

東京大学海洋研究所
先端海洋システム研究センター

ニュースレター



2007年 3月

はじめに

東京大学海洋研究所所長 寺崎 誠



2000年度の本所の大改組に伴い、研究グループは海洋物理部門、海洋科学部門、海洋底科学部門、海洋生態系動態部門、海洋生命科学部門、海洋生物資源部門の6つに大きく区分された。この改組の意義は大部門化により、部門の定員にとらわれずプロジェクトを中心として教官の流動性を高めることであり、新しい研究グループ組織で海洋科学の先端・境界領域の研究を総合的に進めることである。丁度この改組にあわせて、国際沿岸海洋研究センター（1972年設立）、海洋科学国際共同研究センター（1994年設立）に次ぐ3番目のセンター、海洋環境研究センターが時限10年で4月1日に設立された。このセンターは教授1名、助教授1名、助手3名で構成され、設置目的は海洋循環過程、海洋物質循環過程の基礎研究に立脚しつつ、生物学、生物資源学、海洋科学を取入れた斬新的な海洋循環モデルを構築し、それについての海洋現場模擬実験などの目的志向型、仮説立脚型の研究計画の立案と実施、及び検証を可能にする総合技術の確立により海洋環境問題に取り組むことである。

創設期の教員は佐野有司教授（海洋化学）、藤尾伸三助教授（海洋物理）、高畑直人助手（海洋化学）、田中潔助手（海洋物理）と初代センター長の平啓介教授（海洋物理部門）である。2001年3月7日には講堂での記念シンポジウムの後で、会議室で文部科学省、海洋研究開発機構、本部から来賓を迎えて記念式典・祝賀会が盛大に敢行された。4年後の2004年度には東京大学の国立大学法人化に伴い、同センターを改組拡充した先端海洋システム研究センターが発足した。新センターは海洋システム計測分野と海洋システム解析分野から構成され、海洋システム計測分野は研究は前身の海洋環境センターの仕事をはほぼ踏襲している。海洋システム解析分野の設立目的は生物多様性と遺伝子資源の実態を、最新の分子生物学的解析手法によって明らかにし、地質、化石を用いた年代測定や長期環境変動の復元データと合わせて、海洋という環境における生命の進化・生物多様性の形成過程・維持機構の解明である。海洋システム解析分野には窪川かおる（海洋生物）、天川裕史助教授（海洋化学）、浦川秀敏助教授（海洋生物）、大村亜希子助手（海洋地質）の4教員が着任し新センターの体制も整った。2004年12月3日には新センターの発足を祝う記念講演会・式典・祝賀会が所内において開催された。さらに2006年1月25日に本所講堂においてセンター主催の第1回シンポジウム「進化する海洋科学—学際研究、生物多様性研究—」が開催されセンター各教員の研究活動が紹介された。センター長は佐野教授につづき現在は塚本勝巳教授（海洋生命科学部門）が務めている。

2000年の大改組の次の年には理学系研究科、農学生命科学研究科に加えて新領域創成科学研究科の大学院生を迎えることになり、本所における分野横断型の先端海洋システム研究センターの役割は益々重要である。さらに新センターのスタートに合わせて小池前所長が2004年度に開始した若手研究者の支援プログラム「連携研究費」は異分野間の新しい共同研究の立ち上げに大いに寄与するもので、センターの教員の方々も積極的に参加されている。海の研究者の連携をはかるため昨年度に学内に設立された東京大学海洋アライアンスでも幹事部局として大いにセンターの諸活動を宣伝する所存である。2009年度には柏キャンパスへの移転が決定したが、新天地でもセンターのさらなる発展を大いに期待される。

センターの一年を振り返って

先端海洋システム研究センター長 塚本勝巳



昨年の丁度今頃、海洋研究所において、先端海洋システム研究センター主催のシンポジウム「進化する海洋科学」が開催された。スピーカーの諸先生の素晴らしい研究内容と斬新な提言は、まさに「学際性」「先端性」「多様性」というシンポの趣旨そのものであった。当時部外者として参加した私は、このように魅力的なシンポを企画した先端センターに限りない可能性を感じた。そうして4月、センターの一員となってみて、この予感が的中したことを知った。専門性の異なる若い研究者たちが率直に議論し、統合的、先端的海洋科学を創成しようと努力している姿を目の当たりにしたからだ。そうした努力はこの一年間に着々と実を結び、大きな研究成果として具現してきている。また社会にも公表されて、大きな反響を呼んでいる。センターとして大いに実り多い一年であったといえる。

一方、センターに着任して早一年が過ぎようとしている私は、この間に一体何が出来たかと自問自答してみることが、これという目覚ましい貢献は思い当たらない。飲み会を2・3回やったことと、毎月一回のセンタースタッフミーティングを定例化したことぐらいである。私自身は生物の回遊現象を専門としているので、現在のスタッフとなかなか研究の接点が見いだせない。今後は、回遊魚の耳石の同位体分析で計測分野のスタッフと、また、ナメクジウオの回遊・分散の研究で解析分野のスタッフと共同研究を進め、先端的・学際的の海洋研究をしたいものだと思っている。しかし、まずは今、センター長の私がすぐできることといえば、さしずめ今年度雨のため中止となった夏のBBQパーティを今夏こそ実現して、スタッフの慰労とますますの懇親に尽力することぐらいであろうか。



先端海洋システム研究センター構成員 (2007年1月17日)

先端海洋システム研究センターシンポジウム 「進化する海洋科学 ー学際研究、生物多様性研究ー」開催報告

2006年1月25日（水）に海洋研究所講堂において、先端海洋システム研究センターが主催するシンポジウム「進化する海洋科学 ー学際研究、生物多様性研究ー」を開催しました。センターは、2004年4月に設立され、その目的は先端的な視点と技術を基礎におき、学際的かつ統合的な海洋科学研究の中核として、物理学、化学、生物学、地質学を学融合した海洋科学を創設するところにあります。本シンポジウムはセンターの基盤である学際研究でリーダーシップを取っておられる先生方に、海洋科学の現状と将来をご自身の専門の視点からお話いただきました。



ご講演者と演題は、浅島誠（日本学術会議副会長、東大総合文化）「学際的研究による新しいパラダイムの展開」、大和裕幸（東大新領域）「新領域学術の創成と海洋システム研究への期待」、宮田隆（JT生命誌研究館）「生物の多様性と遺伝子の多様性の関連 ーカンブリア爆発を中心にー」、平朝彦（海洋研究開発機構）「古くて新しい海洋地球システム像 ー境界再訪ー」でした。加えてセンター教員各自の研究紹介も次のようにしました。佐野有司・高畑直人（計測分野）「海洋システム計測分野化学系の紹介：深層循環研究での物理学との統合化」、藤尾伸三（計測分野）「深層水の流動に関する研究」、窪川かおる（解析分野）「脊椎動物への進化：海洋環境受容と海洋生命系の多様性創出機構」、天川裕史（解析分野）「海洋環境における物質循環の研究：同位体比を基軸とする海洋科学」、浦川秀敏（解析分野）「微生物の可能性を探る」。参加者は80名となり盛会に終わりました。講演者からは多岐にわたる情報と的確な示唆およびセンターの発展への激励をいただき、センターの目標達成に向けて本シンポジウムは大いに刺激的でした。



最後に開催に当たり多大なご協力をいただいた本所総務課の皆様にお礼申し上げます。

研究紹介 海洋システム計測分野

海洋システム計測分野では、前身の海洋環境研究センター以来、海洋化学・物理学の連携によって海洋深層における流動や物質循環の解明に取り組んでいる。平成17年度から5年計画による基盤研究S「希ガスをトレーサーとした太平洋における海洋循環の解明」が採択された。研究組織は、佐野有司を研究代表者、藤尾伸三、高畑直人、田中 潔を研究分担者とする分野スタッフで構成される。その成果を含めて、計測分野で行っている深層の研究について紹介する。

深層水は、およそ2000m以深の海水を指し、北大西洋のグリーンランド周辺と南極大陸周辺で海面付近から深海へと沈み込んだ水である。日本付近の深層水も、これらの水がはるばる南極周極流から南太平洋へ分岐して、さらに北太平洋に至ったものである。このような大規模な循環によって運ばれる熱や物質は、地球環境や気候変動において大きな役割を持つことは明らかになっている。しかし、深層は海洋ではもっとも観測が難しい場所であり、さらに、太平洋は沈降域からもっとも遠いという理由のため、その定量的な把握はいまだに十分ではない。計測分野では、先端的な測定装置による現場観測や数値シミュレーションなどを通して、太平洋の深層循環の総合的な解明を目指している。

深層水の沈みこみの力学モデル

海洋表層から深層への沈み込みが起きている極域は、氷が張るなどの厳しい海洋環境にあり、もっとも重要な冬季での観測が難しい。このため、数値モデリングは沈み込みのメカニズムの研究には、きわめて有効である。図1は、海水が大陸棚斜面上を深層へ沈降するメカニズムを調べた数値計算の結果である。海面冷却によって重くなった海水は複雑な渦流（傾圧不安定）を形成しながら斜面上を沈降した。一般に海洋中では等深線に沿う流れ（斜面下向きに働く重力と上向きに働くコリオリ力がバランスした地衡流）が形成されるため、海水は斜面上を沈降しにくいと考えられるが、実際には発生する渦がそうした等深線に沿う流れを壊すことで、海水を効果的に斜面下方に沈降させることが示された。

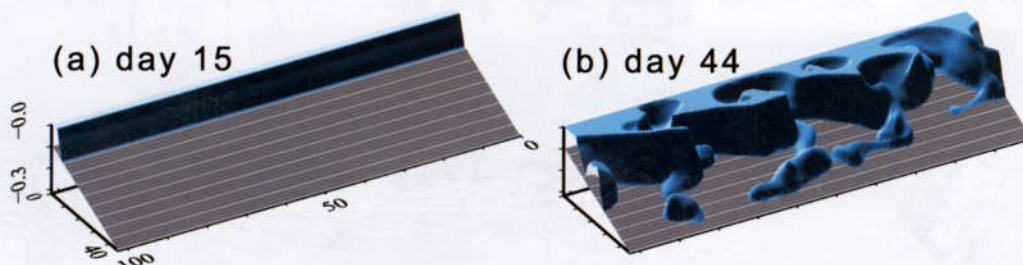


図1. 海洋中の大陸棚斜面上部において現実的な密度（負の浮力）フラックスを課した場合の、等密度面 ($4.0 \times 10^{-2} \text{kgm}^{-3}$) の時間変化。座標軸の単位は全てkm。

ヘリウム同位体比の精密測定

海洋中のヘリウム同位体比 ($^3\text{He}/^4\text{He}$) は海底火山などから放出されるマントル起源物質のトレーサーであり、海底付近の流れである深層循環の推定に有効である。高感度・高精度での測定を行うため、新しい希ガス用質量分析計（イギリスGV社HELIX SFT）を導入した。先端センターに現有の従来型分析計（イギリスMM社VG5400）と比較して、ヘリウムに対して約5倍の感度があり、質量分解能も約20%改良されている。さらに低バックグラウンドのイオンカウンティングシステムにより $1 \times 10^{-17} \text{mol}$ という極微量のヘリウム-3を感度良く検出可能である。このHELIX SFTに、海水から希ガス元素を抽出・分離・精製するための超高真空ラインを接続し、システムの分析感度・精度・確度の検定を開始した。大阪大学の松田教授が人工的にヘリウム-3とヘリウム-4を混合して作成したヘリウム・ガス（HESJ）を標準試料に用いて、大気中のヘリウム同位体比を測定した。その結果、約0.1ccSTPの空気試料の繰り返し測定で、精度約1~2%（1 σ の誤差）が達成できた。これは2007年現在の世界最高レベルの分析精度である。現在、火山ガスや温泉ガスを用いて分析の確度を検定しており、これらの準備が終わった後に、実際の海水試料の精密分析にとり掛かる。

海水の年代測定

海水の年代とは、海水が大気から遮断されて経過した時間であり、海面から深層へ沈降する水の輸送量などに関係している。年代を知ることで深層循環の強さを評価できる。トリチウムは水素の放射性同位体であり、放射壊変してヘリウム-3になる。このため、これらを同時に測定し、トリチウム-ヘリウム-3の減り具合とヘリウム-3の増え具合を調べることで、海水の年代を計算できる。日本海は独自の沈降域をもつ海であり、ここをテストフィールドとして海水のトリチウム-ヘリウム-3年代を求めた。図2に示すように深くなるほど海水の年代は古くなり、北大西洋での既存の観測例と同様の傾向を示した。今後、太平洋について年代測定を行い、海洋循環モデルのパラメータとなるデータを蓄積する。

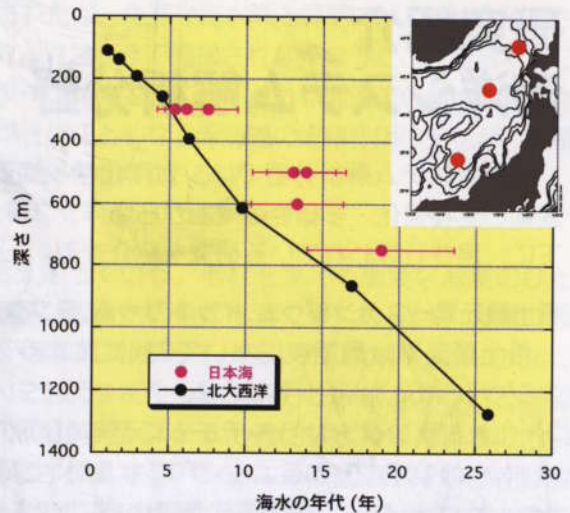


図2. 日本海におけるトリチウム-ヘリウム-3年代の深度変化と北大西洋(Jenkins,1987) との比較。

循環の診断的数値シミュレーション

既存の海洋観測データに基づいて深層水の大規模な循環を推定するため、数値シミュレーション・モデルの構築を行っている。気候学的年平均の海上風応力データセットと水温・塩分データセットを使用して水平0.25度格子、鉛直46層で流速を全球で計算した。最大水深は7000mまで取ること、海溝部分など深海の地形的特徴を取り込んでいる。図3は深層流の北太平洋部分の結果である。南太平洋から北上する深層流が日本東方にいたり、さらに千島列島沿いに北上する経路が現れている。モデルによれば、北緯20~30度付近の2本の分枝の流量はともに $5 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{s}$ 程度であり、大西洋を南下する深層水などに匹敵する。日本東方を北上する深層流を捉えるため、現在、東北沖において係留流速計による観測を実施しており、その観測結果や希ガスの分布などと対応を調べ、モデルの改良を行う。

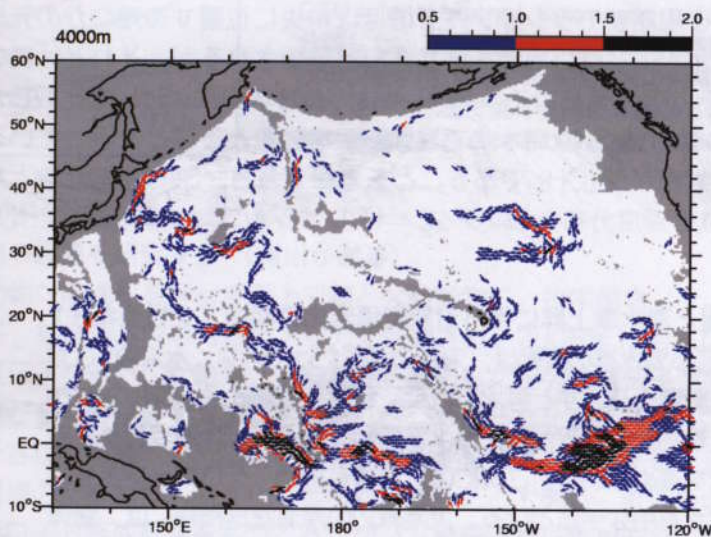


図3. 北太平洋の4000m深での水平流速図。0.5cm/s以上の流速ベクトルを色別に表示した。灰色は4000mより浅い領域を示す。

最後に

深層循環は、地球温暖化問題にも密接に関連する地球規模の広大で長い時間スケールの現象である。また、深海という人類に残されたフロンティアでの現象である。現在のスタッフで、そのすべてを扱うことはできないが、さらに連携を深め、さまざまな手法や観点から総合的に取り組むことで、研究を発展させていく。

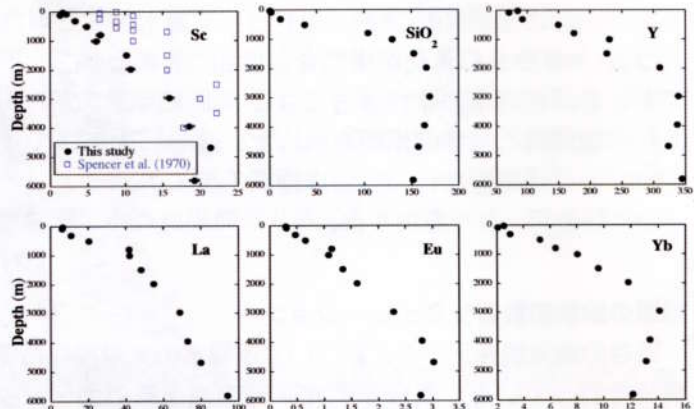
研究紹介

海洋システム解析分野

海洋システム解析分野では、海洋化学・地質学的解析および海洋生物の分子生物学的解析を通して、環境変動と生物進化・多様性の両面から海洋システムの横断的、かつ総括的な理解を研究のゴールとしている。以下に、現在行なわれている研究を紹介する。

希土類元素—スカンジウム、イットリウム、ランタノイド—を用いた海洋における物質循環に関する研究(天川裕史)

希土類元素は周期表において3族に属するスカンジウム (Sc), イットリウム (Y), ランタノイド (Ln, ランタンからルテチウムに至る15個の元素群) の総称である。いずれも海水中では pmol/kgオーダーの超微量元素である。YとLnは海洋における物質循環の研究に大変有用であることから、世界中の様々な海域の海水のデータが報告されている。しかしながら、海水中のScに関しては定量が容易ではないこともあり、ほとんど報告例がなかった。最近、筆者は中性子放射化分析を用いた海水中のScの高感度定量法を開発し、中央太平洋の測点(北緯30度, 西経160度)の深度分布を得たので、その結果をここに紹介する。Scの深度分布を、溶存ケイ素, Y, Ln (La, Eu, Yb

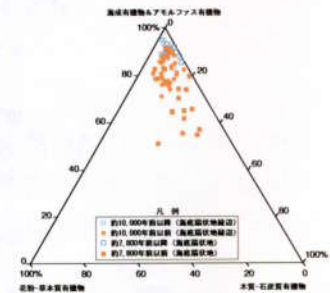


中央太平洋の測点におけるSc、溶存ケイ素、Y、ランタノイドの深度分布。横軸の単位は、溶存ケイ素は $\mu\text{mol/kg}$ 、それ以外は pmol/kg。

のみ) の分布と共に図に示す。Scについては、30年以上前の文献値も一緒にプロットしてある。Scは他の深度分布と同様、表層から深層にかけて濃度が増大する所謂栄養塩型の分布を示すことが明らかとなった。過去のデータと比較すると、今回のデータはやや低い値を示した。Scと溶存ケイ素および他の元素との相関を調べると、Euに代表される周期表でランタノイドのほぼ中央に位置する幾つかの元素と良い相関を示す。電子配列の観点からはYとLaがScと良い相関を示すものと予想されるが、それとは異なった結果となった。一方、地殻の平均的組成を示すと考えられるレス (loess) と海水のEu/Sc比を比較したところ、海水はレスの3倍以上の値を示し、これはEuとScは海水中で異なった挙動をとることを示している。熱力学的計算から予想される海水中のScの化学種がSc(OH)₃であることを考慮すると、Scは水酸化物となりやすく且つ表層から深層にかけて濃度が増大する深度分布を示すチタン (Ti) やジルコニウム (Zr) と比較、研究すべき元素かもしれない。

海盆底への堆積物運搬過程と海水準上昇に伴う沿岸環境変化の関連 (大村亜希子)

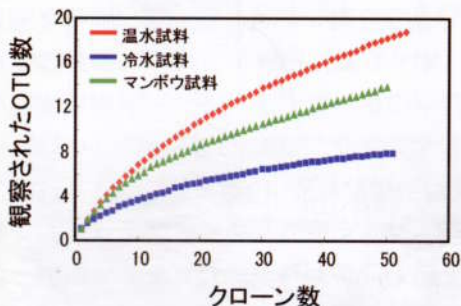
数10~100mの規模で起こる海水準の変動は、沿岸の地形だけではなく水深数1,000mの深海底の堆積作用にも影響を及ぼすと考えられる。私は、深海底から採取された堆積物コアに記録された堆積物形成過程から、海水準変動による沿岸地形変化を読み取ることを目的として研究を進めている。これには、堆積有機物(ケロジェンとも呼ばれる)の蛍光顕微鏡観察が有用な手法となる。大陸縁辺の深海底堆積物には、海洋プランクトン起源の有機物とともに陸起源の有機物も高い割合で含まれるが、蛍光顕微鏡下での形態や蛍光特性から様々な起源の有機物組成比が求められるからである。研究対象は、伊勢湾の沖合に位置する熊野海盆東部から採取された最終氷期末期から後氷期の堆積物である。この海域から採取された複数の堆積物コアの層相変化は、海水準上昇による河口の後退と河川の氾濫原堆積物の堆積時期に、タービダイトの堆積が海底谷から遠い場所からなくなったことを示す。泥質堆積物の有機物組成では、海水準上昇初期には花粉・草本質有機物や木質・石炭質有機物といった陸起源の有機物の割合が高いのに対して、引き続き起こった急速な海水準上昇期には陸起源の有機物が減少する。これは最終氷期末期の比較的海水準が低い時期には沿岸に内湾(伊勢湾)が成立していな



かったため、陸起源の有機物が海底谷を経由して海盆底まで運搬されたが、急速な海水準上昇期には、沿岸に形成された河川氾濫源や内湾(伊勢湾)に粗粒な陸源有機物がトラップされ、海盆底まで運搬されなくなったことを示す。これらの結果から、後氷期の海水準上昇に伴う陸域・沿岸域の環境変化は、海盆底に供給される混濁流の頻度と有機物組成の双方を変化させたと考えられる。現在は、このような海水準上昇にともなう深海底の堆積作用の変化が、堆積物に保存される炭素量やその起源に与えた影響を定量的に見積もる研究を進めている。

魚を上手に飼う方法 (浦川秀敏)

現在日本人は、多くの魚介類の恵みを享受しながら、食生活を送っている。それを支える重要な産業のひとつが養殖業である。一見、海や魚にやさしい食料生産に思えるが、生簀内の魚類を育てるためには、大量の投餌の必要があり、これが富栄養化をはじめとする沿岸域の海洋汚染につながっている。そのため、将来的には、環境負荷が低い閉鎖系養殖技術の開発が軌道に乗り、長期的・安定的な水生生物飼育方法が確立することが望まれる。魚を上手に飼うには一体どうしたらいいのだろうか？魚類飼育システムの適切な水質維持管理において、窒素コントロールは最も重要な課題である。多くの水生生物が排出するアンモニアは低濃度でも毒性が強く、魚類や他の水生生物に有害であることから、アンモニアを毒性の低い物質に変換することが重要で、現在は主に硝化作用を利用した生物ろ過システムが利用されている。硝化作用とは、アンモニアが亜硝酸に、さらに硝酸にまで変換される微生物プロセスである。硝化作用は、ふたつの異なる化学合成独立栄養性細菌(硝化細菌)によって行なわれており、アンモニアを亜硝酸に変換する過程では、アンモニア酸化細菌が、亜硝酸を硝酸にまで変換する過程では、亜硝酸酸化細菌がそれぞれの反応を担っている。一般に硝化細菌の増殖促進に生物膜が使われている。硝化細菌は増殖が遅く、新しい生物膜が機能するまでに2週間以上の長い期間が必要とされる。水槽の立ち上げ期間の短縮には、硝化細菌の種菌を生物膜に添加することが重要である。そのためには、硝化細菌相についての知見を得ることが必要で、特に硝化の最初の反応をつかさどるアンモニア酸化細菌の動態解析は重要である。そこで現在、水槽の水質や飼育魚の違いなどが、どのようにろ過槽内の硝化細菌相やその多様性に影響を与えているのかについて明らかにするために、アンモニア酸化細菌の多様性について研究を行なっている。



水族館水槽のろ過槽に生息するアンモニア酸化古細菌の多様性を示すレアファクションカーブ。
 OTU : (operational taxonomic unit)は99.5%の類似性で分類した。赤線は温帯沿岸域の魚類飼育水槽、緑線はマンボウの飼育水槽、青線は深海性魚類の飼育水槽の調査結果。それぞれの水槽で菌の多様性が異なる。特に低温で維持されている水槽の菌相の多様性が低い。

ナメクジウオで脊椎動物の起源を研究する (窪川かおる)

無脊椎動物から脊椎動物への進化を理解する上で鍵となる動物に、頭索動物(ナメクジウオ)がいる。ナメクジウオのゲノム遺伝子、約560万塩基対がアメリカで解読され、2006年12月末に公開された。そして米日欧の共同研究でゲノム遺伝子を解析した結果、脊椎動物と類似した配列の遺伝子が多数あり、さらにこれら遺伝子の染色体上での配置が多くの部分で共通していることがわかった。私たちは、このナメクジウオの遺伝子解析から、海洋環境を受容し、神経・内分泌系を経て、産卵や恒常性を制御する一連の機構の解明を進めている。目標は、生体調節機構の脊椎動物への進化を明らかにすることである。最近の成果は、ナメクジウオが脊椎動物だけがもつ性ステロイド合成経路をもつこと、ゲノム遺伝子からホルモン・受容体分子を探索できたこと、また、硫化水素・アンモニア環境下に生息するゲイコツナメクジウオの遺伝子ライブラリーを作成し、極限環境への適応機構の研究を開始したことである。

最後に

海洋システム解析分野のスタッフは、個々に独立した研究課題を推進しているが、将来的には共通テーマを深海の海洋環境と生命進化とのかかわりに絞り込み、複数の研究分野との連携に基づいた多様な先端手法を駆使した研究を発展させていく。

東京大学海洋研究所
先端海洋システム研究センター
〒164-8639 東京都中野区南台 1-15-1
Phone&Fax: 03-5351-6845
<http://camr.ori.u-tokyo.ac.jp/>