



第1期 海洋生物のセンサス  
2010

「発見の10年」ハイライト

目次

Readers may approach this volume, like marine life, at different levels. A sequence of images and blue captions tell the story, as does the black text, and the combination.

要約	3
はじめに	6
多様性	10
分布	19
生物量	27
「センサス」の遺産	32
「センサス」の動き	35
「センサス」のチーム	43
写真クレジットと提供元	61

Editors: Jesse H. Ausubel,  
Darlene Trew Crist, and Paul E. Waggoner

Designer: Darrell McIntire

Contributors: 2,700 marine scientists  
from around the globe

ISBN: 978-1-4507-3102-7

A publication of the Census of Marine Life

Census of Marine Life International Secretariat  
Consortium for Ocean Leadership  
Suite 420

1201 New York Avenue, NW  
Washington, DC 20005 USA

[www.coml.org](http://www.coml.org)

[coml@oceanleadership.org](mailto:coml@oceanleadership.org)

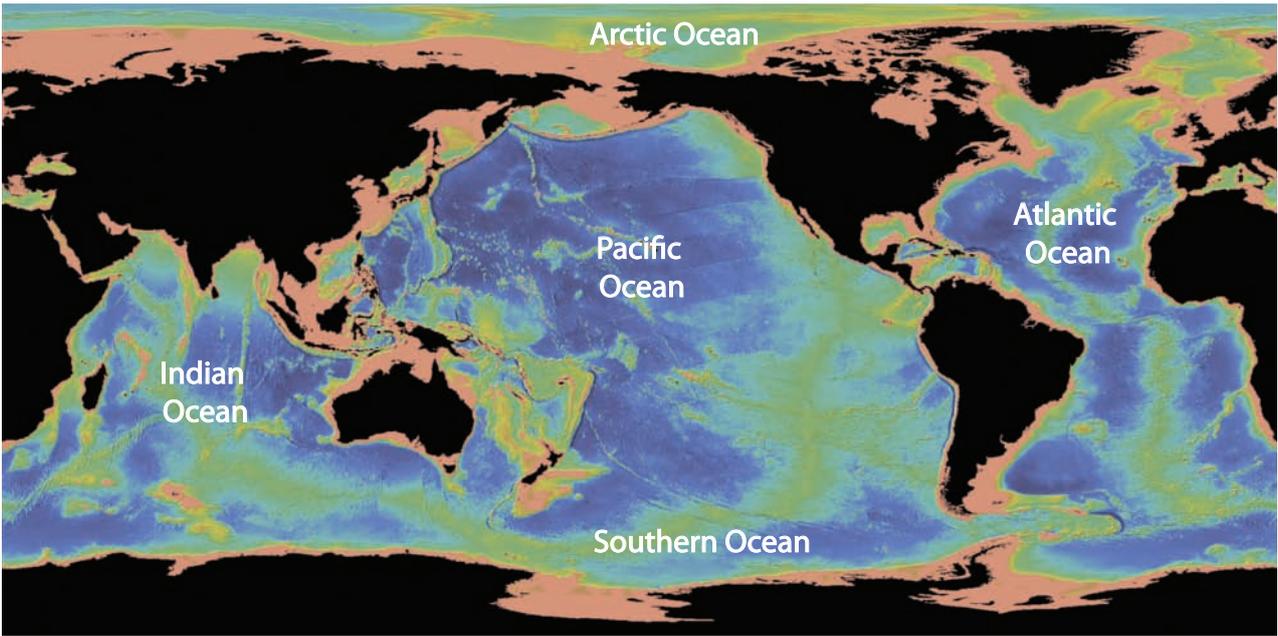
+1 202 232 3900

日本語訳 藤倉克則・望月直美 (JAMSTEC/Japan NRICs)

Printed in the United States of America

© 2010 Census of Marine Life

All Rights Reserved



1. The oceans encompass almost 10 times as much deep sea (averaging 4,000 meters) as shallow shelf (up to 200 meters). Shelves may be as narrow as 5 kilometers (e.g., off California or Chile) or as wide as hundreds of kilometers (e.g., off China or Argentina). Until recently, most human activities, and their impacts, have concentrated on the shallow shelves highlighted in pink around land here. The largest oceans are the Pacific and the Southern, which whirls like a carousel around Antarctica. Earth's Southern Hemisphere is 80 percent water, mostly very deep. Undersea mountain ranges or ridges divide ocean basins, and about 100,000 seamounts higher than 1,000 meters rise from the seafloor. Image: Census of Marine Life Mapping and Visualization Team



2. Between the shallow pink shelves that extend to a depth of about 200 meters around continents and the blue abyssal plains beneath the deep sea that average about 4,000 meters deep, the gray continental margins slope downward. Their gradient, exaggerated in this rendering, brings great and little-explored biodiversity. The margins also offer access to vast resources of petroleum and natural gas. In the view here, the world's longest mountain range, the Mid-Atlantic Ridge, traverses the ocean from north to south. Image: Census of Marine Life Mapping and Visualization Team

## 要約

1990年代後半、一流の海洋学者たちは、海洋生物に関する人類の理解は、知識を求める願望や必要性と比べて大幅に遅れているという意見で一致しました。そして、「海にはどのような生物が生息しているのか」という疑問を強く訴え、広大な海における未知の種や生活型を含んだ総合的な多様性を評価することが重要と指摘されたのです。また、「どこに何が生息しているのか」疑問を抱く人もいました。海洋生物の生息地の特定や、生物の生息区域や行動範囲に関して、信頼できる地図を作成する必要があることを強調したのです。さらに、「それぞれの種の個体数はどの程度なのか」という疑問をとりあげ、水産資源生物と人類の関係の重要性も指摘しました。誰もが海洋生物の変化や正しい知見による管理の改善について懸念を表明しました。

2000年に研究者達は一同に集い、「海洋生物のセンサス」(Census of Marine Life)を創設し、海洋生物の多様性やその分布、さらに生息数を分析・説明する世界規模の「センサス」に関する戦略を策定しました。「センサス」の提唱者たちは、次の3つの疑問に関して「センサス」をまとめました。それらは、過去の海にどのような生物が生息していたのか、現在の海にはどのような生物が生息しているのか、将来の海にはどのような生物が生息するようになるか、ということです。研究者達は、海洋生物に関する知識の限界を探索するプログラムをデザインし、2010年に結果を報告することで合意しました。

「センサス」は、過去の分析結果を調査し、全世界で540の海洋調査グループを組織し、また他の組織やプログラムと提携しました。そして、80を超える国から科学者2700名が「センサス」に参加し、海洋生物に関する既知の情報について収集、補足、整理したのです。その結果、自然の変動や人類の活動によって生じる海洋生物の変化について、ベースラインデータを集積しました。重要なことは、「センサス」は未知の海洋を体系的に評価したということです。

多くの書籍や論文、ウェブサイト、ビデオ、映画、地図、データベースによって「センサス」の成果が公表され、そして更新できるようになりました。以下に、「センサス」の成果の要約、「センサス」が作り出した遺産、そして「センサス」がどのように機能するかについて説明します。

### 多様性

「センサス」では、思いがけないほど多数の新種が発見されました。これは、海の生物がいかに多様かを象徴しています。既知の海洋生物の種数は約23万種とされていましたが、「センサス」により25万種近くにまで増加しました。「センサス」は、よく調査されている海域やほとんど調査されていない海域から収集された何百万ものサンプルの中から、新種の可能性がある6000以上ものサンプルを見つけ、1200を超える種について科学的に記載しました。中には、珍しい種も多数発見されました。

「センサス」は、3000万近い観察・出現記録を編集し、海洋生物の多様性について、地域別、世界規模の比較ができるよ

うにデータベース化しました。これにより、2010年9月の時点で19万種に達する最初の包括的な海洋生物の一覧が作成され、8万種以上を網羅する地球生物百科であるEncyclopedia of Lifeというウェブ図鑑の作成に貢献しました。

「センサス」は、これまでにない規模で海洋生物の主要な3万5000種もの遺伝子分析を行いました。そして、種間の類縁性を表わし、海洋生物の多様性における遺伝構造を新たに図解できるようにしました。この遺伝子分析はバーコード化と呼ばれ、誤って別種と分類された動物を指摘することで見た目にもまどわされないようにしました。バーコード化により、全般的には細菌や古細菌を含むさまざまな微生物の数が増加しました。

しかし、「センサス」は、海洋に存在する既知および未知の生物の種類の合計数を正確に予測することができていません。理論的には、種に認定される海洋生物の種類が少なくとも100万種に達し、微生物の種類は数千万から数億に跳ね上がることでしょう。

### 分布

「センサス」では、鉛が溶けるような高温の熱水噴出域や海水が凍結するような極寒海域、光や酸素が不足している場所を含むあらゆる場所で生物を発見しました。これにより、生命の生息環境条件に関する知見が広がりました。海では、極端な条件でも生命が生存でき、そのような環境でさえ通常な環境といえます。

「センサス」は、音響、衛星、場合によっては海洋生物自身に取り付けた電子機器によって何千もの動物を追跡するプロジェクトにも取り組みました。そして、何十もの種の移動経路を記録し、大洋の間の移動ルートや繁殖地を図示できるようになりました。トラッキング(追跡)により、動物が泳いだり、もぐったりするときの環境も測定され、繁殖地や死んだりする場所が明らかになりました。また、動物が好む温度帯なども明らかになり、例えば、融解した氷などのを求めて生物が移動する例も発見されました。

「センサス」の世界海洋生物データベースウェブサイト(io-bis.org)にアクセスすると、種名を入力するだけで、種の分布を閲覧できます。データベース上の種名と分布により、「センサス」は、海洋生物の多様性の度合いをグローバルスケールで見えるようにしました。沿岸生物は熱帯太平洋岸で最大の種多様性が見られた一方で、外洋回遊性種の種多様性はあらゆる海洋において中緯度帯に高い傾向が認められました。また、深海では、海嶺、海山、深海平原、大陸棚で、新たな生物の生息地を見いだしました。

「センサス」は、まだ調査が行われていない未知の海洋がどこにあるかも明らかにしました。海洋面積のうち20%以上は、いまだに「センサス」データベースに記録が全く存在せず、また非常に広い範囲においてわずかなデータしか存在していないことがわかりました。

## 生物量

観察、採集、レストランのメニューといった歴史的なデータから、「センサス」は30年という短期間に海洋生物の数や大きさが減少していることを見いだしました。また、いくつかの種について個体数の回復が認められましたが、それらの多くは、保全を推進した結果でした。歴史が示すように、人類はるか昔から海洋生物を捕獲しており、それは以前考えられていたよりもはるかに広範囲に渡っています。歴史的に見れば、人類による乱獲や生息地の破壊は、海洋生物に対する最大の脅威となっています。

「センサス」は、音響を使用して何千万もの魚がマンハッタン島もの大きさに達する群れを素早く作って群泳する様子を観察しました。それらは、毎日決まった時間に海底から海面まで数百mも移動していました。

海では、重量からみると大多数の生物が微生物で、それが全海洋生物の90%に達することが示唆されました。地球上に存在する海洋微生物の重さは、人間1人当たりの重さにわりあてると象35頭に相当します。

1899年以降、大陸間を運航する船の間接的なデータを分析したところ、海面近くにいる一次生産者の植物プランクトンの数が、世界中で減少していることを見いだしました。グローバルな海底の「センサス」地図からは、海洋表面からのマリンスノーが、海底の生物の数を制御することも明らかになりました。海底の生物の数は、極地の付近や、寒流が海面に湧昇する大陸棚の周辺、また赤道海流が分岐する地点で最も多いこともわかりました。また、深海では、何百kmも広がる微生物や珊瑚礁を発見しました。

生産者である植物プランクトンや食物連鎖の頂点にいる大型動物は減少を示しましたが、海洋生物の総重量が減少しているという傾向については結論が得られませんでした。

## 「センサス」の遺産

「センサス」は、知見や技術、そして国際プロジェクトを推進するノウハウを遺産として後世に残しました。

知見に関して、「センサス」は2600を超える論文を公表しました。その大多数は、オンラインで自由にアクセスできます。

「センサス」は、観察結果を編集して独自の内容を追加することにより、海洋生物種に関する最大のデータベースを構築し、今後の研究発展のためにだれでもアクセスできるシステムにしました。各国政府は、将来もこのデータベースを維持することを確約しています。「センサス」では、生物多様性条約や各国の海洋生物保全政策に貢献できるようベースラインデータを提供しました。このベースラインにより、海水の温暖化や原油流出による被害といった生態系の変化について評価が促進されるでしょう。

新規技術に関して、「センサス」は海洋生物の同定のためのDNA バーコード化などを行いました。また、カリフォルニアからカナダを越えてアラスカまで音響受信装置を配置して、動物の追跡（トラッキング）ネットワークを構築しました。サンゴ礁では、生物の全世界的評価を標準化する自動サンゴ礁監視ユニットを開発し、数万km<sup>2</sup>におよぶ範囲で生息数を測定する音響システムの構築を推進しました。これらの技術と、最近はじめたグローバル海洋観察システムを組み合わせることで、生物のみならず、海水温や波も観察できるようになります。

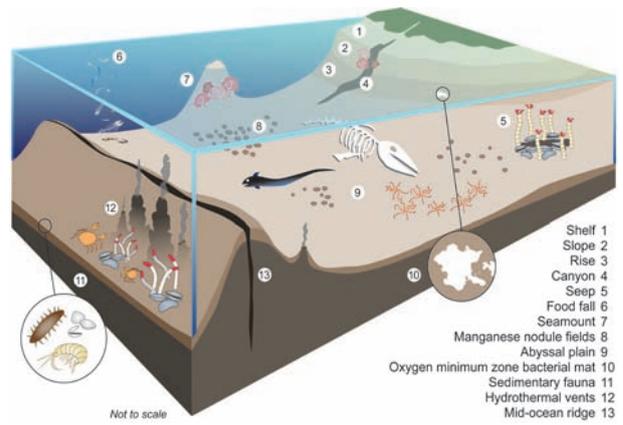
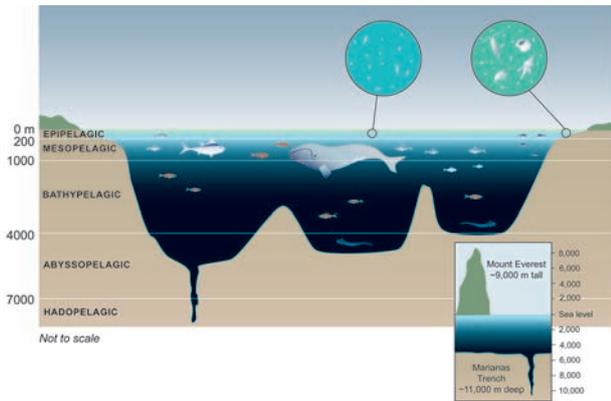
国際プロジェクトの推進ノウハウに関して、「センサス」は海底から海面までの海洋生物のサンプリング手法を標準化、優れた技術の採用、低コストシステムの構築を通じ、さまざまな国から研究者を呼び集めました。過去の海洋生物像を構築するために、人文科学、自然科学、社会科学の研究者との協力のもと文献調査、多様性、分布および生息数の変化を評価しました。

「センサス」では、研究対象をすでに比較的知見がそろっているもの (Known)、研究努力により飛躍的な知見の増加が見込まれるもの (Unknown)、そして現在の人材や技術では知見の増加が望めないもの (Unknowable)、といった3つにわけました。そして、これらを分類する根拠として、データが失われ見いだせないもの、海洋が莫大な広がりを持つため調査不可なもの、部分的な知見から包括的な知見への適用がむずかしいもの、あえて研究あるいは費用支出をしないことによってわれわれ自身で知ろうとしないこと、津波のような予期できない攪乱といった5つのカテゴリから判断しました。

微生物については大型生物ほどの知見が存在せず、一般論としては知見の量が生物の大きさに反比例していました。しかし、生物現象のなかにはフィールドでの視野では対応できないほどの広範囲で解析する必要なものもあり、これらに対して「センサス」では大規模な地域やデータを活用し、知識の限界を克服する「巨視的なツール」も開発しました。

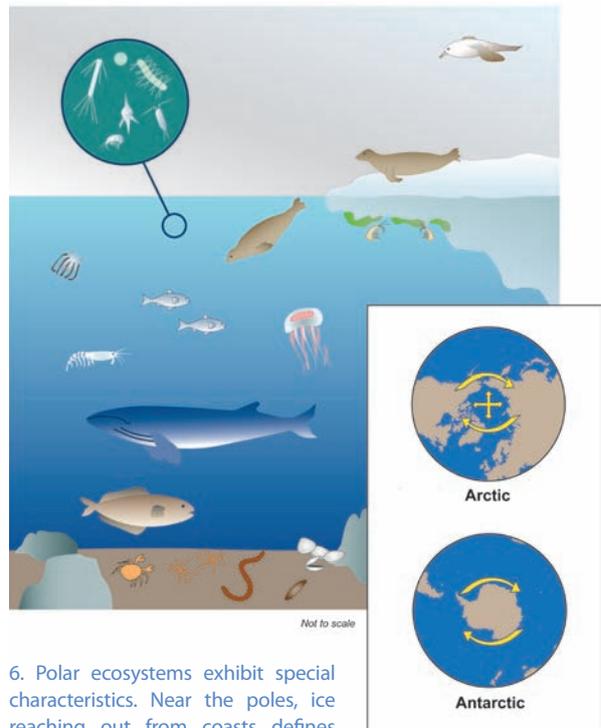
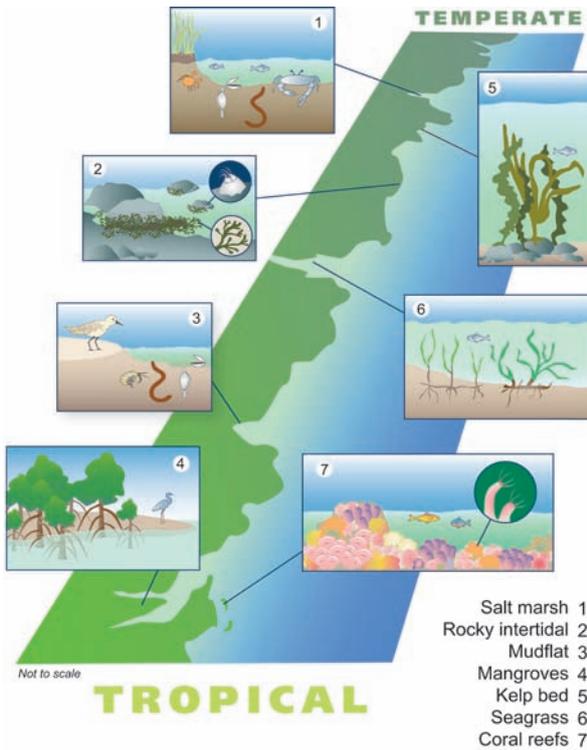
「センサス」は、経済的・技術的發展が海をますます透明化して生物データが得やすくなることを見いだしました。第1期の「海洋生物のセンサス」では、種多様性、分布および生息数に関するベースラインを構築するために、海洋生態系が高い多様性、分布や移動によって連結、増加する人類からの影響、たくさんの未探索域、海洋の変動といったことを記録しました。「センサス」では専門的な研究者の数が大幅に増加し、発見および観察のための技術を開発・普及し、データへのアクセスを改善し、海洋生物種や地域の保存のための政策について情報を提供しました。知見のベースライン、一連の新技术、国際協力といった「センサス」の遺産は、人類および海洋に対してさらなるメリットを約束します。

Marine habitats



3. In “pelagic” or open ocean ecosystems, differences in light, temperature, salinity, and nutrients determine productivity. Productivity, in turn, limits what kinds of creatures can live there. The prefixes to pelagic in the left of the figure refer to depth zones. Image: Lianne Dunn

4. An array of specialized habitats exists on the deep-sea floor, thousands of meters below the surface. The Census standardized datasets to enable comparisons of kinds of life among these specialized habitats. Image: Lianne Dunn



5. The Census studied many different coastal habitats from the tropics near the equator up to temperate environments at midlatitudes. Each habitat has unique characteristics and its own suite of species. Image: Lianne Dunn

6. Polar ecosystems exhibit special characteristics. Near the poles, ice reaching out from coasts defines seasons and thus defines changes in food and habitat. Land surrounds the waters of the Arctic Ocean, whereas the water of the Southern Ocean surrounds Antarctic land. Image: Lianne Dunn

## はじめに

人類は何千年も海を利用してきましたが、海洋生物についての知見は、かつては沿岸や先人たちが危険を冒して探検に出た場所に限られていました。今日の海洋生物調査でも、新たに、そして深い場所を調査するたびに、思いもよらない珍しい生物が発見されます。近年、詳細な航海用の海図や海底地形図が作られ、天気予報が正確になったため、海洋の調査は効果的に行うことができるようになり、海洋生物に関する知見も驚くほど多くなってきました。例えば、オーストラリア近海では、研究者が5,000万年前に絶滅したと考えていたエビを見つけ、アフリカのモーリタニア沖では、水深500mに400kmを超える世界最大規模の冷水性サンゴの死骸が見つかりました。チリ周辺では、ギリシャまたはニカラグアの面積に相当する広さの巨大なバクテリアマットが海底を覆っていたのです。

驚くべき発見の連続というよりも、むしろ知見の増加につれて、私たちは海洋生物を俯瞰できるようになりました。現在、海岸に沿っては、都市、港、養殖場、風力発電施設が増え、沖合では、海底油田、船舶輸送、漁業、ケーブルが広がり、まもなく深海における鉱物資源開発も普及する可能性があります。漁港から貿易港へ姿を変えるように、海洋においてもさまざまな人類による利用が相互に影響し合います。石油は、大気中の温室効果ガスに変化して、海洋の酸性化や温暖化をもたらします。一方、ダイバー、潜水調査船、無人探査機によるデータ、海洋生物にデータロガーを取り付け生物自身にデータをとらせることごとによって、暗い深海のベールもはがされつつあります。地球環境問題に対応する賢明な政策の支援には、海洋生物に対するさらなる調査が必要とされ、多くの人々に海の重要性を認識してもらう必要があります。

2000年から、「海洋生物のセンサス」は10年におよぶグローバルな海洋生物の調査を開始しました。「センサス」は、研究対象をすでに比較的知見がそろっているもの (Known)、研究努力により飛躍的な知見の増加が見込まれるもの (Unknown)、そして現在の人材や技術では知見の増加が望めないもの (Unknowable)、といった3つのカテゴリにわけました。この3つのカテゴリを、微生物からクジラにいたる生物にあてはめ、それらの多様性、分布、個体数について明らかにすることを目的にしました。「センサス」には全世界から数千人の研究者が数百の調査活動にたずさわって、数億ドルが投資されました。また、多くのダイバー、サンプリングネット、潜水調査船、遺伝子の同定、音響ソナー、音響タギング、音響受信装置、通信衛星が用いられました。「センサス」の研究は、沿岸—大陸斜面—海溝、北極から熱帯を超えて南極海へと、あらゆる海域に及びました。海鳥を追い、海底から堆積物サンプルを採集し、また、遠い過去から未来までを研究対象としました。これらの研究で得られたデータは、データベースにまとめられ、だれでも自由にアクセスできるようにしました。さらに、「センサス」の研究者は、行く先々で数多くの新種を発見しました。

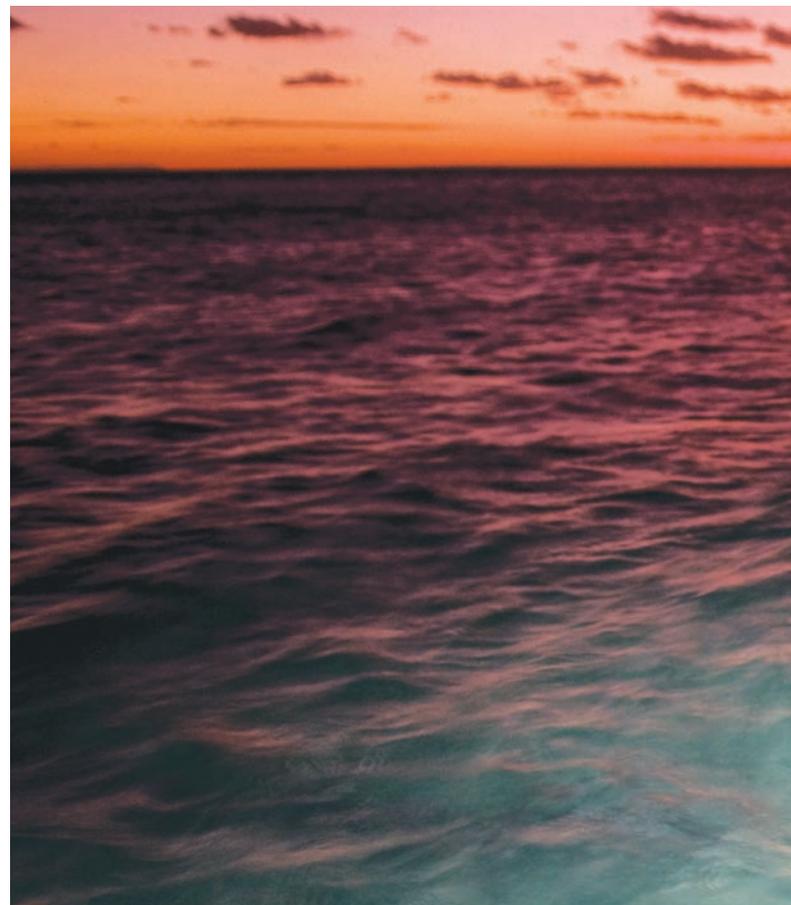
このレポートは多くの研究者の努力により、世界中から集められた国際的な海洋の生物多様性研究「海洋生物のセンサス」

のハイライトです。これには「センサス」に参加した人々、共同調査とその協力体制、および世界中で得られた成果について示してあります。ここではまず、「センサス」についての読者の疑問に対して、海洋に関する生物学的な知見、特にこの「センサス」の充実した10年間で加えられた新たな知見から述べます。

## 限界を克服して知見を得る

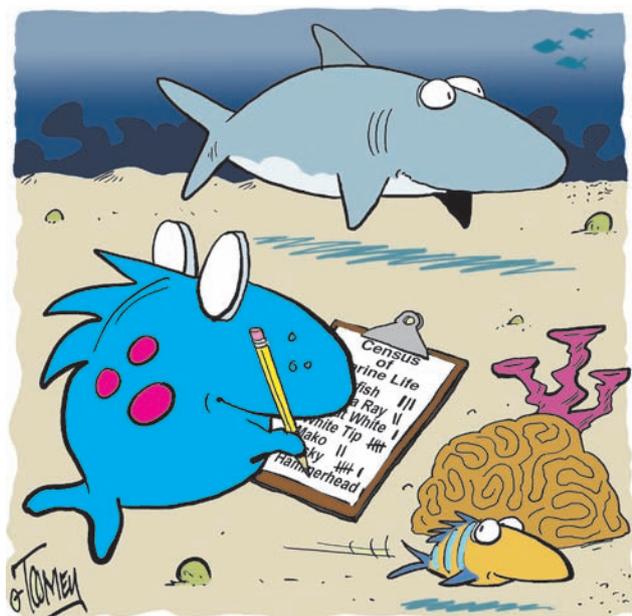
地球が「水の惑星」と呼ばれることから、海の知見を集めることは地球全体を理解することにつながります。ヒトは、肺で呼吸し、両目の焦点を合わせ、「陸の惑星」で生活する種です。しかし、地球は表面の70%を水で覆われる「水の惑星」です。SF小説家であり、通信衛星の考案者であるArther C. Clarkeが述べたように、南半球では80%以上が海であり、そして全海洋の70%は、平均水深が4,000mの深海であり、もっとも深い地点は水深10,924mです。海底下に生息する微生物は別として、地球の生物圏のうち99%は海なのです。「センサス」をスタートさせるにあたり、研究者は、体系的な生物の調査がなされている海域は5%にすぎないと見積もりました。

膨大なUnknown領域があることに直面し、「センサス」は、知見の限界を認識し、着実な戦略を採用しました。私たちができる限界を明確にすることで、どれくらいのUnknown領域まで着手するべきか考えることができます。また、私たちは、資金、組織、研究の進展、そして時間があれば、UnknownをKnownへと移行できることを多く経験してきました。「センサス」は、新種の生物を発見し、それぞれの種について生息域および行動範囲を明らかにし、種の個体数や重量を計測することにし



7. Image: Gary Cranitch

ました。こうして、Unknownを少なくし、Knownを増やすことにしました。しかし、Unknownな領域を明らかにすると、そこにはまた新たにUnknownが出てきます。インターネット技術、深海へ挑む潜水調査船、細胞から抽出された遺伝子などを用い

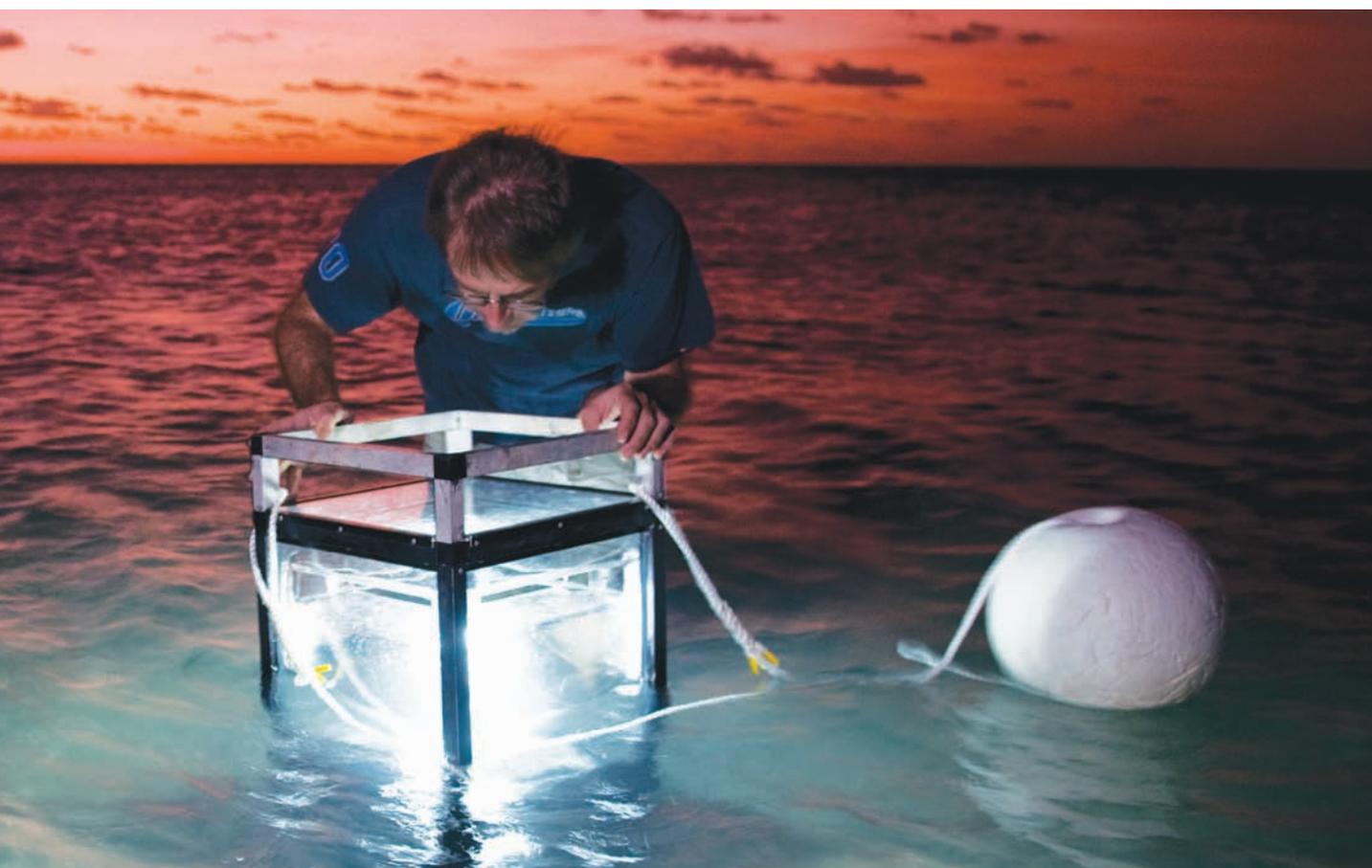


8. The idea of learning everything that lives in the sea plus their addresses and numbers brings smiles to people's faces. Cartoonist Jim Toomey imagined how sea animals might themselves conduct a Census of Marine Life. Fortunately, the opportunity for discovery and the scale of the Census also attracted thousands of scientists from more than 80 nations, who rallied around learning the diversity, distribution, and abundance of marine life in the past, present, and future. Image: Jim Toomey

ることで、時には、このようなUnknown領域を飛び越えることができます。それでもまだまだ私たちは「知見を得ることが難しい」多くのことを抱えたままです。

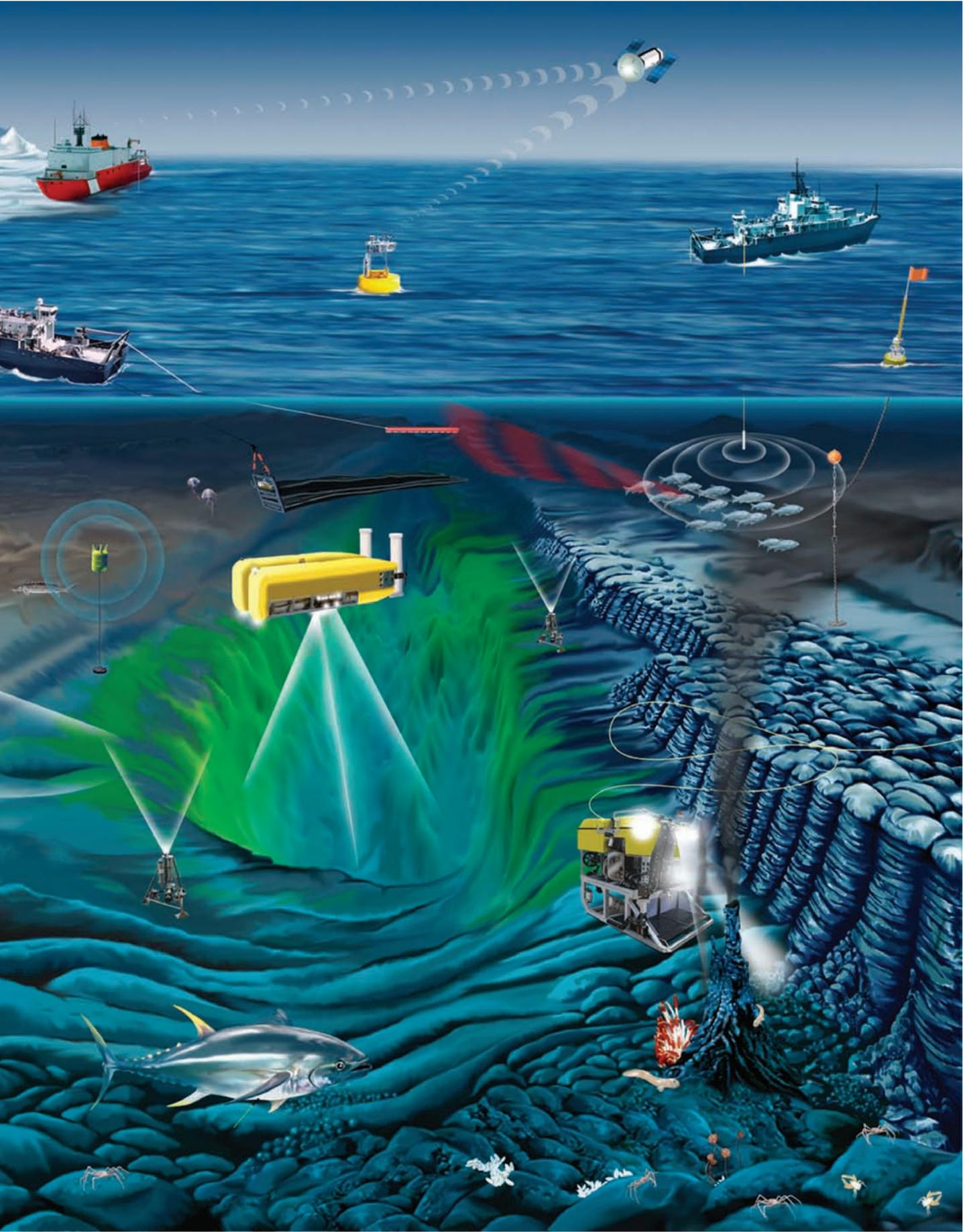
海洋生物を、Known, Unknown, Unknowableに分類する根拠は様々あると思われませんが、最終的には5つに集約されます。それらは、過去に消失したこと、海の広さ、断片的な情報をひとつにまとめることの難しさ、研究されていないこと、津波などの予想困難な攪乱、の5つです。過去のデータの消失や種の絶滅は、過去の海洋生物の解明を不可能にしてしまいます。微生物の計り知れない多様性と急速な変化は、現在の海洋生物をも理解不能にしてしまう可能性があります。専門的な研究者がいない生物群では、将来、解明可能な生物さえ未知のものにしてしまう可能性があります。

「センサス」では、これまで無視されていた過去のデータの掘り起こし、絶滅したと考えられていた種の発見、サケなど回遊する動物の行動を検出する音響受信装置の開発、新種を判定するための遺伝子バーコーディングを用いてきました。こうした取り組みで、いくつかの未知の領域を踏み越えることができました。「センサス」は、海洋生物のサンプリングに従来から使われていたネット類、コデラート（方形枠）、堆積物中に生息する生物を採集するコアに加え、新たなツール類も用いました。もっとも大きなツールは、「センサス」の総合的なデータベースであり、これにより研究者は、これまでとは比較にならないくらいスケールでグローバルに海洋生物の多様性や分布のパターンを解析できるようになりました。





9. Census investigators explored on and beneath polar ice. Their aircraft remotely sensed animals through properties of scattered light. Marine animals themselves carried tags that stored records of their travels and dives and communicated with satellites. Fish carried tags that revealed their migration past acoustic listening lines. Sounds that echoed back to ships portrayed schools of fish assembling, swimming, and commuting up



and down. Standardized frames and structures dropped near shores and on reefs provided information for comparing diversity and abundance. Manned and unmanned undersea vehicles plus divers photographed sea floors and cliffs. Deep submersibles sniffed and videotaped smoking seafloor vents. And nets and dredges still caught specimens, shallow and deep, for closest study. Image: E. Paul Oberlander



## 多様性

動物、植物、真菌類の種数は、生物学的な多様性すなわち生物多様性を表しています。金融投資をする際に様々なデータ解析から確実性を評価するように、生物学者は、生態系の健全性を評価するために生物多様性を用いることが多々あります。研究者は、種数を多様性評価の補助的な数値ととらえる場合もあり、多様性をより正確に評価するために多様度指数を計算したり、遺伝子の多様性に注目したり、ある地域集団の多様性も考える場合があります。それでもなお、種数は共通に用いられる指数であり、種のリストは生物多様性の主要なデータとして一般的に使用されています。

種は、分類学上のグループすなわち分類群の階層の基本であり、分類学では種の上位分類群は属に始まり、科、目、綱、門とより大きなグループを形成します。これらを含む言葉タクサおよびその単数系タクソンは、この階層のいずれのグループも意味する場合があります。

このように、海の生物学的多様性をすべて目録化するために、「センサス」は種に重点を置きました。種の定義は、雌雄による繁殖が可能な生物集団から成り立ち（無性生殖の場合をのぞく）、通常他の同様のグループとは交配しない集団、とされています。「センサス」は、過去および「センサス」以外で実施された数千万もの種レベルの出現データを集積し、「センサス」独自のデータも数百万追加しました。その結果、6,000を超える新種とみられる種を発見し、そのうちの約1,200は、分類学的に正式に記載されました。

「センサス」が発見した種の中には、絶滅したと考えられていたものもいくつかありました。「センサス」では、既知種および新種に関する分類学的なデータとそれらの分布記録は、Ocean Biogeographic Information System (OBIS) に集積されます。このシステムは、インターネット上で誰もがどこからでもアクセスできるデータベースです。「センサス」は、OBISを考案し、構築し、そして運用しています。

OBISは、種の分布域や行動範囲のマップ作成、種数、各タクサが含む推定種数のうちOBISに含まれる種数、このような海洋生物の多様性を図示する機能があります。OBISは、現在1,000近いデータセットから、2,800万を超える分布レコードと12万種のデータを有しています。研究者たちは、海洋生物のグローバルパターンを見出すために、OBISのデータ分析を行いましたが、その後もOBISには年間500万レコードが追加されています。

「センサス」はまた、これまでに記載されたすべての海洋生物種のリスト化にも貢献しています。海洋生物の学名データベースWorld Register of Marine Speciesは、信頼性の高い、包括的なオンライン学名リストであり、2010年9月のはじめには19万件以上の学名が収録されています。そして、「センサス」

が提携しているEncyclopedia of Life (EoL) は、地球上の種についての情報を提供するオンライン図鑑データベースであり、海洋生物種の特徴を記載したウェブページです。EoLは無限に拡大できますが、現在8万を超える海洋生物種を網羅しています。いずれも2000年には存在していなかったオンライン資料です。

新種の発見が絶え間なく続くと、海洋生物を一度の「The Decade of Discovery」で理解するのは難しくなります。おそらく魚類はもっとも研究された海洋生物ですが、過去300年間に少なくとも8回の新種発見のピークがありました。これらのピークは、種を分類するための二名法、大規模調査、個々の専門研究者の功績、深海や極地を含む新たな海域の調査を可能にした技術的な進歩など、科学的な変革と関連しています。最近では、分子生物学のデータも得られるようになり、分類学者は、海水魚の新種だけでも、年間約150の割合で記載しています。明らかに、海洋生物の「The Decade of Discovery」は、魚類でも続いており、既知の種数によって評価される多様性は、縮小するどころか拡大しているのです。

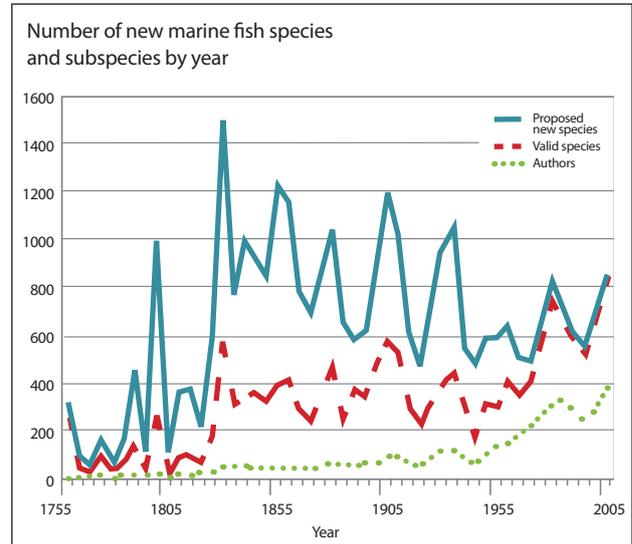
2000年に「センサス」が始まって以来、海から年平均で約1,650の種が追加されています。甲殻類(452種/年)および軟体動物(379種/年)がもっとも多く、海綿動物および棘皮動物も年間それぞれ59種、30種と増加しています。専門研究者の見積りでは、海の種数は、「センサス」が始まったところの23万種から、2010年には少なくとも24万4千種まで増えるとされています。あと数年間で、過去の記録がすべて整理され、新種が記載されると、学名がつけられている海の総種数は25万種に達するでしょう。

楽観的な見方をすれば、最終的には完全にすべての種が発見されると考えられますから、これまで累積した種のリストから、すべての種多様性を推定する手がかりになります。調査の進んでいるヨーロッパの海域では約3万6千種が生息しており、「センサス」の研究者は、さらに10%多い4万種を超えるヨーロッパ固有の種が存在すると予測しています。ヨーロッパは世界でもっとも解析が進んでいるため、すでに発見されている種の割合が他の海域よりも高いと思われます。北極域でこれから出現する新種は、軟体動物、節足動物、および棘皮動物で現在の数から約40%増えると予測されています。魚類の種数は、2010年2月には16,754種に達し、さらに5千種が発見されると見積もられています。

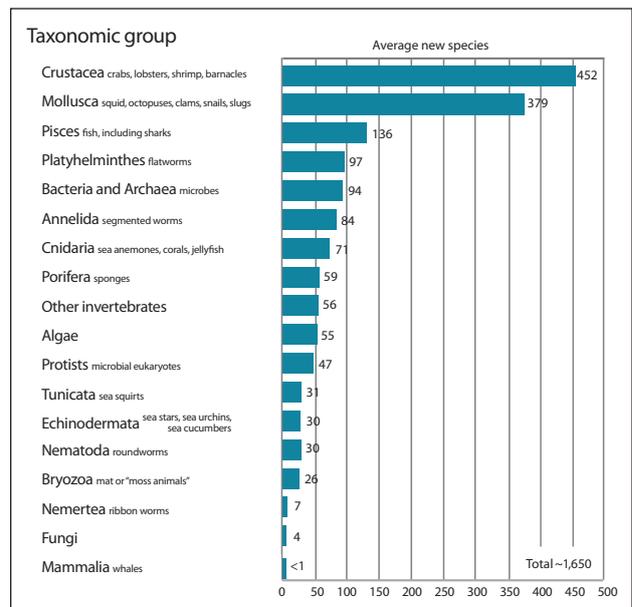
「センサス」の研究者は、統計的な手法で、今後何種類の海洋生物が発見されるか推定しました。残念ながらというよりもすばらしいと言った方がよいのかもしれませんが、最終的な数値は不明のままです。ほとんどの分類群および海域において、新種の累積数の上昇曲線はすでに飽和状態に近いことを示しています。オーストラリアの研究者は、オーストラリア近海に生息する3万3千種の既知の種は、全体数の見積りの10%から20%にすぎないと評価しました。オーストラリア近海からは1,200種のカニ類が発見されていますが、これは世界全体の

既知種カニ類のうちの7%にすぎません。また、あるサンゴ礁の数mの中を調査すると、そこに100万から200万の種が生息すると推定されています。

「センサス」が始まった当初、立ち上げに関わった研究者は、海には100万から1,000万の種が存在すると予測しました。「センサス」の研究者は、海域や分類群別にデータを集めています



11. People often feel that everything must already be known, as discoveries grow and libraries accumulate. The continuing discovery of new fish species (and subspecies) demonstrates that the Age of Discovery is not over. The smaller number of species validated than proposed as new species illustrates the thorough evaluation needed before a species is declared truly new. The rising number of authors of species descriptions reflects the growing interest in marine biodiversity. Source: William N. Eschmeyer and colleagues, 2010.



12. An average of about 1,650 new marine species were described each year between 2002 and 2006. Although the numbers of new Mollusca and Crustacea are highest, an average of 156 new species in the well-studied Pisces or fish group astounds even Census researchers. Census researchers both collected specimens that might be new species and helped collate data worldwide about newly described marine species, including many described from specimens collected before the Census began or on expeditions not flying the Census flag. Source: Philippe Bouchet and Benoit Fontaine.

すが、専門的な判断では、少なくとも100万種の海洋生物が存在し、既知の種の少なくとも3倍が今後発見されると断定しています。海洋生物の総種数は、どれくらいが上限なのかは、いまだに確たる評価ができないのです。

種は、動物、植物、および真菌類に対しては、多様性を表現する単位として普及していますが、細菌類あるいは微生物に対しては、種、すなわち、より専門的には系統型（ファイロタイプ）の単位で考える必要があります。海洋微生物には、原生生物、細菌、および古細菌が含まれます。動植物の細胞のように、原生生物の細胞には細胞核を内在していることから、原生生物は、生物の基本的な3つのドメインである真核生物に属しています。原生生物には、動物に似た原生動物、植物に似た藻類があり、原生生物の多くに対して、種という言葉を使用する場合があります。そのほか2つの生物の基本ドメインである細菌と古細菌は、合わせて原核生物のグループを形成しています。動物や他の真核生物の細胞とは異なり、細菌や古細菌の細胞は、細胞核を内在しません。

海洋の水柱に存在する微生物の細胞は、およそ $10^{29}$ を数え、それらを集めるとアフリカ象2,400億頭に相当する重さになります。これは、地球上で人間1人の重さにわりあてると象35頭分の海洋微生物に相当します。海洋微生物は、全海洋の生物量の90%までを占めます。それらの多くは、分子生物学的解析技術の発展、特に大量のサンプルからDNAの抽出および配列を迅速に行う技術によって、多様性が明らかになるまでは未知の領域でした。

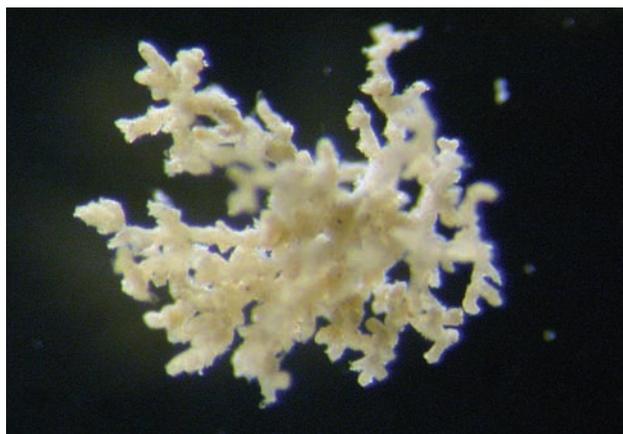
DNAの短い断片でも、動・植物の種と同様に、微生物の種類を特定できることがよくあります。動・植物種の特定に利用される遺伝学的情報は、店舗で商品を特定するスキャンに類似していることから、バーコーディングと呼ばれています。微生物について類似した行為は、ファイロタイピング（phylotyping）と呼ばれています。というのは、系統学あるいは進化的なデータは、遺伝子配列に依存しているからです。

1,200を超えるウェブサイトから、「センサス」の研究者は、100を超える主要な門の微生物について、1,800万のDNA配列をまとめました。この10年間だけで、微生物の属の数は、これまでの考えられていたものより100倍近くの多様性を示しました。例えば、海水1ℓ中に3万8千種を超える細菌が含まれ、1gの砂には5千から1万9千種です。「センサス」の研究では、ある一定の大きさでは2千万種以上の微生物が存在している可能性が示唆されています。海洋動物への寄生種、たとえば魚類あるいはクラゲの腸に生息する微生物を含めると、海洋には10億種近くの微生物が生息している可能性があります。大型の海洋生物種にはそれぞれ、100から1,000種の微生物がとりついている可能性があります。

既知の生物種が増加し続けるということは、「The Decade of Discovery」のような探索が未だ終わっていないことを示しています。海から新種を発見する機会があふれています。最近、



13. Anaerobic animals living without oxygen have been imagined by science fiction writers but were not proved to exist on Earth until 2010. In the deep Mediterranean, a Census team found and added three new species to the few known species of the group called loriciferans. Unknown until the 1980s, loriciferans can live their entire lives hidden in sediment on the seafloor without oxygen. The *Nanaloricus cinzia* grows to about 0.3 millimeter long and 0.1 millimeter wide, comparable to the head of a pin. Image: Roberto Danovaro



14. The foraminiferan-like protist called *Komokiacea* were unknown in the deep Southern Ocean. Census explorers uncovered 50 species there, of which 35 were unknown anywhere. The snowflake-like creature in the photograph measures a few millimeters, the size of a flea, and its shell made of sediment grains lends the light beige color. Image: Andrew J. Gooday

地中海から報告された新発見について紹介します。地中海の深海で研究者は、胴甲動物と呼ばれるまだあまり知られていないグループに属する3つの新種を偶然発見しました。これらは、海底の堆積物中に生息し、一生を無酸素状態で過ごすもので、無酸素状態で成長する動物として初めて発見されました。胴甲動物は、大気および海洋が酸素で満たされる以前の、地球の歴史の初期に繁栄した生命に類似している可能性があります。

ヨーロッパ海域と同様、オーストラリア沖のグレート・バリア・リーフとニンガルー・リーフは、頻りに調査が行われています。それにもかかわらず、「センサス」の研究者がその2箇所を調査したところ、数百ものソフト・コーラルのうち1/3から1/2が新種であると指摘しました。太平洋の中央で採取された死んだサンゴの小さな先端22個だけをとっても、ヨーロッパにい



15. This remarkable red worm, between 20 and 30 centimeters long, discovered by scientists investigating the Mid-Atlantic Ridge turns out to belong to a completely new family. In fact, it is not a worm, as they initially thought, but an “enteropneust” that has more in common with vertebrates than with worms. Image: David Shale



16. In the inhospitable environment on a vent in the southeast Pacific near Easter Island, Census explorers discovered the yeti crab, *Kiwa hirsuta*. Given a species name for its hirsute appearance, its white, hairy look has prompted the nickname yeti for the abominable snowman, or yeti. The remarkable crab belongs to a new species and new genus and family, too. Image: Cindy Lee Van Dover

るカニ類の総種数の30%に達します。DNAバーコーディングによると、これらのうち半分近くの種は一度しか発見されていないもので、4分の3以上は一カ所だけで発見されているものです。

サンゴ礁にどのような新しい生物が分散してきて生息するかを調査するために、「センサス」の研究者は、自動サンゴ礁監視ユニット (Autonomous Reef Monitoring Structures, ARMS) を開発しました。ARMSは、自然のサンゴ礁に似せたものでプラスチック製です。ハワイ沖のフレンチ・フリゲート瀬ほか多数のサイト上にあるARMSに生物が分散してきて生息すれば、研究者は、サンゴ礁の生物多様性に関する全体像を理解する情報を得られるでしょう。

調査の進んでいない海域では、当然、未知の種が多数存在します。南極大陸周辺の調査により、南極のゼラチン質動物プランクトンの種数が2-3倍に増えました。これまで、特に南極海域の水深1,000m以深では、莫大な調査費用がかかるため、あまり調査を行うことができませんでした。しかし、国際極年(2007-2009)の間、「センサス」は海溝のサンプル採取を行い、1,400種の無脊椎動物のうち、700種を超える新種の可能性を見いだしました。たとえば、Komokiaceaという原生動物が南極海域の深海に生息していることは知られていませんでしたが、現在では50種が報告され、そのうち35種が未記載種でした。「センサス」の研究者は、氷の下の薄暗い光の中で光合成を行う生物も発見しました。

日本近海の琉球海溝では、これまでに記録された中でもっとも深い場所でクシクラゲの撮影を行いました。その場所は、水深6,000m、エベレスト山の高さ(8,848m)の約3分の2の場所でした。よく研究されているメイン湾においても、少しのサンプルから数多くの新たな固有種が確認され、湾に近接する大陸斜面や海山からは新種が発見されました。

ときには、多様性が高まるよりも低くなりました。例えば魚類の多様性研究で多様性が低くなる例が見られました。動物は、成長段階を経るにつれて、形を変えることがあるため、若い個体と成長した個体とで、異なる種と誤解される可能性があります。しかし、その遺伝子は変わらないため、DNA配列によって、その2つの段階の個体が同種だとわかるようになりました。以前は、異なる形状のトビレイワシ科 (Mirapinnidae)、ソコクジラウオ科 (Megalomycteridae)、およびクジラウオ科 (Cetomimidae) は、その外観および習性に基づき、分類上は3つの異なる科を構成していました。しかし、DNAを活用した「センサス」の調査では、これらの3つの科に割り当てられた種は、実際は、クジラウオ類という単一の科の幼生、オス、およびメスであることが明らかになりました。

「センサス」の研究者は、このような分類学上の誤解による多様性の「減少」を、多くの新種を発見することによって埋め合わせました。その発見の1つは、熱水噴出孔に生息する十脚類です。熱水噴出孔は、大陸のプレート同士が互いに引き合っており、新たに海洋プレートが生成される場所に形成され、そこにはブラックスモーカーと呼ばれ熱水を噴出するチムニーがあります。冷たい海水は、プレートの裂け目に沿って海底下にしみこみ、高温のマグマで暖められます。この熱水は、鉱物や硫化物を溶かして噴出孔から噴き出し、光合成をしない生物にエネルギー源を供給します。太平洋にあるイースター島付近の噴出孔では、「センサス」の研究者が、コシオリエビの1種 *Kiwa hirsuta* を発見しました。このコシオリエビは、体表面を毛で覆われた新種で、さらに新属、新科が設立されました。他の「センサス」の研究者は、世界中に生息するシンカイコシオリエビ類について全種をリスト化しました。

スポーツであれば、最速の短距離走あるいは最速の投球など、最高記録が世界記録として記録に残されます。「センサ

ス」も、海の生物多様性に関しては様々な新記録を樹立しました。「センサス」の研究者は、これまで知られている中でもっとも深い(5,000m)、もっとも高温(摂氏407度)、もっとも北に位置する(北緯73度)および南に位置する(南緯60度)熱水噴出孔「ブラックスモーカー」を発見しました。1977年に最初に発見されて以来、研究者はおよそ1,000の熱水噴出孔を発見し、そこから650を超える新種を発見し、新種の増加率はいまだ衰えません。熱水噴出孔が形成される海嶺は、いまだ15%から20%しか調査されていません。深海の湧水域も鉱物、メタンおよび硫化物を放出しますが、「センサス」の研究者はここからも600の新種を発見しています。

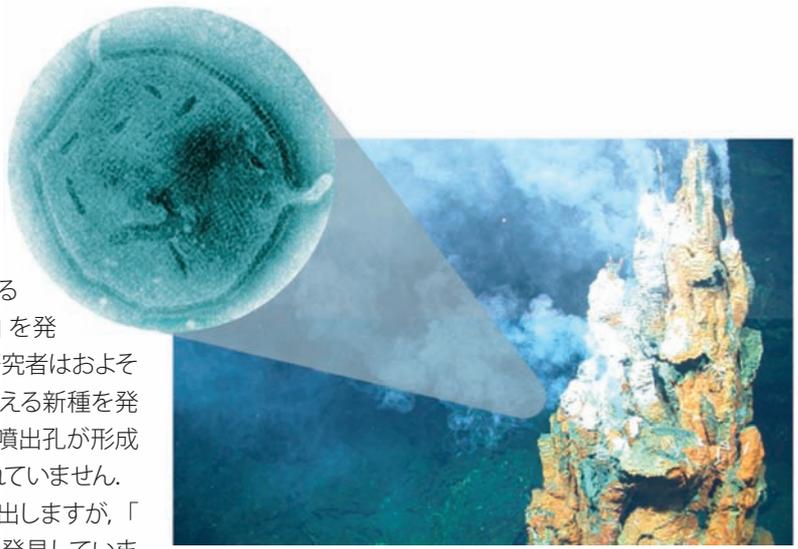
サイズが大きいということも多様性を広げます。マダガスカル沖で発見されたイセエビ類の巨大な新種 *Panulirus barabrae* は、重量4kg、大きさが50cmを超えます。また、南極でも巨大化した個体を多く発見しました。巨大なウロコムシ、甲殻類、ヒトデ、大きな皿に匹敵する大きさのウミグモを採集しました。これらは、低温の環境で寿命が長いので、巨大化したと考えられ、例えば、*Macroptychaster*という巨大なヒトデは、60cmまで大きくなります。

「センサス」の研究者は、世界各地の水深1,000mより深い場所で、大きく珍しいイカ類について研究しました。これらのイカ類は最長7mで、大きなヒレを持っていました。長く、細い腕は、頭に近い部分が肘状に湾曲していました。このイカは最近記載された Magnapinnidae 科の1種の成体であることがわかりました。

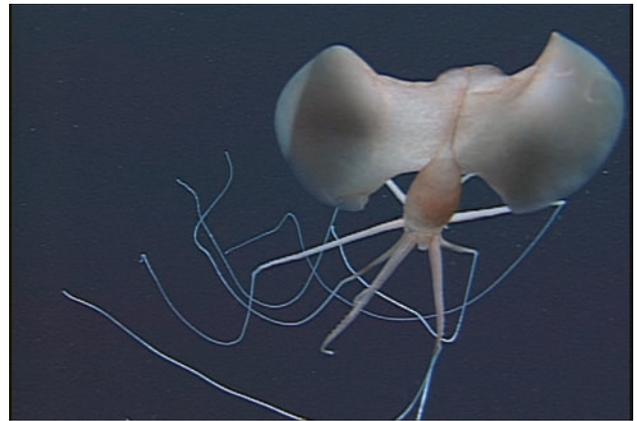
陸地から離れるにつれ、また深い場所ほど新種が見つかるように、小さい生物にも同様に多くの新種が見つかりました。2007年の11ヶ月の調査では、イギリス海峡の西側だけで、18万を超える試料の遺伝子配列が解析されました。得られた結果が示したことは「珍しいことが普通」ということでした。細菌では、25回の解析に1回の割合で、新しい属が発見されました(総数7,000)。そして、人類は大きなものよりも小さなものについてあまり知らないということも、定量的に実証したのです。サンプル中の多くの珍しい種は、出現頻度もわずかですが、ひとつのサンプルに多くの種類の珍しい微生物が含まれていました。これは、現在は希少であっても、それぞれの好む環境に変化したとき優位となる可能性があるということかもしれません。

海洋微生物は偏在したり分布域が限られたりしていました。珍しい種は、海洋における微生物の多様性を生み出しています。実際、微生物だけではなく、多くの分類群でも、珍しいことが普通なのです。

「センサス」の研究者たちがもたらした多様性の高さは喜ばしいことですが、絶滅に瀕している海洋生物を救うことも重要です。オーストラリアの海域で、5,000万年前に絶滅したと考え



17. This newly described microbe, a thermoacidophilic archaeon found in a hydrothermal vent deposit from the Eastern Lau Spreading Center in the South Pacific near Fiji, exemplifies the rare biosphere. Wherever Censensus researchers looked, they found many species in a sample represented by less than one in 10,000 of all individuals, including those that occurred only once. Microbe image: Anna-Louise Reysenbach and colleagues, 2006. Vent image: Anna-Louise Reysenbach



18. In waters deeper than 1,000 meters, scientists found a group of large, unusual squids up to 7 meters long and waving large, long fins. They constitute a new family Magnapinnidae, aptly called bigfin squids. Image: © Monterey Bay Aquarium Research Institute

られていたエビを確認しました。このエビは *Neoglyphea neocaledonica* で、深海性のサンゴ類が生息する海山で発見されました。これは、「センサス」の研究者によって発見されたもっとも古い生物と位置付けられました。

また、カリブ海で発見された二枚貝 *Pholadomya candida* は、三畳紀から白亜紀の間(2億年から6500万年前)に深海で繁栄した二枚貝の唯一の生き残りとして知られています。絶滅したと考えられていたこの生きた化石は、コロンビアのカリブ海沿岸の水深3mのところで見つけられました。この発見は、この二枚貝は浅海で生息すること、それまで考えられていたように海底の堆積物を餌にするよりも、浮遊物を濾過して餌とすることがわかりました。また、古代の種が持つ遺伝子研究は、進化研究の発展に貢献するでしょう。

年代の古さと同様、寿命も重要な研究テーマです。「センサス」の研究者は、大西洋北東において、カキの新種 *Neopycnodonte zibrowii* を発見しました。この種は、深海の海底崖斜面にカキ礁を形成します。炭素の放射性同位体元素による年代調査によって、その寿命が100年から500年に及



19. Species thought to be extinct have been rediscovered. For example, Census scientists found a Jurassic shrimp, *Neoglypheo neocaledonica* (left) thought to have become extinct 50 million years ago, and they also encountered a living Caribbean fossil, *Pholadomya candida* (right), the only remaining species of a genus of deep-water clams that flourished worldwide for more than 100 million years and was thought during the 1800s to have vanished long ago. Shrimp image: Bertrand Richer de Forges and Joelle Lai. Clam image: Juan Manuel Díaz



20. Sampling near the shore of the Aleutian Islands (Alaska, USA) in 2008 uncovered a new species of large brown seaweed, the Golden V kelp, *Aureophycus aleuticus*, distinct enough to be assigned to a new genus. This kelp with characteristic V-shaped blades, or "leaves," can grow as long as 3 meters. Even the relatively well known nearshore environment still harbors unknown species. Image: Max K. Hoberg

ぶことが明らかになり、これまで知られてきた軟体動物のなかで最も長命なものでした。さらに驚くべき寿命としては、湧水域で発見した体長1mほどのハオリムシ *Escarpia laminata* は、日光の届かない海底で生息し、600年生息し続けていると推定されました。

比較的調査の進んでいる浅海域でも、大型で人目をひく種が新種となりました。2008年のアリューシャン列島からは、大型褐藻の新種が見つかりました。このコンブの1種 *Aureophycus aleuticus* には、新しい属が割り当てられました。

このような海洋生物の多様性の発見、再発見を踏まえ、「センサス」は、特にこの10年間のデータをOBISに集積することによって、異なる海域における生物多様性を分類群別に地図上に表示すること、そして、どのような環境において多様性が高いかを分析できるようにしました。動物プランクトンから哺乳類まで、13の分類群に関するグローバルな研究によって、2つの主要なパターンが明らかになりました。1つは、外洋における多様性は、中緯度、すなわち全海洋のうち亜熱帯で最も高くなり、沿岸の種はインドネシア、東南アジア、フィリピンな

どの熱帯でもっとも多様性が高いことがわかりました。海面水温は、13の分類群の多様性と関連する環境パラメータでした。25の海域において、多様性について既知の情報すべてを見直し、沿岸の多様性パターンを明らかにしました。

「センサス」は、主な生物多様性のパターンを認識しましたが、例外もありました。水温が氷点近くの数か所では、熱帯水域よりも多様性が高い場合もみられました。また、分類群によっては、熱帯水域で多様性が高いという傾向に必ずしもあてはまらないものもありました。極端な緯度のない沿岸岩礁域では、棘皮動物と腹足類の多様性は、高い場所が連続的ではなく地域性がありました。ある海藻は、高緯度で多様性（および生物量）が最大となります。大陸縁辺に沿った大陸棚から深海平原にいたる大陸斜面では、斜面の途中部分、水深2kmから3kmの場所で、ベントスの多様性が最大となります。このような場所では、緯度よりも深さが重要な環境因子でした。

「センサス」のデータベースは、すべての海域に関して、既知種（微生物の多くを除く）の包括的なリストを構築しました。オーストラリア、中国、インドネシアからカリブ海、地中海、そして南極大陸まで範囲を広げた25の海域で種数を評価しました。その結果、カナダ側の北極海では約3千種、バルト海では4千種と小さな値となりましたが、オーストラリアや日本は約3万3千種に達し種数の多い海域となりました。他の海域では、既知種は約1万となりました。このリストから、甲殻類、軟体動物、および魚類はもっとも数が多く、既知の種多様性のうち半数を占めることもわかりました。

「センサス」の研究者は、深海種の驚くべき多様性もリストにしました。深海カメラ、自律型の深海探査ロボット、そしてプログラムされた深さで開く高性能ネットを用い明らかになったことは、深海種数は現在17,650に達し、それらは例えば、水しかない暗闇で繁殖する種、甲殻類、蠕虫様生物といった多様な種の集まりでした。多くは、表層からのわずかにもたらされる有機物を餌としていますが、その他は、石油、硫化物、およびメタンを分解するバクテリア、死んだクジラの沈んだ骨といった想像できなかったものを餌にして生きていました。

発見の機会に恵まれる一方で、累積する大量データの解析は大きな負担となります。1万の種または標本をまとめる場合などはDNAが有効です。DNAは基本的にデジタルです。DNAの中にあるヌクレオチドはそれぞれ、チミン、シトシン、アデニン、またはグアニンのいずれかであり、0または1でコード化、あるいは色分けされた縞模様で表示できます。短い「バーコード」の領域によって、ヒレ、触覚やその他生物組織の薄片を含むサンプルから種を識別できます。この技術は、2003年に初めて公表されました。急速に拡大している海洋生物種のバーコードライブラリには、現在、20を超える門から3万5千種を上回る種のデータが蓄積されました。

統計的分析およびグラフは、大規模データベースに記録された多様性から、重要性およびパターンを引き出す重要なツールとなります。「センサス」が革新的に用いた手法は、バーコード領域のヌクレオチド配列を遺伝的距離の指標 (indicator vector) に変換し、これらのベクトル相互の距離の遠近から、近縁性を計算するというものです。これは、行列の相関関係の表示が Paul Klee の絵に似通っていることから Kleeダイアグラムと呼ばれ、種の区別および複数の種の関係の強度を解析できます。ある単一の Kleeダイアグラムは、大きく8つに分かれたグループから5千種を超える動物の関係と由来を色分けで表示できます。色分けと距離によって、種のレベルやより高い分類群に対応した非連続性を明らかにできます。

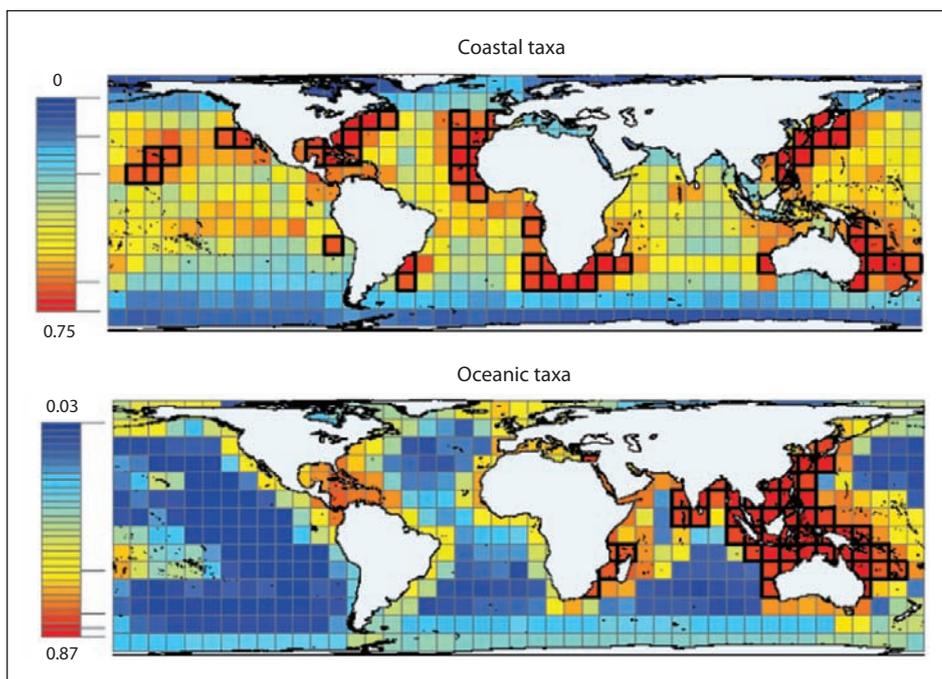
そして、海綿動物および硬骨魚類は、少なくとも8つの主要な門との間に関係があり、棘皮動物とサメ類 (Elasmobranchs) は驚くほど近いこともわかりました。また、Kleeダイアグラムは、異なる海域に生息する生物の多様性を特徴付ける色彩豊かな「指紋」も提供します。たとえば、サルガッソー海に対し

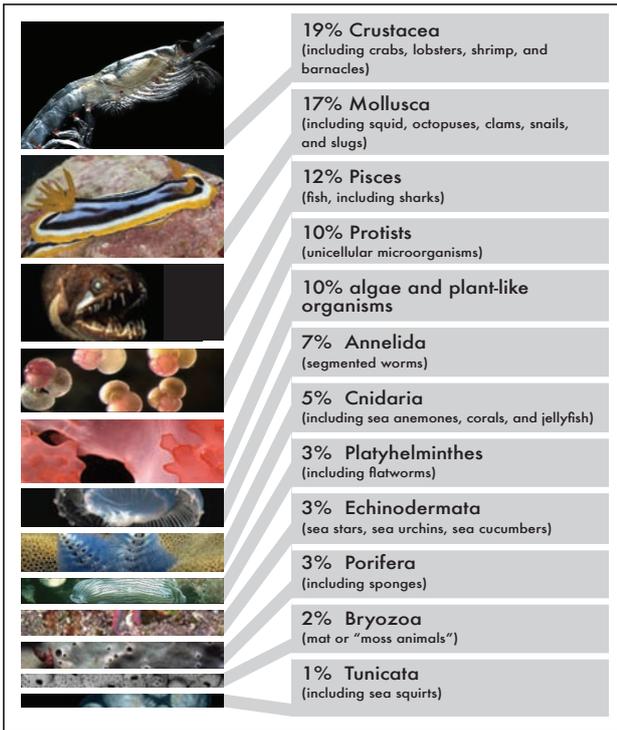
てセレベス海の動物プランクトンから採取したDNAサンプルは、異なるKleeパターンを作り出しました。

「海洋生物のセンサス」は、新たに数百万に及ぶサンプルを研究しました。1,200種を超える種が、正式に新種として記載され、5千種を超える種が、おそらく未記載種であり、今後の分類学研究を待っています。現在でも、全世界の海洋生物学者からは、年間1,600を超える新種が追加されています。「センサス」は「センサス」以外のグループとも提携し、データを取りまとめ、既知種が約25万種に達すると断定しました。現在20万種に迫る信頼性が高いリストを作成し、8万ページを超えるウェブページの開発に貢献しています。

また、すべての海洋生物の関連性を簡単にみられるように、3万5千を超える種のDNA配列を識別しました。何万種類もの海洋微生物のDNAをとらえ、海洋の微生物は10億近くになると見積もりました。少なくとも、海には種と認定されるものが100万種生息しているの見積もられていますが、その幅や上限に確固たる根拠はありません。海洋に生息するすべての海洋生物の中で、より小さなものは、大きなものに数にして百倍から千倍多く存在しています。海洋では、発見されているもの、未発見のものを含め多様な生物があふれているのです。

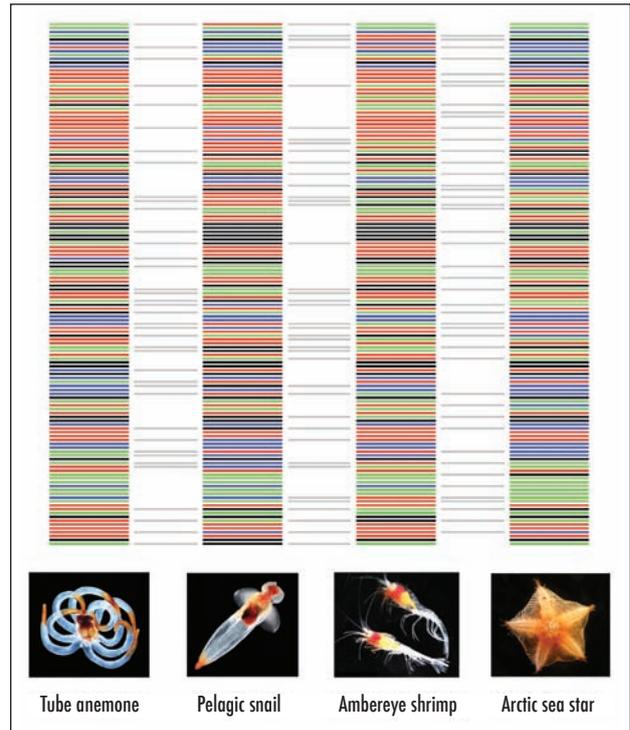
21. Records of 11,000 marine species from tiny zooplankton to sharks and whales assembled in the Ocean Biogeographic Information System of the Census revealed hot spots of species diversity. The diversity of coastal species such as corals and coastal fishes tended to peak around Southeast Asia, whereas the high diversity of open-ocean creatures such as tunas and whales spread more broadly across the mid-latitude oceans. Red indicates areas of high diversity. Horizontal tick marks to the right of the color ramps indicating quartiles of diversity show it takes more diversity in coastal regions to qualify for a high ranking. Source: Derek P. Tittensor and colleagues, 2010



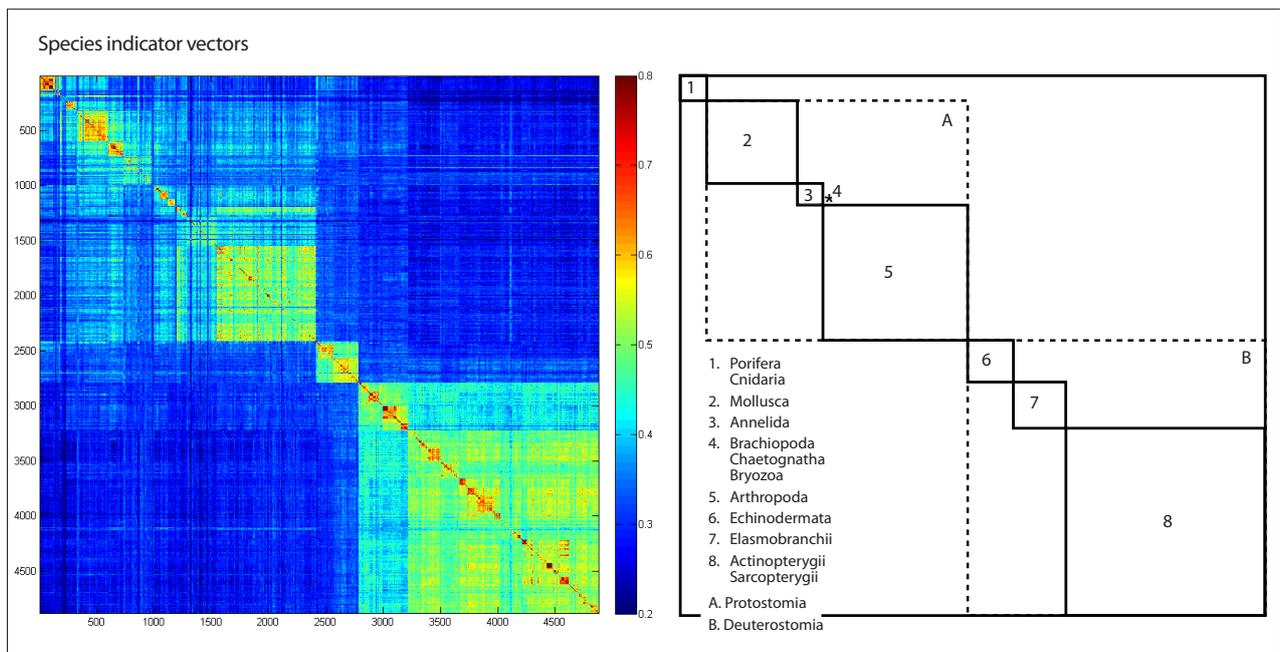


22. A census of 25 key oceanic regions rests on information collected during past centuries plus descriptions of thousands of new species during the decade-long Census. Most of the species fall into a dozen groups, including many crustaceans and mollusks, fewer fishes, and only 2 percent other vertebrates. The scarce 2 percent of species that are well-known vertebrates such as whales, seals, and walrus compared with the 98 percent of other creatures in the Census reflects the great diversity of marine life hidden among the other creatures. The regional lists of species set a baseline for measuring changes that humanity and nature will cause.

Images: Russ Hopcroft, Gary Cranitch, Julian Finn, Larry Madin, John Huisman, Katrin Iken, Bernard Picton, and Piotr Kuklinski



23. Genetic sequences from anemone (*Ceriantharia* sp.), snail (*Clione limacina*), shrimp (*Hymenodora glacialis*), and sea star (*Hymenaster pellicidus*) illustrate the analogy between a sequence of genetic units in the cells of a specimen and the barcodes on items for sale in a supermarket. Each of the four colors represents one of the four nucleotides—cytosine (blue), adenine (green), thymine (red), and guanine (black)—that compose DNA sequences. The gray lines between the colored bars signal genetic differences. The differences among barcodes enable the assignment of a specimen, even a fragment such as a fin or scale, to a species. Specimens of the same species will have identical or almost identical barcodes. Barcodes: Mark Stoeckle. Images: Cheryl Clarke-Hopcroft, Russ Hopcroft, Bodil Bluhm, and Katrin Iken



24. Klee diagrams, named for their analogy to the paintings of Paul Klee, display the genetic separation of species and the intensity of relations among species. Blocks of high correlation (red or yellow) on the diagonal reflect affinities within groups of species, corresponding to taxonomic divisions. Each species contributes a line, and a group of closely related species, such as fishes, becomes a group of lines that form a box. Klee diagrams illuminate broad patterns in the genetic structure of biodiversity. The color map depicts correlations for 5,000 marine species from 10 phyla. Elasmobranchii, Actinopterygii, and Sarcopterygii are respectively cartilaginous, ray-finned, and lobe-finned taxa of fishes. The correlations coalesce into a coherent picture of categories of marine life. Image: Dirk Steinke



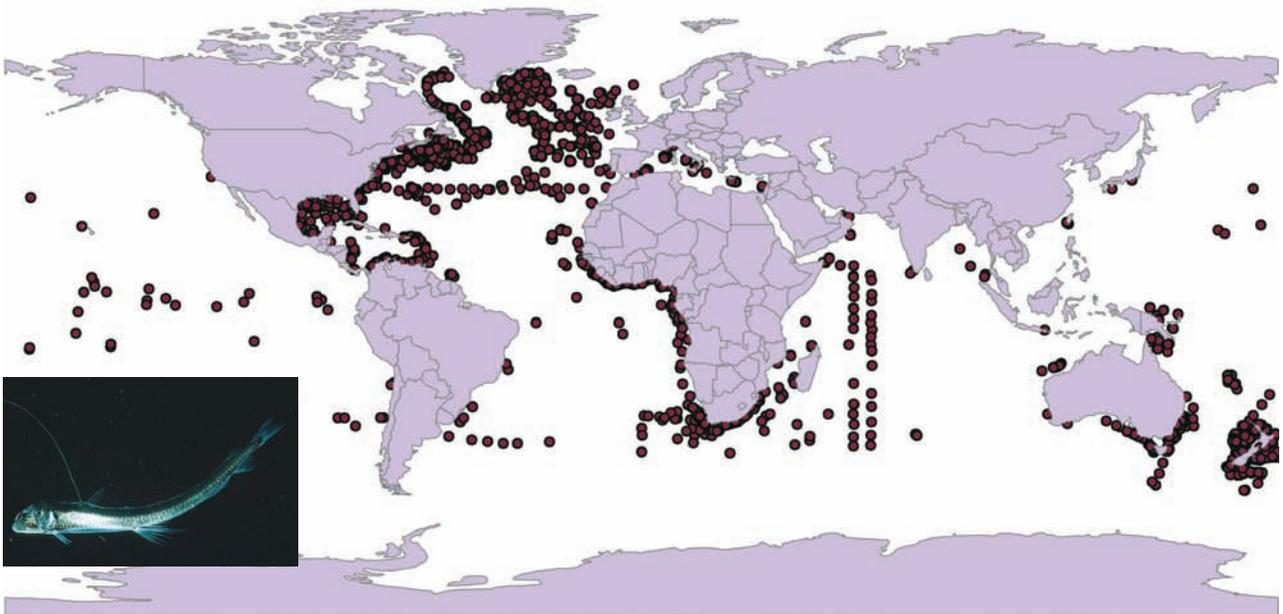
## 分布

「センサス」では、生物種のみならず各個体の分布、生息域および行動範囲を明らかにすることにも取り組みました。分布とは、ある種が生まれ、餌をとり、そして繁殖する場所を表します。回遊や移動の経路から、繁殖場所や移動だけしている場所などを、環境と関連させて解析できます。種の分布図をみれば、その生息域が種を育てているのか、ストレスを与えているのか、あるいは飢えているのかが推定できます。

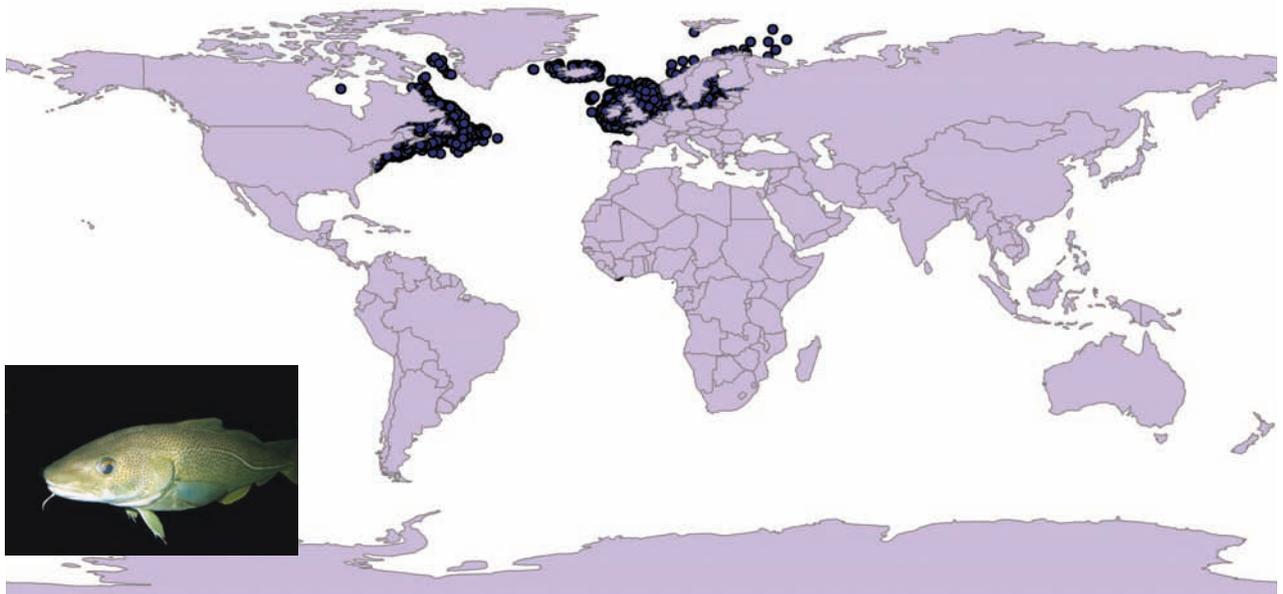
「センサス」の10年間に収集された数百万のデータはOBISによって、種の分布場所を速やかに表示できます。www.io-bis.orgにアクセスし、種名を入力すると、その分布を表す世界地図が表示されます。たとえば、viperfish もしくは*Chaulio-*

*dus sloani* と入力すると、すぐに分布マップが表示されます。*Gadus morhua*と入力すると、より分布が狭いことがわかります。

ある種が絶滅する前の分布データがあれば、環境の変化によって生息域が消失したかどうか明らかにすることができます。種の分布は、ベースラインデータがあれば消失だけでなく変化もわかります。メキシコ湾における海洋生物の分布に関しては、「センサス」に参加する15ヶ国80の研究機関から140人の分類学研究者がベースラインを確立し、データベース (www.nbi.gov/portal/server.pt/community/gulf\_of\_mexico\_biodiversity/1950) で公表されています。このデータを利用すれば、メキシコ湾の異なる場所で、どの程度の深さのところか、どのような基質のところか、どれだけの種が生息しているかを、



26. Entering the URL [www.io-bis.org](http://www.io-bis.org) accesses the tens of millions of what/where/when records assembled in the global marine life database OBIS. Among fish, the manlylight viperfish, *Chauliodus sloani*, whose distribution is shown here in dark red, can be considered the Everyman of the deep ocean. Census data show the fish has been recorded in more than one-quarter of the world's marine waters. Source: Ocean Biogeographic Information System. Image: Encyclopedia of Life



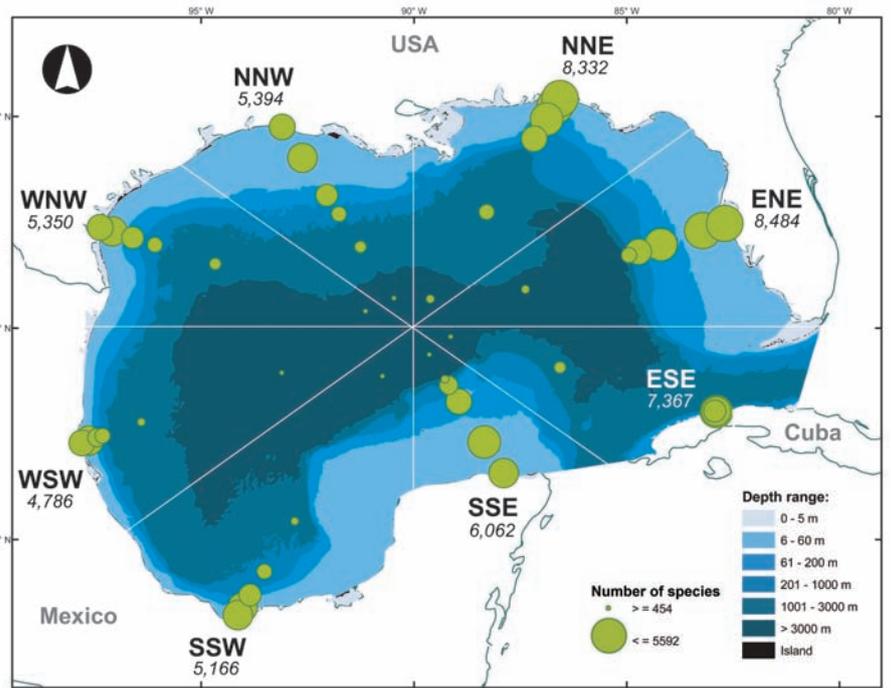
27. Specifying the Atlantic cod, *Gadus morhua*, produces a map of its range, restricted to the North Atlantic and nearby Arctic waters. Source: Ocean Biogeographic Information System. Image: Encyclopedia of Life

だれでも確認することができます。

2010年4月、メキシコ湾でおきた掘削装置ディープウォーター・ホライズンの爆発による原油流出は、湾の北北東8マイルで囲まれる範囲、沿岸、そしてかなりの深さにまで影響を及ぼしました。この10年間の調査で、その8マイルで囲まれるあらゆる深度に生息する8,332種のベースラインデータが、あらたにデータセットとして加わっていました。原油流出地域域の主要な動物分類群を合わせると、軟体動物1,461種、多毛類604種、甲殻類1,503種、魚類1,270種、ウミガメ類4種、鳥類218種、そして海洋哺乳動物29種がいます。メキシコ湾では多くの種がまだ発見されずに残っていますが、原油流出のような出来事の影響と清掃後の回復を調査するため、データベースは2009年のベースラインデータを提供し、将来予測に貢献するでしょう。

海洋生物の移動ルートは、その生物の存続を理解するために重要なデータです。それらの移動様式は記録的なものでした。カジキ類 (*Istiophorus albicans* および *Istiophorus platypterus*) は、時速110kmで泳ぐことができ。大西洋クロマグロ *Thunnus thynnus* は、ヨーロッパと北アメリカの間、北大西洋の約6,000kmを東から西へ、そして西から東へ回遊することがわかりました。太平洋クロマグロ *Thunnus orientalis* は、太平洋を何度も横断していました。同じくマラソンスイマーのザトウクジラ *Megaptera novaeangliae* で、8,000kmを超える距離を年に一度北から南へと回遊していました。太平洋全体を一周する海鳥ハイロミズナギドリ *Puffinus griseus* は、ニュージーランドから出発して日本、アラスカ、チリに到達し、南洋に戻るといった往復64,000kmを移動していました。これの平均時速は約40kmで、移動距離はこれまでの記録の中でもっとも長いものでした。

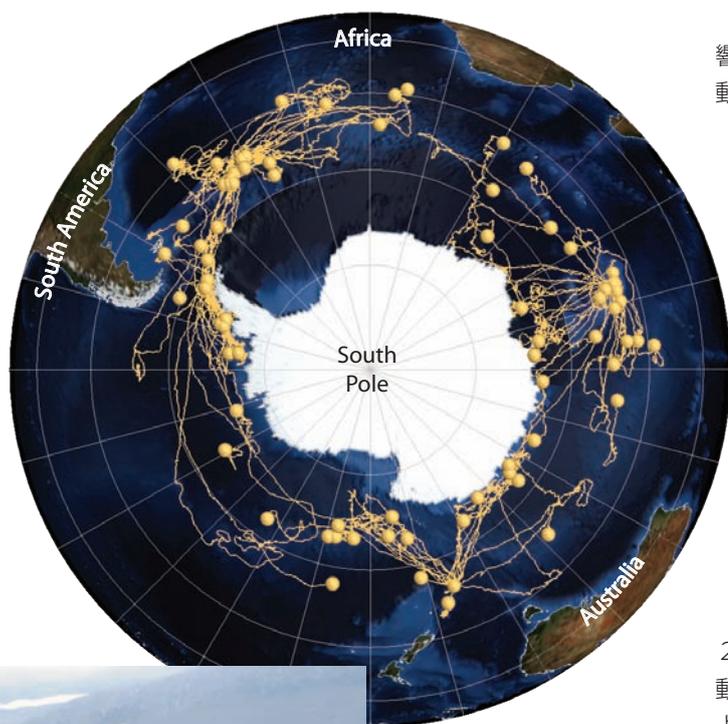
繁殖のために海から川を遡上する魚類、そして生まれた川へ戻る前に海へと下る幼魚の移動には障害が考えられます。上流へ上る成魚と下流へと下る幼魚は、急流や他の大量の魚による攻撃を避け、海では捕食者から逃れ、餌を見つけなくてはなりません。研究者たちは、何十年もわたって魚に小さなタグを付け、いずれかから回収を試みました。回収されたタグもありましたが、多くは回収できませんでした。そして、魚の移動パターンはまったく分析できませんでした。現在は、音



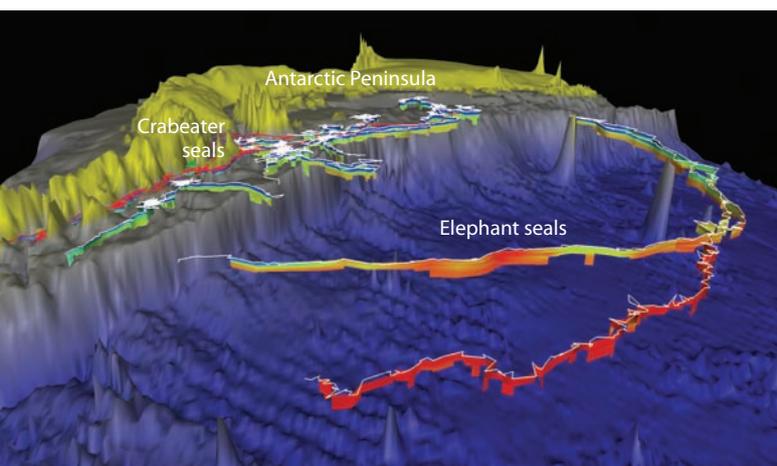
28. A map of marine life establishes a baseline for evaluating the outcome of an oil spill in the Gulf of Mexico. One hundred and forty taxonomic experts from 80 institutions and 15 countries associated with the Harte Research Institute, a Census affiliate, established the baseline of known species in the Gulf of Mexico in 2009 and made it available online shortly thereafter. The data answer graphically how many species of each taxonomic group live in different sections of the Gulf of Mexico, at what depth, and on what substrate. The new database sets a baseline of 8,332 species in the north-northeast sector of the Gulf, where the Deepwater Horizon rig tragedy occurred in 2010. Image: Harte Research Institute



29. The continental-scale acoustic curtains arrayed by the Census tracked migrations of 18 species, including juvenile Chinook salmon, *Oncorhynchus tshawytscha*, thousands of kilometers along the Pacific coast of North America and in rivers, too. The red spots on the map indicate the curtains through which animals swim, signal their passage, and give clues where and how they survive in the oceans. The orange line shows migration of the salmon the size of a banana spanning 2,500 kilometers in three months. The acoustic curtains also revealed an unexpected, long migration of the threatened green sturgeon, *Acipenser medirostris*, along the continental shelf from U.S. to Canadian waters. A surprising group swam north for the winter. Image: Pacific Ocean Shelf Tracking Project



30. Biologging, the use of miniaturized electronic tags to track animals in the wild, revealed unknown behaviors, movements, physiology, and environmental preferences of a variety of ocean animals. Biologging has shown that communities of southern elephant seals, *Mirounga leonina*, from different islands surround the harsh environment of Antarctica, demonstrating the principle that animals inhabit even the farthest reaches of the ocean. Source: Southern Elephant Seals as Oceanographic Samplers (SEaOS) Image: Daniel Costa



31. Carrying electronic tags that measure location, temperature, depth, and salinity and communicating with satellites as they swam and dove, more than 20 species became auxiliary oceanographers in the Census of Marine Life, reporting the environment that they experienced. The electronic tags on two elephant seals, *Mirounga leonina*, exploring seamounts down to 2,300 meters deep off the Western Antarctic Peninsula reported their paths, and the ribbons of colors on their paths show the temperature and depth measurements that they added to Census data. Seamounts seem to be refueling stations for migratory species. Crabeater seals, *Lobodon carcinophagus*, made tracks closer to shore. Image: Daniel Costa

響学、電子工学、および人工衛星によって、これらの魚類の移動パターンの一部は、少しずつ理解できるようになりました。

「センサス」では、海底に音響受信装置をカーテン状に配置し、カリフォルニアからアラスカまで3,000kmにわたり、タギングされた18種の魚を、一年中音響を利用して追跡しました。現在、公開されているデータベースには、18種1万6千個体を超えるタギングされた生物から得られた、900万を超えるデータがあります。小型音響タグとこの音響受信装置は、バナナくらい大きさのサケなど小さな動物でさえ、長距離かつ異なる海域にわたって移動を追跡できることを実証しました。追跡例の中には、ロッキー山脈のコロンビア川源流から太平洋、カナダのブリティッシュ・コロンビアの大陸棚からアラスカ沖に北上するまで3ヶ月を越える2,500kmのルートを生き抜いたサケの1種 *Oncorhynchus tshawytscha* の幼魚が2個体ありました。この調査は、魚の視点からみた生活史、行動、生態の情報をもたらし、若齢のサケ類がどこで過ごすかによって、死亡率がどのような割合になるのかを明らかにしました。

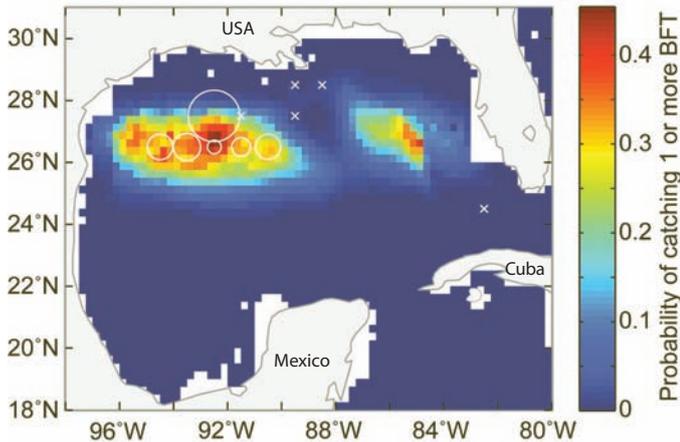
動物がどこでどのように死ぬのかは、「センサス」の重要なテーマのひとつであり、特に長距離を回遊する動物たちに関しては、解明が難しい問題でした。3,500個体のサケ類幼魚に関する調査では、海洋に出て最初の1ヶ月に生き残るのは6分の1、2年後に生き残って産卵のため故郷の川へ帰るものは25分の1から100分の1だということがわかりました。別の研究プロジェクトによる回遊するニジマス *Oncorhynchus mykiss* とベニザケ *Oncorhynchus nerka* の海洋における初期の生存と比較すると、「センサス」で追跡した魚群の回遊では、一週間あたりの生存率は、それらに比べ約40%から80%になりました。

太平洋のサケ類ほどの馴染みのない種に関しては、それらがいつどこへ回遊するかを知るだけでも大きな意義があります。チョウザメの一種 *Acipenser medirostris* の場合、受信機によって、大陸棚に沿ってアメリカからカナダの水域まで1年ごとに回遊していることが明らかになりました。驚いたことに、このチョウザメ類の群れでは冬にかけて北方へ移動するものがありました。タギングされたチョウザメ類は頻りに検知され、1年間の生存率は83%と推定されました。

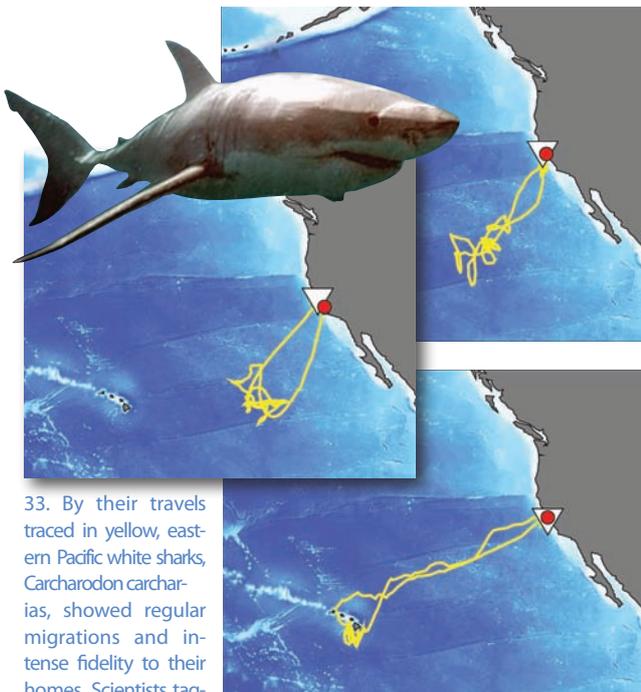
川沿いや狭く浅い大陸棚沿いでは、カーテン状に展開された音響受信装置が使えますが、外洋における海洋生物の追跡には、別の手法が必要です。人工衛星は、遠方から動物のセンサーと交信することができます。「センサス」の研究者はタグにセンサーを付加して、タギングされた動物が生息する場所の海水温、照度、深度、塩分濃度を測定できるようにし、また他のタグでは、動物の脈拍と体温を検知できるようにしました。タグ上の光センサーおよび圧力センサーから、クロロフィルを見積り、同様にプランクトン個体数および他の生物の潜在的な生産性を見積りしました。光センサーからは、日の出と日没の時刻より、緯度経度を算出できました。このようないわゆる

バイオロギングは、動物の習性、生理機能、および海洋学的知見を併せてもたらし、どのように動物がその環境を利用しているかを明らかにしました。動物たちの移動ルートが海のハイウェイとするなら、ハイウェイが続く理由が明らかになったのです。

大西洋クロマグロ *Thunnus thynnus* の分布、深さ、体温、そしてメキシコ湾の産卵海域内の水温および照度を記録するため、「センサス」の研究者は、28個体にタグングを行いました。



32. Conservation requires knowledge of mating areas and nurseries. Spawning Atlantic bluefin tuna (BFT), *Thunnus thynnus*, swim along the slopes in the western and eastern Gulf of Mexico. Red and blue colors on the map indicate high and low probabilities of encountering a bluefin when fishing with longlines in the Gulf of Mexico during 2002 and 2005. A long line caught no tuna at the X's on the map. The narrow band of 24° to 27° Celsius where most tuna swam prompts the speculation that a small change in temperature would change the timing and location of spawning. Source: Steven L. H. Teo and Barbara A. Block, 2010



33. By their travels traced in yellow, eastern Pacific white sharks, *Carcharodon carcharias*, showed regular migrations and intense fidelity to their homes. Scientists tagged them in the triangles, and their satellite tags later popped up in the red circles on the central California shelf. One shark swam to Hawaii, two circled in the White Shark Café halfway to Hawaii. Genetic analysis shows that distinct populations persistently return to the same network of coastal places after oceanic migrations. Source: Salvador Jorgensen and colleagues, 2010

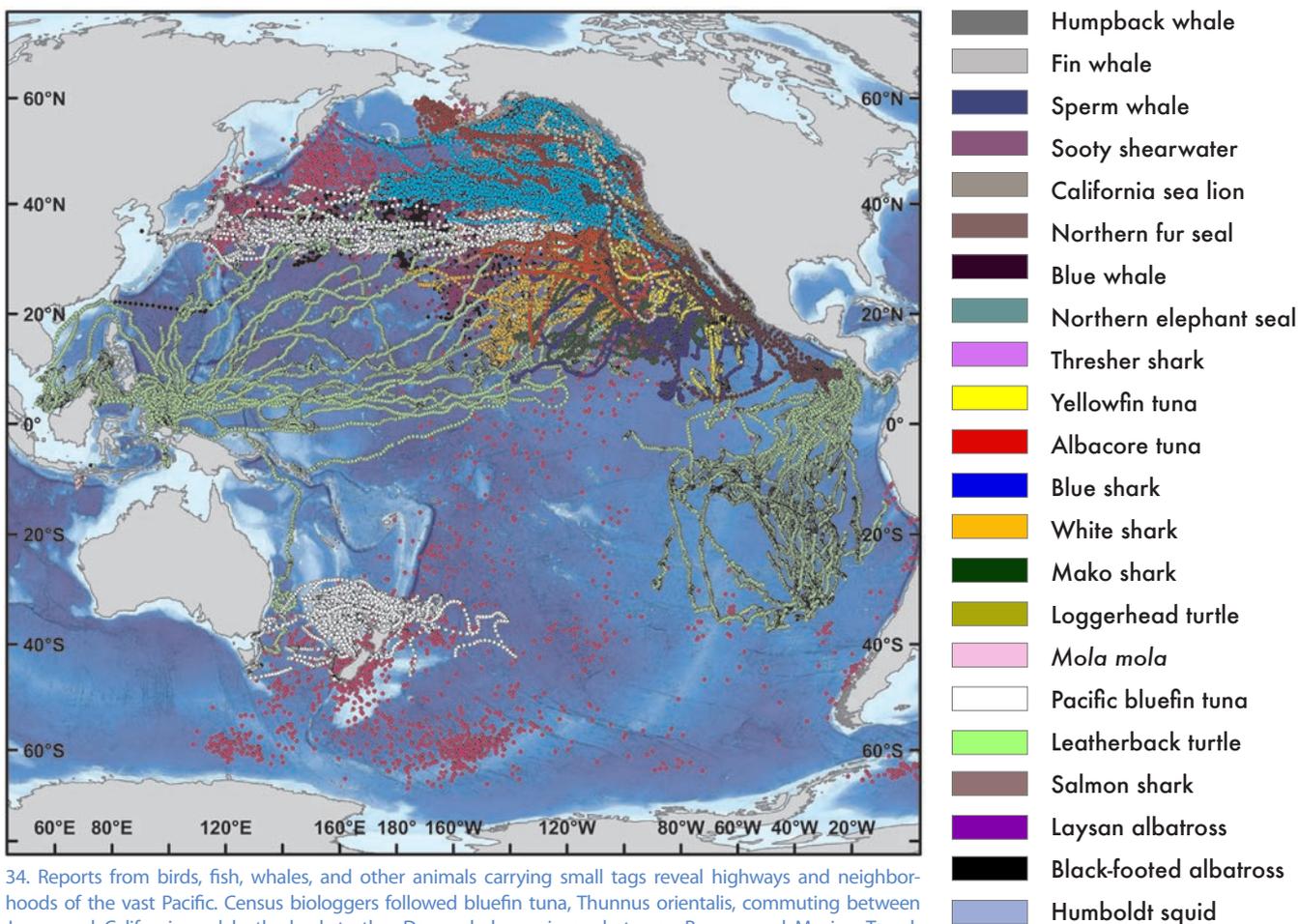
部は重量300kgにもなります。これらのクロマグロの産卵親魚の量は、30年間に90%も減少しています。タグングされた個体の多くは、フロリダ海峡付近や大陸棚の急斜面で海面温度が24から27度になるメキシコ湾の西部を回遊していました。

人工衛星を利用したタグング、音響受信モニタリング、遺伝子解析を組み合わせ、「センサス」の研究者は、ホホジロザメ *Carcharodon carcharias* が東太平洋内で一定の回遊サイクルを持っていることを発見しました。サメは、カリフォルニア沖から、White Shark Caféと名付けた合流地点に向かって回遊していました。White Shark Caféはハワイ・カリフォルニアからハワイの間であり、またカリフォルニア沖に戻ることから、このサメには、帰巣本能があることが実証されました。200日を超え5,000kmに及ぶ移動の後でも、いずれのサメも正確に水深30mにあるカリフォルニアの元の場所に戻るのです。

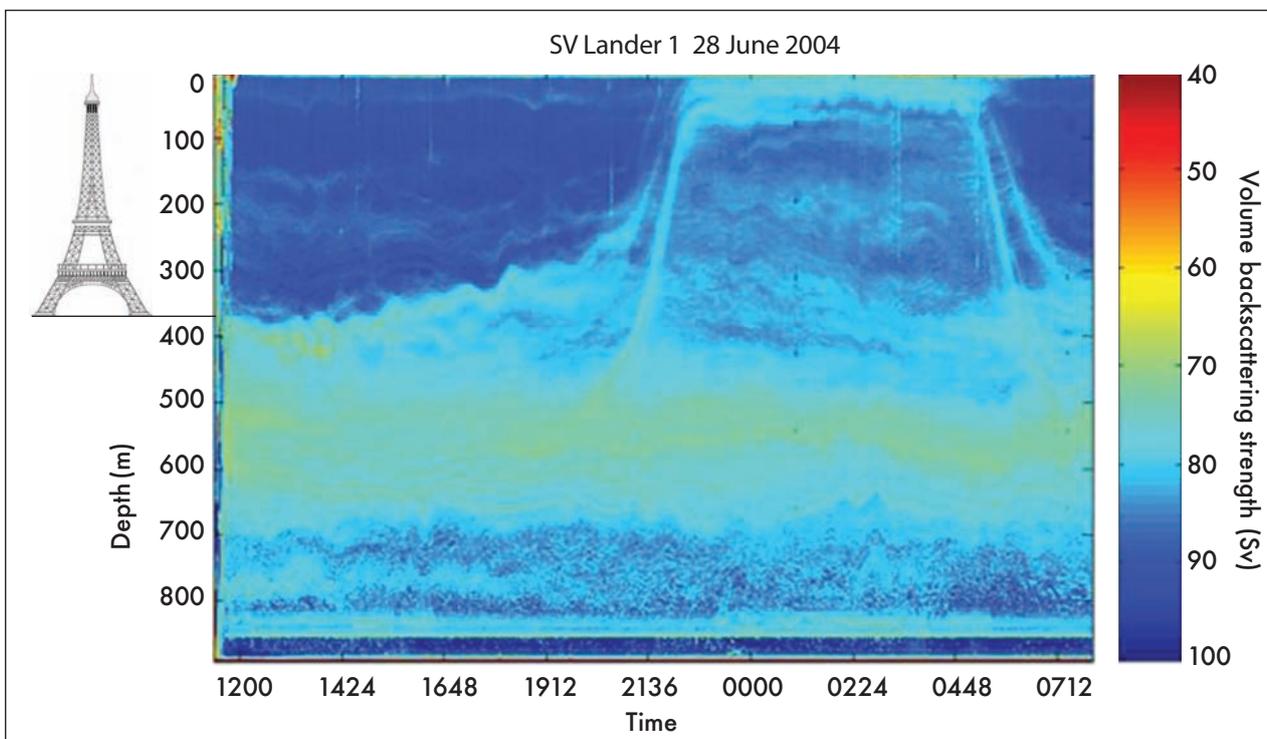
オサガメ *Dermochelys coriacea* を追跡している人工衛星は、2004年から2007年にかけて、東太平洋で複数個体の12,095日間に及ぶ移動を記録しました。過去20年間に、卵の採集や混獲によって、オサガメの個体数は90%も激減しました。「センサス」によるトラッキングは、オサガメの生息域と回遊ルートを突き止めました。海洋学と追跡技術を組み合わせ、オサガメの回遊ルートは、コスタリカからエクアドルを経て、南太平洋循環に抜ける餌の少ない広大な海域だということがわかりました。その結果、回遊の間の漁業は休止となり、オサガメの保護が始まりました。さらに、「センサス」の研究者は、メスのオサガメの営巣域を突き止めました。この場所は、沿岸漁業や開発による危険にさらされています。沿岸のCaletas野生生物保護区およびコスタリカの排他的経済水域内の規制を改善したことにより、現在は、危機的な段階にあるオサガメは保護されることになりました。「センサス」が作成した“The Great Turtle Race Web”というウェブサイトでは、誰でも、個々のオサガメの回遊を追跡でき、動物保護と支援を促しました。

統計的な手法が改善されタグング動物の位置が正確に把握できるようになったため、別のツールでも、動物がある環境にいるときにとる行動が推定できるようになりました。たとえば、そのツールは、ハイロアザラシのオスとメスが大西洋の北西部大陸棚の海域をそれぞれ別に利用したり、予想通り多数の種が餌場になっている浅い岸で餌をとったりすることを明らかにしました。

ある海域のタグングデータおよびトラッキングデータを集計すると、驚くほどその海域や回遊ルートの全体像が浮かび上がります。海は、飛行機の窓から見ると単一に見えるかもしれませんが、濃い青の表面の下は、マグロ、カメ、アザラシ、クジラ、サメ、イカの様々な種が、それぞれ固有の生息域を利用しながら、東—西、南—北、浅—深海を結んでいます。北太平洋および南極大陸周辺の南大洋では、すべての海域で遠方からの移動種が認められました。また、タグングされた動物のうちすべての種が、想定外の場所を訪れ、想定外の行動をとって



34. Reports from birds, fish, whales, and other animals carrying small tags reveal highways and neighborhoods of the vast Pacific. Census biologists followed bluefin tuna, *Thunnus orientalis*, commuting between Japan and California and leatherback turtles, *Dermochelys coriacea*, between Borneo and Mexico. Traveling animals connect all the oceans. Source: Tagging of Pacific Predators. Image: Blackwell Publishing Ltd.



35. At dusk in June above the Mid-Atlantic Ridge, scientists encountered a rush hour when animals rise to the surface to feed, as if returning home for supper. Throughout the hours from noon on the left through the night to about 0800 hours on the right, an echo sounder reflected the presence in green of many animals between depths of 400 and 800 meters. During the night from 2100 to 0500 hours, the echoes shown by colors show the upward rush hour, even up to the surface. This daily vertical commute of about 400 meters exceeds the distance from bottom to top of the Eiffel Tower. Spectacular during the summer, the upward commute shrinks during autumn and almost disappears in winter. Image: Patterns and Processes of the Ecosystems of the Northern Mid-Atlantic project



36. Image: Daniel Costa

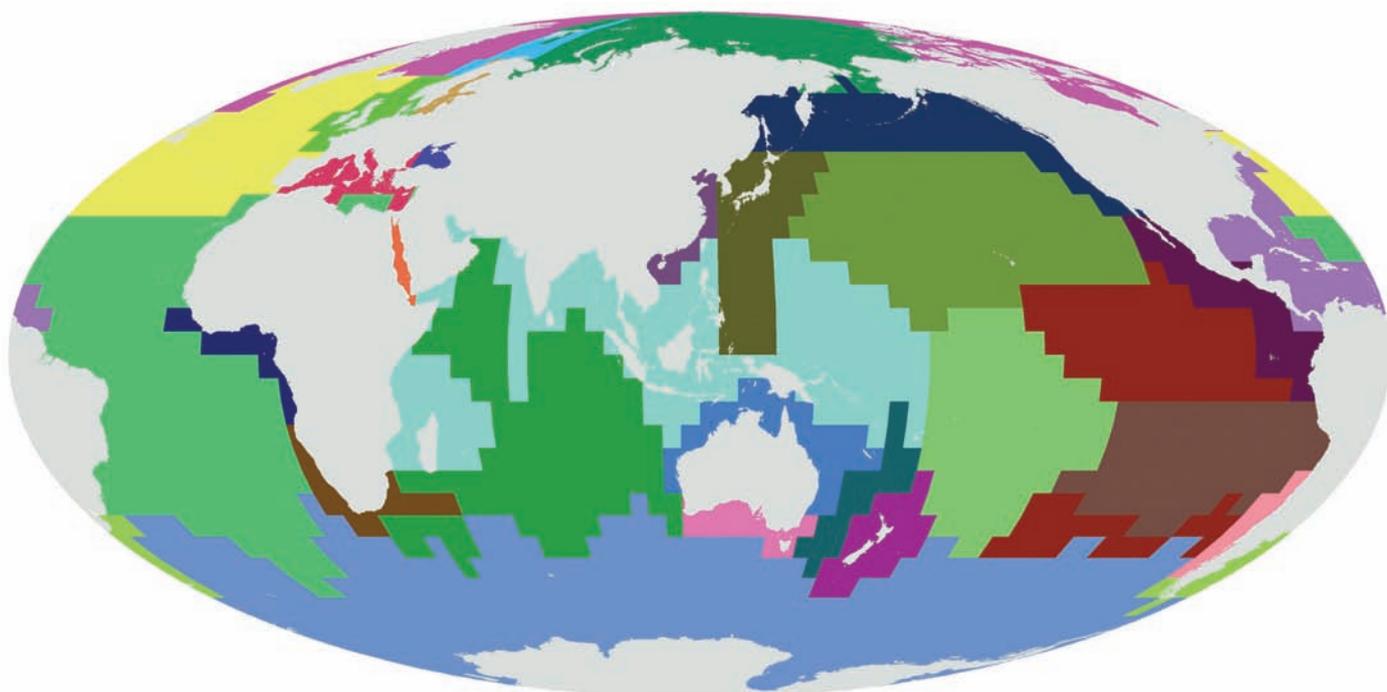
いました。たとえば、ホホジロザメがWhite Shark Caféを訪れたり、アメリカオオアカイカがサケを捕食したりしていました。

3次元に広がる海では、生物は縦横無尽に移動します。1960年代から、動物につけたカメラで、それらが泳ぎ、潜る場所の記録はとられています。「センサス」では、キタゾウアザラシ *Mirounga angustirostris* にタギングし、アザラシが深さ600m、時には1,550mまで潜ることを明らかにしました。海面で呼吸をする種は、餌をとるために潜ることが多いのです。アザラシやクジラは、海面から数百m、あるいは数千mも潜り、音波を出したり音波を感知したりして餌を見つけています。

魚類、甲殻類、他の無脊椎動物などは、捕食者にみつからないよう昼間は暗く深い場所に隠れている種も多いのですが、夜になると餌を獲るために海面に移動します。魚類および無

脊椎動物の鉛直方向の移動は、夜明けと夕暮れ時の「ラッシュアワー」を作り出し、それらの好む深い場所からきた餌と捕食者とが入れ替わります。もっとも高い超高層ビルのエレベータよりも速く、500-1,000mの深さから浮かび上がるものもいます。

「センサス」は、深海底のイベントを感知できる新型の音響測深儀や深海から上方向に検知できる音響装置を用いて、動物がまるで夕食を取りに家に帰るように、餌をとるために海面に上昇するときの夏のラッシュアワーを観察しました。その音響測深儀は、大西洋中央海嶺付近、水深1,000mの場所に係留され、午後9時頃、光合成生産が起きている場所まで魚やプランクトンがおよそ400m浮かび上がったことを記録しました。午前6時頃、それらは再び深海へ戻っていきました。



37. Spanning microscopic plant-like organisms to whales, the Census produced the first all-taxon maps of global marine species using the distributions of more than 65,000 species from the Ocean Biogeographic Information System. Thirty marine biomes summarize the distributions of many species, each biome representing a region with a distinctive fauna and flora. Image: Mark J. Costello

海では、大小の生物が渦を巻くように縦横無尽に動いている場合があります。大西洋中央部では、「センサス」の研究者は、水深数千m、直径数十kmの範囲に、多数の種がたくさんの渦を形成するようにして移動する様子を発見しました。深海に移動する大きな水塊も、生物の分布に大きく関係します。水深300mから800mの間にある生物の豊富な層は1950年代から知られていますが、「センサス」は、そのほかにより深い層、大西洋の水深1,500mから2,300mにも同様の層があるということを明らかにしました。

数十年の間、生物学者が関心を持ってきたことのひとつが、一部の動物は、南極北極の両極地で繁殖しているか、というものです。ホッキョクグマは北極だけに、ペンギンは南極に生息していることはわかっていますが、生物学者は、両極にいる軟体動物、甲殻類、魚類を対象に、両極共通種がいるかどうか調べました。そして、両極域の300を超える種について遺伝子レベルで解析したところ、かなりの相違点があり、真に両極性だといえる種はわずかでした。

生物地理学では最終的に、生物の分布を海か陸かに大別します。「センサス」は、海洋の6万5千種の分布を比較し、グローバルな海の生物多様性を示すマップを初めて作成しました。この分析では、世界を30の生物地理学的な地域に特色付けました。

このような生物地理学的な分類は、十分観察のできる海面付近について作られることが多くあります。19世紀半ば以来、生物学者は、大陸棚の端から深い海溝まで、27のハビタットを発見しました。そこには、最近発見された鯨骨生物群集のハビタットや、冷水サンゴのサンゴ礁、メタン湧水域などが含まれます。ハビタットの多くに関しては、未知の状態であることは否

めませんが、おおまかな見積りはなされています。

グローバルに深海底を見ても、注意深くサンプル採取された場所は、サッカー場数個分にも達しません。しかし、可能な範囲で、種や環境情報を基に、研究者は最近、深海および深海底の新たな地理情報を提唱しました。深さによって4つの層にわけ、さらに水柱中を30、海底を38、熱水噴出孔を10の地区に分け記載しました。

海山は島になるほど隆起が十分でない山ですが、全海洋には10万を超える海山が深海にあります。海山の特徴は同じではないため、海山を客観的に分類しました。調査されていない海山を調査すると、クモヒトデ類に占拠されている場所やトロール網の曳網痕がみられました。また、投棄された漁具も見つかりました。海山の特徴は複雑で、カテゴリー分けすることは容易ではありません。

水深、水温、海流、化学的性質の変化は、海洋生物の分布に大きく影響します。「センサス」の研究者は、海水温の上昇している熱帯域において多様性の減少予測を提唱しました。また、北半球・南半球とも、緯度約50度から70度の海域で多様性が増加することを予測しました。

水に囲まれている海では、海洋生物はパスポートがなくても、餌や同種の仲間を求め、温度変化、化学物質、捕食動物に遭遇しながら移動しています。海の動物は、あるものは泳ぎ、漂流し、泥に潜り、岩に固着しています。これまで海洋生物の移動についてはあいまいでしたが、「センサス」は、徐々に海に生息する動物の移動パターンを明らかにしつつあります。



## 生物量

「センサス」は、生物の種名を明らかにし生息域の地図を作成するとともに、個体数や重量の計測を試みました。ある種では個体数の増加は種の健全性を示し、個体数の減少は将来の絶滅を警告することになります。生物の個体数や重量を計測するにあたり、生物が連鎖関係にあることや3次元空間を移動しているために生じる難しさに直面しました。それを克服するために「センサス」は、歴史的なデータや主要な漁業統計データを掘り起こし、大きな魚の群れを音響で計測する新技術を用いて、既知のデータを整理し未知の領域にチャレンジしました。時には、これまで知ることが不可能とされてきたデータを得ることができました。

海洋生態系の将来予測と同時に、「センサス」では、過去の記録、例えば化石記録、魚の逸話、昔の漁業情報を掘り起こしました。そして、地中海などでは、人類はすでに2000年前に相当な量の海洋生物を採っていたことがわかりました。人々が遠い昔から海洋生物を利用していたことは歴史に残っていますが、漁業は考えられていたよりも広範囲でより多くの種に影響を与えていたことがわかりました。

有史以前より我々の祖先は、軟体動物を食料や生活品として採集し利用してきました。「センサス」は、アメリカ、アフリカ、ヨーロッパ、日本、そしてパプアニューギニアの貝塚について調査しました。現在、資源量の減少が叫ばれているカリブ海のピンクガイ *Strombus gigas* は、1492年より前にアメリカ先住民の乱獲のため減少したことが示唆され、16世紀から19世紀にかけて一旦資源量は回復しましたが、1980年代初頭に2度目の減

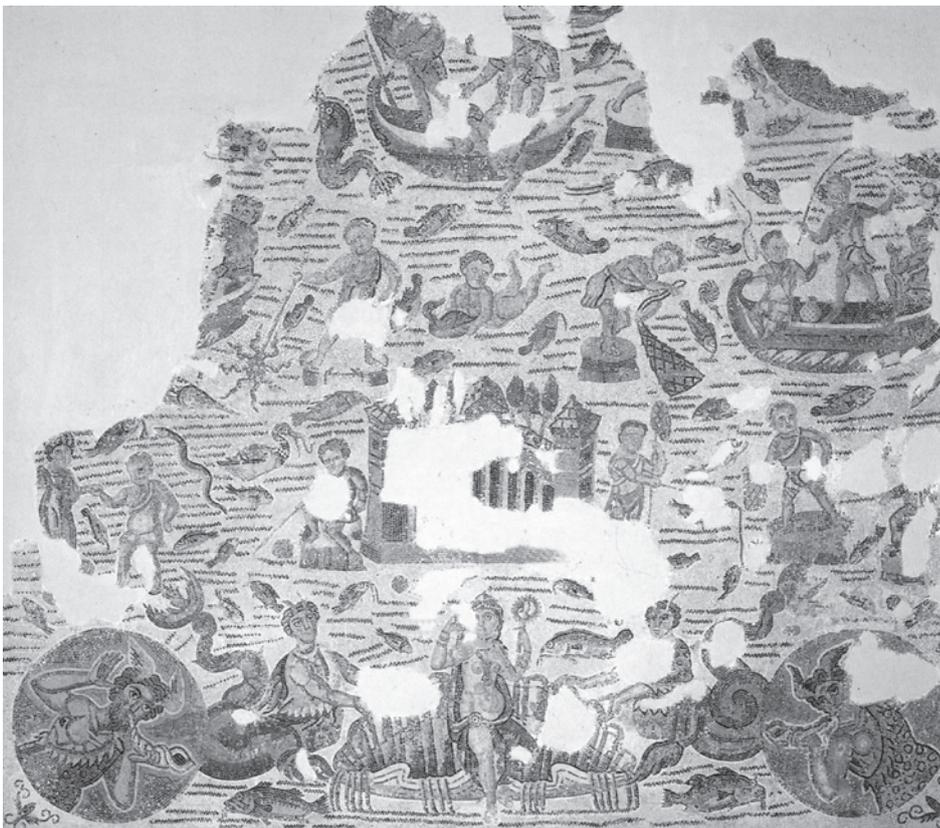
少が認められました。

5, 6世紀前の魚の逸話は図書館などに残されています。John Cabot (1450-1498) は、カナダの沿岸の魚が「魚の背を踏んで港を横断できるほど大量である」との記述を残しています。ほかにも、沿岸から川を遡上するサケをアメリカ先住民が槍で採っている、という記述もあります。このようなサケは、かなりの量を捕獲しても十分な資源量があったと推察されました。

大量に捕獲が行われていない場所でも、資源量が変動した例も認められました。1600年代から1800年代にかけてデンマークで漁獲されていたニシンは、個体数が変動していたことがわかりました。その変動は、そのほとんどが短期的な気候変化に由来するものでした。また、このような気候の変化は、ロシアの高緯度帯におけるサケの資源量も変化させていたことが示唆されました。

20世紀に入ってからにはバルト海のタラ、ニシン、イワシ漁の変動について、変動要因を分析できるデータが残されていました。気候、海水の栄養分、捕食性の海洋性哺乳類の観察を同時に行うことで、これらの資源量の変動要因を分析できます。このような過去の変動要因を理解しなければ、環境変動に直面している自然と人間にとって、将来に起こる変化を予測することは難しいのです。

レジャーである釣りからも価値ある情報を得ることができました。釣り人は、記録になる大きな魚を求めており、大きな魚が釣れたときの写真が有益な情報となりました。漁師は大漁を懐かしむといいますが、実際に以前は大きな魚がたくさん捕れて



39. In villages along the Italian coast, lobstering was still an integral part of life in the nineteenth century. Image: Ente Nazionale Italiano per il Turismo

40. A Carthaginian mosaic from the end of the fourth century displays the range of nets, rods, spears, and tridents for catching fish during the Roman era. Thousands of years ago, people caught sea life near the shore and near the surface across wide regions such as the Mediterranean. Image: "Il mare Comera"



41 and 42. While recreational fishing removes much less sea life than commercial fishing, recreational fishers do sample marine life, especially large animals. In 1958, after an excursion on a Key West, Florida (USA) charter boat, a family of recreational fishers displayed their trophies, especially large groupers, subfamily Epinephelinae. In 2007, the size of the fish displayed by the same charter enterprise had plummeted, and the mix of species had changed. Images: Monroe County Library (left) and Loren McClenachan and colleagues, 2009

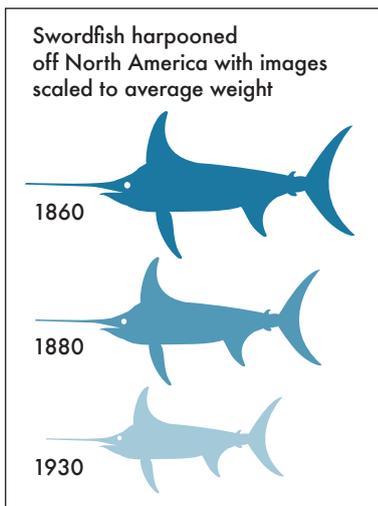
いたようです。

18世紀半ば以降、北米沖ではメカジキ *Xiphias gladius* が漁獲されていましたが、その数は10倍も変動しました。とりわけ漁業のやり方によって、資源量が増えたり減ったりしました。魚の平均重量は、もりや釣り糸を用いて捕えた場合は、1860年に270kg程度であったものが、「センサス」の10年間では100kg近くも減少したことがわかりました。

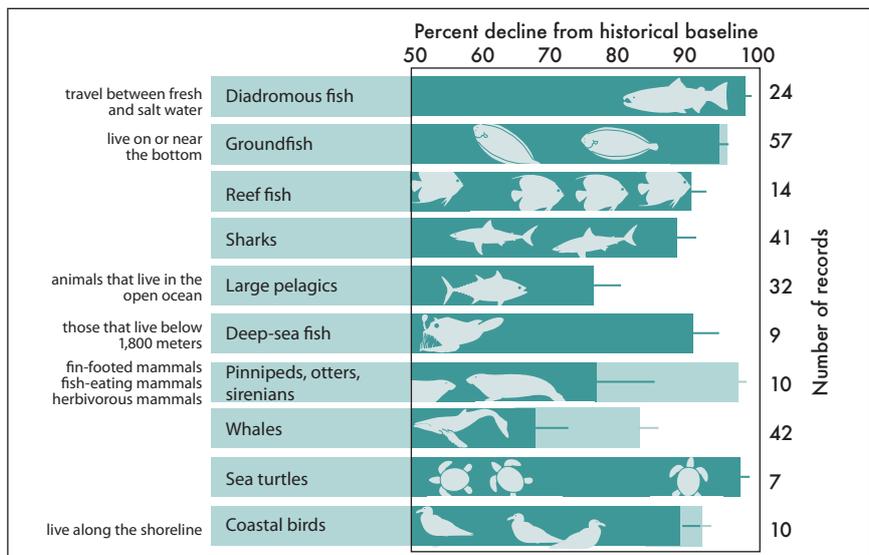
ここ20年から50年前だけに焦点を絞り、「センサス」の研究者は、古生物学的、考古学的な物証から分子マーカー、歴史的な記録、漁業統計にいたるデータを掘り起こしました。彼らは、10グループの海洋動物について、最近の個体数と比較するため歴史的なベースラインデータを得ることができました。低い値では、10グループ平均でこの期間に、資源量が90%近くまで減

少している大幅変動が認められました。歴史的にみても、ヒトによる乱獲および生息地の破壊は、海洋生物に対して大きな影響を与えてきました。ただし、減少の下限に達してからは、4グループの種ではわずかながら資源量の回復が見られています。クジラおよびアザラシは約5分の1程度回復しました。平均データは、ほとんどの場合、経済的に価値がある漁獲対象種であるため、これらの評価は、すべての海洋動物というよりは、大型で乱獲された種の評価値として扱えるでしょう。これらの漁獲対象動物に対しては、減少が懸念されるデータが多いですが、回復の兆しが見えてきた事例もありました。

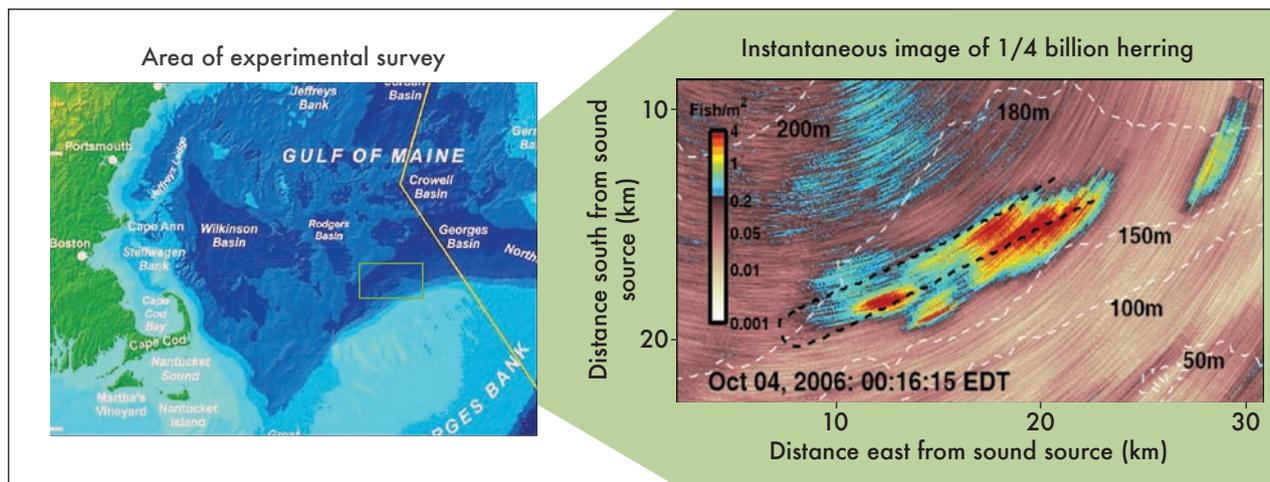
特定の種を集中的に漁獲すると、短期間で種の個体群に大きな変化をもたらす場合もありました。それは、1914年から1950年にかけて南東オーストラリア沖で行われていたトロール漁が典型的な例です。コチの1種 *Neoplatycephalus richardsoni* の



43. From 1860 to the present, the average weight of swordfish, *Xiphias gladius*, caught off the North American coast by either harpoons or lines declined from as much as 270 to near or less than 100 kilograms. A big drop occurred from 1860 to 1930. Source: Karen Alexander, Brian R. MacKenzie, and William Leavensworth



44. Dark-shaded bars indicate that the estimated declines in populations of large marine animals from their historical levels average about 90 percent. Nevertheless, some recovery (shown by light-shaded bars) has been achieved by four groups, including seals, whales, birds, and such bottom-dwelling fish species as flounder and sole. These estimates for exploited species in particular, rather than all marine animals, confirm the feared declines and offer a few hopeful instances of recovery. Source: Heike K. Lotze and Boris Worm, 2009



45. Census scientists deployed a new acoustic system to track vast fish populations over tens of thousands of square kilometers of sea along the continental shelf. In a snapshot from continuous monitoring along Georges Bank where the Gulf of Maine begins, the new sonar maps tens of millions of Atlantic herring, *Clupea harengus*, maintaining a school formation as large as Manhattan island, sometimes as densely as eight fish per square meter. Image: Nicholas Makris and Purnima Ratilal

水揚げ率が、当初高かったものが急に落ち込み、次にカワハギ *Nelusetta ayraudi* とホウボウの一種 *Pterygotrigla polyommata* が続いて落ち込みました。漁業を開始した数年間で、元々豊富に生息していた種が事実上壊滅状態になりました。一方で、一度壊滅状態になった種の回復の速度は遅くなりがちです。現在、増加傾向にある種は、少なくとも100年前に乱獲をやめた種や20世紀の初頭から半ばにかけて保護されていた種がほとんどです。

「センサス」の研究者は、経済的価値が高く寿命の長いマグロについて、1900年から1950年の漁獲量のデータを解析し直しました。これは、かつては豊富であった北ヨーロッパ沖の大西洋クロマグロ *Thunnus thynnus* が激減する前のことです。そして、流通記録や漁業統計などから、1920年代に漁業が近代化される前は、クロマグロは毎年数ヶ月に渡って、北ヨーロッパ海域から大量に漁獲されていたことを発見しました。ヨーロッパの水産市場の床が、クロマグロで埋め尽くされていたほどです。数十年前には、無数の大西洋クロマグロが、6月の終わりにはヨーロッパ北部の海域に回遊していたのです。19世紀半ば頃、漁師は、海岸近くに仕掛けた網でダツを漁獲するときに、マグロがダツを追い込めることを利用していました。第一次世界大戦前は、クロマグロは滅多に捕えられることはなく、クロマグロが接岸してくると見物客が海岸に押し寄せるといったイベントでした。2.7mもあるマグロが、ドイツの海岸に打ち上がったのは1903年のことでした。

第一次世界大戦後、漁船が増え漁業のノウハウが充実し、発射式鉾、ウインチ・ネットなどが充実したことによって、漁師は、マグロの年間漁獲高を1910年の事実上0tから、1949年までに5,500tに増やしました。1929年には、デンマークにマグロの缶詰工場が建設されました。1949年には、ノルウェーがマグロ漁用の漁船を43隻建造し、立て続けに200隻にまで増やしました。漁獲高の急増にともなって、1910年から1950年の極めて短い期間に、大西洋クロマグロの資源数は激減しました。クロマグロは事実上、1960年代初頭にはこの海域から消え去り、現

在でも滅多にみられません。

水産生物について、昔の海からレストランまでの流通過程をみたところ、「センサス」の研究者は、過去の海洋生物の個体数を評価するための新たな指標を発見しました。それは、レストランにおけるシーフードの値段です。ほとんどは、ニューヨーク、ボストン、サンフランシスコなどアメリカの都市における値段です。150年に渡るインフレ率を加味したメニューの値段から、ロブスター、メカジキ、アワビ、カキ、オヒョウ、タラの1種、シタビラメの味や供給量の変化が明らかになりました。たとえば、サンフランシスコのレストランでは、1920年代に、成長の遅いアワビをメニューの目玉に取り入れています。1930年代そして再び1950年代にカリフォルニア沿岸で資源量が激減した際に、値段は急上昇しています。保管されている1万のメニューから、日付と場所が明らかなデータを収集できました。

メニューから海洋生物種がなくなっていたら、その種は海から消え去ってしまっているのでしょうか。「センサス」の研究者は、ある海域内あるいは全海洋において、種の絶滅を判断する基準について考えました。ある種がある海域にかつては分布していたにも関わらず、現在の調査ではそれが見つからないことを絶滅と判断してよいかどうかということです。海はあまりにも広大であるため、主に海面または海面近くで生息する大型動物を除いては、絶滅を確認することは困難です。「センサス」では、最近の定量的なデータと定性的な方法で作成された海洋種の歴史的なリストとの比較を行うことで、絶滅しているかどうかを評価する新しい手法を開発しました。これからの10年間では、この手法を適用することで海洋生物の絶滅についてより正確な評価が得られるでしょう。現段階では、多くの種が希少種であり絶滅したものはわずしか見いだせませんでした。

漁獲高、観察、計算から求めた推定データ以外に、「センサス」は、海洋生物の個体数を直接計測することを試みました。彼らは、1万km<sup>2</sup>を超える大陸棚沿いの海域に新しいセンサー・システムを配置して、魚群や水生哺乳類の群れを追跡しまし

た。これは、ソナーで音波を対象生物に反射させて所在を突き止めるシステムですが、魚群の探知には有効です。低周波の音波を活用することで、遠距離かつ以前のものと比較してはるかに微弱かつ有益な情報をもたらす信号も探知できました。新しいソナーは、以前のものよりも100万倍も広い海域をくまなく探知できるようになったのです。

この新技術は、大陸棚沿いでもっとも効果的だったため、研究者たちは、ニューヨーク市の南やメイン湾内のGeorges Bankの大陸棚で主に調査をしました。研究の開始当初は、魚類は対象にしていませんでした。研究者は、ソナーで海底の下にある過去の河床の位置を突き止めたかったのです。しかし、ソナーで得られた画像が河床調査に有効ではないとわかった時点で、研究者たちは魚類研究に転用を試みました。新型のソナー画像は、毎分ごとに更新され、何百万という個体数による魚群の大きさおよび密度、および刻々と変わる魚群の形を断続的に監視できるようになりました。

この新型ソナーを用いて、「センサス」の研究者は、毎日突然、何千万という大西洋ニシンが群れになって海底から上昇することを知りました。小さな群れから始まって、何千万という魚がGeorges Bankの北側面沿いに数kmの群れを形成していました。この群れが短時間で作り出す距離、同時性、規則性は、小規模な群れが大集団に強制的に加わるようになっていくようにみえました。始まりは1mあたり1個体未満という密度ですが、最終的には8個体まで高くなるのです。

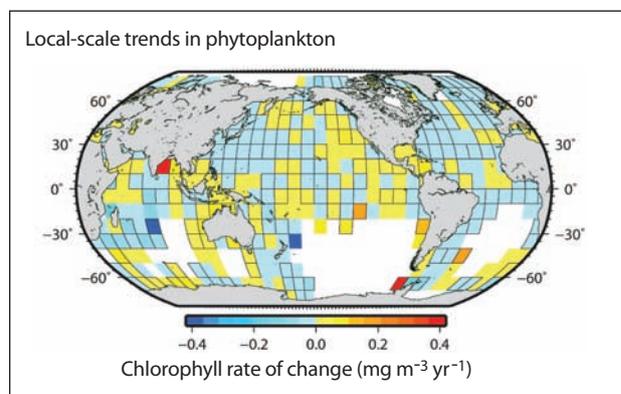
また、豊富な生物量の例として、微生物が繊維状になったバクテリアマットがあげられます。このマットは、チリからペルーの沖の低酸素水の下にある海底で見つかり、ギリシャの大きさにはほぼ相当する13万km<sup>2</sup>の規模で広がっていました。この微生物は、地球上でもっとも大型の微生物のひとつです。主にメタンから生成された硫化水素をエネルギー源として成長するこの多様な微生物群集は、おそらく25億年から6億5千万年前、地球が酸素に満ちた大気へと移行する段階にあった時代からの生態系の特徴を残している可能性があります。このマットが広がる中深層では、海面からの酸素供給、または酸素が豊富な水塊が深海底沿いに流れ込むことはあまりありません。酸素の豊富な海水は、コーヒーにクリームを注ぐように極地で沈み、他の海域へと深海底に沿って進んでいきます。このバクテリアマットが形成される場所には、あまりにも酸素に乏しいため、多細胞生物の多くは生存できません。しかし微生物は、この巨大な繊維状マットを作って力強く成長できるのです。この大型のバクテリアは、人間の髪の毛の約半分ほどの幅があり、肉眼で確認できるほどです。

「センサス」は、ガラパゴス諸島、エクアドル、パナマ、コスタリカにまたがる太平洋沿岸沖でも、硫化物の湧水域から長い細菌を発見しました。そして、低酸素層のバクテリアマットが、チリの南からコロンビアにかけて延びている可能性を指摘しました。あるものは小さすぎて見えないために、またあるものは大きすぎて信じてもらえないということもあるのです。

世界全体の深海底について、「センサス」は、蠕虫様動物（多毛類や線虫）や微小動物（カイアシ類）はどこでも極めて豊富であること、高い生物量を伴う熱水噴出孔生物群集や湧水生

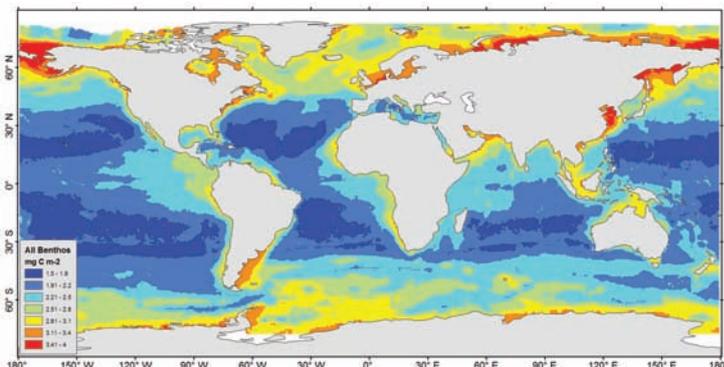


46. Small life can form large structures. Off Chile, filamentous bacteria of the genus *Thioploca* wove mats covering an area the size of the nation of Greece. Census scientists estimated the mats to weigh about 14 million tons, about one-seventh of the weight of the annual world harvest of commercial fisheries. Image: Victor A. Gallardo and Carola Espinoza

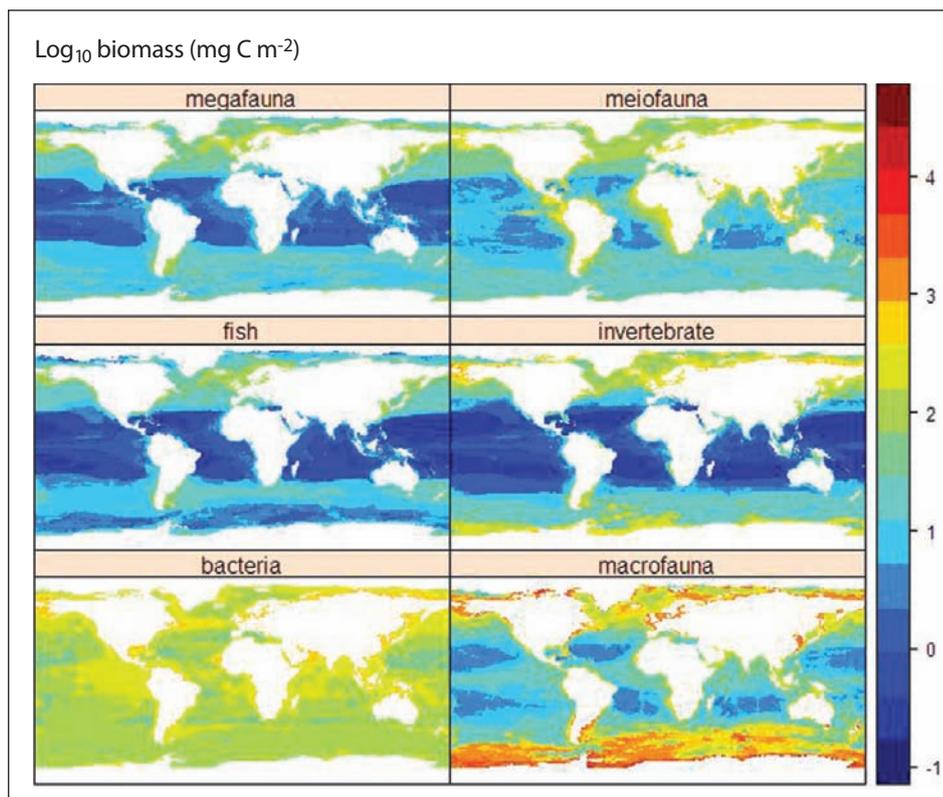


47. Since 1899, phytoplankton chlorophyll measured first by ships and recently by satellites, too, declined in 59 percent of the 364 map cells with sufficient observations for a determination. It increased in the yellow and red cells and declined in the blue. The cells bordered in black experienced statistically significant changes, while white cells had insufficient data. Source: Daniel G. Boyce and colleagues, 2010

#### Estimated seafloor biomass



48. Census scientists used nearly 200 studies to estimate the biomass on the seafloor globally from bacteria through fish and other large animals. The yellow-to-red zones in the map show seafloor biomass reaching 3 to 10 grams of carbon per square meter, or 30 to 100 kilograms per hectare, along several temperate and frigid shores. Carbon typically makes about half of living biomass. This level of carbon accumulation is small compared with the tons accumulated per hectare of land in a forest or even a crop of maize, but still considerable when added over the vast oceans. In general, the tropical seafloor is poor in biomass while the temperate and polar seafloors are rich. Source: Chih-Lin Wei and Gilbert T. Rowe



49. A map of the estimated seafloor biomass of bacteria and other kinds of life grouped by size (the small meiofauna that pass through a 0.3-millimeter sieve, the intermediate macrofauna up to 3 centimeters, and the larger megafauna encompassing both invertebrates and fishes) shows that despite the microscopic size of bacteria, their numbers make their mass far greater than the mass of larger and hence clearly visible animals such as fish. Bacteria reach densities of 100 to 1,000 milligrams of carbon per square meter ( $\log_{10}$  equal 2 or 3) in the tropics and near continents, whereas fish only reach densities of 1 in the tropics and 10 ( $\log_{10}$  equal 0 or 1) elsewhere. Source: Chih-Lin Wei and Gilbert T. Rowe

物群集が深海の大陸縁辺および海嶺沿いにすることを明らかにしました。

人類が沿岸の貝類などを利用し始めてから、特定の分類群で個体数が変化していることは明らかですが、グローバルにみて栄養段階にまで変化が生じているかどうかについては議論が残るところです。クジラやアザラシの個体数など、食物連鎖の頂点にいるものの変化には注目が集りがちですが、これらはかつて減少したものの現在は回復の途上にあります。「センサス」は、食物連鎖の第一段階（生産者）について研究しました。海洋生態系における生産者である植物プランクトンの生産性または生物量は変化しているかどうかについて研究しました。1899年以来集積されている船舶の間接的な観察データを解析したのですが、部分的には、顕著な植物プランクトンの減少が示唆されました。

前述のように、海における総生物重量の90パーセントが微生物です。「センサス」は、細菌、古細菌、原生生物の多様性と相対的な個体数についてデータを得るため、「Pyrotag配列」というDNA技術を開発しました。「センサス」の微生物学者は、都市にあるビルディング群のような図を描き、数百の場所について異なる種類の微生物の相対的な個体数を表しました。その図には、わずかの高層ビル、いくつかの中層、および多くの低層ビルが表され、この低層ビルは、珍しい生物圏で構成される分布が「広く存在」することを形作っています。

計算、測定、観察、採集による海洋生物研究は、個体数の評価とともに、絶滅や絶滅危惧種を保護する活動やそれらの回復に利用できます。独立栄養生物であるチリ沖の巨大なバクテリアマットは例外として、底生生物の個体数や生物量は、通常、光合成生産と沈降フラックスに依存しています。海底1mあたりの個体数と生物量の重量は、有機物の沈降量が大きな規定要因になるのです。

「センサス」の研究者は、底生生物の生物量を一次生産、沈降粒子、海底地形図から見積もりました。一次生産は、陸地周辺が活発で、そこでは植物性の栄養物が海底に大量に到達します。炭素を指標とした海底の総生物量の地図によると、温帯および寒冷地の沿岸では一次生産の生物量は1m当たりの炭素にして3gから10g、すなわち1ヘクタール当たり30kgから100kgに達していることがわかりました。さらに、計算によって、

海底の生物量から魚類、無脊椎動物、細菌類の個体数についておおまかに評価できます。重量では、海底に生息する細菌は、大型底生生物の合計の約10倍に達するほど多いと評価されました。

海全体に約25万の既知の種が分布しており、それらの個体数の計測は、多様性や分布のデータを集めるより困難です。多様性は、温帯より暖かな海域でもっとも高くなる傾向がありますが、これとは対照的に、個体数は温帯およびより寒冷な海域でもっとも多くなる可能性があります。巨大なバクテリアマットのように、新たに多くの生物群が発見され続けています。経済的に人間に利用されている種の多くが、急速に減少しています。経済的に重要な数千の種のうち減少している種が、全海洋生物の総生物量に影響を与えているかは、現在でもよくわかりません。しかし、少なくとも20世紀には海藻および植物プランクトンが部分的に減少しています。

結論として、漁業、生息域の破壊、そしてもっとも強い影響を及ぼす水温変化によって、我々は、食物連鎖の頂点と生産者にある種の個体数が減少していることは認識できました。およそ25万の既知の種および微生物の個体数を体系的に計測することは、次の10年間に残された仕事です。未発見の種の個体数の評価は、次の「センサス」に新たな謎として残されました。

## 「センサス」の遺産

「センサス」は、自ら10年という期限を課し、その研究活動に緊急性を持たせました。10年は、組織化して2010年のクライマックスに向けて研究を進展させるのに適した期間でした。これほど短期間でも、その成果の多くは遺産として残ります。遺産のうち3つはすでに見えています。「センサス」による音響計測に関わる技術と慎重に記録された知見は、今後の海洋生物研究の発展に大きく貢献するでしょう。彼らの研究は組織化され、共同研究も推進されましたので、将来はより効率・効果的に研究が進められるでしょう。

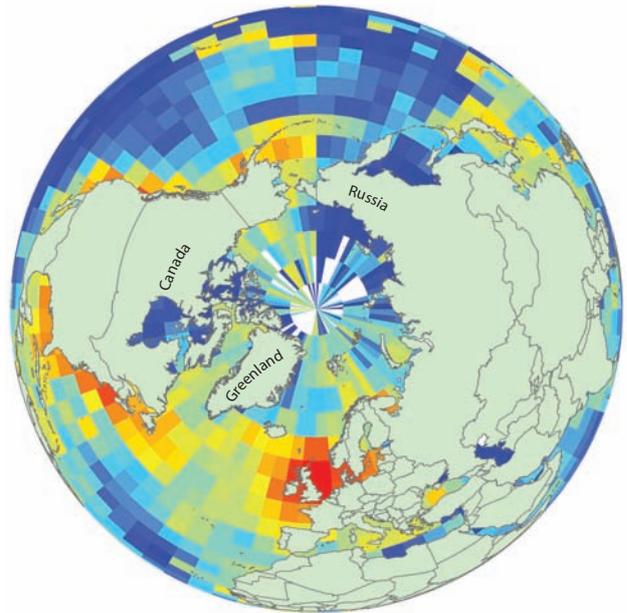
「センサス」は、2,600編を超える研究論文を公表しました。それらのいくつかは、既知のデータを収集し体系的に解析することで、海洋生物の多様性や生態に関する地域的なパターンやグローバル・パターン、過去および現在の状況について明らかにしました。また、海洋生物が、様々な環境や年代をいかに生き抜いているかを示しました。そのほかの論文では、新種や新たな分布域についても報告しています。それらは、海洋生物の移動およびその個体数について有益な情報を提供するでしょう。

研究論文を公表するように、「センサス」は、新発見に関わる情報発信を推進しました。PLoS (the Public Library of Science) はアクセスフリーな研究論文ですが、ここに「センサス」の成果をコレクションとして公表しました。コンピュータがあればだれもが、インターネット上で、無料で、この先ずっと読むことができるからです。

既存のデータに独自のデータを加えて、「センサス」は海洋生物の多様性と分布情報を包含したデータベース Ocean Biogeographic Information System: OBISを構築しました。OBISは、多様性と分布の世界最大のデータベースです。10年間の最後の年にいたってもデータが増え続ける中、「センサス」は、多様性、分布、および個体数のパターンを明らかにするために、グローバルスケールで構築されたデータベースの有益性を証明しました。各国政府も、「センサス」後のOBISの維持について賛同しています。OBISを公開し、これを継続し、Encyclopedia of Life やその他のコンピュータ上のコンテンツと統合することにより、「センサス」は、海だけではなく地球全体の将来研究のための基盤となる遺産を作り上げました。

海洋生物の現状に対する科学的ベースラインデータをもとにして議論しなければ、海水温の上昇、乱獲による変化、原油漏れに対する要求は、論争をおおるだけです。同様に、海底資源開発や漁業に対する保護区域からの利益を要求するには、科学的データによる根拠が必要です。国家による海洋保護区域の選択および国際的な生物多様性条約もベースラインデータを必要としています。こうした政策的課題に対して貢献するために、「センサス」は、海洋の多様性、分布、および個体数のベースラインデータを遺産として残します。

海を南北に往来できる船など「大航海」初期の技術は、後世への遺産として受継がれました。同様に、「センサス」は、DNA配列によって種を識別するバーコーディングや関連する遺伝学的手法を遺産として残しました。これは、ある種は肉眼で見るとは小さすぎ、またある種は似通った形態なため識別ができない種



50. The global marine life database built by the Census exposes gaps in our knowledge of the known and unknown. The color spectrum from red to blue ranges from many to few records. Blank areas have no records of reliably identified marine life. Explorers have yet to explore much of the high Arctic Ocean for life. Source: Ocean Biogeographic Information System (OBIS)

をDNA配列によって識別できる技術です。これは、サンプルの種同定ができるだけでなく、長いDNA配列を解析することによって、種間の近縁性を図式化する方法を遺産として付け加えました。

機械的な遺産として、「センサス」は、カーテン状に連なる音響受信装置を後世に残しました。その音響受信装置は、カリフォルニアからカナダのブリティッシュ・コロンビアを経てアラスカに至る数千kmの経路に沿って、回遊生物を個体識別できます。体長20cmしかない魚に小型音響タグをタギングできるようになり、音響受信装置によって魚の回遊経路をたどれることを実証しました。さらに大きな動物では、それらが泳ぎ、潜るときの水温、深さ、その他環境を記録し、人工衛星を経由してデータを送るバイオロガーを装着できるようになりました。

「センサス」は、音響魚群探査システムを考案し遺産としました。そのシステムは、1万km<sup>2</sup>を超える範囲に存在する魚の群れについて、その編成、個体数、行動を探知できます。「センサス」は各国に、海の生態系を乱したり、生物の聴音機能を妨げたりしないように静かで、かつ船上でアミノ酸配列分析装置が操作できるくらいに安定した研究用船舶の建造を働きかけました。

「センサス」は、サンゴ礁生態系のアセスメント手法を標準化し、分布や変動の測定に関してグローバルに解析するために、自動サンゴ礁監視ユニット (Autonomous Reef Monitoring Structures, ARMS) を導入しました。同様に、「センサス」は、沿岸や深海の生物を評価する手法を標準化し遺産としました。これらを併用することで「センサス」が考案、導入した技術は、大気の観測に長い間運用されているシステムに類似した初の世界海洋観測システム (Global Ocean Observing System) となり、生物と自然の変動を観測できることを示しました。

「センサス」が10年間で生み出した洗練された方法は、将来の

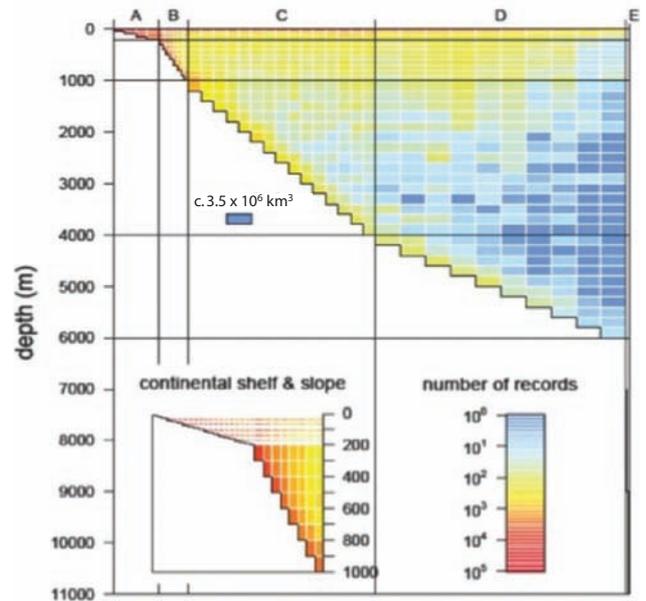
グローバルスケールの海洋生物の調査活動を効果的にするでしょう。研究者によるミーティングのやり方、多様性、分布、個体数といった目標の選び方、多くの研究者が参画できる方法、新規参画者へのノウハウの伝承方法、当初の目的を見失わない方法、だれもが理解できる結果の記録方法といったことは、すべてこの10年間に培ったものですが、これらを将来の研究のために遺産として残しました。すべての分類群および全海洋にまたがる研究者や専門家のネットワーク、そして80を超える国々が社会から評価される第2の「センサス」やその他の研究プログラムを推進できるように、遺産は形作られました。

「センサス」は、現在ある知見・技術・人材では超えられない領域Unknownableを明確にし、既知のことと同様にUnknownableなことについても率直に公表するという方針をとってきました。「センサス」は、微小な生物に関する知見が少ないことを定量的に示し、一般的に、知見は大きさに反比例するということを明らかにしました。また、いくつかの海洋生物に関わる科学的な課題は、広い視野で解析しなければならないことも認識し、「センサス」は、知識の限界を克服する巨視的なツールを考案しました。

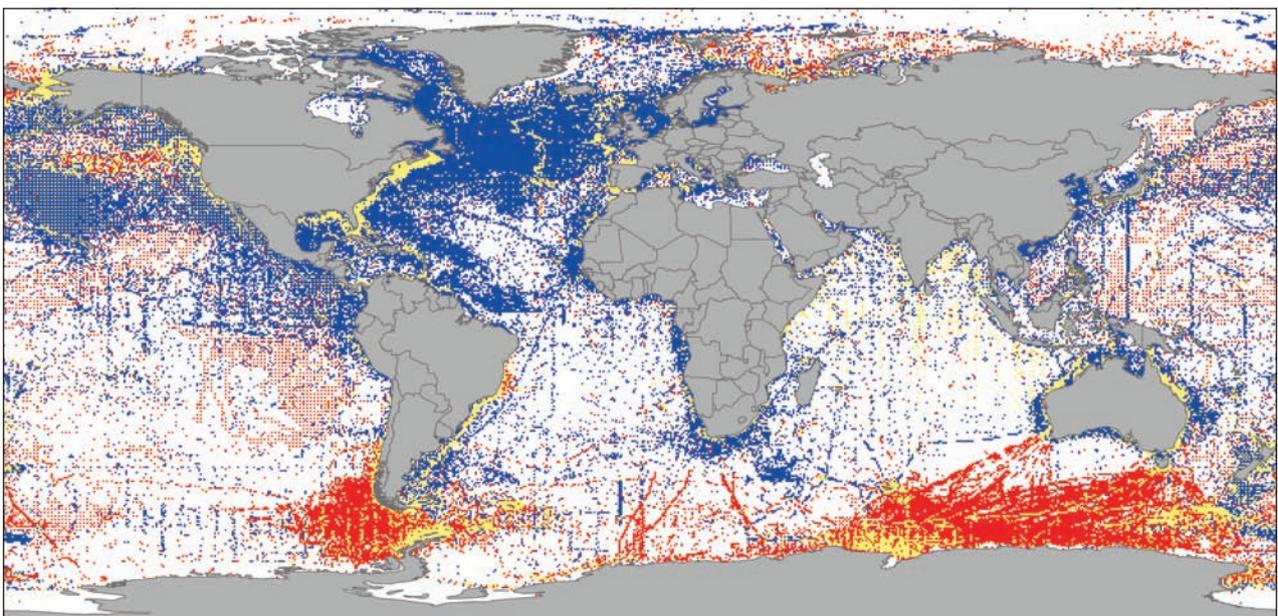
その巨視的なツールOBISは、海洋生物の既知および未知の両方を、革新的に分析してすべての人々が見ることが出来ます。我々は、「センサス」が開始される以前からあるデータ、この10年間「センサス」やその他の研究がいかんにしてデータを増やしたかを地図で見ることが出来ます。OBISのデータギャップをみると、たとえば、東太平洋、南大洋、大西洋に海洋生物のデータがほとんどない広大な海域があることがわかります。また、海を鉛直方向に海面から海底までみると、中・深層域にデータが少ないことがわかります。

「センサス」は、経済的および技術の発展によって、海はますます人類によって過密に利用されていることを認識しました。「センサス」は、種の多様性、分布、個体数のベースラインデータ

を集積しながら、多様性はより高く、分布と移動により生物同士の連鎖はより密に、人間の影響はより強くなっていることを明らかにし、調査がすすんでいなかった海の生物多様性について、初めて包括的に記録を残しました。「センサス」は、有能な専門家を多く世に送り出し、調査研究の技術を開発・公開し、データへのアクセスを改善し、海洋生物種および海域の保護について解決策を示しました。「センサス」の遺産、すなわち知見のベースライン、一連の新技术、境界を横断した活動は、人類と海洋にさらなる恩恵を与えることを約束します。



51. OBIS exposes the still-to-be-explored ocean by depth as well as latitude and longitude. On a cross section of the global oceans, the spectrum from red to blue extends from many to few or no records. The records are concentrated near shores and in shallow waters, while the largest habitat on Earth, the vast middle waters, is largely unexplored. Source: Ocean Biogeographic Information System



52. A global map of the nearly 30 million OBIS records of 120,000 species from more than 800 datasets shows the known and unknown ocean in half-degree squares by latitude and longitude. In blue areas, the Census has aggregated data from before the Census began and from partner programs and institutions, often assembled by OBIS regional and thematic nodes. Yellow indicates regions with data both from Census partners and from the Census's own expeditions. Red indicates regions with data from Census expeditions where there were no prior data. The records attributable to and supplemented by the Census are numerous in the Southern Ocean, North Pacific, and along the Mid-Atlantic Ridge. Wide regions, such as the Eastern Pacific, remain largely unexplored. Source: Ocean Biogeographic Information System





## 「センサス」の動き

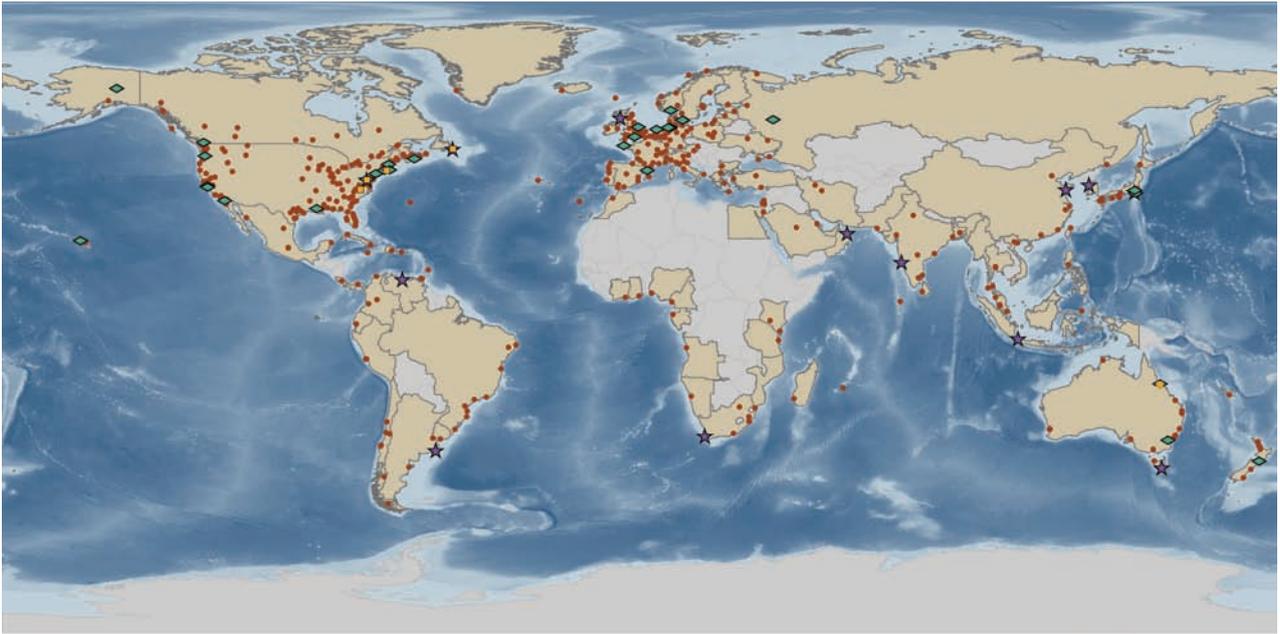
「センサス」はどのように研究を進めたのでしょうか。口で言うほど簡単ではないことですが、1990年代、海のすばらしい景観や魅力を強く意識する研究者有志が世界中から集まりました。そして、包括的かつ堅固な研究基金を設置し、かつてない「海洋生物のセンサス」を組織しました。彼らは「センサス」を、2000年に開始し2010年に終了すると期間を明確に定め、その研究活動を集中させることにしました。彼らは、海洋生物の多様性（種数）、分布（生息域）、そして生物量（個体数）に研究を絞り込みました。

「水の惑星」を網羅し、その多様な海域についての知見を結び付けるために、80を超える国々、すべての大陸にある670を超える研究機関、大学、自然史博物館、水族館から、2,700人の海洋生物学者が「センサス」に携わってきました。「センサス」の旗を立てた調査に先立って、3年におよぶ議論と数十回に上る計画会議が行われました。10年間に、ワシントンDCのConsortium for Ocean Leadershipにある「センサス」事務局は、国際的なネットワーク、66回の実行会議、5回の「センサス」全体会議を調整し開催しました。「センサス」は、国や地域によって実行可能な範囲が異なることを認識していました。参加した国々は、できる範囲で船舶、資金および研究者を提供しました。また、知的財産を提供し海域での調査をやりやすくしました。

「センサス」への参加者は、最初の5年間に急増し、後半5年間においても増加は続きました。延べ9000日、540を超える海洋調査の間、「センサス」の研究者は、寒帯、温帯、熱帯域、海面から海底までと様々な海域で調査を行いました。リーダーシップをとる国際科学推進委員会 (Scientific Steering Committee) は、「センサス」が、グローバルな規模、多様性、分布、個体数に重点を置いて調査ができるようにしました。

14のフィールド・プロジェクトでは、海洋全体で主要な生息域および分類群を調査して、現在の海洋生物の実態解明に努めました。これらのうち11のプロジェクトで、海山、湧水域、サンゴ礁、北極海、南大洋、大西洋中央海嶺、メーン湾などの調査を行いました。3つのプロジェクトでは、「水の惑星」生態系の頂点であるマグロ、または漂流するプランクトンや微生物などを調査しました。

残り2つのプロジェクトとOBISは、「センサス」のリストを完成させました。過去の海の生物多様性を解析するプロジェクトは、過去の生物情報のベースラインを再構築しました。たとえば、昔の船の航海記録、修道院の記録、魚の骨、貝塚などについて検討しました。過去を再構築しつつ、もう一つのプロジェクトは、将来の海洋生物多様性を解析するもので、漁業および気候変動などの変数の影響をモデル化し、将来の海洋における海洋生物の変動を予測しました。OBISは、収集したデータの保管庫であり前述の通りです。参加国や地域のうち世界13の地域で国内・地域推進委員会 National and Regional Implementation Committees; NRICが組織され、それぞれリーダーシップを発揮し、「センサス」の知見・ノウハウへのアクセスを容易にしました。

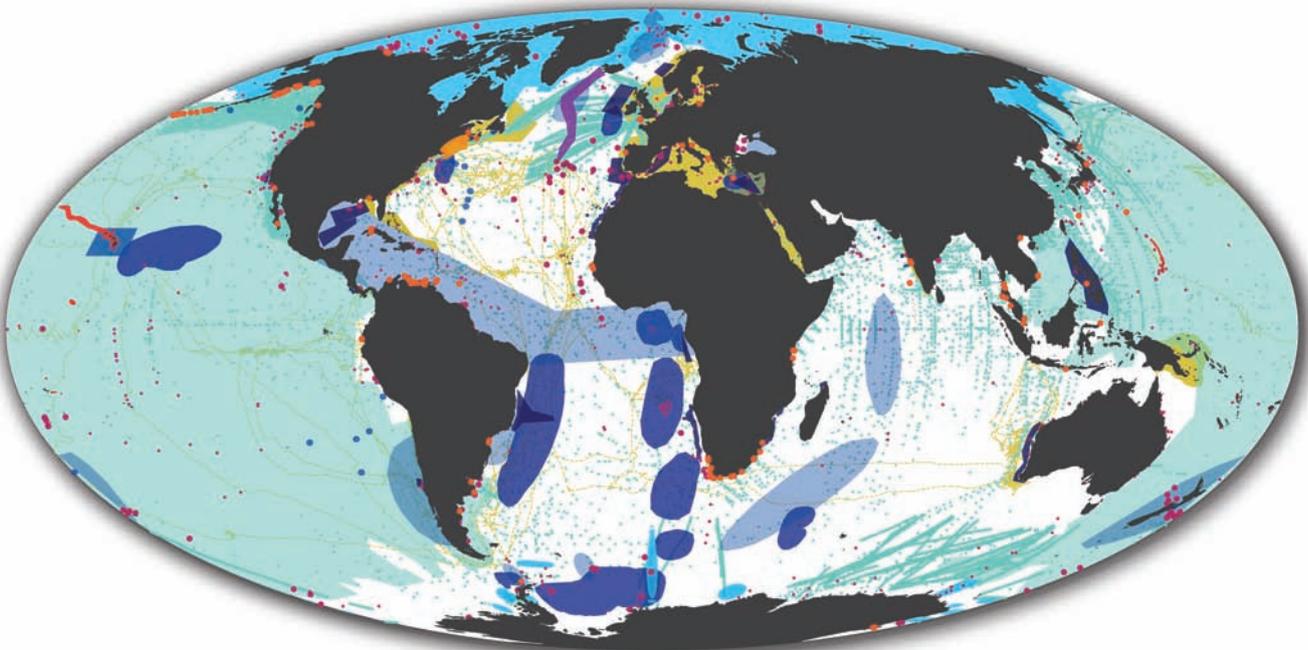


Census of Marine Life global community

- Census global coordination
- ◆ Project headquarters
- ★ National or regional headquarters
- Participating institution
- Participating country

54. Shading shows the global span of 80 plus nations that participated in the Census of Marine Life. The 2,700 scientists participating came from more than 600 institutions and worked in 14 field projects spanning ocean realms from near shore to abyss and latitudes from poles to tropics. The global span of National and Regional Implementation Committees, headquarters of the field projects, and participating institutions such as museums ensured access to expertise and seas. Image: Census of Marine Life Mapping and Visualization Team

Census of Marine Life project areas



- |  |   |  |  |   |
|--|---|--|--|---|
| <b>Coastal</b><br><span style="color: orange;">■</span> Regional Ecosystems (GoMA)<br><span style="color: blue;">■</span> Near Shore (NaGISA)<br><span style="color: red;">■</span> Coral Reefs (CReefs) | <b>Polar</b><br><span style="color: lightblue;">■</span> Arctic Ocean (ArcOD)<br><span style="color: darkblue;">■</span> Antarctic Ocean (CAML) | <b>Pelagic</b><br><span style="color: lightgreen;">■</span> Top Predators (TOPP)<br><span style="color: teal;">■</span> Continental Shelves (POST)<br><span style="color: lightblue;">■</span> Zooplankton (CMarZ) | <b>Deep Sea</b><br><span style="color: darkblue;">■</span> Vents and Seeps (ChEss)<br><span style="color: blue;">■</span> Abyssal Plains (CeDAMar)<br><span style="color: purple;">■</span> Seamounts (CenSeam)<br><span style="color: darkblue;">■</span> Continental Margins (COMARGE)<br><span style="color: purple;">■</span> Mid-Ocean Ridges (MAR-ECO) | <b>Global Information and Analysis</b><br><span style="background-color: grey; border: 1px solid black; display: inline-block; width: 10px; height: 10px;"></span> Oceans Future (FMAP)<br><span style="background-color: white; border: 1px solid black; display: inline-block; width: 10px; height: 10px;"></span> Information Systems (OBIS)<br><span style="color: pink;">●</span> Microbes (ICoMM)<br><span style="color: yellow;">■</span> Oceans Past (HMAP) |
|--|---|--|--|---|

55. Census field projects sampled all major zones and realms of the oceans. Image: Census of Marine Life Mapping and Visualization Team

## The Census of Marine Life Community

GLOBAL LEADERSHIP

### Scientific Steering Committee

Ian Poiner, Chair, Australia  
 Victor Ariel Gallardo, Vice Chair, Chile  
 Myriam Sibuet, Vice Chair, France  
 J. Frederick Grassle, Past Chair, USA  
 Vera Alexander, USA  
 D. James Baker, USA  
 Patricio Bernal, France/Chile  
 D. Chandramohan, India  
 David Farmer, USA/Canada  
 Serge Garcia, Italy  
 Carlo Heip, Netherlands/Belgium  
 Poul Holm, Ireland/Denmark  
 Yoshihisa Shirayama, Japan  
 Michael Sinclair, Canada  
 Song Sun, China  
 Meryl Williams, Australia/Malaysia  
 Past Committee Members  
 Donald Boesch, USA  
 Olav Rune Godø, Norway  
 Andrew Solow, USA

### Partners

Encyclopedia of Life  
 National Geographic  
 Galatée Films

### Projects

Arctic Ocean  
 ArcOD  
 Antarctic Ocean  
 CAML  
 Mid-Ocean Ridges  
 MAR-ECO  
 Vents and Seeps  
 ChEss  
 Abyssal Plains  
 CeDAMar  
 Seamounts  
 CenSeam  
 Continental Margins  
 COMARGE  
 Continental Shelves  
 POST  
 Near Shore  
 NaGISA  
 Coral Reefs  
 CReefs  
 Regional Ecosystems  
 GOMA  
 Microbes  
 ICoMM  
 Zooplankton  
 CMarZ  
 Top Predators  
 TOPP  
 Oceans Past  
 HMAP  
 Oceans Future  
 FMAP  
 Global Marine Life  
 Database  
 OBIS

### Affiliated Projects & Collaborators

Marine Barcode of Life  
 Ocean Tracking Network  
 Great Barrier Reef  
 Seabed Biodiversity Project  
 Gulf of Mexico Biodiversity Project  
 World Register of Marine Species  
 MarBEF • HERMES  
 Google Earth • PLoS ONE  
 Convention on Biological Diversity (CBD)  
 Scientific Committee on Oceanic Research (SCOR) Technology Panel

### National and Regional Implementation Committees

Arabian Sea: Michel Claereboudt, Oman  
 Australia: Nic Bax  
 Canada: Philippe Archambault  
 Caribbean: Patricia Miloslavich, Venezuela  
 China: Song Sun  
 Europe: Isabel Sousa Pinto, Portugal  
 Henn Ojaveer, Estonia  
 Indian Ocean: Mohideen Wafar, India  
 Indonesia: Gabriel Wagey  
 Japan: Katsunori Fujikura  
 Republic of Korea: Youn-Ho Lee  
 South America: Diego Rodriguez, Argentina  
 Sub-Saharan Africa: Charles Griffiths, South Africa  
 United States of America: Andrew Rosenberg

GLOBAL PARTICIPATION

### Synthesis Group

Paul Snelgrove, Chair, Canada  
 Jesse Ausubel, USA  
 Darlene Trew Crist, USA  
 Michele DuRand, Canada/USA  
 J. Frederick Grassle, USA  
 Patrick Halpin, USA  
 Sara Hickox, USA  
 Patricia Miloslavich, Venezuela  
 Ron O'Dor, USA/Canada  
 Myriam Sibuet, France  
 Edward Vanden Berghe, Belgium  
 Boris Worm, Germany  
 Kristen Yarincik, USA

SYNTHESIZING RESULTS

### GLOBAL COORDINATION

Secretariat, Consortium for Ocean Leadership, USA  
 Education and Outreach, University of Rhode Island, Office of Marine Programs, USA  
 Mapping and Visualization, Duke University, Marine Geospatial Ecology Laboratory, USA

56. Image: Census of Marine Life Education and Outreach Team

### Projects affiliated with the Census of Marine Life

The Census extended its reach by affiliation with other projects and programs. It formed a partnership with the National Geographic Society to expand cartographic resources and outreach. The Census Mapping and Visualization Team boosted the creativity and quality of work throughout the program and served as the liaison with National Geographic's cartographers and also with Google Earth, whose ocean layer integrates Census findings.

The Encyclopedia of Life (EOL) is documenting on the Internet all 1.9 million known living species of animals, plants, and fungi. Its infinitely expandable page for each species includes text and also images, graphics, video, and sound. It is compiled from existing databases and from contributions throughout the world. Partnering with EOL, Census scientists helped create Web pages for 80,000 species, which comprise about a third of known marine species. These species in turn come from the master list of another Census partner, the World Register of Marine Species, formed in 2006 to provide in perpetuity an authoritative and comprehensive list of names of marine organisms. A partnership with Aquamaps allows quick creation of standardized distribution maps for species of fishes, marine mammals, and invertebrates in OBIS.

The Census also benefited from the formation in 2004 of the Consortium for the Barcode of Life. The Consortium and the international Barcode of Life initiative aim to offer a reference library of DNA barcodes for more than 500,000 species by the year 2015. The efforts to speed barcodes of marine species operate within the subprograms Marine Barcode of Life Initiative (MarBOL) and Fish Barcode of Life Initiative (FISHBOL), both headquartered at Ontario's University of Guelph.

Affiliated projects and programs added depth and scope to Census work in Australia's Great Barrier Reef, the Gulf of Mexico, the margins of European seas (HERMES, see below), ecosystem functioning (MarBEF), fisheries science (ICES, PICES, and FAO), seas beyond national jurisdiction (IUCN), and global change (IGBP/DIVERSITAS). Cooperation with the Partnership for Observation of the Global Oceans (POGO), the Scientific Committee on Oceanic Research (SCOR) Technology Panel, Scientific Committee on Antarctic Research (SCAR), the Intergovernmental Oceanographic Commission (IOC), and the Group on Earth Observations (GEO) helped integrate the Census with the development of ocean observing systems.

HERMES: Hotspot Ecosystem Research on the Margins of European Seas  
 MarBEF: Marine Biodiversity and Ecosystem Functioning, European Union Network of Excellence  
 ICES: International Council for the Exploration of the Sea  
 PICES: North Pacific Marine Science Organization  
 FAO: Food and Agriculture Organization  
 IUCN: International Union for Conservation of Nature  
 IGBP-DIVERSITAS: International Geosphere-Biosphere Programme Initiative for Biodiversity

「センサス」は最後の4年間に、成果のとりまとめグループ Synthesis Groupを組織し、結果を統合、「The Decade of Discovery」のイベントに向けて準備を進めました。Synthesis Groupは、「センサス」の全チームおよびプロジェクトに対して助言し、問題解決を図るMapping and Visualization Teamと密に作業を行いました。

「センサス」の研究者は、41種の動物にタグgingを行いました。タグgingされた2万3千の動物も、「センサス」に参加した2,700人に加えてもよいでしょう。

2000年から2010年の間に「センサス」に提供された経費は、米ドルで6億5千万ドルになります。多くの行政機関、私的基金、会社、個人から資金的サポートを受けました。構想の時点から、ニューヨークのスローン財団からは、総額約7,500万ドルという必要不可欠な中核運用経費のサポートを受けました。

「センサス」への資金サポートのおかげで、10年間を通してグローバルスケールで海洋の生物多様性に関する一連の知見を得ることができました。「センサス」の研究者は、2,600を超える科学的論文を通じて成果を報告してきました。「センサス」が推進したのは、無料かつ自由にアクセスできるインターネットによる公表であり、これはプログラムの後半に積極的に行わ

れました。「センサス」の論文の多くは、Public Library of Science: PLoS に公表されました。PLoS は、「センサス」および関連テーマに関する多くの論文コレクションを確立しており、さらに論文数は増え続けています。

論文に加えて5つの書籍も出版しました。まずは、Discoveries of the Census of Marine Life: Making Ocean Life Count, Paul V.R. Snelgrove, Cambridge University Press, 2010 で、これは2010年に、10年間の最後に「センサス」から得られた知見の一部について概要をまとめたものです。

2つ目は、Life in the World's Oceans: Diversity, Distribution, and Abundance, Edited by Alasdair D. McIntyre, Blackwell Publishing, Ltd., 2010. で、「センサス」の17プロジェクトの研究結果および発見について、研究者向けに各プロジェクト1章ずつまとめた書籍です。

3つ目は、2009年初頭以降の「センサス」の研究とその成果について、一般向けに広く概略を説明した書籍、World Ocean Census, Darlene Trew Crist, Gail Scowcroft, and James M. Harding, Jr., Firefly Books, UWA Publishing, 2009. です。



57



58



59

57. Research along the Mid-Atlantic Ridge inspired Norwegian Anne Berg Edvardsen's sculpture Spikes. Made of paper and clay and about 40 by 40 centimeters, the sculpture suggests an animal trying to lift itself, maybe to change direction. Image: Anne Berg Edvardsen

58. The Census inspired the public to examine marine life, too. Image: Megan Moews

59. As marine creatures helped the Census by measuring their environment with electronic tags, so too did their form and color help the Census catch the interest of the public. The incongruity of the hairy Kiwa hirsuta that suggested its nickname yeti crab has broad appeal and prompted many to capture its magic, including skateboarders in search of a wild ride. Image: Nathalie Roland

4つ目は、  
Citizens of the Sea: Wondrous Creatures from the Census of Marine Life, Nancy Knowlton, National Geographic, 2010.  
で約100の種について描写しています。

5つ目は、  
Life in the Mid Atlantic, Peter Boyle, Bergen Museum Press, 2009  
で北大西洋において海面から海底まで、生物や環境を調査する大規模な航海を描写した書籍です。  
これらの書籍は、「センサス」の教育・アウトリーチ活動の一角を担いました。こうした活動には、ウェブサイト、映像やスチ

ール写真、博物館の展示、その他のグッズ類なども含まれます。「センサス」は当初から、写真家、カメラマン、画家、彫刻家、音楽家などの芸術家に接触し、「センサス」に参加し、「センサス」が遭遇した海洋生物を彼らなりに作品にしてもらうように求めました。すべての「センサス」プロジェクトは、教育・アウトリーチ活動との連携を表明し、ロードアイランド大学に本部を置くチームがネットワークの調整を行いました。また、このチームは、2003年の初期の一般向けのレポート作成や2004、2005、2006、2008年のハイライトの作成も担当しました。

60. In a notably fruitful collaboration, the Census lent support to Galatée Film Productions to photograph the film *Oceans* at 54 locations, globally distributed. Census scientists helped conceive the film and ensure its scientific accuracy, and co-authored with Galatée an illustrated guide with taxonomic information about all the species in the film. In return, Galatée provided still images and more than 400 hours of film for Census researchers to study animal behavior in situ. Image: François Sarano





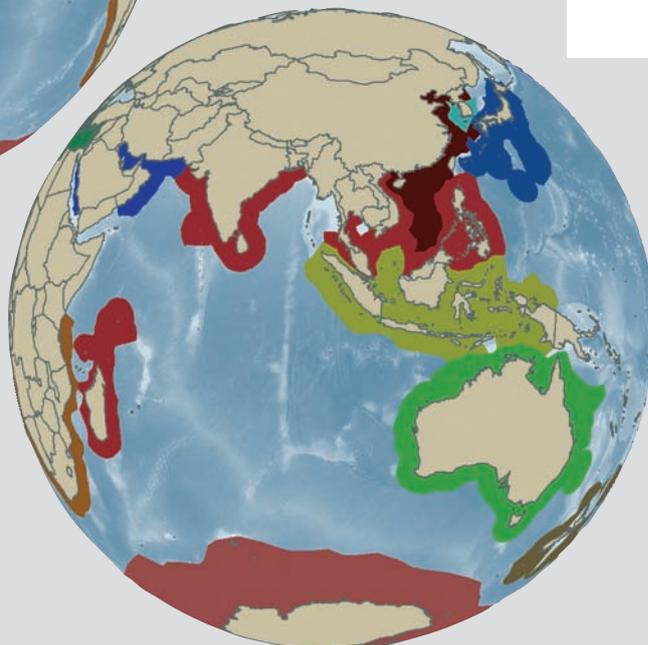
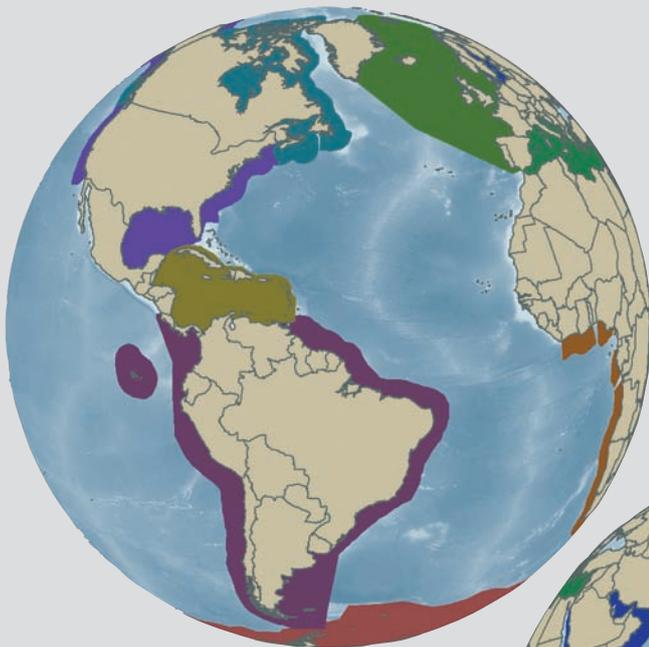


## 「センサス」のチーム

「水の惑星：地球の海」に棲む生物の目録を作るため、多様性、分布、および個体数について、「センサス」は大きな役割を果たしました。目録を作るためには、沿岸から大陸斜面を経由し深海まで、北極から熱帯を越えて南極の海岸までといったすべての海域を調査範囲としなければなりません。また、巨大な動物、隠蔽種、ほとんど目に見えない生物、珍しい個体や巨大な群れといった様々な生物や生物現象を扱いました。遠い過去から未来までを対象に、新発見および過去の文献情報を編集し、誰でも自由に情報にアクセスできるようにしました。国内・地域推進委員会 National and Regional Implementation Committees は、世界各地から情報を得るためのノード機能を有しました。北極海・南極海とそれらを結ぶ海

国内・地域推進委員会 National and Regional Implementation Committees: NRICs

NRICsは、「センサス」の活動が世界全体に行き渡るように努めています。360人を超える研究者が、数百年にわたる情報や新たな観測情報をデータベースに結び付けました。このデータベースには、南極から温帯、熱帯の海を経て北極まで、代表的な水域に生息するすべての種が登録されます。既知の種は、約5分の1が甲殻類であり、軟体動物や魚類と合わせると全体の半数を占めていました。このような前例のない地理的情報と分類学的情報の統合は、先進国と発展途上国との協力によって促進されました。



62. National and Regional Implementation Committees of the Census applied their expertise about nearby waters to compile a roll call of known species, estimated unknown species, and ranked threats to diversity. The numbers of species, the currency of diversity, ranged up to 33,000 in Australian and Japanese waters. Even in familiar waters, undiscovered species and microbes will swell the future number.

Image: Census of Marine Life Mapping and Visualization Team

嶺沿いのフィールドプロジェクトは、極地間の調査を行いました。その他のフィールド調査では、海嶺沿いの熱水噴出域、海嶺と大陸の間の深海平原、深海平原を遮る海山の調査を行いました。大陸縁辺、沿岸域、サンゴ礁を調査したプロジェクトもあります。メイン湾のプロジェクトは、潮だまり、大陸棚、および大陸縁辺までを範囲とし、海山付近にまで迫りました。他のプロジェクトでは、一様に分布しない微生物、プランクトン、海を泳ぎまわる上位の捕食動物を調査しました。また、あるプロジェクトは海洋生物の歴史を、別のプロジェクトでは海洋生物の将来について徹底的に調査解析しました。「センサス」は、グローバルなシステムを作ることで、海洋生物の過去と今後さらに増加する種数、生息地、環境の変動を計測するためのベースラインを広く利用できるようにしたのです。

# NRICs

# ArcOD

## 北極海の生物多様性研究 Arctic Ocean Diversity: ArcOD

ArcODは、北極域における海洋生物のベースラインデータを確立しました。海水の上下および海水中、深い海盆、大陸棚沿いを調査し、7千を超える種を目録に記載しました。そのうち少なくとも70種と数千種の微生物は新種です。最近、無脊椎動物および魚類の生息域が北方に拡大しており、冷水種に対して暖水種の割合が高くなっていることをみいだしました。このプロジェクトは、25万を超えるレコードを集積・公表して、人類や環境の影響が北極の生物にどのような変化を及ぼすのかを評価できるようにしました。

### Project Leaders

Bodil Bluhm United States  
Rolf Gradinger United States  
Russ Hopcroft United States



63. Ian MacDonald, 64. Katrin Iken, 65. Rolf Gradinger, 66. Katrin Iken



67. Deep in the frigid Canada Basin, a remotely operated vehicle of the Arctic Ocean project captured the pictured jellyfish of the genus *Crossota*. Image: Kevin Raskoff

## 南極周辺のセンサス Census of Antarctic Marine Life: CAML

CAMLは、南極海でこれまで最大となる18の調査航海を調整し実現しました。そして、南極海における海洋生物のベースラインデータを提供し、生物変化のモニタリングに貢献しました。当プロジェクトは、16,500を超える分類群を報告し、中には数百の新種も含まれています。地球上でもっとも流れの速い海底に生息する生物についても研究し、溶けゆく氷棚の下やさらに深い場所から動植物を探し出しました。そして、南極海がいかに新種の宝庫であるかを明らかにしました。

## Project Leaders

Michael Stoddart Australia

Victoria Wadley Australia



68. Australian Antarctic Division © Commonwealth of Australia  
69. National Institute of Water and Atmospheric Research  
New Zealand  
70. Philippe Koubbi

71. In the region of the Polar front near Elephant Island at the tip of the Antarctic Peninsula, scientists investigating the Southern Ocean found the pictured lysianassoid amphipod. The small crustacean encountered during an expedition of the R/V Polarstern most likely belongs to both a new species and a new genus.  
Image: Cédric d'Udekem d'Acoz

# CAML

# MAR-ECO

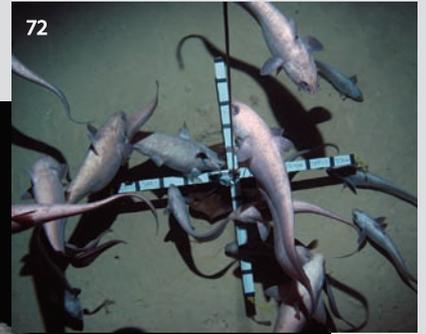
北部大西洋中央海嶺生態系の様式とプロセス研究 Patterns and Processes of the Ecosystems of the Northern Mid-Atlantic: MAR-ECO

MAR-ECOは、世界でもっとも長い山脈沿いに、海洋生物の調査を行いました。この山脈は、水深4,500mの海底から隆起しています。調査員たちは、小さな甲殻類からクジラまで、少なくとも30の新種を含む約1,000種を発見しました。それらは、深い海盆から中・深層にかけてと斜面沿いの両方から発見されました。一般的に、生物量は、冷水と暖水の交わる場所でもっとも多くなります。このプロジェクトによって、太平洋においてイタリアの面積よりも広い総面積33万km<sup>2</sup>が、底釣りを制限する保護区域の設定につながりました。

Project Leader  
Odd Aksel Bergstad Norway



73



72



74



75



76



77



78

- 72. Nicola King
- 73. David Shale
- 74. Thomas de Lange Wenneck
- 75. The deep-sea octopus, *Stauroteuthis syrtensis* was photographed in 2004 during the G.O. Sars expedition. It measures 13 cm x 8 cm, about the size of a grapefruit. Image: David Shale
- 76. Klokkargaardens Film AB
- 77. Thomas de Lange Wenneck
- 78. David Shale

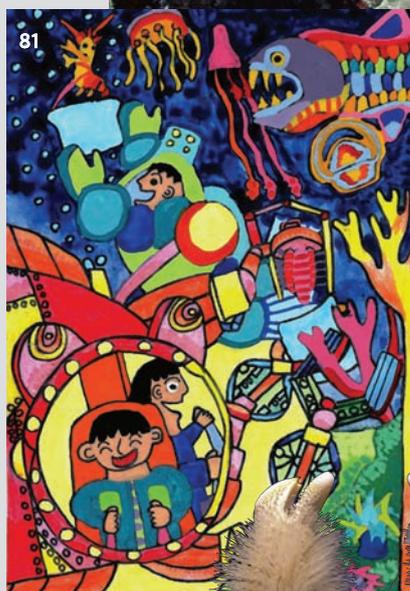
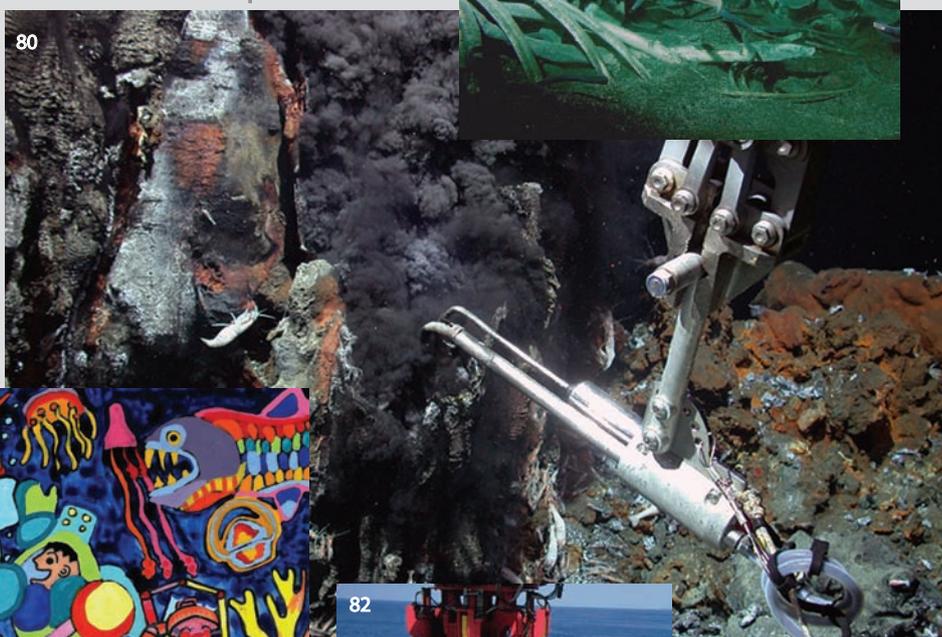
深海化学合成生態系の生物地理研究 Biogeography of Deep-Water Chemosynthetic Ecosystems: ChEss

ChEssは、湧水域、噴出孔、クジラの死骸に集まる生物群集について調査しました。このような場所は、水温が低かったり、高かったり、腐食するほど酸が強かったり、あるいは天然の油分に富んでいたりと様々です。ここには豊富な生物量があり、光合成よりも化学合成によって餌を作り出しています。ChEssは、先進的な無人探査機を用いて、深海化学合成生態系に関する知識の限界を広げようとしています。調査地点は、北緯72度、南緯60度よりも高緯度であり、水深4,900mよりも深く、水温407度よりも高い場所です。プロジェクトの研究者は約200の新種を記載し、太陽エネルギー無しで生息できる種数は1,000を超えました。

Project Leaders

- Paul Tyler United Kingdom
- Maria Baker United Kingdom
- Chris German United States
- Eva Ramirez-Llodra Spain

# ChESS



79. Craig Smith  
 80. MARUM, University of Bremen  
 81. Daichi Fujita  
 82. MARUM, University of Bremen  
 83. Anders Warren

84. In the hot and sulfurous water from a vent in the Pacific-Antarctic Ridge in the South Pacific, explorers of vents and seeps found *Kiwa hirsuta* and named it after the goddess of shellfish in Polynesian mythology. Because its hairy appearance suggests the abominable snowman, it has become known as the "yeti crab."  
 Image: Ifremer/Alexis Fifis

# CeDAMar

深海平原の多様性センサス Census of the Diversity of Abyssal Marine Life: CeDAMar

CeDAMarは、主要な海盆の深海平原を調査しました。特に、南大西洋と南極海から単細胞動物から巨大なイカまで500を超える深海の新種を報告しました。また、深海生物の食性や深海生物の分布をマッピングしました。このプロジェクトは、公海にある海底保護区域を確立するためのデータも収集し、気候変動、人類による廃棄物、海底採鉱が深海生物に与える影響について報告しました。

**Project Leaders**

Pedro Martinez Arbizu Germany

Craig Smith United States



85. Myriam Schueller

86. Wiebke Broekeland

87-88. Brigitte Ebbe

89. Wiebke Broekeland

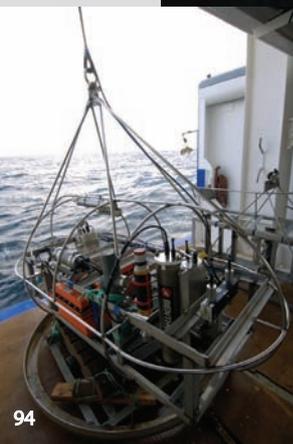
90. The tiny copepod *Ceratonotus steingeri*, about three or four times as long as a hair is wide, was found in the Angola Basin. Image: Jan Michels

海山の生物のグローバルセンサス Global Census of Marine Life on Seamounts: CenSeam  
 CenSeamは、10万におよぶ海底から1,000m以上隆起している海山を対象としています。このプロジェクトは、新たな海山、種、生物群集を発見し、近くにある大陸斜面上の生物とよく似た生物が海山にいることを見出しました。しかし、深海の動物は、分散し成長が遅いため海山の生物は、漁業などのかく乱要因から簡単には回復できない可能性があります。プロジェクトの中心となるデータベースには、グローバルな海山のデータが集積されており、公海における保護区域についての国際会議に情報を提供しています。

Project Leaders

Malcolm Clark New Zealand  
 Mireille Consalvey New Zealand  
 Ashley Rowden New Zealand  
 Karen Stocks United States

# CenSeam



94



91

91. The variety that seamounts contribute to ocean topography can also contribute to its biodiversity. In the photograph, a bright orange brigingid sea star is prominent among corals on a seamount. The sea star is feeding by raising its arms to capture passing food from the Antarctic Circumpolar Current. Image: National Institute of Water and Atmospheric Research (NIWA), New Zealand.

92. Peter Marriott  
 93–95. NIWA  
 96–98. Global Census of Marine Life on Seamounts



92



93



95



96



97



98

# COMARGE

## 大陸斜面におけるグローバルセンサス Continental Margin Ecosystems on a Worldwide Scale: COMARGE

COMARGEは、60を超える航海を通じて、すべての大陸の大陸斜面を調査しました。そして、わずかな有機物のマリンスノーが、大陸斜面の泥の中で生物の連鎖を維持していることや、大陸斜面の中間部でもっとも多様性が高いことを見出しました。このプロジェクトは、モーリタニアの沖で深海性のサンゴが400kmを超えて伸びていることも発見しました。ほかの場所では、巨大なバクテリアマットが、海底のメタン湧水域に生息していました。グローバルな変動、海底の天然ガスや石油の開発が大陸斜面に影響を与えやすいことも報告しています。

**Project Leaders** 99  
**Myriam Sibuet France**  
**Robert Carney United States**  
**Lenaick Menot France**



99. A close-up photograph of the sea cucumber *Enypniastes* caught at 2,750 meters on the continental margin in the Celebes Sea between Indonesia and the Philippines reveals its mud-filled intestine through its transparent body.  
 Image: Laurence P. Madin

- 100. Joe F. Siebenauler
- 101. Continental Margin Ecosystems on a Worldwide Scale
- 102. Myriam Sibuet
- 103. Matt Kupchik
- 104. Continental Margin Ecosystems on a Worldwide Scale
- 105. Robert S. Carney

## 太平洋岸の生物トラッキング Pacific Ocean Shelf Tracking Project: POST

POSTは、音響を利用して海洋動物を追跡する大規模な装置を川から海岸に沿って設置しました。そして、川から海へと数千kmに渡りサケの幼魚を追跡し、回遊するサケの複数の群れから生存率を推定することができました。国境を越えて移動するチョウザメの回遊範囲が驚くほど広いということも分かりました。サケから巨大イカまで、18種の1万6千の追跡データは増加を続けており、遠隔測定データを共有するための情報センターを設置しました。この情報センターは、個体数が少なくなっているチョウザメの重要な生息域の指定に貢献し、グローバルなOcean Tracking Networkのプロトタイプとなりました。

## Project Leader

James Bolger Canada/United States

## Past Leaders

George Jackson Australia

Gerry Kristianson Canada

David Welch Canada



106. With acoustic tags implanted in five species of young Pacific salmon and detected by curtains of receivers along the coast, scientists reconstructed the direction, speed, and timing of migrating individuals. Signals from fish like those in the photograph showed the coastal regions and seasons that either favor or discourage survival. Image: Galatée Films

107–108. Pacific Ocean Shelf Tracking Project

109. Melinda Jacobs

110. Fraser River Sturgeon Conservation Society

# POST

# NaGISA

沿岸域の自然生物地理研究 Natural Geography in Shore Areas: NaGISA

NaGISAは、グローバルスケールで沿岸の生物多様性の目録作成に初めて着手しました。藻場や岩場の生物群集でサンプル採取を行い、ベースラインデータや観測ポイントの長期観測を確立するための標準プロトコルを使用し調査を行いました。プロジェクトは、200を超える箇所ですンプル採取を行い、40を超える長期観測ポイントを設定しました。また、新種の発見や新たな分布域を記録しました。エジプト、ギリシャ、タンザニア、米国、ベネズエラ、日本の学生たちが、このプロジェクトを通じて、「センサス」へのデータの提供に協力しました。

**Project Leaders**

- Yoshihisa Shirayama** Japan
- Brenda Konar** United States
- Katrin Iken** United States
- Patricia Miloslavich** Venezuela
- Juan José Cruz Motta** Venezuela
- Lisandro Benedetti-Cecchi** Italy
- Edward Kimani** Kenya
- Gerhard Pohle** Canada



111



113



112



114



115

111. Alaskan scientists studying the near shore photographed this *Nereocystis*, a marine alga commonly referred to as bull kelp. Near the shore and in shallow gulfs of the Pacific coast of North America, *Nereocystis* forms kelp forests on beds of rock. It can grow 70 meters long from a root-like holdfast of about 40 centimeters. Image: Brenda Konar

- 112. Tohru Iseto
- 113. Ana Karinna Carbonini
- 114. Hyakubun Harada
- 115. Susan Ryan
- 116. Iacopo Bertocci



116

## サンゴ礁生態系のセンサス Census of Coral Reef Ecosystems: CReefs

CReefsは、世界中のサンゴ礁に生息する生物について、これまでにない大規模な調査を共同で行いました。プロジェクトは、何千という新種と思われる種、新たな分布域を見だし、サンゴの死骸先端からは未知の多種を発見しました。プロジェクトは、標準化ツールである自動サンゴ礁監視ユニット (Autonomous Reef Monitoring Structure: ARMS) を開発し、サンゴ礁に生息する種の分布を比較し、温暖化や酸性化などの変化も監視できるようにしました。現在、600台のARMSが配置されており、同一基準の標準化されたデータからグローバルなサンゴ礁生態系のパターンを明らかにしようとしています。

## Project Leaders

Nancy Knowlton United States

Russell Brainard United States

Julian Caley Australia



117



120

117. On a coral reef off northeastern Australia, near what Captain Cook named Lizard Island in 1770 for its many lizards, Census researchers collected this new octopus in an Autonomous Reef Monitoring Structure at a depth of 10–12 meters. The specimen is believed to be a new species. Image: Julian Finn

118. Russell Moffitt

119–121. Megan Moews

122. Susan Middleton



118



119



121



122

# CReefs

# GO MA

メイン湾のセンサス Gulf of Maine Area: GoMA

GoMAは、タイドプールから海山にわたって4,000を超える種を新たに報告し、微生物の分布と生物量まで見積もりました。ハビタットを解析することで、魚類および無脊椎動物の分布と生物量のバリエーションの約3分の1は説明できました。新型のソナーでは、瞬間的にも継続的にも種の分布を観察できます。ニシンの群れが集団を形成し渦巻き状に移動することも観察できました。広範囲を観察できる革新的な「センサス」技術は、一度に一つの種だけではなく海洋生態系全体を俯瞰して解析することに役立ちます。

**Project Leaders**

Sara Ellis Canada/United States

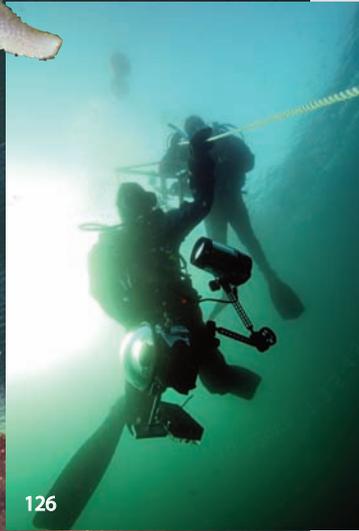
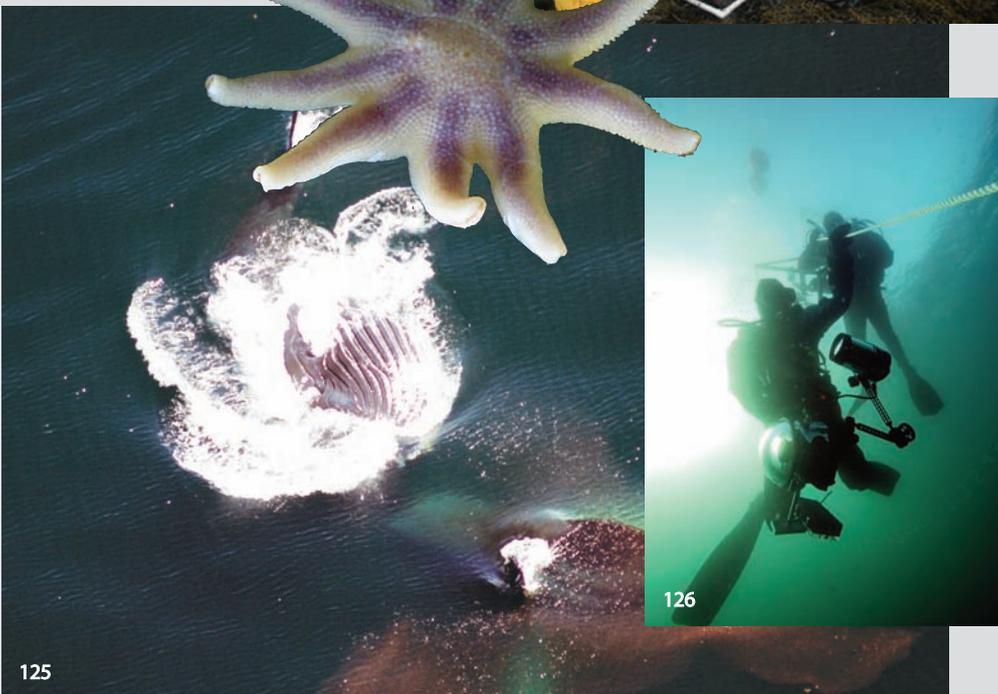
Lewis Incze United States

Peter Lawton Canada

**Past Leaders**

Ken Foote United States

Evan Richert United States



123. The 4,000 plus species in the Gulf of Maine searchable register include the pictured sea star, *Solaster endeca*, found along the shore of Cobscook Bay, Maine. The Census project found twice as many species and thus greater biodiversity in the Gulf than previously estimated. Image: Christina Kulfan

- 124. Susan Ryan
- 125. Peter Stevick
- 126. Jon Witman
- 127. Kelly Bentham



## 海洋微生物の国際センサス International Census of Marine Microbes: ICoMM

ICoMMには、25カ国から微生物研究者が参加し、海洋微生物の遺伝的多様性、分布、生物量を解析しました。そして、これまで推定されていたよりも少なくとも10倍から100倍微生物の多様性が高いことを明らかにしました。1ℓの海水中には、約3万8千種の細菌が含まれます。海水、堆積物、動物体表など様々な箇所から収集された1,200を超える海洋サンプルを分析したところ、限られた場所だけで生息する種もいますが、場所を選ばず生息できる微生物がいくつか発見されました。研究者たちは「希少な生物圏」を発見し、そこに生息する希少な微生物は、海洋生物の多様性を説明するのに不可欠です。

## Project Leaders

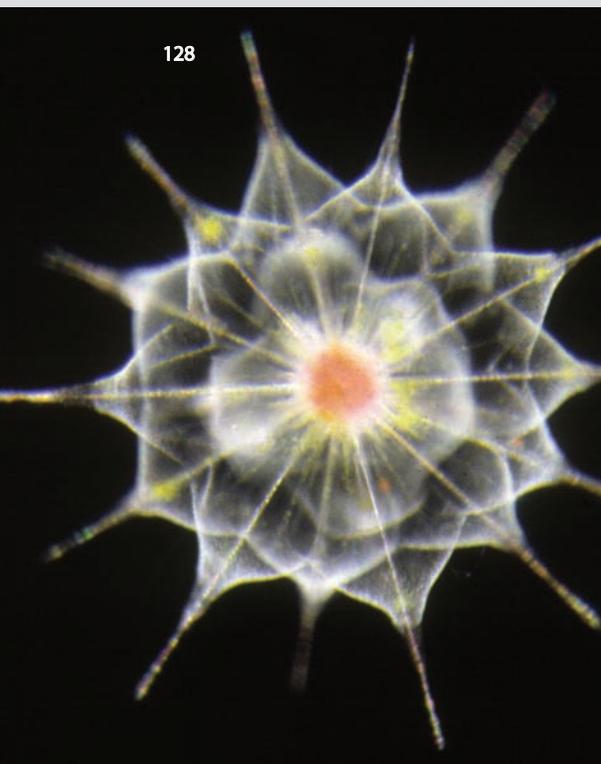
Mitchell Sogin United States

Jan de Leeuw Netherlands

Linda Amaral-Zettler United States



129



128

128. The acantharians are one of the four types of large amoebae (microbial eukaryotes) known to occur in marine open waters. The 2-millimeter-wide specimen, about the size of a flea, was captured off Bermuda.

Image: Linda Amaral-Zettler

129. Carola Espinoza

130. MOVIE

131. Victor Gallardo



130



131

ICoMM

# CMarZ

## 海洋動物プランクトンのセンサス Census of Marine Zooplankton: CMarZ

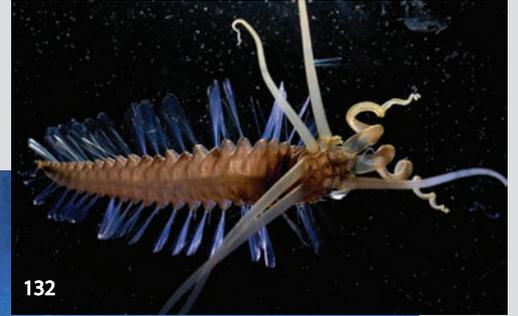
CMarZは、一生を海流の中で漂って過ごす動物プランクトンの多様性と分布をグローバルスケールで観察しました。研究者たちは、多数の海盆から1万を超えるサンプルを採取しました。250人の新たな分類学研究者をトレーニングした結果、多くは既に以前から記載されているものですが、新たに85を超える種、7属、2科を発見しました。分類学者たちは、どの水域の動物プランクトンであっても同定できる遺伝子情報を整備しました。

### Project Leaders

Ann Bucklin United States

Shuhei Nishida Japan

Sigrid Schiel Germany



132



134

132. When U.S. and Filipino zooplankton scientists searched the Celebes Sea for new species in its deep water, they discovered and temporarily named this worm, about 10 centimeters long with tentacles, squidworm. One of the small animals that floats or swims weakly, the squidworm turned out to be a new species of polychaete in the class of annelid worms.

Image: Laurence P. Madin

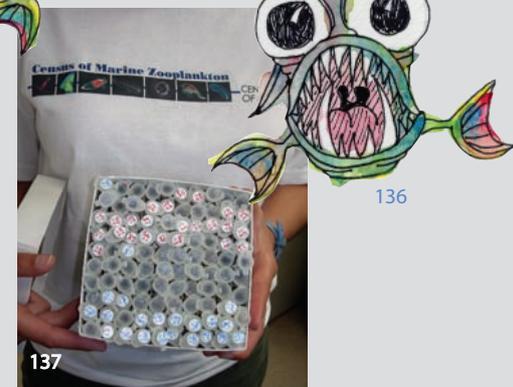
133. M.D. Allison

134. Nancy Copley

135. Laurence P. Madin

136. Bruce Cowden

137. M.D. Allison



137

136

# TOPP

太平洋における捕食者追跡研究 Tagging of Pacific Predators: TOPP

TOPPは、23種4,300個体の捕食動物にタグを付け移動を追跡しました。タグが発する電子信号は、通信衛星を経由して届きます。そして、動物たちが極地から熱帯へ、大陸から大陸へと広範囲に移動していることをつきとめました。別の種類のタグは、動物たちが泳いだり潜ったりする時、周囲の海水の環境データに計測・記録しました。タグングされた動物は、頻繁に海の「ホットスポット」へ繋がるルートに沿って回遊していました。「ホットスポット」は、多くの個体、そして多様な種が継続的に集まる場所です。

Project Leaders

- Barbara Block United States
- Steven Bograd United States
- Daniel Costa United States
- Randy Kochevar United States

Past Leaders

- John Gunn Australia
- Geoff Arnold Australia



138



140



141



142



143



144

138. As bluefin tuna, *Thunnus thynnus*, traveled, their electronic tags recorded their journeys for researchers studying top predators. In all, 23 species were tracked feeding, mating, and migrating in the Pacific. Image: Richard Hermann

139. Josh Adams

140–143. Tagging of Pacific Predators

144. Daniel Costa

# HMAP

## 海洋動物個体群の変遷解析: History of Marine Animal Populations: HMAP

HMAPは、過去の文献のみならず古代の遺跡や古文書から、人類と海洋生物の関わりを解析して昔から現在にかけての海洋生物の個体群変動を解明するプロジェクトです。そして、いかに人類と自然とが海洋生物を変化させているかを示す証拠をみつけました。海洋生物を扱った古い証拠品は解析に役に立ち、海洋環境の変動も見いだされました。貝殻から作られた宝飾品やモザイク、漁船への課税記録、捕鯨日誌、レストランのメニューといったものが海洋生物の変化やその原因を探ることに役立ちました。その原因とは、時には嵐、時には気候、特に人類による漁獲および生息域の破壊でした。

### Project Leaders

- Poul Holm Ireland
- Brian MacKenzie Denmark
- Anne Husum Marboe Denmark
- Bo Poulsen Denmark
- Andrew Rosenberg United States



145



146



147

145. Marine historians reconstructed the state of marine life when this seventeenth-century European gentleman dressed to go fishing. From past states and the present, the scientists assessed the changes caused by human and natural forces. Detail of a print by Nicholas DeLarmessin

146. History of Marine Animal Populations  
147. Andrzej Antczak  
148. Pieter Bruegel the Elder



148

# FMAP

## 海洋動物個体群の将来予測 Future of Marine Animal Populations: FMAP

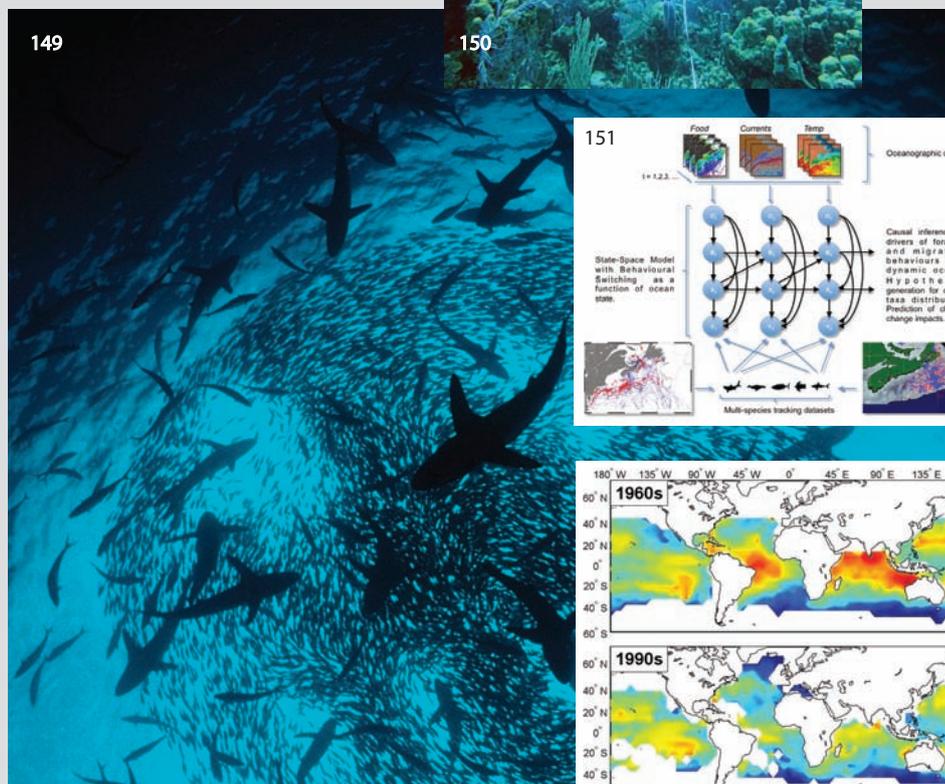
FMAPは、漁業や科学的調査から得られる多様性、分布、生物量の変化を分析するための手法を発達させました。「センサス」のデータベースを用いて、多様性のホットスポットを見だし、未知種の存在を予測しました。そして、気候変動が海洋生物の分布範囲を変化させる可能性を指摘しました。水温が、多様性のパターンと将来変動に重要な要因であることがわかりました。そして、開発の行き過ぎが急速な個体数の減少をいかに引き起こし、保護活動がいかにその回復を助けるかについてレポートしました。また、動物の行動パターンを明らかにし、そのパターンから、動物たちは餌をとるときに集まる傾向があることがわかりました。

### Project Leaders

Ian Jonsen **Canada**  
 Heike Lotze **Canada**  
 Boris Worm **Canada**

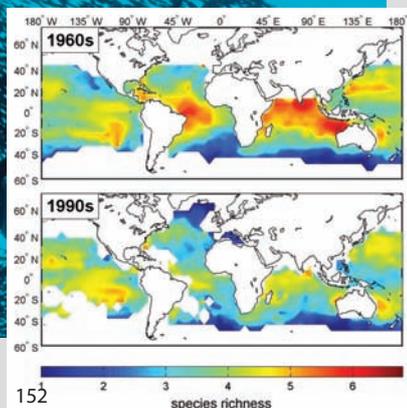
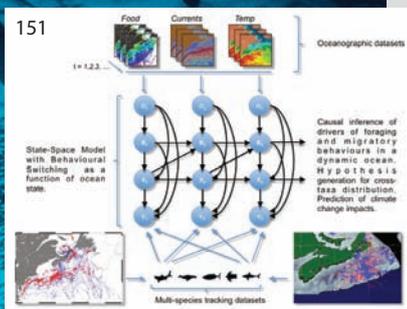
### Past Leader

Ransom A. Myers **Canada**



149

150



149. Sharks prey on circling fish near Cocos Island in the eastern tropical Pacific. While marine life thrives in some areas, large predators are threatened across much of their ranges. To project future marine life, scientists analyzed large sets of observations of past populations of a range of animals, including sharks. From the historical baselines that they established, they saw many declines and a few recoveries of numbers. Image: © Bob Cranston

- 150. Boris Worm
- 151. Future of Marine Animal Populations
- 152. Boris Worm, et al.
- 153. Alexandra Morton



153

# OBIS

海洋生物地理データベース Ocean Biogeographic Information System: OBIS

OBISは、「センサス」が海洋生物データを空間的に認識できる世界最大のオンラインデータベースです。800を超えるデータセットから収集された3千万近くの上るレコードには、*Aaptolasma americana* から *Zyzyzus warreni* まで含まれ、世界のあらゆる海域に生息する種のデータが今も増加しています。このデータベースは恒久的なものになるでしょう。OBISは、多様性のホットスポットや大まかなパターンを認識し、種の分散を追跡し、種の生息域と水温、塩分濃度、深度との関係を解析できます。任意の種の出現記録は、オンラインで即時にマッピングできます。

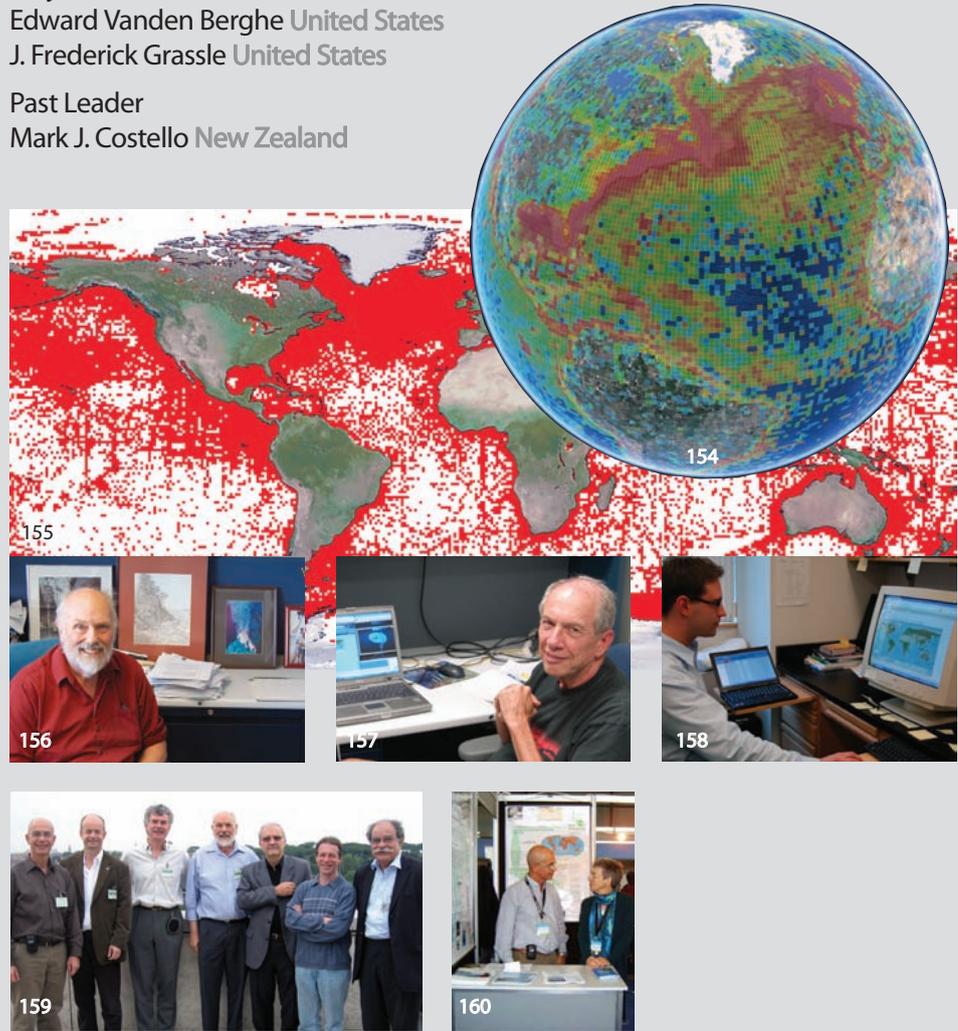
**Project Leaders**

Edward Vanden Berghe United States

J. Frederick Grassle United States

**Past Leader**

Mark J. Costello New Zealand



154. Maps of all observations in the Census database show the known and unknown ocean. A map centered on the Atlantic displays the general state: Observations are most numerous near surface, near shore, and near or between rich nations. Wide expanses await exploration. Image: Ocean Biogeographic Information System

155. Ocean Biogeographic Information System

156–157. Brook Herlach

158. Edward Vanden Berghe

159. Ocean Biogeographic Information System

160. Edward Vanden Berghe

## PHOTO CREDITS & IMAGE SOURCES

- 1–2. Census of Marine Life Mapping and Visualization Team
- 3–6. Lianne Dunn, [Liannedunn.com](http://Liannedunn.com)
7. Gary Cranitch, Queensland Museum, Brisbane
8. Jim Toomey, [www.slagoon.com](http://www.slagoon.com)
9. E. Paul Oberlander  
Woods Hole Oceanographic Institution, Massachusetts
10. Bodil Bluhm, University of Alaska Fairbanks
11. William N. Eschmeyer, et al.  
“Marine fish diversity: History of knowledge and discovery.”  
*Zootaxa*, 2525: 19–50, 2010
12. 2002–2006 dataset compilation and analysis by  
Philippe Bouchet and Benoit Fontaine,  
Muséum national d’Histoire naturelle, Paris
13. Roberto Danovaro, University of Ancona, Italy
14. Andrew J. Gooday, National Oceanography Centre,  
Southampton, United Kingdom
15. David Shale, [www.deepseaimages.co.uk](http://www.deepseaimages.co.uk)
16. Cindy Lee Van Dover, Duke University Marine Laboratory,  
North Carolina
17. Microbe: Anna-Louise Reysenbach, et al. Adapted by  
permission, Macmillan Publishers Ltd. *Nature*, 442 (7101):  
444–447, 2006. Vent: Anna-Louise Reysenbach and  
Woods Hole Oceanographic Institution, Massachusetts
18. © 2001, Monterey Bay Aquarium Research Institute,  
California
19. Bertrand Richer de Forges and Joelle Lai, IRD Noumeá,  
New Caledonia (shrimp), Juan Manuel Díaz, Instituto  
Humboldt and Fundación MarViva, Colombia (clam)
20. Max K. Hoberg, Institute of Marine Science University of  
Alaska Fairbanks
21. Derek P. Tittensor, et al. Reprinted from Macmillan Pub-  
lishers Ltd: *Nature*, 2010/07/28 online
22. From top: Russ Hopcroft, University of Alaska Fairbanks  
Gary Cranitch, Queensland Museum, Brisbane  
Colomban de Vargas © EPPO/SB Roscoff, France  
Julian Finn, Museum Victoria, Melbourne  
Gary Cranitch, Queensland Museum, Brisbane  
Larry Madin, Woods Hole Oceanographic Institution  
John Huisman, Murdoch University, Perth  
Katrin Iken, University of Alaska Fairbanks  
Bernard Picton, National Museums of Northern Ireland  
Piotr Kuklinski, Institute of Oceanology, Polish Academy  
of Sciences, Sopot, Poland
23. Barcode: Mark Stoeckle, Rockefeller University, New York.  
Images: Cheryl Clarke-Hopcroft, Russ Hopcroft, Bodil  
Bluhm, and Katrin Iken, University of Alaska Fairbanks
24. Dirk Steinke, University of Guelph, Ontario
25. Bodil Bluhm, University of Alaska Fairbanks
- 26–27. Ocean Biogeographic Information System (source)  
*Encyclopedia of Life* (image)
28. Harte Research Institute, Texas A&M University  
Corpus Christi
29. Pacific Ocean Shelf Tracking
30. Southern Ocean Seals as Oceanographic Samplers,  
University of St. Andrews, Scotland (source), Daniel  
Costa (image)
31. Daniel Costa, Tagging of Pacific Predators
32. Image from “Habitat utilization of the Gulf of Mexico by  
bluefin and yellowfin tuna,” Teo and Block, *PLoS ONE*,  
2010
33. Salvador Jorgensen, et al., *Proceedings of the Royal So-  
ciety B: Biological Sciences*, 277 (1682): 679
34. Tagging of Pacific Predators. Reprinted from *Life in  
the World’s Oceans: Diversity, Distribution, and Abun-  
dance*, Alasdair McIntyre (editor), Blackwell Publishing  
Ltd., 2010
35. Patterns and Processes of the Ecosystems of the Northern  
Mid-Atlantic project
36. Daniel Costa. Courtesy of the U.S. Antarctic Marine  
Living Resources Program, Southwest Fisheries Science  
Center, La Jolla, California
37. Mark J. Costello, University of Auckland, New Zealand
38. François Sarano, Galatée Films
39. Ente Nazionale Italiano per il Turismo
40. Yacoub, M., *Splendors of Tunisian Mosaics*, Tunis, 1995,  
Fig. 175. from “Il mare Com’era,” by R. Gertwagen, S.  
Raicevich, T. Fortibuoni, O. Giovanardi (Eds.). *Le intera-  
zioni tra uomo ed ambiente nel Mediterraneo dall’epoca  
Romana al XIX secolo: una visione storica ed ecologica  
delle attività di pesca*. Atti del II Workshop internazio-  
nale HMAP del Mediterraneo e Mar Nero. Chioggia,  
27–29 settembre 2006. Supplemento ai Quaderni ex  
ICRAM
41. Wil-Art Studio, courtesy of Monroe County Library, Key  
West, Florida
42. Reprinted from Loren McClenachan, “Documenting loss  
of large trophy fish from the Florida Keys with historical  
photographs,” *Conservation Biology*, Jan. 13, 2009, pp.  
636–643, John Wiley and Sons
43. Brian R. MacKenzie, Technical University of Denmark,  
Copenhagen
44. Reprinted from *Trends in Ecology & Evolution*, Vol. 24,  
#5, Heike K. Lotze and Boris Worm, “Historical base-  
lines for large marine animals,” May 2009, with permis-  
sion from Elsevier
45. Nicholas Makris, Purnima Ratilal, and the OAWRS Visual-  
ization Team
46. Victor A. Gallardo and Carola Espinoza, Universidad  
de Concepción, FONDECYT Project 1070552
47. Daniel G. Boyce, et al., “Global phytoplankton decline  
over the past century.” Reprinted by permission from  
Macmillan Publishers Ltd: *Nature*, 466 (7306): 591–  
596, 2010
- 48–49. Chih-Lin Wei and Gilbert T. Rowe, Texas A&M Uni-  
versity at Galveston
- 50–52. Ocean Biogeographic Information System
53. Alison K. Stimpert, Duke University, North Carolina
- 54–55. Census of Marine Life Mapping and Visualization Team
56. Census of Marine Life Education and Outreach Team
57. Anne Berg Edvardsen, [www.anne-b-edvardsen.com](http://www.anne-b-edvardsen.com)
58. Megan Moews, NOAA Pacific Islands Fisheries Science  
Center, Honolulu, 2009
59. Nathalie Roland, [www.headphonerecord.com/Nathalie\\_](http://www.headphonerecord.com/Nathalie_Roland/welcome.html)  
[Roland/welcome.html](http://www.headphonerecord.com/Nathalie_Roland/welcome.html)
60. François Sarano, Galatée Films
61. Gary Cranitch, Queensland Museum, Brisbane
62. Census of Marine Life Mapping and Visualization Team

## ArcOD

63. Ian MacDonald, Florida State University. Scientists and crew of the U.S. Coast Guard Cutter Healy stand on the ice in the Canada Basin of the Arctic Ocean.
64. Katrin Iken, University of Alaska Fairbanks. Diver photographs fauna below the ice of the central Arctic.
65. Rolf Gradinger, University of Alaska Fairbanks. Helicopter view of the Healy.
66. Katrin Iken, University of Alaska Fairbanks. Diver surfaces after a dive under Arctic sea ice.
67. Kevin Raskoff, Monterey Peninsula College, California

## CAML

68. Australian Antarctic Division, © Commonwealth of Australia. Revealed by the powerful lights of a trawl-mounted camera, these elegant solitary sea squirts, or tunicates, stand half a meter high on the seabed, 200 meters below the surface of the sea off Terre Adélie. They were photographed during the Collaborative East Antarctic Marine Census (CEAMARC) voyage to the Southern Ocean in 2010. Solitary sea squirts are fast growing, early colonizers that take advantage of new habitat created by icebergs scouring the seabed.
69. National Institute of Water & Atmospheric Research (NIWA) New Zealand, 2007. Census researchers on R/V Tangaroa hold giant Macroptychaster sea stars.
70. Philippe Koubbi, Institut Paul Émile Victor and Centre national de la recherche scientifique. The Japanese research vessel R/V Umitaku Maru participated with two other vessels during the International Polar Year 2007/08 in the CEAMARC voyage to study life in the waters off East Antarctica.
71. Cédric d'Udekem d'Acoz, Flanders Marine Institute, Oostende, Belgium

## MAR-ECO

72. Nicola King, Oceanlab, University of Aberdeen, Abyssal grenadiers, *Coryphaenoides armatus*, were photographed by one of MAR-ECO's ROBIO landers deployed on the Mid-Atlantic Ridge.
73. David Shale, www.deepseaimages.co.uk. A deepwater lizard fish. An ambush predator usually seen sitting motionless on the seafloor.
74. Thomas de Lange Wenneck, Institute of Marine Research, Norway. An orange roughy that is probably more than 100 years old is held by a scientist
75. David Shale, www.deepseaimages.co.uk
76. Klokargaardens Film AB. Launching of the manned submersible MIR to dive to 4,200 meters in the Charlie-Gibbs Fracture Zone, 2003.
77. Thomas de Lange Wenneck, Institute of Marine Research, Norway. Researchers sort a deepwater bottom trawl sample.
78. David Shale, www.deepseaimages.co.uk. After two months aboard Norway's state-of-the-art R/V G.O. Sars, 60 scientists from 13 countries returned from the Mid-Atlantic Ridge with unprecedented quantity and quality of samples and data, impressive video footage captured by robotic submersibles, sonar data showing deep donuts of plankton 10 kilometers in diameter, and photographs of many probable new species among the more than 80,000 specimens collected.

## ChEss

79. Craig Smith, University of Hawaii. A 30-ton grey whale was studied with respect to community succession over many years.
80. MARUM, University of Bremen, © 2006. Near a vent 3 kilometers beneath the equatorial Atlantic, Census researchers, using equipment attached to the remotely operated vehicle Quest, found shrimp and other life forms. They were found living near a hydrothermal vent billowing chemical-laden water at an unprecedented 407°C, a temperature that melts lead easily. It was the hottest marine temperature ever recorded.
81. Daichi Fujita, Japan
82. MARUM, University of Bremen, The remotely operated vehicle Isis withstands crushing pressures and extreme temperatures to study the geology, geochemistry, and biology of hydrothermal vents and cold seeps. Biogeography of Deep-Water Chemosynthetic Ecosystems project
83. Anders Warren, Swedish Museum of Natural History
84. Alexis Fifis, French Research Institute for Exploitation of the Sea

## CeDAMar

85. Myriam Schueller, University of Bochum. R/V Polarstern in the Southern Ocean.
86. Wiebke Broekeland, Senckenberg Research Institute, Frankfurt. The Epibenthic Sledge coming back with benthic animals from the abyssal seafloor of the Weddell Sea.
87. Brigitte Ebbe, Senckenberg Research Institute, Frankfurt. Large benthic fauna caught with an Agassiz Trawl in the Southern Ocean is being separated from the deep-sea mud.
88. Brigitte Ebbe, Senckenberg Research Institute, Frankfurt. Scientists prepare a box corer for deployment.
89. Wiebke Broekeland, Senckenberg Research Institute, Frankfurt. Scientists process a collected sediment sample.
90. Jan Michels, Senckenberg Research Institute, Frankfurt

## CenSeam

91. National Institute of Water and Atmospheric Research, New Zealand
92. Peter Marriott, National Institute of Water and Atmospheric Research, New Zealand, R/V Tangaroa about to set sail.
93. National Institute of Water and Atmospheric Research, New Zealand. Orange roughy swimming over a seamount.
- 94–95. National Institute of Water and Atmospheric Research, New Zealand. Towed cameras, such as the deep-towed imaging system (DTIS) have been used to collect video and photographs of seamount communities.
96. Global Census of Marine Life on Seamounts. The CenSeam Steering Committee, 2008
97. Global Census of Marine Life on Seamounts. In 2008 CenSeam-linked researchers sampled seamounts along the Macquarie Ridge.
98. Global Census of Marine Life on Seamounts. The CenSeam Steering Committee, 2007

## COMARGE

99. Laurence P. Madin, Woods Hole Oceanographic Institution
100. Joe F. Siebenauer, Louisiana State University. After towing an otter trawl on the bottom of the Gulf of Mexico for two hours, LSU technician Sean Keenan and ship's crew prepare to remove the sample of deep-sea life onto a pitching deck.
101. Continental Margin Ecosystems on a Global Scale. Attendees at "Towards a Globalization of COMARGE" workshop at the Institut Océanographique, Paris, June 2006
102. Myriam Sibuet, French Research Institute for Exploitation of the Sea. On board the l'Atlante, Lenaick Menot handles African margin samples obtained with the ROV Victor 6000.
103. Matt Kupchik, Louisiana State University. Deep sampling proceeds around the clock. A beam trawl is recovered at 0300 from 2,200 meters in the Gulf of Mexico as graduate student Erin Becker and Dr. Bob Carney watch and wait to process the sample of deep-sea life.
104. Continental Margin Ecosystems on a Global Scale. COMARGE Steering Committee meeting, National Museum of Natural History, Smithsonian Institution, Washington, D.C., January 2007.
105. Robert S. Carney, Louisiana State University. Scientist and pilot wait expectedly in the acrylic sphere of the manned submersible Johnson Sealink suspended over the ocean while the ship maneuvers for a precision launch to 800 meters on the margin of the Gulf of Mexico.

## POST

106. Courtesy of Galatée Films. Sockeye salmon, Port Banks, Alaska, USA
107. Pacific Ocean Shelf Tracking project, 2006. A researcher displays a tagged salmon smolt.
108. Pacific Ocean Shelf Tracking project, 2006. Tagged salmon are released into the Pacific Ocean.
109. Melinda Jacobs, Pacific Ocean Shelf Tracking project/Kintama Research Corporation. Acoustic receivers await final programming before deployment along the Pacific coast of North America.
110. Fraser River Sturgeon Conservation Society. A tagged sturgeon is released by researchers.

## NaGISA

111. Brenda Konar, University of Alaska Fairbanks, 2004
112. Tohru Iseto, Kyoto University, 2009. Hua Thai Tuyen collects a sediment core from a seagrass bed in Vietnam.
113. Ana Karinna Carbonini, Universidad Simón Bolívar, Venezuela, 2010. The NaGISA sampling protocols have become teaching tools at several high schools and universities around the world, as students in Venezuela demonstrate.
114. Hyakubun Harada, Kyoto University, 2009. Coastal researchers study bivalve taxonomy at a workshop in Penang, Malaysia.
115. Susan Ryan, University of Southern Maine, 2007. The late Dr. Robin Rigby who was instrumental in integrating nearshore sampling in the Gulf of Maine, prepares quadrats for sampling.
116. Iacopo Bertocci, University of Pisa, 2006. Divers collect subtidal samples from the Mediterranean Sea along the Calafuria rocky coast near Livorno, Italy.

## CReefs

117. Julian Finn, Museum Victoria, Melbourne, Australia
118. Russell Moffitt, National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) Pacific Islands Fisheries Science Center (PIFSC), Papahānaumokuākea, Hawaii, 2008. A NOAA diver installs Autonomous Reef Monitoring Structures (ARMS) at Pearl and Hermes Atoll in the Northwestern Hawaiian Islands.
119. Megan Moews, NOAA PIFSC, Honolulu, Hawaii, 2008. CReef's PI's Nancy Knowlton, Rusty Brainard, and Julian Caley process test ARMS retrieved off of the Island of Oahu, Hawaii, during the 2008 ARMS sampling, processing, and molecular development workshop.
- 120–121. Megan Moews, NOAA PIFSC, Honolulu, Hawaii, 2009. In 2009, Census scientists launched a "Hands-on-ARMS" outreach effort that targeted elementary and junior high school children, but has since reached over 6,000 people and with plans to make it worldwide.
122. Susan Middleton ©2006, courtesy of Northwestern Hawaiian Islands Marine National Monument. A spectacular anemone hermit crab captured in the French Frigate Shoals off the Northwestern Hawaiian Islands. The shiny gold on its claws is a phenomenon not seen before. Scientists believe it may serve as a form of communication. The crab also has its very own species of anemone attached to its shell (brown, fuzzy area below the shell), which is not known to attach to any other species of hermit crabs. This is but one example of how Census discoveries often pose more questions than they answer.

## GoMA

123. Christina Kulfan, Suffolk University, Boston
124. Susan Ryan, University of Southern Maine, 2007. GoMA researchers collect samples along Maine's Cobscook Bay coastline.
125. Peter Stevick, Gulf of Maine Area Program, 2005. Two humpback whales, *Megaptera novaeangliae*, feed on red krill.
126. Jon Witman, Brown University, 2008. Divers retrieve a time-lapse camera from isolated Cashes Ledge.
127. Kelly Bentham, Bedford Institute of Oceanography, Canada, 2010 (with permission from Canadian Scientific Submersible Facility). Ship-board researchers direct a remotely operated vehicle in the Northeast Channel Coral Conservation area.

## ICoMM

128. Linda Amaral-Zettler, Marine Biological Laboratory, Woods Hole
129. Carola Espinoza, Universidad de Concepción, Chile. Giant sulfur bacteria inhabit anoxic sediments in the eastern South Pacific.
130. Microbial Oceanography at the University of Vienna (MOVIE). Researchers collect dark ocean seawater for microbial DNA samples during a cruise in the Romanche Fracture Zone (19°W, 0°N) of the equatorial Atlantic.
131. Victor Gallardo, Universidad de Concepción, Chile. Bacterial mats that thrive mostly on hydrogen sulfide were found off the coast of Chile.

