえで、公開のワークショップを企画することも必要である。社会情勢をしっかりと捉えて話ができる有識者の参画と、経済的な見地からの意見交換も重要。

③小池 勲夫 (琉球大学・監事)

(現在海洋生物計測はセンサが律速)

・ 物理情報、たとえば、温度、塩分、流れ(ADCP⁵)は現場で測定できている。溶 存酸素濃度、pH は OK だが、外洋表層の栄養塩は感度がないのでセンサでは無理。 無機炭酸は表面では計れるが、水中ではまだ測定精度が低い。海水を採って船上実 験室で比色やクーロンメトリを用いて測定すれば充分な精度で測定は可能。有機 窒素は実験室で熱分解しN。ガスにして測定する。

- ・ 実際には海水を採水するために研究船を出さねばならない。大型研究船では30名もの人が乗っていき、分析項目としては40-50項目も船上で測定する。船上にはクリーンルームもあるので、海水さえ採れればかなりのことが可能。深さ方向は、大洋底の5000m位まで測定する。
- ・ 生物パラメータをリアルタイムで in-situ で計測というのはむずかしい。また、時系列で変化を捉えるのもむずかしい。海水成分の nmol オーダの濃度の測定は、濃度が時空間で変動しており、ばらつきが大きいので信頼性のあるデータがなかなかとれない。主要栄養塩等では三次元的な分布マップが得られどのように濃度分布していることがわかってきている。
- ・ 最近の分析技術では栄養塩などは1試料1分-2分で同時に5項目の分析もできる。 一方、放射性物質の計測には1トンの水から濾過して抽出して測る場合もある。 ポンプ揚水、吸着材による現場濾過がのぞましい。

(生物多様性を見るのは困難)

・ 生物多様性を見るのはむずかしい。1つの種でも、卵、幼生、親のさまざまな段階があって、特定するのもむずかしい。窒素固定している光合成生物は $1-2\mu$ m と小さく単細胞。細菌などは採水し予め染色し蛍光顕微鏡で見る。 100μ m くらいまでの動物プランクトンのような小さな生物はプランクトンネットで捕る。魚探(超音波魚群探知機)でも動物プランクトンの塊は写るが種を特定できない。それで、AUVやROVで写真を撮る。水中で撮影出来るビデオプランクトンレコーダ(VPR)も実用化。魚(cm サイズ以上)は網で実物を捕まえる。鯨は目視が一般的。魚類は魚探を使う。魚群は見つかるが、それが何かは網をいれないと良くはわからない。また、カメラを魚に抱かせて仲間の写真を撮ることも行われるが回収が問題。

(生物多様性の定義はむずかしい。生態系サービスというとらえ方が重要)

- ・ 生物多様性のとらえ方は、研究者によってかなり異なる。生態系には多様な機能がある。ある機能を持っているものが何種類か同じ食物段階にいることも多様性だ。
- ・ 生態系において比較的少ない生物量でありながらも、生態系へ大きな影響を与える生物種をキーストーン・スピーシーズという。オオカミがいなくなるとシカもいなくなるという例がある。ただ、低次の生物は、環境に合わせて、次々と似たようなものが現れてくる。環境が変わっても適応が速く似たような機能のものが用意されていて、環境変化に応じて入れ替われる。だから、「生物多様性」の定義はむずかしい。単に「進化の過程」を見ているに過ぎないという人もいる。
- ・ 生態系サービスという言葉がある。生物・生態系に由来し、人類の利益になる機能のこと。機能は生態系自身が持っているものだが、サービスは、人間の目で見て重要かどうかということだ。

(表層・中層・深層での酸素分布も重要)

・ 表層は光合成ができるところ、中層は 200-1000m の深さで表層の影響を受けている ところ、深層は 1000m 以深。底層は堆積物の世界。沿岸では水深が浅いので、全 層が底質の影響を受けている。サンゴの幼生は表層などの水中を漂って分布を広 げ、海底に定着している。多くの底生生物は溶存酸素に敏感。環境基準では特に

⁵ Acoustic Doppler Current Profiler (流速プロファイラー) 水中に超音波を発信して、ドップラー変調を受けた反射音の周波数を解析することにより、河道断面内の 3 次元の流速分布を測定する装置

沿岸の底層酸素は規定していないが、底層の酸素がなくなると底生生物が死ぬ。一方、太平洋などの外洋域では中層の水深 1000m 位で酸素がミニマム。これは大西洋の北で表層水が沈んで表層の酸素は底層に行き、海洋大循環が起きることに由来。太平洋赤道域の南北で 200-1000m は殆ど無酸素域がある。原因は湧昇による有機物の生産・消費が大きいことと、表層水塊の鉛直混合が乏しく、溶存酸素が中層に行きにくいことによる。

(栄養分と多様性の関係)

- ・ 過栄養になると生物相は単純になる。赤潮では、構成する生物種は限られる。有機物が多いと貧酸素になり、硫酸が還元され硫化水素が出来る。これが表層に来たのが青潮。
- ・ 表層の植物プランクトンは年中生産が高いわけでは無い。栄養塩枯渇で夏場の生物生産は栄養塩律速になっている。植物プランクトンは栄養塩を取り込んで、それを捕食した動物プランクトンがアンモニアやリンを出す。例えば亜熱帯域では栄養塩の95%くらいはグルグル回っていて、5%くらいしか深層に行っていない。表層での有機物が深層に落ちると、有機物を構成する炭素が深層に隔離される。生態系の機能の1つの側面と言える。これをプラットフォームで検出したい。

(プラットフォームの課題)

- ・ AUV や ROV がある。ROV は紐付きで母船から操縦するが、汎用的で使い勝手はよい。200 ~ 1000m で ROV を利用するときに、それに使えるセンサ類が欲しい。この領域は、生き物的には重要だが、まだブラックボックスである。どういう機能をもった生物がどれくらいいるかの情報が欲しい。
- ブイについては、電源をどれだけ小さく、どれだけ長持ちするか。耐圧容器に分析機器を入れて沈めたい。できれば、DNAシーケンサーも入れたい。

(海洋観測の中心は米国)

- ・ 米国では海軍の力が大きい。3段階のプログラムがあって、3段階目で基礎研究も行われている。日本では、昔は、船を持っている農水(水産庁)・気象庁・海上保安庁という現業官庁が中心だったが、いまでは、大学が船を持つようになったので研究では大学が中心になっている。
- 日本のJAMSTECはもともと深海が専門。ここ10年くらい、表層もやるようになってきたが、中層は水産庁もやるので、どちらかと言うと海底下と底生の生き物が中心。
- ・ 海洋基本法が 2007 年に出来て、海洋調査は内閣府が集約している。従来は、国交省 (海上交通、気象など)と水産庁(漁業)で分担していた。海底鉱物等の海洋資源、地球温暖化などが入ってきたことが海洋基本法設定の背景。日本は世界第 6 の経済水域をもつが、モニタリングをきちんとやって、管理の実績を示さないと、外に対して実効的に権益を主張できない。現在では、限られた船で出ていってスポットデータを採っているだけなので、どうなるのですかと聞かれても答えられない。

(CREST のミッション)

- ・ 「進化学」や「分類学」などを目的とする研究ではなく、「生態系サービス」に関わるような研究を推進すべきだ。これは「量」×「ファンクション」。それをはっきりさせる計測をしたい。
- ・ あまり手つかずの海域において利用出来る、計測プラットフォーム+センサの技 術開発が必要。

(企業を巻き込むには)

・ これは日本しかできないという装置が出てくると売れると思う。計測器とはかり 方をワンセットにすべき。先が見えないと大きな会社が乗ってこない。

④浦 環 (東京大学生産技術研究所海中工学国際研究センター・センター長/教授)

(水中ロボット)

- ・ 日本海、富山沖の海底 1000 m において、水中ロボット Tuna-Sand を使って、 $40\text{m} \times 20\text{m}$ の詳細な地形写真図を作った。この写真により、越前ガニ 3500 匹がつくるコロニーの詳細が分かった。
- ・ また、熱水鉱床の周辺の生物相を、自律型海中ロボット(AUV)や有索海中ロボット(ROV)、有人潜航艇の連携により、詳細かつ全体構成が分かりつつある。例えば、インド洋では、スケーリーフット(体表に硫化鉄でできた黒い鱗を持つ貝)のうち白い品種が発見された。さらに、そうした生物相だけではなくコバルトリッチクラスト(水深 1000m 以下の海山表面を覆う、コバルトを特徴的に含む皮殻のようなもの)の厚さ分布を、超音波診断の技術を使って測定している。

(詳細な全体像は部分を際立たせる)

・ 面的で広域の詳細調査には、自動操縦で海底からの高さを一定に保ちながら、同 じ倍率で写真をメッシュ状に撮っていくAUVの能力が発揮される。生物研究者 の多くは森を見ないで木ばかり見ている。森を見せて木も見せたい。「詳細な全体 像は部分を際立たせる」。

(プラットフォームの分類と役割について)

・ 森を見るためのもの、木を見るためのもの、と海中プラットフォームにはそれぞれの役割がある。すべての用途に AUV を利用するわけではなく、当たりをつけておいて ROV で遠隔操作しながら、海底の石をひっくり返して下の生物をみることなども必要。また、必要に応じて有人機 (HOV) を投入することも必要。

(生物多様性の研究の進め方)

・ 研究資金も少ないことから、現場の研究者のほとんどが、従来の博物学的な現場 採取、分析にとどまり、最新技術の活用は困難。ツール、観測パフォーマンス、観 測センサからなる観測プラットフォームは充実しつつあるので、是非、現場の研 究者との連携を進めていきたい。また、ファンディング・エージェンシーは、利 用者グループばかりを見て進めるのではなく、技術者グループと三位一体となっ た研究開発戦略を考えるべき。

(信号伝達に音波は使われていないのか)

・ 超音波通信で、10kHz の超音波を使って 9,600bit/s 程度なら実現されている。画質は劣るがテレビ電話画像程度は送れている。位置制御信号は 100bit/s 程度で、誤り補正しながら送っている。テレビで、目星を付け、細かに、写真を撮るなど、観測パフォーマンスもどんどん向上している。こういう海底写真が増えてくると、「グーグルシーフロアー」のように、全休的な海底の写真地図を作る事が将来可能となる。

⑤和田 時夫 ((独)水産総合研究センター中央水産研究所・所長)

(水産の立場から見た生物多様性)

- ・ 生物多様性には3つある。1つは海域中の「生態系の多様性」、2つ目は「種の多様性」、3つ目は「種内の遺伝的多様性」である。
- ・ 東北海域を例にとると、岩手県沿岸の岩場の磯の生物群と沖合の親潮の影響を受けた生物群、さらには宮城県から福島県にかけての砂浜海岸の生物群では、海洋の物理・化学的プロセスの影響が異なる。このように、ある海域の生態系において、性格を異にする複数のサブセットがあることにより、多様性が維持され、生物群

のサービスの維持が維持される。「種の中の多様性」というのは、一つの生態系やそのサブセットにおける生物種の数の問題。一般的には、種の数が多い方がシステムは安定すると言われている。同じ種でも、環境変動に対応して生態を変化させうるというのが遺伝的多様性。たとえば産卵の場所や時期が決まっている魚でも、遺伝的に多様性があれば、環境の変化に応じて多少時期や場所をずらして適応可能である。この遺伝的な許容範囲を超えると種が断たれる。こういう遺伝的な多様性の維持が大事であることを意識する必要がある。

(網でとれない生物は「メタゲノム」で)

- ・ 水産学の分野では、様々なタイプの網で海を浚って捕れる生物を対象とするが、網の目から抜けるもの、直接目で見えないものをどういう形で「見える化」するか、いかに定量的に調べるかが大きな課題である。
- ・ どうしても見えないもの・培養できないものをとらえる方法として、これらを込みにしてその遺伝学的情報 (DNA の配列) を網羅的に調べる方法があり、メタゲノム解析と呼ばれている。
- ・ メタゲノム解析で得られた情報と目で見える有用生物の数量変動との関係を、外 部環境に対する応答として見ていく。メタゲノム情報の変化と有用生物の変化に はタイムラグがあるので、メタゲノム情報を見ることは、環境変化に対する有用 生物の変動の予測に(予兆として)使える。

(フィールドにおいて迅速にメタゲノムが把握できれば予測が出来る)

・ 水産産業に直結したメタゲノムの応用例として、養殖業や天然の水産生物にも害を及ぼす「赤潮」の早期発生予測手法の開発がある。これまでの解析では、発生後に原因やプロセスを後付けで説明することはできても、事前に発生を予測することが困難であった。赤潮の発生前に、あるいは赤潮が低レベルに留まっているうちに、海域の細菌やウイルスレベルでの変化をとらえることができれば、赤潮が本格化するまでのタイムラグを使って対策を講じる猶予ができる。野外において迅速かつ簡便にメタゲノム情報をが把握する手法が確立できれば、より効率的な赤潮対策が可能になるはず。

(コンパクトで迅速なメタゲノムデバイスに期待)

- ・ ブイや調査船、あるいは CPR (連続プランクトン採集器) にメタゲノムの解析装置を搭載して、得られた結果を DNA のライブラリと比較すればよい。これまで現場での種の同定には DNA チップが使われてきたが、将来はコンピュータを利用した仮想デジタル DNA チップでの解析が考えられる。装置を搭載するのは、調査船に限らず、係留ブイでもフローティングブイでもよい。コンパクトで迅速な分析が可能なデバイスができないかと期待。
- ・ このような装置は他の海域から侵入してくる病原菌をモニタリングするなど、国の安全保障や国民の健康確保の問題にも繋がる。これらを実現するためには、探査装置をたくさん低コストでつくり、分散してモニタリングするようなセンサ・ネットワーク・システムを構築することが必要。要素技術はすでにある。
- 要素技術をきちっと評価した上で、トータル・システムとして組み上げることが 課題。海の中では水圧が高く、海水を取り入れてサンプルを測るので完全密閉が 難しい。値段も格段に高くなる。
- ・ メタゲノムの解析装置の開発には民間の力が必要。ヒトゲノムは創薬につながって大きな市場が拓けた。そういう意味で、海洋メタゲノムも様々な方向への発展が期待でき、企業の関心が高い分野であると認識している。

(大きな生物は音響で把握)

・ 魚の定量評価は大切だがむずかしい。トロール網等で濾し取ってくる手法は効率 的であるが、動いているものはなかなか捉えられない。また、採ってしまったら 死んだ魚となる。生きている状態で見たい。注目されている技術が音波を使った技術である。まず、音響カメラがある。腹部診断に使う超音波エコー装置と同じ原理だが、分解能を上げるために周波数を上げると、海中での音波の吸収が大きくて数十メートル程度しか視界がない。これと可視のビデオカメラと組み合わせて観測している例がある。

・ もっと自由に行動をとらえるため、アクティブでなくパッシブな装置が考案されている。魚は固有の音で鳴いたり音を出すので、これを海域に固定したり船舶に搭載したハイドロホンで立体的(ステレオ)に捉える。専門の調査船だけでなく、わが国周辺を航行する商船や漁船にも取り付けて、得られた情報をリアルタイムで陸上の基地に送信し、そこで解析を行えば、わが国周辺の魚類資源の状態をリアルタイムで把握することも夢ではない。鳴音を用いた方法は揚子江のカワイルカの生態観察の国際共同研究に使われ、イルカの数の推定と保護対策プランが立てられた。この手法の開発は水産総合研究センター水産工学研究所が行っている。

(開発の課題)

・ 要素技術はあるが、それをシステムに組み上げて、大量に低コストで作ってくれる会社がない。魚群探知機にしても、単一周波数ではだめ。魚種の違いをとらえるためには広帯域の音波が出せるトランスデューサを備えた装置が必要。要素技術は開発され、プロトタイプも出来ているが、合理的なコストで実用に耐えうる装置を作り、どれだけの船舶に装着できるかが問題。商船や漁船で使うとすれば、耐久性や使い勝手の良さも必要。

(標準化とセットで「海洋産業」を育成すべき)

- ・ 装置を作るだけではなく、国内だけでなく国際的な情報を持っているところが強い。 装置開発と情報整備・利用の両面で日本発の国際標準を作ることが大切。やはり 米国、EU が進んでいる。日本は IT 産業が発達しており、この分野への情報通信 事業者の参入が鍵だと思う。私の知る限りでは、NTT、富士通、三菱総研⁶、日立 情報ソリューションズなどの企業がこの分野に関心を持っている。宇宙航空研究 開発機構 (JAXA) や産業技術総合研究所 (AIST) も取組んでいる。また、統計 数理研究所と国立遺伝学研究所(共に情報・システム研究機構)が協力した活動 もある。科学者の物差しだけではなく、企業の視点も入れて「海洋産業」や「海 洋情報産業」を育てていかねばならない。
- ・ 東大では浦先生をヘッドとする海洋アライアンスを立ち上げた。横国大では国際 法が専門の来生副学長を中心に文理融合型の統合的海洋教育・研究センターを立 ち上げている。こうした動きも、日本発の標準作りや、海洋産業、海洋情報産業 の育成の支援に繋がるものと期待している。水産総合研究センターもこうした機 関と連携協定を結んでおり、水産面からの取組みを進めて行きたい。

(大量データの処理が重要)

・ ゲノム情報をはじめ、海洋生物に関する大量かつ多様なデータを掘り起こして様々な物理量とマッチングさせるデータ処理技術が必要。そしてフィールドデータをライブラリとして構築・整理していく必要がある。同じ魚でも、太り具合や大きさにより、海域、季節で反射音が異なるので、例えば広帯域の周波数を用いた魚群探知機に春用のチップを組み込めば、春のライブラリで魚種判別をするということも可能であろう。そして、リモートセンシングによる水温分布、別に調査した魚の分布などの様々なデータを、GIS(Geographic Information System)上で重ね合わせることで、予測を行い漁場探索の実用に供することができる。

⁻⁻⁻⁻⁻⁻⁶ 三菱総研では、例えば角田智彦主任研究員が詳細の調査を実施。

(海洋空間の利用のために統合的なシステムを)

・ 海底鉱物資源の探索や開発は生物資源にも影響を与える。ユーザー間での海洋空間利用の棲み分けが必要。また平時の利用の現状を把握しておくと、災害のとき、どういう影響を受けるかが検討できる。しかし、現状では断片的なデータしかなく限られている。データを統合して1つの絵(マップ)にまとめ上げることができていない。海を管轄する組織も利用者も多岐にわたる。従来、海洋を利用する産業といえば、まず漁業であった。次いで海運(港・航路)。これに加えて、最近では、資源・エネルギーの利用が加わってきた。従来のユーザーと新ユーザーをどう調整するか?環境・生物への影響について一般国民も含めた価値判断が必要。合意形成のためのツールが必要。

(海洋空間計画の概念が必要)

・ 外国では、海洋の管理は一元的に行われている事例が多い。日本では海洋基本法ができ、内閣府に海洋政策を統括する事務局があるが、わが国の場合、まだまだ関係省庁の縦割りの感が否めない。外国では、「海洋空間計画(Marine Spatial Planning」という考え方があって、海洋における公共政策の基本的なツールとして使われ、一つの学問分野にもなっている。海洋利用は時代の変化とともにニーズに合わせて考えるべきもの。一つの考え方やツールだけで万能ということはない。

(海の財産目録を作る必要がある)

- ・ 日本は水産国なので、水産資源に関する限り、世界でもトップクラスのモニタリングをしている。水産資源については進んでいるが、鉱物資源などについてはこれからではないか。生物資源や鉱物資源を含めて、わが国の EEZ 内のどこにどような資源があるか、どのような状態か、しっかりした海の国勢調査が必要である。外国では、Marine Cadastre という考え方がある。これはいわば海の財産目録で、水産の面で言えば魚が棲息する場所の戸籍といったものである。
- ・ 深海探査は海洋研究開発機構(JAMSTEC)が 6500m までカバーしている。中層には、全体としては相当量の生物が分布するが、非常に密度が低いため、これまで十分にモニタリングされてこなかった。しかし、海洋の深層や中層は CO_2 、大気、熱循環などを通じて表層にも影響を与えている。今後は EEZ の中身を立体的(三次元的)に捉えないといけない。

(長期的なデータ収集が大切)

・ 海洋の利用には、様々な利害関係者が関わるので、その合意形成が重要だ。そのためにも、CoML⁷でも行われたようなデータ収集が大切。データ収集のための道具(ツール)の開発についても、データ収集とセットで考えることが大事。福島原発の事故で放射性物質が大量に海洋に流出したが、その海洋生態系への影響を時空間的にしっかりとモニタリングしていくことも、これからの日本にとって重要な課題である。

⑥才野 敏郎 ((独)海洋研究開発機構・プログラムディレクター)

(生物多様性を物質循環から考える)

・ 生物多様性の概念は研究者によって異なる。しかし、無理に定義付けする必要は

 $^{^7}$ センサス・オブ・マリンライフ 2000 \sim 2010 年に世界中の海洋生物学者によって行われた海の生物情報に関するデータ整備プログラム http://www.comlsecretariat.org/?id=213674

ない。私は生物多様性の本質は物質循環の堅牢さと考えている。そしてこの物質を生み出すのが生物である。よって生物多様性の評価は、双方向からのアプローチが必要。しかし、生物の機能、特に生態系の機能、を定量化するのは難しい。よって物質循環を軸に展開するのが現実的と考えている。

- ・ 通常の「生物」から積み上げる基礎からのアプローチでは、生態系が現場でどう 機能しているかはわからない。取り出せない。
- ・ 触るとばらばらになる生物が多い。例えば、オタマボヤでは、体の外に粘液質を 表皮から分泌して、ハウスと呼ばれる構造物をつくっているが、取り出すと壊れ てしまう。飼育は難しいし、環境中で移動するので捕らえられない。しかし、代 謝の結果は水中に残る。

(ARGO 計画の次は生物化学観測)

- ・ 2009 年に Ocean Obs '09 がベニスで開催された。この 10 年前の同会議で ARGO 計画が決まり、3000 個のブイを設置した。この目的は達成されたので、次の方向性として、物理観測と生物化学観測の融合が打ち出された。今後の計測技術のポイントは生物化学計測と物理計測の融合。海洋は物理的な変動が激しく、これによって多様性や物質循環は影響を受ける。よってダイナミクスを加味して計測を行わないと多様性の本質は見えない。
- ・ 海の水は、密度的に成層している。温度で密度の変動があり、振幅が激しい。光があたるか、あたらないかでも異なる。栄養塩があると生物は活発に活動する。 CTD(電気伝導、温度、深さ)は結構早く測れるが、生体計測は一般的にサンプリングが遅い。早く測れるのは「光」しかない。光の散乱を使ったり、波長を変えて吸収・蛍光を測ったりしてさまざまな情報が得られる。

(食物連鎖と物質循環の結びつき)

- ・ 海の中には小さな生き物がたくさんいる。普段は光合成して育って、それを周りの生き物が食って・・という形なので、物質収支的にはプラスマイナスゼロである。そこで働いている生態系をそのままで測りたい。光合成はどの生き物がやってもよい。生態系としての基礎生産がどうやって決められるのか、物理的要因は何かを見る。私が JST の CREST および SORST の支援を受けて作った、昇降ブイで海洋基礎生産の鉛直プロファイルを時系列的に観測したところ、基礎生産の増減と環境因子の間には何らかの対応が付くことがわかった。
- もし栄養塩が外からまたは深いところから光のあるところにくると、微生物、とくに珪藻が増える。すると珪藻を食べる生き物が付いてきて、それを食べる魚がくる。こういう営みを、物質をモニタすることでとらえることができる。

(遅れている日本のジェノミクス)

・ 米国ではすでに 2003 年~ 2004 年にヨットを仕立ててゲノムを測定することが行われていた。日本は、ジェノミクスは遅れている。米国では NSF が、ARGO やグライダに海水現場でのゲノムを含む生物情報を採取する方向に力を入れて進めている。2009 年にワークショップがあった。フロート、グライダにバイオセンサを積んでいろいろなことがわかる。2011 年の Ocean Science ミーティング (NSF)でセッションをやることになっている。モントレー湾水族館研究所、ワシントン大学 APL (Applied Physics Laboratory) が力を入れている。

(自動昇降ブイでの計測は結構難しい)

- ・ 自動昇降ブイで昇降させて計測するのは、結構むずかしい。深海は水圧が高いので、 圧力容器はよく締まる。これに対して、昇降ブイでは下の方では圧力がかかるが、 上に行くと圧力がかからない。圧力の違うところを行き来するので疲労する。
- ・ 自動昇降ブイには市販品の CTD のデータを昇降動作の制御に使うが、異常動作するようになったので自前の CTD 解析ソフトを開発した。このとき、海洋工学セン

ターの研究者に加わってもらってハードウェアから開発した。しかし、実海域で の運用テストが十分にできなくて、新しいシステムに改装するには至らなかった。

(同位対比で生態系の恒常性を見る)

・「生物多様性が保たれる」とは「物質循環が滞らない状態」であると考えている。 とくに、構成元素である炭素や窒素の同位体比に注目していて、生態系の中でい ろんなことが起きても、物質循環系がぐるぐる回って納まるところに納まってお れば、規則正しい同位体比の分布パターンになっているはずで、物質循環系のど こかが切れると、同位体比の分布パターンに異常があるということを考えている。 このためにはラボ的に分子レベルでのきっちりしたデータをとっておき、実際の 海洋生態系試料から得られるバルクのデータと比較すればよい。

(基礎生産を FRRF(高速フラッシュ励起蛍光光度計)で測定)

- ・ 生物には CO₂ を有機物に変えるプロセスがある。この「基礎生産」が物質循環の基礎だ。CREST では基礎生産を新しい方法でとらえようとし、FRRF(高速フラッシュ励起蛍光光度計)を開発した。速い繰り返しの光パルスを光合成の反応中心にぶっつけると、反応中心がだんだん還元状態なるとともに、蛍光が強くなっていくのが観察できる。この蛍光のシグナルを解析すると、海洋現場での基礎生産がリアルタイムで測定できる。伝統法と比較できるかを光合成でできる酸素だけをはかる方法を使って検証した。FRRF、もともと米国で開発され、英国で製造されていたが、装置が大きいので、日本の技術を使って小形のモノを作った。
- ・ 物質循環がうまくいっているかを見るために、モデルをたててそれを検証している研究者が多いが、モデルは所詮モデル。モデルでは新しいことは見つからない。 「観測」することが必要。

(要素技術はあるが、計測機器として開発してもらえない)

・ 携帯電話にはあんなに小さいところにすごい技術が詰め込まれている。しかし、たとえば FRRF センサを小さくしてフロートに詰めるようにしようとすると、企業は、数が出ないものに開発費はかけられないという。基板おこしに 6 千万もかかる。幸い CREST では特別に認めてもらえたので開発できたが・・・。このようにステップバイステップに金がかかる。要素技術があっても、それをくみ上げる仕組みや人材がないというのが現状。

(過去の採集資料のデータ化からわかる新事実)

- ・ 気象庁が過去の膨大なプランクトンの採集資料を持っているがデータ化されていなかった。水産庁のオダテコレクション⁸というプランクトン資料があった。これらのデータ起こしを行い、これらを総合して、数十年の長期変動から、これまでの常識と違うことがわかってきた。
- ・ たとえば、植物プランクトンと動物プランクトンのブルームの時期のずれだ。植物プランクトンが多いときと下から上がってくる動物プランクトンのブルームの時期が一致していれば問題はないが、何らかの理由で時期がずれて、動物プランクトンが上がって来たときに植物プランクトンがいなくなっているとその動物プランクトンは死ぬが、たまたま早く上がってきたものは生き残る。こうして、生態系は変動が起きても保たれる。何があっても、全体としてみんながくたばることのないような仕掛けを持っている。このモデルは、「生物多様性」を考える上で重要だ。

⁸ 水産庁及び自治体の有用漁業資源の漁場調査及び海洋環境調査の一環として 1951 年より行われてきた動物プランクトン採集調査試料 (ホルマリン液浸標本群)・丸特ネットおよび北太平洋標準ネット (口径 45cm、円錐形、目合い 0.33mm) による 150 m -0 m深の鉛直 曳網・東北水研が現在保管している液浸標本数: 22,000 本

⑦宗林 由樹 (京都大学大学院理学研究科化学専攻・教授)

(概要)

今後必要な研究は、海洋生物(多様性・生態系)の状態や変動にとって重要因子の一つである"微量金属元素"の分布や変動、生物への影響を把握することである。そのためには以下の3点を実施することが必要である。

- 1. "現在"の海洋における微量元素の分布(濃度、存在比率、同位体比)を測定・把握すること。そのためにはまず、特徴的な海域(外洋と比較して微量元素の濃度が高い海域: e.g. 日本海、北極海、ベーリング海等)から着手することが効果的である。
- 2. 上記のデータを積み上げていくなかで、それらの時間変動を解析・把握すること。 一方で、"過去"から現在までの元素分布の変化を把握するためには、海底の堆積 物を分析すること。そのためには、元素濃度比や同位体比変動を用いた解析が有 効である。
- 3. 国際的な研究の枠組みである "GEOTRACE" のような取り組みを推進することが 重要である。

(微量元素の移動)

・ 微量元素は、陸地から川を経て、または大気中(雨)を経て、海へと流れ出ている。 近年はその際の人間活動の影響が大きいと考えられている。近海では必然的に微量元素濃度が外洋に比してかなり高くなっている。微量元素を取り込むのは植物プランクトンやバクテリアであり、それを捕食するより大型の生物へと微量元素は移行していく。プランクトンやバクテリアに取りこまれなかった微量元素は、化合物(酸化物や水酸化物)の状態で、海底へと沈降していく。その後最終的には海底に堆積することになる。海底に堆積した微量元素を含む物質は、長い時間をかけてプレートテクトニクスによって海底地殻とともに移動し、そしてさらに長時間を経て、ある場合によっては地殻変動や火山活動を経て再び地上や海中に出てくる。

(鉄理論との関連)

- ・ 1980 年代から注目された「鉄理論 ¹⁰」がある。鉄を人工的に海洋に散布することによって、植物プランクトンを増加させることができるという理論である。しかし人工的な鉄の散布によって、プランクトンが増える海域と、増えにくい海域とがあることがわかってきた。これは海域によって元素のバランスが異なることやその他の原因が考えられ、元素のバランスが変わるとプランクトンの生態や種組成も変わり、鉄散布の結果に影響を与えていると考えられる。地球には元々2価と3価の鉄があったが、酸素が増えたことによって、多くの鉄が酸化され、海水から除かれてしまった。今では海洋の鉄を始めとする多くの微量元素の濃度は極めて低い濃度で存在している。また、近海、外洋とではやはり鉄の濃度にかなりの差がある。近年は海洋の環境および生物多様性の保全の観点から、新たに鉄を海洋に散布することはなかなか難しい状況になっているという。
- ・ 微量元素はもともと生物にとって、栄養や挙動に大きな影響を与えている。(微量 は必須であるが、多量になると有害であったりする)。酵素の機能発現にはさまざ まな微量元素が必要である。細胞、組織、個体によっても、また、ストレス環境

⁹ An International Study of the Marine Biogeochemical Cycles of Trace Elements and Their Isotopes 海洋の微量元素・同位 体による生物地球化学研究

¹⁰ 鉄の不足が植物プランクトンの減少に影響を与えており、鉄を利用することができないことで、海洋中の窒素とリンの産生が制限され、プランクトン全体としての代謝量が減り、大気中から海洋への二酸化炭素吸収量が減少、温暖化に影響しているとする説。

/ぜいたく環境の度合いによっても必要となる微量元素の量は変動するため幅が あり、まだまだ詳しい相関関係はわかっていないことが多い。

(日本および諸外国の研究状況)

- ・ 日本では、GEOTRACE 計画による海洋の微量元素・同位体の断面観測が 2000 年代から行われている。中心的な研究者は、東大の蒲生先生であり、主に科研費でこれまでの研究は行われてきた。必要なクリーン採水システムは、JAMSTEC が保有しており、同様の装置を米国、オランダも保有している。日本のシステムは90年代に白鳳丸に設置されたものであり、そもそも1台しかない。現在、大学等の研究者が主体的に共同利用できる研究船は,淡青丸(1982年竣工)と白鳳丸(1989年竣工)の2隻しかないが、いずれも寿命の問題で今後の稼働は黄色信号になってきている。
- ・ 近年、中国、韓国、台湾も力をいれつつある。台湾は 2012 年にクリーン採水システムを備えた新造船を竣工させようとしている。
- ・ GEOTRACE 計画におけるキーパラメータとなる元素は6種、鉄、アルミニウム、マンガン、亜鉛、カドミウム、銅である。鉄、アルミニウム、マンガンは船上でも化学発光分析、蛍光分析が可能、フローインジェクションアナリシスができる。この研究では標準物質が重要。すなわち標準となる外洋海水が重要である。標準海水はアメリカが(これも近年のこと)、太平洋及び大西洋から採取してきたものを、それぞれ各国に配っている。アメリカが強いのはやはり基礎研究の資金に厚みがあるからである。

(研究のアプローチ)

- ・ 宗林教授の主たる手法は、ICP 質量分析。この分析はアルゴンガスを使うため船上ではできない。独自の前処理方法を開発しており、キレート樹脂固相抽出を用いる。(配位子、高密度化)。また、微量元素の濃度・比だけではなく、同位体比(重さの違いで生物取り込みや化学反応に差が出てくる)も測定し、濃度と同位体の2つの軸で研究することが強みである。現在、高性能のICP 質量分析装置(磁場型)を作れるのは残念ながら外国の2社のみである。今のところ外国製の装置を購入するしかない状況。
- ・ 微量元素の濃度や存在比率は、各海域によって状況が異なる。例えば、太平洋は濃度が低く、ベーリング海では高い。ベーリング海では、微量元素が豊富に存在することが、高い生物生産を可能にしていると考えられる。植物プランクトンやバクテリアは、微量元素の循環に深く関わっている。微量元素はプランクトンからより大型の生物へと移行していく。

⑧宮下 和士 (北海道大学北方生物圏フィールド科学センター・教授)

(概要)

今後必要な研究開発は、

- 1.「海洋生態系計測学」のインフラ整備が重要である。
- 2. 特に水産業の観点で重要な「多獲性魚類」の変動(動態)を定量的に可視化するための研究を推進することが重要。
- 3. そのためには測定に使用する受・発信機を、数百個から数千(あるいは数万)のオーダーで大量に、すなわち低コストで使用できるようにすることが必要であり、それには技術開発を担う民間企業の開発ニーズ(採算が合うこと)と、使用者(漁業者や水産試験所、コンサル業者、研究機関)が使用可能な製品を開発しなくて

はならない。これを実現するためには、広い意味で社会や漁業関係者各方面のニーズを十分に分析して、「海洋生態系計測学」と結びつけなくてはならない。その上で、集中的な研究投資戦略が必要となる。

(データロギングの研究アプローチと研究開発動向の現状)

- ・ 小さい魚では10センチ程度のものから、大きいものではサケやクジラ、マグロ、海洋哺乳類までの種に、数センチ程度の発信器(兼センサ)を一度に数百個取り付けて、その信号を海中に定置【海洋表面からのぶら下げ、または海中浮揚(測定後に浮かせることが可能)、または海底に設置】した受信機で計測する。受信機も数百個設置する。信号は音響であり、魚に取り付けた発信機から得られる情報は深さ、温度等であり、受信機で当然位置も特定することになる。受信機は1台およそ25万円~50万円、発信器は5万円が相場であるため、数百個単位で測定を実施するには相当の費用がかかる。
- ・ データロギングの開発は北欧、米国、カナダが進んでおり、開発企業もカナダ、北欧 (ノルウェー) の寡占状態にある。一方、日本は技術力で劣っているわけではないものの、採算が合わないために企業は関心を示さない。そもそも技術的にはさほど難しいものではなく、しいていえば海水中での音波を精密に測定する技術や、水圧や海洋の気象条件の変化への対応、そしてそれらを計測システムとして組み上げていくことには高度な技術を要する。技術はいまだ職人的である。バイオロギングの欠点は、研究投資規模が小さいこともあって、研究がどうしてもログを回収しやすい種の魚に偏ってしまうことである。自分はそれを打破して「難しいけれども重要な種」の定量的把握に挑戦しており、今後もその方針を貫くつもりである。
- ・ このような研究は水産庁が積極的に推進していくべきのもと考えるが、水産庁が機器等の新規開発に拠出する研究費は小規模であり、それだけでは研究は立ち行かない。そのため、国交省や経産省、文科省科研費などのあらゆる制度を活用しながら、基礎から応用(学術的な基礎研究、民間企業を巻き込んだデータロギングシステムの開発、実際の計測)に至る一連の研究を推進しているところである。
- ・ しかしこのような研究者は少ない。海洋学者と水産学者は同じような研究をする場合が多々あるにも関わらず、使用する言語が異なり、同じ関心事に別々に取り組んでいることが多い。自分のような研究者が間に入って、海洋学と水産学の研究者を結びつけることが必要と考えている。海外の例では、特に強いカナダが、オーシャン・トラッキング・ネットワーク (OTN) プロジェクトを実施しており 150 億円規模の研究である。

(海洋生態系計測学)

- ・ 海洋生態系を定量的に把握し体系化することが研究上の大きなテーマである。低次のプランクトンから高次の魚類まで、量と変動を「立体的」な海洋において可視化して把握することは難しい。低次のプランクトンやクロロフィルであれば衛星からの計測で量を測定することや、物理量からそれらの基礎生産量を見積もることは可能だが、高次の生物すなわち自ら泳いで移動する生物の量と変化を捉えることは難しい。また、動く海洋生物は国境や排他的経済水域 EEZ を簡単に飛び越えるが、計測する側の人間は簡単には越えることができず、その意味で国際的な連携・協力がなくては成立し得ない研究である。自分は科研費(海外学術)や先述の OTN プロジェクトを活用した高度回遊性海洋生物のモニタリング、JICA プロジェクトによる途上国沿岸におけるモニタリングインフラの普及・活用などを通し、国際的な連携協力を推進している。
- ・ 研究では例えば、「クロミンククジラの数が増えるとシロナガスクジラが増えない」 というような話があるがそれはなぜなのか、両者の間でエサが競合しているから

なのか、エサとなる魚の量が不足しているからなのか、そうしたことがわからない。 現状の水産資源量予測では、エサとなるプランクトンの量や魚群探知機の活用、そ して人間の目視から推定しているに過ぎない。

・ ただし、日本の魚群探知機技術やエサ環境の把握技術は進んでいる。また、近年 の温暖化(気候変動)の影響が水産資源に対してどの程度あるのかどうかを見極 めることも重要である。一例としては、暖流(対馬暖流、津軽暖流、宗谷暖流)の 影響が続くと、サケが沿岸になかなか入ってこられないということがデータロギ ングのモニタリング結果からわかってきた。近年の北海道周辺海域は温暖なレジー ムであると報告されているので、サケにとって現在は厳しい環境なのかもしれな い。

(生物多様性をどう捉えるのか)

- ・ 多様性は専門家によって見方が異なり、現段階では見方そのものが多様であるほうがよいと考えている。しばらくの間は議論が収束することはないだろう。だからといって研究をしなくてよいわけではなく、研究プログラムごとに取り扱う多様性の定義を明確化した上で事業を実施することが重要である。
- ・ 水産学者と海洋学者によっても異なり、研究手法や結果についても一方から見れば懐疑的であるという場合が多い。これは必ずしも片方が間違っているわけではなく立場が異なるだけだろう。海洋学と水産学の違いは、理学と工学の違いと考えればわかりやすい。
- ・ まずは人間が直接的に恩恵を受けている「多獲性魚類」の定量的な把握研究 (種、量、変動、エサ環境、捕食者)からすべきである。個体レベルでは追え ているものが多いが、量的な把握となるとほとんどできていないのが現状で ある。

⑨寺島 紘士 (海洋政策研究財団・常務理事)

(リオ地球サミットで海洋に焦点)

・ 底流は 70 年代からあったが、特に 1990 年代から、環境と開発、海洋を総合的に捉える必要が出てきた。 1992 年のリオ地球サミットの行動計画「アジェンダ 21」では、 CO_2 や森林の問題と並んで、海洋に焦点が当てられた。第 17 章は、海域及び沿岸域の保護及びこれらの生物資源の保護、合理的利用及び開発にフォーカスを当てている。これは、海洋に関する政策の基本文書であるが、当時、わが国では政治家も官僚も研究者も海に関したアジェンダが採択されたという認識さえなかった。この「アジェンダ 21」第 17 章と 1994 年発効の国連海洋法条約とがあいまって各国の海洋に関する取組が本格的に始まった。

(底流は70年代から)

- ・「持続可能な開発」という原則が採択されたリオ地球サミットのスタートラインは、 1972年のストックホルムの国連環境会議である。一方、これに先立って、国連では 1969年から海洋法に関する準備的な会合がもたれていたが、ストックホルムの会議の後の 1973年に国連「第3次海洋法会議」が本格的に始まった。
- ・ 1958年の第1次国連海洋法会議で「領海条約」「公海条約」「大陸棚条約」「公開生物資源保存条約」が採択され、第2次を経て、第3次国連海洋法会議で1982年に「国連海洋法条約」が採択された。同条約は60カ国が批准して12年後の1994年に条約が発効した。日本は、1996年に批准した。20世紀の最後になって、ようやく海洋法秩序と海洋政策の国際的枠組みが整って、新しい海の取り組みがそこ

からスタートした。

(国連海洋法条約のルーツは 1945 年のトルーマン宣言に遡る)

- ・ 国連海洋法条約で距岸 200 海里を沿岸国の排他的経済水域(EEZ)とすることが 初めて取り上げられた。それまでの海と国家の関係は、「領海 3 海里」までが国家 の領域でその外側は公海だったので、沿岸国の管轄海域が大きく拡大した。
- ・ EEZ の考えのルーツは、太平洋戦争で日本が降伏した 1945 年にさかのぼる。 1945 年 9 年、米国は「トルーマン宣言」を発表、「大陸棚の資源は米国のものだ」「米 国の沖合の生物資源は、保存水域として米国が管轄する」というものであった ¹¹。 これは、戦前の日本漁船の操業がすごかったので、日本の降伏を機にそれを抑えるねらいもあった。
- ・ こうして、米国によって 1945 年に「大陸棚」「保存水域」という概念が持ち出された。「海域が権益」となるので、影響を受ける他国も黙ってはいない。大陸棚宣言はメキシコも宣言、次々に広がった。そうなると、大陸棚のない国は権益が得られないというので、「沖合海域」を Patrimonial Sea (世襲海) として権利主張する動きが中南米諸国から出され、さらには沖合 200 海里を領海とする主張すらでてきた。他方、沿岸国の管轄海域が沖合に広がると海上交通が制約を受けるので航行の自由を確保する必要が出てくる、また、海洋環境の汚染にも対処する必要がある。ということで包括的な国際海洋法を制定しようという動きになった。

(領海と排他的経済水域)

・ 国連海洋法条約は、まず、領海を距岸 12 海里へと拡大した。なお、通常の基線は、大縮尺海図に記載されている海岸の低潮線であるが、一定の条件を満たせば、適当な点を結ぶ直線基線を用いることができることとなった。それを基線としてそれから 12 海里を領海とする。また、この基線から 200 海里を排他的経済水域(EEZ)として、沿岸国に天然資源等に関する主権的権利と海洋環境の保護・保全、海洋の科学的調査等に関する管轄権を与える。さらに、大陸棚については、その縁辺部の外縁が基線から 200 海里まで延びていなくても 200 海里までを沿岸国の大陸棚と認める等その定義を変更した。これによって、地質上の大陸棚があろうがなかろうが、200 海里までは沿岸国の大陸棚となった。日本は何もしないで 200 海里の EEZ、大陸棚を手に入れた。もし大陸棚がそれを超えて伸びていると 350 海里等まではのびる。このような延伸大陸棚の外側の限界の設定について勧告するのが、大陸棚制限委員会(CLCS)である。最近、島を巡る国際的な軋轢が多くなっているが、島が領海だけでなく、EEZ・大陸棚を画定するときの基線になったことも影響している。

(沿岸国に義務づけられた「海洋の管理」)

・ 国連海洋法条約のもう一つのポイントは、海洋秩序の原則が、「海洋の自由」から「海洋の管理」に変わったことである。70年代以降、資源の囲い込み、環境の保護・保全が意識されるようになり、「いずれの国も海洋環境を保護・保全する義務を有する」という条文が入った。誰に対しての義務かというと、国際社会に対する義務ということだ。義務の履行を確保するための手続きなどの定めはなく、プログラム的規定であった。海洋の総合的管理のためには、科学的知見の充実が必要であり、そのために海洋の科学的調査を促進することになった。沿岸国の EEZ の中の調査でも、特に問題なければ沿岸国は同意を与えるとされている。さらに、海洋技術の発展及び移転の協力も定めている。

^{11「}大陸棚の地下および海床の天然資源に関する合衆国の政策、大統領宣言第 2667 号」「公海水域における沿岸漁業に関する合衆国の政 策、大統領宣言第 2668 号」

・ 国連海洋法条約の序文 ¹² には、「海洋の諸問題が相互に密接な関連を有し及び全体として検討される必要がある」と書かれている。つまり、地球の表面の 7 割を占める広大な海洋については、沿岸国が沿岸海域を分割して管理するとともに、海洋全体の管理は各国が協調・協力してやらねばならないということである。しかし、辺境の海域の管理には実質支配の有無が意味を持ってくるのももうひとつの現実である。

(国連海洋法条約を受けての我が国の対応)

・ 我が国の海洋の法秩序・政策は、国際的な取り組みの進展の下で大きく動いてきた。 国連海洋法条約が発効し、行動計画「アジェンダ 21」が採択され、1990 年半ばからこれを受けた世界各国の海洋に関する取り組みが始まった。海洋国日本も対応せねばならないということで、1996 年に国連海洋法条約を批准、EEZ と大陸棚について、たった 4 条の「EEZ 及び大陸棚に関する法律」(我が国の EEZ 等の範囲を示し、それらの海域へ我が国の法律を適用することを一般的に規定)ができた。しかし、これらの海域を具体的にどう管理するかについては何も書かれていない。鉱物資源の探査・試掘・採掘などについては最近やっと鉱業法が改正された。それまでは、鉱業法では陸上での鉱山の探査と採掘しか考えていなかったが、海洋での資源採掘が検討され「先願主義」では国際情勢に適さないことが認識され、2011 年にようやく鉱業法の改正が成立した。

(日本は世界第6位の EEZ を管理していない)

・ 我が国には、海域の管理に関する法律がない。日本は世界で6番目に広い EEZ を 国際条約に則り管理することになったラッキーな立場にもかかわらず、もらった きりでこれらをきちんと管理してこなかった。近隣国との海域の境界の画定に関 しても日本はほとんどやってこなかった。EEZ の境界付近が事実上他国に実効支 配されている。例えば、中国が東シナ海で油田開発を行っているが、日本は、外 交的トラブルを避けたい、また、開発するより購入する方が安い、などという判 断から出遅れ、近隣国に海域の実効支配を許す事態を招いている。政治家は票に ならないことはやらない。それに忙しすぎる。本来なら政府の各省がこれを補う べきだが縦割りの壁がそれを阻んできた。誰かが各省内で声を上げても全体とし ての声にならなかった。

(海洋基本法成立に努力)

- ・ 私は、1990年代半ばから総合的な海洋政策の推進、そのための「海洋基本法」の制定に取り組み、海洋関係各界の学者、専門家からなる委員会を作って検討し、2002年に「海洋と日本:21世紀におけるわが国の海洋政策に関する提言」(日本財団)を出した。2002年に海洋政策研究財団に移ってからは、財団の活動対象を「海洋政策全般」に広げて日本が必要としている海洋政策をさらに掘り下げ、2005年に「21世紀の海洋政策への提言」を出した。
- このころ、東シナ海が賑やかになってきて、政治家も海洋権益の確保とともに国際的枠組みと国際協調が大切だと考えてくれるようになり、2006年に超党派(自公民)の国会議員と海洋各分野の学者・専門家等からなる「海洋基本法研究会」(代表世話人:武見敬三参議院議員(当時)、事務局:海洋政策研究財団)ができて、私はその事務局長を務めた。海洋基本法研究会は、10ヶ月間集中的に審議をして海洋政策大綱、海洋基本法案概要を取りまとめて提言し、法案のドラフトも準備

¹² 海洋の諸問題が相互に密接な関連を有し及び全体として検討される必要があることを認識し、この条約を通じ、すべての国の主権に妥当な考慮を払いつつ、国際交通を促進し、かつ、海洋の平和的利用、海洋資源の衡平かつ効果的な利用、海洋生物資源の保存並びに海洋環境の研究、保護及び保全を促進するような海洋の法的株序を確立することが望ましいことを認識・・・・

した。海洋基本法案は、自民党、民主党、公明党の3党が中心になって取りまとめ、 2007年議員立法で国会に提出され、成立した。このやり方は、宇宙基本法や水基 本法案などの立案の参考になっている。

(海洋基本法の基本理念)

- ・「海洋基本法研究会」では、海洋に関する様々な施策を総合的、計画的に推進していくためには、国自体が海洋政策の「基本理念」を明確に示すことが必要であると考えた。研究会が取りまとめた基本理念は、1)海洋環境の保全、2)海洋の利用・安全の確保、3)海洋の持続可能な開発・利用、4)海洋の科学的知見の充実、5)海洋産業の健全な発展、6)海洋の総合的管理、7)海洋に関する国際的協調の7項目だが、海洋基本法では、1)、2)、3)は、「海洋の開発及び利用と海洋環境の保全との調和」と「海洋の安全の確保」に再整理された。
- ・ さらに、政府は、海洋に関する施策を総合的かつ計画的に推進するため、海洋基本計画を定めて実行すること、並びに12項目の海洋に関する基本施策を定めた。それらは、①海洋資源の開発及び利用の推進、②海洋環境の保全等、③排他的経済水域等の開発等の推進、④海上輸送の確保、⑤海洋の安全の確保、⑥海洋調査の推進、⑦海洋科学技術に関する研究開発の推進、⑧海洋産業の振興及び国際競争力の強化、⑨沿岸域の総合的管理、⑩離島の保全等、⑪国際的な連携の確保及び国際協力の推進、⑫海洋に関する国民の理解の増進等である。最後の国民の理解の増進等には2つのパートがあって、1つは学校教育・社会教育、2つめは学際的教育・研究による人材育成である。海洋教育に関しては、東大の海洋アライアンスを中心に大学間ネットワークを組んで学校教育で海洋教育を推進する取り組みが始まっている。海洋関係学部だけでなく、教育学部の関係者にも入ってもらい学習指導要領に海洋教育について書き込んでもらうことにも取り組んでいる。

(推進するための仕組み)

・ 海洋政策を集中的かつ総合的に推進するため、内閣に総合海洋政策本部を置き、本 部長を内閣総理大臣、副本部長を内閣官房長官及び海洋政策担当大臣とする体制 ができた。また、内閣官房に各省の出向者 30-40 名による事務局も作られた。

(海洋のモニタリングについて)

- ・ 海洋の生物資源についても、よく把握されているのは「有用種」(食べられる魚、海藻)に限られ、それ以外の資源的に有用でない魚等は抜けている。まして、食用にならない微生物、プランクトンなどは十分把握されていない。稚魚の放流なども、生態系を理解していなければ、ほとんどは失敗に終わるだろう。最近、生物多様性の概念が普及してきたが、食べられる魚も食べられない生物も生態系の一部であるということで、もっと大きな生態系で考えなければならない。
- ・ 海のことが本当にわかっているのか。日本の海は、EEZの面積は世界第6位だが、 体積は世界第4位。体積で比較すると、水深5000m以上の体積は世界一。海洋を 空間として考えることが重要だ。

(海洋管理には戦略的な海洋調査が必要)

- ・ 海洋調査は戦略的にやるべきだ。これまでは、各省がその業務の必要に応じて各自で行っており、総合的ではない。海洋の開発・利用・保全・管理を総合的に推進していくためには、科学的データが必要である。「データを何のために使うのか」を改めて問い、海洋の総合的管理のニーズに対して欠けているところがあれば補うとともに、省庁間・関係者間で互いにデータを共有して有効に活用して行く必要がある。このためには早急に総合的な海洋調査戦略を策定する必要がある。
- ・ 「EEZ をどうやって管理するか」について科学的知見がなければならない。こうい うことを総合的・体系的にみる制度的枠組みが欲しい。海洋の開発利用・保全管 理はこうやるという法律を作ってそれを実施するにも科学的データの整備・管理

が必須。海洋基本法は海洋管理の基盤であるが、それだけでは漠然としているので、海洋管理を推進する EEZ・大陸棚の管理のための法律(EEZ 管理法)を作らなくてはならない。

・ 日本の EEZ は 400 万 km² もある。北は流氷のオホーツク海、南は熱帯の沖ノ鳥島及び周辺海域、西は珊瑚礁の海等とそれぞれ海域の特性が違うので、それに応じた調査と管理をする必要がある。そのためにも EEZ 管理法のような法律を整備することが必要である。これに正面だった反対はないが、名乗りを上げる省庁もない。総合海洋政策本部事務局が音頭をとって推進するべきであろう。

(データロギング)

- ・ 魚の把握が難しいのは、一カ所にとどまっていないことだ。川で産卵して太平洋 の深いところで生活するものも、深海で産卵して川にやってくるものもあり、行 動範囲が広い。電子的なロガーを魚につけて行動を監視するとともに周りの環境 も把握する。こういう技術では日本がリードしている。川と海を行き来する魚に 電子ロガーをつけてその行動を把握し管理と結びつけられればよい。
- ・ バイオロギングでは、新たなロガーの回収技術の開発が求められている。深海との間を往復する魚は回収の問題があるが、川と湾・沿岸海域を行き来する魚には有効だろう。このように人類に有用な魚類の産卵場所や行動ですら科学的には明らかでない部分がまだ多い。このような科学的知見を政策と結び付ける動きは、あまり進んでいないのが現状だ。

(海域を情報で管理するのが現実的)

- ・ 国連海洋法条約で沿岸国が資源・環境等を管理することになった 200 海里海域の 具体的な管理はこれから。しかし、のんびりしていられない。米国などに比べて かなり遅れている。海域のデータ・情報については、米国は軍も収集を行い情報 共有をかなり行っていると聞いているが、日本では自衛隊との間の情報共有はあ まり行われていない。安全保障上の理由などが挙げられているが、米国の例から 見ても情報共有推進の余地があり、検討すべきではないか。
- ・ 米国では NOAA や NSF が海洋をやっている。フランスの海洋保護区庁は、海域の情報を収集した上で分析して保護すべき区域を特定している。特定された海洋保護区は、保護区庁が直接管理するのではなく、その海域のステークホルダーによる管理組織を作ってそれが管理している。日本でも、まず海域の情報を収集・分析して、その中で"ここは海洋生態系にとって大事な海域""ここは開発・利用に供してよい海域"というような情報管理から始めるのが重要かつ現実的ではないか。

(技術による解決ではなく科学的知見の充実を)

- ・ 地球温暖化の問題についても、今まで、 CO_2 の海底貯留など海は受け身で議論をされていたが、海洋の酸性化など海自身の問題として CO_2 を考える必要がある。例えば、海洋における CO_2 吸収と酸性化のメカニズム解明をやるなど。海の問題は、すぐには表面的な結果となって表れてこない。緩慢だが、一旦結果が出たときには取り返しがつかない。小さな池で起きることは、大きな海でも起こることを肝に銘じて、想像力、予見力を研ぎ澄ますことが重要。
- ・「人類は海を救えるか」という問題提起はおこがましい。「海は人類を救うか」を 考えなければならない。気候を安定化しているといわれる深層大海流の重要性な どを、大きな想像力をもって真剣に考えないといけない。ともすれば、物事を技 術だけで解決しようとするのだが、科学的知見の充実によって、持続可能な海洋 の開発と保全につなげる姿勢が求められているのではないだろうか。

⑩張 勁 (富山大学大学院理工学研究部・教授)

(海洋は地球のエアコン)

・ 海洋は2000年もかかって北極海や南氷洋と表層・深層を循環しており、海洋は大気に影響を及ぼし、地球のエアコンとして働いている。これを通じて地球環境を評価するのがGEOTRACE計画 ¹³。元素周期表をツールボックスとして、国によって、資源開発、汚染防止な視点から研究されている。

(低下する日本の海洋探査の技術水準)

・ 日本は元々、海洋探査の技術水準は高かった。しんかい 6500¹⁴ は今も世界一を誇るが、建設から 20 年が経って老朽化している、後継機の計画はない。短期的に結果が見えない研究に投資されなくなり、今では、米国など海外勢の後塵を拝している。海洋科学の重要性や、科学としての意義・面白さを一般の方に知らせるサイエンスコミュニケーションが海外に比べ遅れているのも一因ではないか。

(恵まれた環境が多様な生物をはぐくむとは限らない)

- ・ 生物多様性を考えるとき、無機物→食物連鎖→生物というパスを通じて海の変化が生物の変化を及ぼしており、必ずしも恵まれた環境が多様な生物をはぐくむとは限らない。海底温泉(チムニー)のような過酷な環境においても、それに適応したさまざまな生物種が見られる。
- ・ 深海だけでなく、光の届く「有光層」(10-45m)の海底湧水は、研究の空白地帯である。水深が浅く波が高いため大型船で行けないので潜水して調査している。たとえば台湾近海の熱水性海底湧水は、毒性の金属を含みpH1.4というような過酷な環境であるが、生物が生息している。深海性細菌が解毒作用をしているらしい¹⁵。

(同位体でトレースすることは変化を捉えるのに有効)

・ 富山湾の海底に淡水性の湧水があるが、この水の同位体組成を解析した結果、立山連峰の平均標高 $800 \sim 1200$ m に降った降水が地下に浸透して扇状地の伏流水となり、おおよそ $10 \sim 20$ 年をかけて海底から湧き出したものと分かった 16 。同位体を分析するための in situ 質量分析計がほしい。できれば体温計みたいに持ち運べるものがあればよいのだが・・・。

(国際協力が重要)

- 日本海では5カ国23機関から50名(うち20名は外国人)の研究者が白鳳丸に乗り込んで調査ができた。
- ・ これに対して東シナ海の探査は、かなりむずかしい。長江の水は1ヶ月程度で済州島に達するが、1週間で日本のEEZに入ってしまう。海に国境はないのであるが、互いのEEZに入り込むことができない。それで、人材の育成をしながら、それぞれのEEZ内の計測を同時に行おうということが研究者間の共通認識になっており、JSTの事業で実施した九大松野プロジェクト¹⁷では、互いの学生を乗せるという試みもおこなった。

¹³ 微量元素および同位体のマッピングを全海洋において行い、海洋の循環と生物地球化学サイクルの解明を格段に進めること、そしてこの研究を密接な国際共同体制のもとで実施することをめざしている。

¹⁴ JAMSTEC が所有する大深度有人潜水調査船。世界でもっとも深く潜る運用中の有人潜水調査船である

¹⁵「沿岸性海底熱水噴出の実態解明と海洋酸性化・肥沃化への影響評価」(科学研究費補助金 基盤研 B (海外学術)・代表)

^{16「}沿岸海底湧水機構の海洋環境への影響評価及び評価システムの構築」(科学研究費補助金 若手研究A・代表)

^{17 「}協調の海の構築に向けた東シナ海の環境研究」(JST 国際共同研究 H19 採択、代表松野健九大教授)

①菊地 淳 ((独) 理化学研究所植物科学研究センター・チームリーダー)

(生態系にもバイオマーカーが必要)

- ・ バイオマーカーはもともとは先制医療(疾患の発症以前の段階で予測あるいは発症前診断を講じ、発症前に治療的介入を行うことで発症の防止または遅延につなげること)において診断に用いる手段として用いられるもの。治療薬と違って診断薬は臨床試験も必要とせず、手軽に開発できるのが利点。
- ・ 従来の医学・生物学研究は、個々の分子や遺伝子まで掘り下げてその生体内での 機能を解析するという還元主義により、多くの知見が得られた。これに対し、ゲ ノムから蛋白、代謝物までを一気に見る「オミックス」という考えが近年確立し、 環境を総合的に見ることが可能になった。それはまた、個別の遺伝子や蛋白のみ ならず制御系全体の改変を可能にする、合成生物学の全盛を表す。
- ・ 次世代シーケンサー・メタボローム等の計測データの間の相関からバイオマーカー を探索することは、環境のサスティナビリティーにつながる(ライフサイエンス の場合はホメオスタシス)。
- ・ 現在は、鶴見川等の河口域でハゼ等の底棲動物と底泥、環境水を採取し、動物の 代謝プロファイリングと環境微生物叢(腸内細菌叢も含む)について分析してい る(魚の体内の健康と環境の両面から)。

(NMR を使うことのメリット)

- ・ NMR は感度の点では弱点であるが、ここではそれは重要ではない。NMR の優れているところは多様な化学物質を扱うことができることだ。LC/ MS のような分析法では、それぞれで検出できる対象が限られてしまう。
- ・ 例えば、最近ビフィズス菌を腸内に持つマウスと腸内出血性大腸菌 O157 に感染したマウスモデルを用い、混合物の多成分解析により、糖の取り込み能と酢酸への代謝能の違いが O157 感染死抑制に繋がることを見出した。この際、NMR 法が糖と酢酸を同時に検出できるメリットを活かすことができた(Nature 2011, 469:543-547)。
- ・ 量の少ないものは、不安定で変化が大きすぎるから、なるべく量がとれるものを バイオマーカーに選ぶのがよい。NMR の感度が低くても、酢酸のように量があれ ばバイオマーカーの探索は可能。ハゼのようなありふれた底棲動物は鶴見川のほ か多摩川・相模湾でも採取しており、腸内細菌叢は生息する環境を反映すると考 えられる。

(海洋生物多様性を代謝産物とメタゲノムで)

- ・ これまでハゼで調べたところ、アミノ酸やタウリンに違いが出ている。後者は浸透圧に関係している。NMRでは、特定の物質のスペクトル上の位置が決まっており、データベースもある。定量も可能である。
- ・ また、最近の共同研究では、プランクトンの代謝産物から赤潮の初期診断も可能 であることも示した。赤潮が出てからでなく、出る前に見るというのが重要なのだ。
- この際、生物の集合体が生産・消費する代謝産物の変動と、構成する(微)生物 叢の変動とをリンクさせて考えることが重要。代謝プロファイリングとメタゲノ ムの情報を相関させようという研究は、この着想から発している。

(腸内細菌の代謝物で環境を見て多様性を判断するのはオリジナル)

・ 同様の研究は、他では行われていない。腸内細菌は20世紀にはブラックボックスとみなされていたが、その解明が可能になりつつある。大事なのは(還元主義ではなく)bird-eye view で見ること。豊富にあり簡単な物質を指標として、その変化の兆侯(ダイナミックな化学反応のプロセス)を捉える。動物腸内のような嫌気性環境の場合は、嫌気性微生物の作用によるプロピオン酸・酢酸・酪酸などがマーカとして有効と予想している。腸内は原始地球と同じでメタンガス⇔有機物の代

謝プロセスが存在する。

(NMR の役割はマーカーを探すための研究の手段)

・ NMR は高額な機器であるが、あくまでマーカを探すための研究の手段。ごくあり ふれたマーカを見つけ出せば容易に入手可能な指示薬で環境を見ることができる。 指示薬を開発できれば、現地で調べることができる。 そのためにも、よいバイオマーカーを見つけ出すことが重要になってくる。 その成功例がピロリ菌を検出する 13 C を用いた urea test。 ピロリ菌は urea を分解し 13 CO₂ を出すが、ピロリ菌がいないと CO₂ は出てこない。

(環境バイオマーカーの経済効果)

・ 環境バイオマーカーによる経済効果は、河口域の生態系サービス保全という観点では 0.4 億円 / ha / 年という (井田徹治 "生物多様性とは何か" (岩波新書)による)。この分野は境界領域なので、グラントが取りにくいが、震災復興で見直される沿岸域の街づくりや、陸上農産物で食糧問題を解決しようとすると水や環境負荷がかかること、一方で陸からの生態系保全と栄養塩流入のメカニズムが分かると沿岸域の生物生産性向上に結びつくことなどとリンクさせれば、理解を得られるのではないか。

5. 3. アンケート調査

今回の邂逅ワークショップでは、海洋生物多様性に関する科学的ニーズを踏まえた新たな可能性のある計測技術について、総合的な議論の中から新たな方向性やアイデアを引き出そうとの趣旨である。本事前アンケートでは、海洋生物多様性の把握に関係する海洋生態学・環境学・生物学の有識者の先生方から、学術をさらに深化させるための計測ニーズについての回答を集めており、事前に計測シーズ研究者へと周知することを目的としている。

(1) アンケート概要

調査日程	2011年11月28日~12月14日				
アンケート内容	 ○アンケート項目 1. 海洋生物多様性の把握に必要な指標(科学量) 2. 科学量を計測・観測する技術の現状と課題 ○設問 Q1: 海洋の生物多様性に関する先生方のお考えをご自由にご記述下さい。 Q2: 生物多様性を可能な限り正確に把握するためには、何をどのレベルで計測することが重要だとお考えでしょうか? Q3: Q2 の把握においてボトルネックとなっている技術についてご記述下さい。 Q4: 技術開発者への期待についてご自由にご記述下さい。 				
回答者 (敬称略)	小池 勲夫 (琉球大学・監事) 和田 時夫 (水産総合研究センター中央水産研究所・所長) 石丸 隆 (東京海洋大学・教授) 宮下 和士 (北海道大学北方生物圏フィールド科学センター・教授) 菊地 淳 (理化学研究所植物科学研究センター・チームリーダー)				

(2) アンケート結果

表 海洋生物多様性の把握に資する計測ニーズ

測定対象	物理量 (流れ、水温、塩分、 光量)	化学量 (栄養塩、溶存酸素)	生物量 (遺伝子・種・生態系)				
観察(観測)	○沿岸では、透明 度も重要 ○迅速な鉛直プロファイルの取得 ○継続的な観測(係 留系) ○広域的な観測(曳 航体、AUV) ○海底環境(底質) の測定		○海洋生態系における高次生物の計測技術 ○現場での DNA 抽出、増幅技術 ○現場での遺伝子情報の網羅的解析技術 ○生物種別の生物量と個体サイズ分布の同時 計測技術 ○海洋生物の鳴音の収集と解析(ライブラ リーの作成) ○ビデオ観察(大型の生物から微小生物まで) ○音響観測(各種のサイズに対応、生物量の 測定) ○生理活性の自動測定 ○遺伝子の計測技術				

採集	な採取	○小型生物の各層採集○広域的な連続採集○高速遊泳生物の採集
解析 (インフォマ ティクス)		○物理量、化学量との一体的解析 ○各種のデータベースの構築と連携
モデル化		○大規模海洋生態系(例:親潮/黒潮/東北海域)を対象とした生態系の動態モデルの構築 ○種の特性を反映できる生態系モデルの開発

[◆]有識者からの回答をもとに CRDS 作成

5. 4. 略語集

ADCP:acoustic doppler current profiler (流連プロファイラー)

ARGO: A Global Array for Temperature/Salinity Profiling Floats

AUV: autonomous underwater vehicle (自立型無人潜水機)

COML: Census of Marine Life (海洋生物のセンサス)

COP10: the 10th Conference of Parties to the Convention on Biological Diversity (生物多様性条約第 10 回締結国会議)

CPR: continuous plankton recorder (連続プランクトン採集器)

CTD: conductivity, temperature depth

EEZ: exclusive economic zone (排他的経済水域)

FRRF: fast repetition rate fluorometry(高速フラッシュ励起蛍光光度計)

GPS: Global Positioning System

JAMSTEC: Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology (海洋研究開発機構)

LA-ICP-MS: laser ablation inductively coupled plasma mass spectrometry (レーザーアブレーション ICP 質量分析計)

LIBS: laser-induced breakdown spectroscopy (レーザー誘起ブレークダウン分光法)

LIDAR: light detection and ranging

MULTUM: multi-turn time-of-flight mass spectrometry (マルチターン飛行時間型質量分析計)

RFID: radio frequency identification (電波による個体識別)

ROV: remotely operated vehicle (遠隔操作無人探査機)

SLAM: simultaneous localization and mapping

TEEB: The Economics of Ecosystems and Biodiver sity(生物多様性の経済学)

VPR: visual plankton recorder (深海現場調査用実体顕微鏡)

WOCE: World Ocean Circulation Experiment(世界海洋循環実験)

[調査後記]

計測技術横断グループについて

JST-CRDS の計測技術横断グループは 2009 年度に発足した。本グループは、主要 4 分野 (ライフサイエンス、ナノテク・材料、電子情報通信、環境・エネルギー) の各ユニットからアサインされた数名のフェローから構成される。総括は吉川弘之センター長が兼務、メンバーは川口哲、永野智己、金子健司、福田哲也、丸山浩平、佐藤勝昭の 6 名である。

当グループでは、吉川総括の「計測は mother of science。科学のフロンティアには計測が不可欠。科学における未解決問題に対する計測ニーズを示し、それらのシナリオを検討した上で日本における計測の研究開発戦略を提言すべき。」という指針に従い、2009年度は、「計測・分析技術に関する諸外国の研究開発政策動向」の調査を、2010年には、「科学における未解決問題に対する計測ニーズ」に関する調査を行い、調査報告書を作成、公表した。

2010年度に行った「科学における未解決問題に対する計測ニーズ」の調査の結果、「(1) 科学の未解決問題の60%、計測ニーズの60%は生命科学分野にあり、生命科学分野の計測技術の開発に多くの資源投入を行うべき。(2) 生命科学・環境・ナノ・ICT の各分野において、より複雑な課題へ取り組むニーズが多い。(3) 課題解決形の研究開発においては、未来を予測する必要性が高まっており、時間軸の入った「四次元レンズ」の概念が必要。」ということが明らかにされた。

2011 年度の活動方針の決定

2011 年度活動では、2010 年度調査結果を踏まえ、計測ニーズの多い生命科学分野におけるニーズとシーズの邂逅に注力することとなった。生命科学分野は、時間・空間スケールにおいて、ミクロな分子・細胞レベルからマクロな生態系の生物多様性の問題まで広範にわたっている。このすべてについてニーズ・シーズの邂逅を行うことは、当グループのヒューマンリソースの点から無理があり、社会的課題の解決に対する要請が大きい分野に絞る方向で検討した。最終的には吉川総括の判断で、海洋生物多様性に関する計測の問題に取り組むこととなった。この判断の根拠となったのは、COP10 において生物多様性の経済効果」を考えるという TEEB 報告書が公表されたが、生物多様性の評価方法が明確ではないこと、愛知目標で 2020 年までに海域の 10%の保全が求められたが基礎データがないこと、海洋生物多様性の計測は、より複雑な現象解明、さらに未来予測も含めなければならないという意味で、まさに前述の計測ニーズの(1)、(2)、(3)にマッチしていることである。

海洋生物多様性の計測ニーズ・シーズ邂逅のワークショップ開催の経緯

ワークショップの開催の準備は次のようなステップで行われた。グループメンバーのほとんどは海洋分野の知識が乏しいため、海洋関係の12名の研究者に事前インタビューを行って、基礎知識を得る努力をした。事前インタビューの概要については、本報告書の5.2章に記載したので参照されたい。

事前インタビューを通じ「生物多様性とは何か」については、研究者によってさまざま

な解釈があり、ワークショップでこの問題を追及することはせず、むしろ、「海洋の生態系サービス」の恒常性の維持のためにはどのような計測を行うべきか、またどのような計測技術の開発が必要かに焦点を絞るべきであろうという方向性に絞ることにした。

ワークショップに向けて、ニーズ、シーズ、中間の分野におけるプレゼンター、コメンテータを選定し、ワークショックでの議論の発散を防ぐために、予め、ニーズ側のプレゼンターに事前アンケートを行い、それをシーズ側研究者に目を通していただくとともに、ワークショップ開催の趣旨を理解して頂けるようグループメンバーが手分けして説明、可能な限りモデレータ(佐藤)も立ち会った。

ワークショップでの議論

プレゼンター・コメンテータともに、本ワークショップの趣旨を理解いただき、非常に 実りある議論をして頂くことができ、有意義なワークショップとすることができた。特に、 海洋関係研究者にとって、未利用の要素技術の存在に接することが出来たこと、および、 これまで海洋とはほとんど接点の無かったシーズ側の研究者にとって、その研究を活かす 新たなニーズを確認出来たことは、「邂逅の場を提供する」という点で、本ワークショッ プが多少なりとも貢献できたのではないかと思う。

小池勲夫氏は「海洋生物多様性のための計測技術開発への要望を持っているが、このワークショップを通じ、技術シーズは個別的には結構あるという印象を受けた。従って、ニーズとシーズのお見合いの場をなるべく広げ、両者をうまく組合せていくことによって海洋計測は進展が期待できる。」と評価していただいた。

これまでの調査結果を踏まえて

インタビュー調査、アンケート、ワークショップの発表およびコメントなどを通じ、技 術課題としては次のようなことが浮かび上がった。

- ・海洋計測のプラットフォーム、特に AUV の開発は今後の水産資源開発にも重要である。
- ・センサーや計測装置・分析機器が小形化・省電力化すれば、多くのプラットフォームに 設置できるようになる。特に質量分析装置と DNA シーケンサの小型化は重要な課題で ある。
- ・バイオロギングにおいても、センサーが超小型化され、振動でつくれる電源で動作できるなら長期観測が出来る。

さらに、海洋生物多様性計測のような広範かつ継続性が要求される研究に関して以下のような問題点もあることが浮かび上がった。

- ・海洋生物に関するモニタリングは長期にわたって継続することに意義があり、短期的なファンディングにはなじまない。目的にお金を払って、結果を得るというタイプの行政にはなじまない。米国環境保護庁のような国家機関が継続的に行うことが必要。国際的な調査にあたる人材が次世代に継続される人材育成の仕組みも必要。
- ・現在の海洋計測の研究は、モデルやシミュレーションをやるインドアサイエンスの研究 に偏り、海洋の現場でフィールドに出て調査しエビデンス探す人がほとんどいないこと も問題。
- ・海洋関係のモニターには、観測船方式では限界がある。アメダスに相当する小型観測機器をフェリーや商船、漁船に取り付けてデータを収集するような民間を巻き込んだ取り

組みが必要。これにより観測機器の市場ができ企業も参入しやすい。

今後に向けて

海洋生物多様性の計測という大きなテーマに対し、今回のワークショップはニーズとシーズの邂逅という作業の糸口をつくったのに過ぎないと考える。今後、CREST「海洋生物多様性および生態系の保全・再生に資する基盤技術の創出」(総括:小池勲夫)の開催するワークショップ、シンポジウムなどの場を通じて、さらなる邂逅の作業が行われ、この分野の進展があるものと期待している。また、今回の調査結果は、CRDSにおいて今年度発足した「生物多様性チーム」に引き継がれ、陸上も含めた生物多様性の問題への展開のベースになるものと考えている。

佐藤勝昭

■報告書作成メンバー■

吉川 弘之 センター長 (計測技術に関する横断グループ、総括責任者) 川口 哲 フェロー (ライフサイエンスユニット) 永野 智己 フェロー (ナノテクノロジー・材料ユニット) フェロー (電子情報通信ユニット) 金子 健司 福田 哲也 フェロー (環境・エネルギーユニット) (計測技術に関する横断グループ、リーダー) 丸山 浩平 特任フェロー (計測技術に関する横断グループ、アドバイザ) 佐藤 勝昭 フェロー

※お問い合わせ等は計測技術に関する横断グループまでお願いします。

調査報告書

海洋生物多様性の把握に関する 科学的ニーズと先端計測技術シーズの邂逅

CRDS-FY2011-RR-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 2012年3月 計測技術に関する横断グループ

〒 102-0076 東京都千代田区五番町 7 番地 K's 五番町 10 階 話 03-5214-7481 (代表) ファックス 03-5214-7385 http://crds.jst.go.jp/

© 2012 JST/CRDS

許可無く複写/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。

