

平成17年度学術創成研究費 事後評価結果

研究課題名	海洋生命系のダイナミクス	
研究代表者名	塚本 勝巳	
所属機関・職名	東京大学・海洋研究所・教授	
研究期間	平成12年度 ~ 平成16年度	
研究経費 (直接経費)	平成12年度	300,000千円
	平成13年度	180,000千円
	平成14年度	180,000千円
	平成15年度	180,000千円
	平成16年度	180,000千円
	総計	1,020,000千円

研究目的

海は38億年にわたって生命を育ててきた地球最大の生物圏である。また多様な生命活動と物理・化学作用により、巨大な緩衝系として地球生命体のホメオスタシスを維持してきた。しかし近年急速に増大した人間活動のインパクトにより、地球温暖化や海洋汚染、資源の枯渇など重大な問題が続出している。こうした人類と地球の存続をおびやかすグローバルな諸問題を解く鍵の多くは海のなかに隠されている。我々は、早急に海洋の生命システムと生物過程のダイナミクスを解明することによって、これらの難題に取り組まなければならない。

本プロジェクトの目的は、以下の4つのテーマについて学際的・総合的基礎研究を展開し、海洋生命系のダイナミクスの全貌を過去・現在・未来の地球史の時間軸に沿って解明することにある。またこれらの成果を総合して、陸上生物を中心に形成されてきた従来の生命観に代わる、新しい“海の生命観”を模索することもその狙いとした。

**【生命史のダイナミクス】**

海の生命進化の過程を、主に分子生物学的手法により解明することを目的とした。微生物に始まり、藻類、無脊椎・脊椎動物と多様化していった海の生命の起源を遡り、現在の種と集団の成立過程を明らかにする。さらに生物多様性の変遷過程と維持機構についても研究を進める。

**【機能系のダイナミクス】**

高塩分、高圧、低温、暗黒など種々の海洋環境に適応するために、海洋の生物は様々な生理・生体・分子機構を獲得している。現生の海洋生物の浸透圧調節機構、ならびに個体数の爆発的増加と崩壊を制御している分子・生理機構について研究を進める。さらには過去の地球史において重要な海洋環境形成の役割を果たしてきたバイオミネラリゼーションのメカニズムを解明する。

**【連鎖系のダイナミクス】**

無数の生命の連鎖から成り立っている海洋において、研究船による詳細なフィールドワークと最新の生物粒子計測システム、分子生物学的手法、安定同位対比を用い、微生物ループのエネルギーフローを中心に、複雑に絡み合った海洋生物のネットワークと異なる生態系間の相互作用を解明する。

### 【変動系のダイナミクス】

再生産・分散・成長・回遊など海洋生物資源の個体数変動に関わる要因を、緻密なフィールドワークと最新の電子技術を駆使して明らかにし、個体数の変動メカニズムを解明する。また、海洋における汚染物質の生物濃縮過程とダイナミクスについても、生態調査と最新の分析技術を併用して解明にあたる。

研究計画、目的の達成度

各研究班の主な計画と目的の達成度は以下の通り。

### 【生命史班】

研究計画：紅色植物の多様化と共生生物との関わりに着目して、藻類の進化の過程を解明する。ミトコンドリアゲノム全塩基配列分析を軸にして、魚類の系統進化を明らかにする。DNA解析により、海産無脊椎動物の遺伝的分化と種分化メカニズムを解明する。さらに浅海と深海の生物を比較することにより、深海生物の起源と後生動物の高次分類群間の系統関係を明らかにする。

目的の達成度：海洋生物の集団、系統に関する研究が大きく進展し、また鍵種についてはその進化過程を明らかにすることができた。いずれの課題についても当初の予定を大幅に上回る成果を得、当初の目的は十分に達成された。例えば魚類の系統解析では、初めに掲げていた主要分類群の代表種250種の解析という目標をわずか2年で達成し、現在は750種に達している。

### 【機能系班】

研究計画：海洋生物における浸透圧調節機能の内分泌学的、分子生物学的メカニズムを解明する。個体数大変動のモデル動物としてシオミズツボウムシの培養系を確立し、変動の分子機構を明らかにする。魚類の耳石、円石藻のココリス、造礁サンゴ類の骨格など、石灰化硬組織に存在するタンパク質を解析し、海洋生物のバイオミネラリゼーションのメカニズムを解明する。

目的の達成度：浸透圧調節に関わる新規海水適応ホルモンの発見、個体数変動に密接に関わる遺伝子の同定と高感度定量法の確立、および硬組織の基質タンパク質の新規同定など、新しい発見と先導的な成果が数多く得られ、当初の目的は十分達成された。

### 【連鎖系班】

研究計画：海洋中の粒子・生物群集のサイズスペクトラムとその鉛直構造を綿密なフィールド観測により明らかにする。有機物粒子、細菌、原生動物、プランクトンなどからなる微生物ループの機能と海洋における役割を解明する。沿岸表層の食物連鎖系の主要階層を占める動物プランクトン群集組成の地理的・季節的変動、食性、摂餌速度、生産速度を明らかにする。

目的の達成度：新たに開発したマリンスノーカメラを駆使して、海洋のサイズスペクトラムを明らかにできた。有機デトリタスの生成、変質、消費に関わる各素過程の検討と微生物群集の相互作用の解析から、微生物ループの全貌を把握することに成功した。研究は期待以上の進展をみせ、目的は十分に達成された。

### 【変動系班】

研究計画：海洋生命系の変動機構を解明するために、小型浮魚類、外洋中深層性魚類および岩礁性巻貝類について、個体数変動様式の南北差を明らかにする。数理生態学・統計学的手法を用いて、魚類、ウミガメ類の資源崩壊リスクを推定する。分析化学、生物検定法により、人起源の有害化学物質による海洋生物の汚染実態を

明らかにする。

目的の達成度：ニシン科の魚類で明瞭な南北差があることを確認すると共に、その原因が初期生活史パラメタの変動幅の違いであることを明らかにした。また自然変動する資源に対しては、現状の最大持続生産量を目標とする管理方法ではなく、結果をみて柔軟に修正する順応的管理のほうが有効であるという、これまでにない概念を提唱するなど、当初の目的は十分に達成された。

以上4班の成果をとりまとめて、5巻シリーズの学術図書「海洋生命系のダイナミクス」を刊行し、従来の陸の生命観とは異なる「海の生命観」について議論を深めた。これらの活動はこれまで分散的であった海洋の生命研究を「海洋生命系」というキーワードで求心させ、新たな学際分野の創成に繋がったと評価できる。したがって本プロジェクトの当初の目的を十分に達成できたといえる。

これまでの成果

#### 【生命史班】

魚類を中心とした脊椎動物の系統進化について、新たに開発したロング PCR 法と魚類汎用プライマーを用いて主要分類群750種のミトコンドリア DNA 全塩基配列を分析したところ、真骨魚類の系統関係の大枠を完全に解明することができた。海産無脊椎動物の系統と集団解析も急速な展開をみせ、なかでも西太平洋の深海熱水噴出域固有の蔓脚類 *Neoverruca* 属では、その幼生飼育に世界で初めて成功すると同時に、系統関係と種分化メカニズムを明らかにすることができた。

#### 【機能系班】

魚類の浸透圧調節機構の解明を目的に研究を行ったところ、ウナギにおいて心房性ナトリウム利尿ペプチドが新規の海水適応ホルモンであることを証明し、その分子進化の過程を明らかにできた。ワムシをモデルとした海洋生物の個体数変動機構の研究では、変動に密接に関わる遺伝子を同定し、新たに確立した高感度定量法を用いて遺伝子の発現量と個体数変動の関係を明らかにした。さらにバイオミネラリゼーションの研究では、アコヤ貝の貝殻形成に関わる新規の基質タンパク質を同定し、そのアミノ酸および cDNA 配列を決定すると共に、その発現部位を明らかにすることができた。

#### 【連鎖系班】

本研究で新たに開発したマリンスノーカメラと LISST-100 により、亜寒帯域から亜熱帯にまたがる海域で、懸濁粒子と沈降粒子の体積および平均粒径の鉛直分布を明らかにした。また海洋細菌を密度で分画する新たな手法を開発し、増殖速度や生理状態に応じて分別することを可能にした。これにより天然細菌群集の密度分布とそれに応じた群集組成を初めて野外で測定し、その生態的意義について新たな概念を提示することができた。

#### 【変動系班】

ニシン科魚類、マサバ、サンマにおける資源変動様式の南北差は、初期生活史パラメタの変動様式の南北差によって説明できることを明らかにした。被食者と捕食者が周期的に変動する非定常生態系について、捕食者を漁獲する場合と被食者を漁獲する場合についてシミュレーションを行った結果、定常状態を想定している現在の MSY 理論とは全く異なる結果を得た。熱帯諸国における DDT や BHC などの有機塩素系化合物の使用による海洋汚染状況を、アザラシやイルカなどの海棲哺乳類を用いて明らかにした。指標生物によるモニタリング研究を展開し、汚染の国際的監視体制を構築した。

## 【総括班】

以上4班の成果を取り纏め、海の生命とそのシステムの包括的理解を進めるために、3年目以降は総括班を組織した。総括班においては、生命系の空間的ダイナミクスと位置づけられる回遊現象について研究を進めたところ、回遊行動の進化や種分化をうまく説明することのできる「回遊環モデル」を得た。陸の生命と海の生命の特徴を比較した結果、「浮遊」「大規模分散」「多産多死」などのキーワードで象徴される「海の生命観」を得ることができた。

### 成果の公表の実績

本研究の5年間で、Science, PNAS 誌などを含む国際的な専門誌や国内誌に計694編の原著論文を掲載した。その他の学術論文も合わせると、研究成果論文の総数は計879編にのぼる。なかでも、本研究プロジェクトの集大成として編んだ「海洋生命系のダイナミクス」全5巻シリーズ(東京大学海洋研究所, A5版上製 各巻約450pp)は、新しい研究領域創成の証として重要であるだけでなく、現代海洋生命科学のフロンティアとして、今後の研究の指針となる。さらに今後、本プロジェクトのメンバーと外国の著名研究者によって執筆される英文の学術図書「Dynamics of the Ocean Biosystem」の刊行も予定しており、既に執筆依頼も行った。一方で、これらの成果をわかりやすく社会に公表するために、一般向けの海の写真集「グランパシフィコ航海記」(東海大学出版会)や教養啓蒙書「海の生き物100不思議」(東京書籍)を出版したことも特筆される。

これまで計18回の研究集会を開催した。その内14回は公開のシンポジウムで、2回が国際シンポジウムであった。2005年11月15-18日には本プロジェクトを締めくくる大規模な国際シンポジウム「Dynamics of the Ocean Biosystem」を予定している。

日本水産学会賞 進歩賞, 水産海洋学会 宇田賞, 日本農学進歩賞など研究分担者の受賞が4件, 若手研究者の論文賞などが2件ある。また新聞, 雑誌, テレビなどで本プロジェクトの成果が取り上げられた事例は113件あり, 社会広報活動にも努めた。

### 学術創成部会による事後評価結果

#### 研究課題の総合的な評価

期待どおり進展した。

#### 1 研究計画、目的の達成度について

当初の研究計画、目的を達成したかどうか。

予定どおり達成した。

壮大な海洋に関わる研究を海洋生命系のダイナミクスとして提案し、それを生命史、機能系、連鎖系、変動系の各ダイナミクスにグループ分けして、研究を推進した。課題の一部では成果が見られ目的を達成したところもあるが、最も重要な全体計画として何が明らかになったのか。課題が大き過ぎてフォーカスが絞りきれなかった面もある。

#### 2 これまでの成果について

(1) 革新的又は学際的な学問領域の創造、共通基盤科学技術の開拓、国際協同研究の推進の観点から高く評価できるか。

学際的な学問領域の創造という点での課題として評価できる。また課題別では、高低差はあるが、新たな成果が得られているので高く評価しても良い。しかし海の生命観というコンセプトの創出や共通基盤の技術の開発という点では、成果に乏しい。また国際協力が最も必要な分野であると思われるが、それ

が現われていないのは残念である。

( 2 ) 当該学問分野及び関連学問分野への波及効果は、どのような状況であるか。

個別の海洋分野への波及効果は認めるが、共通基盤に立った大きな波及効果を生み出すまでには至らなかった。今回のプロジェクトで体制が整ったと思われるので、今後の展開に期待したい。

( 3 ) 研究成果の積極的な公表に努めているか。

全体としては努めたと言えるであろう。今後は一般向けの公表にも努めて欲しい。