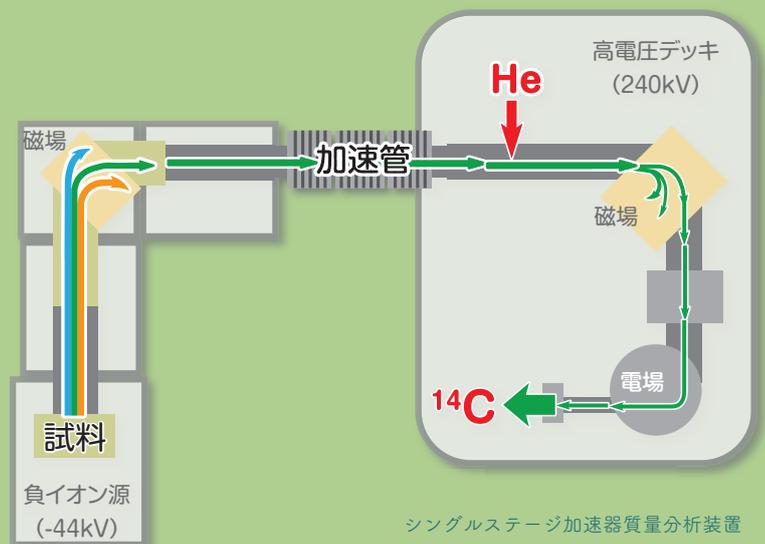


このニュースレターでは大気海洋研究所が取り組むプロジェクトや、研究所のさまざまな活動、注目の話題などについて、くわしくご紹介します。



共同利用・共同研究拠点 Part 1

大気海洋研究所の 陸上共同利用施設



学術研究の発展のためには、大学や研究機関の枠を越えて、大型・先端的な研究設備や大量の資料・データなどを全国の研究者が共有し、活発な共同研究を行うことが重要です。

東京大学大気海洋研究所は、国内で唯一の大気海洋研究に係わる共同利用・共同研究拠点です。本所（東大柏キャンパス / 千葉県柏市）と大槌沿岸センター*（岩手県大槌町）では外来研究員を受け入れ、全国の研究者に先端的な研究施設・機器と充実した研究環境を提供しています。また、将来の研究展開や課題解決につながる新たなシーズ発掘のための研究費支援や研究集会の開催もサポートしています。学術研究船を用いた共同利用・共同研究を運営し、全国の研究者による研究航海を実施、観測支援することで、大気海洋科学の発展に貢献しています。次世代を担う若手研究者の育成も私たちの重要なミッションであり、東京大学の附置研究所として大学院教育にも力を入れています。

うみそら第6号では、本研究所の陸上研究と先端分析に関連する施設・機器や、研究環境などを紹介します。ぜひ、共同利用・共同研究を考えてみて下さい。

なお、学術研究船を用いた共同利用・共同研究も私たちの主なミッションの一つですが、こちらについては次回「うみそら」で特集いたします。ご期待下さい。

（東京大学大気海洋研究所 所長 兵藤 晋）

*大槌沿岸センター：正式名称は「附属国際・地域連携研究センター-地域連携研究部門大槌研究拠点」。岩手県大槌町に所在する附属研究拠点。詳しくは、うみそら第5号をご覧ください。

共同利用・共同研究推進センターとは

共同利用・共同研究推進センターは、大気海洋研究所が共同利用・共同研究拠点としてのミッションを推進するために設置されました。2022年4月に新設されたオープンサイエンス推進室が加わり、新組織として再編されました。

共同利用・共同研究推進室 陸上研究推進グループについて

共同利用・共同研究推進室は、陸上研究推進グループを含む4組織から構成されています（下図参照）。陸上研究推進グループでは、本研究所（柏キャンパス）の陸上共通実験施設の維持・管理を担当しています。所内外の多くの研究者に利用されており、室員は各施設に設置された機器の保守管理を行うだけでなく、ユーザーに対する技術協力、大学院生の技術指導も担当します。新しい技術の導入や技術開発も進め、大気海洋研究所の研究アクティビティの向上に貢献しています。



先端分析研究推進室について

先端分析研究推進室（右図参照）では、国内唯一のシングルステージ加速器質量分析装置や、二次元高分解能二次イオン質量分析装置（NanoSIMS）のほか、各種の安定同位体質量分析装置などを備えています。海洋生物や環境試料中の微量化学成分の分布を詳細に解明することによって、大気海洋における物質循環動態、古環境復元、海洋生物の回遊経路の解明など最先端の研究教育を行うことを目指しています。

共同利用・共同研究推進センター

先端分析研究推進室

加速器施設

ナノシムス施設

共同利用・共同研究推進室

陸上研究推進 G

観測研究推進 G

沿岸研究推進 G

気候研究推進 G

P14
参照

電子計算機
ネットワーク管理室

環境安全管理室

知的財産室

P15
参照

オープンサイエンス
推進室

広報戦略室

*今回は の施設を紹介します

大気海洋研究所 Web サイトでうみそらのバックナンバーをご覧ください。

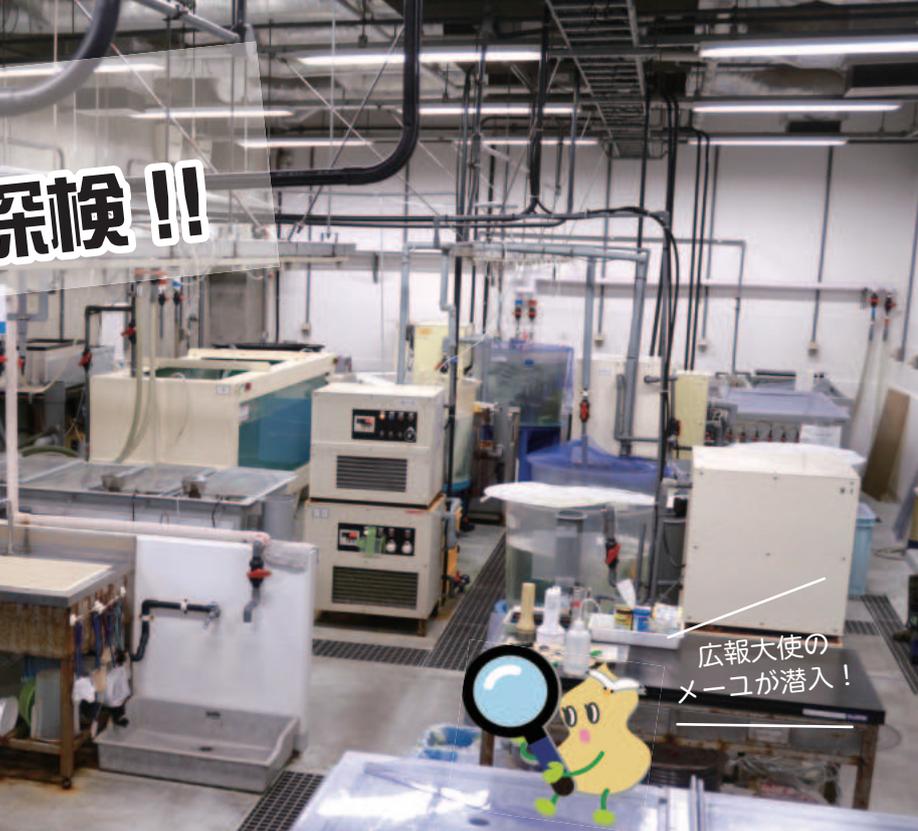
<https://www.aori.u-tokyo.ac.jp/newsletter/index.html>



テーマ1 飼育実験施設 探検!!



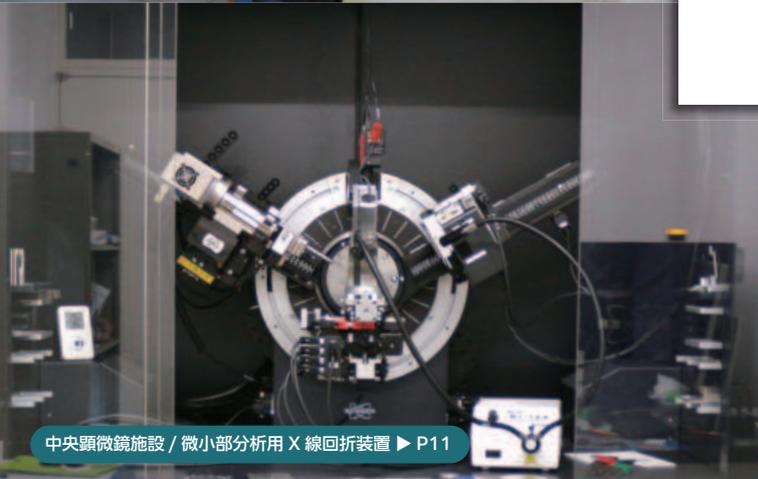
飼育室 ▶ P4-5



広報大使の
メーユが潜入!

共同利用・共同研究拠点 Part 1

大気海洋研究所の 陸上共同利用施設



中央顕微鏡施設 / 微小部分析用 X 線回折装置 ▶ P11

2024 年度、増築した実験棟に
新しい装置を導入!



加速器実験施設 ▶ P8-10

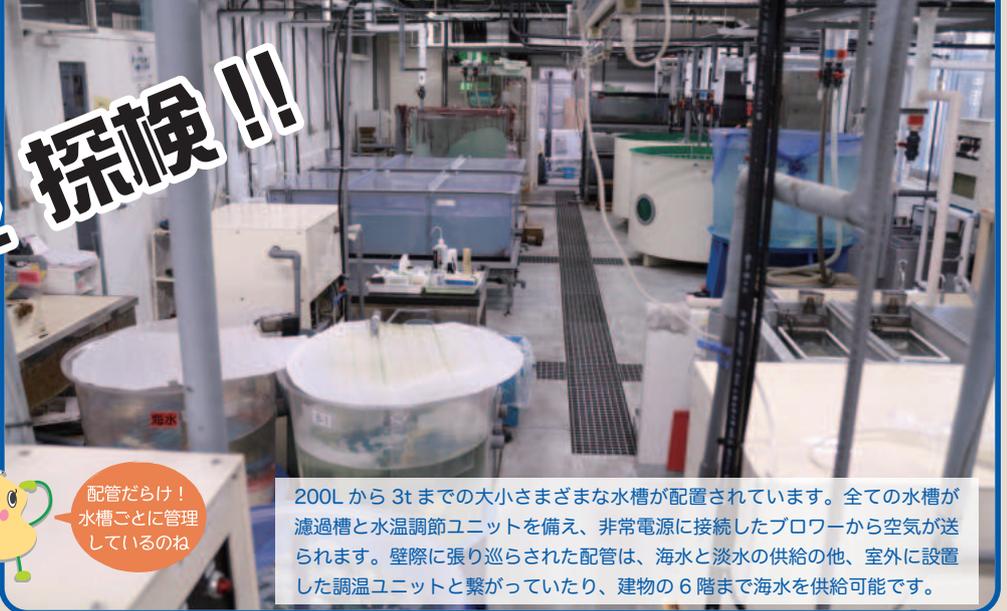


テーマ2 履歴を探る

ナノSIMS実験施設 / 二次元高分解能二次イオン質量分析装置 (NanoSIMS) ▶ P10

テーマ1 飼育実験施設 探検!!

広報大使の
メーユが潜入!



ウナギちゃん、
こんなところに
かくれんぼ?



配管だらけ!
水槽ごとに管理
しているのね



200L から 3t までの大小さまざまな水槽が配置されています。全ての水槽が濾過槽と水温調節ユニットを備え、非常電源に接続したブローヤから空気が送られます。壁際に張り巡らされた配管は、海水と淡水の供給の他、室外に設置した調温ユニットと繋がっていたり、建物の6階まで海水を供給可能です。

飼育室



ウナギ

すべての水槽にヒーターとクーラーが!

夏でもサケが飼育できる!



サケの幼魚

冷たいお水で
気持ちいいね



八丈島の天然海水を柏までお届け!?

八丈島と本州を運航する船が運んでいる天然海水を購入しています。

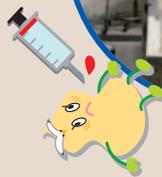
海水を
買っている
の!?



1階 飼育実験施設

生物処置室

大型生物にも対応した解剖や手術、ホルモン測定などの採血が行われます。



特殊環境実験室

熱交換器を介した排気システムを備え、海底の熱水噴出域などを想定した実験でも安全に行うことができます。



トランスジェニック実験室

遺伝子の働きを調べるための遺伝子操作実験を行うことができる実験室です。



メダカがいっぱい!

▶ P7 Topic6

大海研でメダカを飼育し研究することの重要性

汽水域から深海まで

海洋の特殊な条件下での実験が可能!

もしかして
淡水魚が海水魚
になっちゃう?



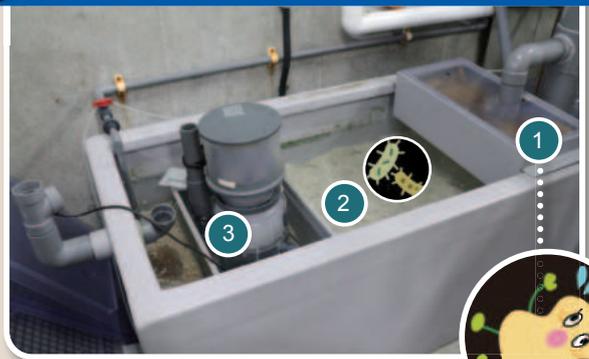


ウチワザメ



トラザメ

徹底した濾過システムで海水を節約！



- 1 生きものの糞やエサの食べ残しなどの大きなゴミがスポンジ状のフィルターに取り除かれる
- 2 サンゴの殻などからできた砂の中にバクテリアがすんでいて、亜硝酸などの汚れを分解
- 3 細かい泡を発生させ、タンパク質や細菌などの有機物を浮き上がらせて除去する



ギャー！
メーコもろ過
されちゃう！

水を浄化する
プロテインスキマー
という装置が各水槽に
ついていて、餌による
汚れへの対応も
バッチリ！



飼育実験施設
担当：渡邊太朗さん



これは
何だ!?

サメちゃん！
…コ、コ、
コンニチハ！



▶ P6 Topic3
エコーはサメも
救えるか？

え！
サメちゃんも
エコー
するの？



▶ P6 Topic1
子孫繁栄・
イカのアピール術



ダンゴイカ

ここは真っ暗…
深海生物が
いたこともある
んですって！



砂をかけて
潜っている
イカちゃん！
可愛い！

光環境調整実験室

暗黒条件下で飼育実験を行う
ことができ、独自の明暗リ
ズムに調整することも可能な
実験室です。



ウミユリ

調温実験室

部屋ごとに光と温度を調整できる実験室です。
昼夜や気候帯を設定するなど、さまざまな環境
を作ることができます。



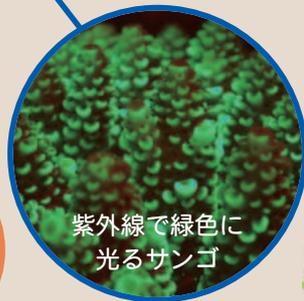
光や温度を調整し、

さまざまな環境での研究を実現！

ナノシムス
実験室
▶ P10へ

▶ P7 Topic4

生物多様性を守る鍵が細菌にある？



紫外線で緑色に
光るサンゴ

緑色蛍光タンパク質
GFPを持って
いて光るの？



はあ～温かい！
沖縄みたい！
え？北海道の
時もあるの？



大気海洋研究所が本拠とする東大柏キャンパスは、周囲に海がない千葉県北西部に位置しています。海洋生物を飼育するために海水を購入しなければならないという難しさの一方で、濾過装置と温度調整ユニットを備えた200Lから3tまでの循環式水槽を多数備えることで、都市部にありながら、海水から淡水まで、冷水から温かい水まで、さまざまな飼育環境に生息する生物の飼育実験を実現しています。すべての水槽を個別の循環式にすることで、温暖化や酸性化といった海洋環境の課題解決研究を含めた、多様な飼育実験が可能となりました。

Topics トピックス

大気海洋研究所の陸上研究施設を利用しながらどのような研究が行われているのでしょうか。生きものに関するさまざまな研究を行っている研究者に、その一端を教えてくださいました（メーユ）

Topic2.

酸素消費速度を測るスタミナトンネル 魚の行動を実験的に解析する

行動解析実験室では、静穏な環境で動物の行動を調べる実験が行われます。そのひとつが「スタミナトンネル実験」です。ここでは、さまざまな流速環境で魚を泳がせ、酸素の消費速度を測る実験が行われます。

例えば、クロマグロの場合、日本沿岸に来遊した若魚は、成長と共に食べ物もプランクトンからカロリーの高い魚類や頭足類などに変わり、それを捕まえるためにたくさん泳ぐようになります。また、水温より高い体温を保つようになり、酸素をたくさん消費するようになります。高い遊泳力とそれを支える体温保持能力をつけながら成長も遂げる仕組みを、酸素消費の観点から調べています。

一方、成長したサケはベーリング海から日本沿岸まで長距離の回遊をします。さらに、北上川の上流で産卵するサケは、まだ水温の高い時期に遡上を開始します。スタミナトンネルの実験から、北上川のサケはマラソンランナーのような走り（泳ぎ）であり、高水温でも代謝速度を低く抑えることで、長い期間、川を上ることができるとわかりました。

（魚類の行動生態学
北川貴士 教授・阿部貴晃
学振特別研究員）



Topic1.

飼育実験と顕微鏡で謎解き 子孫繁栄・イカのアピール術

生き物の体はさまざまな形や機能を持っています。移動や餌をとるといった行動に関連する他、子孫を残すための繁殖行動との関係は多くの生物で知られていますね。

イカは体色を変えることができるのですが、イカ自身は色が見えていないのです。その代わりに「偏光」という光の波の方向の偏りを見ることができて、表皮に偏光を反射する細胞を持っています。何層ものプレートが重なっていて、多層構造になっているので偏光を反射するのです。中央顕微鏡室にある透過型電子顕微鏡を使用して、このプレートの構造を調べています。そうした細胞は頭足類のイカやタコ全般が持っていて、身を隠すためのカムフラージュなどに使われていますが、コウイカの一つは繁殖のためのコミュニケーションに使っていることがわかってきました。偏光を使って目立った結果、パートナーをゲットできて子どもを残し、より多くの子どもを残すことができたのかもしれませんが。あの手この手で一生懸命アピールしているなんて可愛いですね。

（頭足類の生活史・繁殖生態学

岩田容子 准教授） 人間には見えないけれど…偏光を使って目立っちゃう！



▶ P11 中央顕微鏡施設 参照

Topic3.

医療機器を活用して海洋生物の繁殖を明らかにする エコーはサメも救えるか？

強面のサメ達ですが、近年では絶滅危惧種が35%を超え、世界中で個体数の減少が懸念されています。水族館などでは人工繁殖も試みられていますが、その生殖メカニズムの研究はほとんど進んでいません。魚は「メスが卵を産み、オスが精子をかける体外受精」だと認識されている方が多いと思いますが、サメ・エイ類は全て、交尾をして体内で受精が進む動物です。したがって、飼育をして眺めていても、体の中でいつのようかが進んでいるのかがわからず、これがサメの生殖研究が進まない最大の原因でした。

私たちが飼育しているトラザメ達は、毎日エコー検査を受けています。実は、サメのエコー検査、とても簡単なんです（写真を見て下さい）。エコー検査によって、いま体の中に受精卵を持っているのか、いつ頃卵を産むのかなどが解剖しなくてもわかるようになり、サメの生殖メカニズム研究が大きく進みつつあります。

（魚類の生理生態学
兵藤 晋 所長 / 教授）



トラザメへのエコー検査。手で持っているのが超音波を送受信するプローブ

Topic4.

飼育実験からサンゴの白化への対策を探る

生物多様性を守る鍵が細菌にある？

サンゴ礁は生物多様性の宝庫だと言われますが、そこにはサンゴに共生する褐虫藻という藻類が関係しています。褐虫藻はサンゴ細胞内で光合成をし、栄養を宿主であるサンゴに渡します。栄養の一部は、サンゴが身を守る粘液として利用し、放出された粘液は周囲の生物が食べることで、食物網形成にも役立ちます。サンゴは褐虫藻だけでなく、体表・体内に細菌など様々な微生物を共生させていて、多様な生物が一つの生命体のように振る舞うことは「ホロビオント」と表現されます。しかし、温暖化の影響でサンゴから褐虫藻がいなくなり白化してしまう「ホロビオント崩壊」が頻発しています。褐虫藻は温度が上がると正常に光合成ができなくなり、細胞を傷つける活性酸素種を出してしまうのです。



水槽実験の様子。サンゴに共生する褐虫藻と細菌が高温に対してどのように応答するのかを実験中

最近、褐虫藻に共生している細菌が、抗酸化作用のあるカロテノイド色素を作ることがわかってきました。「サンゴ-褐虫藻-細菌」を共に飼育する実験から、サンゴの白化を食い止めるヒントを得たいと考えています。(サンゴホロビオントの共生生物学 高木俊幸 助教)

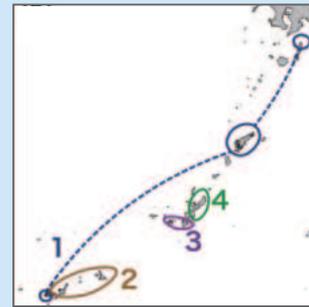
Topic5.

海洋生物の DNA 情報を大量に解読する

予想外に複雑なサンゴの集団構造

生き物を形作る全ての遺伝情報は、A, T, G, C の 4 文字で形容される塩基の並びにより、DNA に保存されています。つまり、DNA を解読することで、その生き物のさまざまな情報が手に入ります。最近の DNA 解読技術の発展は目覚ましく、膨大な量の DNA 情報が瞬く間に得られるようになりました。新しい DNA 解読技術は、海洋生物の研究にもどんどん応用され、大量の DNA 情報を使った研究が展開されています。

例えば、南西諸島全域に生息しているある種のサンゴの DNA 情報を詳細に比較した結果、1000km 以上離れた南端と北端で交流しているグループと、地理的に近い地点で維持されているグループが混在することが確認されました。



南西諸島のコブミドリシの遺伝的なグループを調べると、離れた地点で特徴が似ていることがわかりました

これまで知られていなかった、予想外に複雑なサンゴの集団構造が明らかになり、南西諸島の効果的なサンゴ保全策の実現に貢献することが期待されます。(サンゴ礁ゲノム科学 新里宙也 准教授)

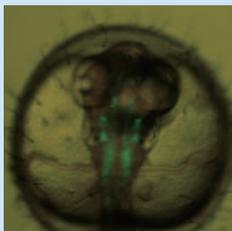
Topic6.

海洋生物と遺伝子改変技術

大海研でメダカを飼育し研究することの重要性

遺伝子改変技術は、医薬品や農作物での応用が進んでいますが、海洋生物では遺伝子改変技術を利用した研究はまだ発展途上です。そのような中、小型で世代時間が短く、海水でも淡水でも生存できるメダカは日本発の実験モデルとして、大きな役割を担うことが期待されています。私たちは、メダカで明らかにした成果を起点として、海洋生物の生命現象の理解や応用につなげることを目指しています。

みなさんは「ホルモン」をご存知でしょうか？食べる方ではなく、「成長ホルモン」など生物の体内を循環する「生理活性物質」で、成長や生殖、代謝、ストレス、環境への適応、発生など、私たちの日常生活にとって無くてはならないものです。魚もイカもみんな様々なホルモンを持っていて、養殖や資源保護を考える上でも、その働きを知ることはとても重要です。遺伝子改変技術を用いてホルモンを作る細胞を光らせて働きを調べたり、ホルモンを作れなくなった時の影響を調べる研究などを進めています。(魚類の神経内分泌学 神田真司 准教授)



特定の細胞を光らせたメダカ。光らせた細胞に狙いを定めて研究に用いることができます

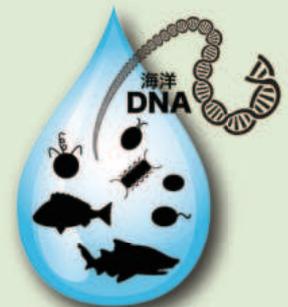
Topic7.

海洋微生物のゲノムのカタログをつくる

未知なる微生物の役割をゲノム情報から解き明かす

小指の先ほどの海水中には、約 100 万もの微生物が生息しています。しかし、その 99% は、海水から取り出して人工的な環境で飼育しようとするとうまく死んでしまう、未知の微生物です。海水中で物質が循環したり、海洋環境を維持するためには、これら未知なる微生物の役割が重要だと考えられるのですが、飼育できないために役割を調べることができません。そこで私たちが注目しているのがゲノム情報です。ゲノムにはさまざまな機能や役割につながる遺伝子が存在しているからです。

私たちは、多数の微生物が混在するゲノムデータから、個々の微生物ゲノムを解読する手法を開発しました。これまでに、5 万種類以上のゲノム解読に成功し、網羅的な海洋微生物ゲノムカタログ「OceanDNA MAG カタログ」として公開しました。海洋物質循環の理解を推進し、地球環境保全に役立つことが期待されます。(海洋微生物の生態学 吉澤 晋 准教授)



海水中に含まれる生物組織片や細胞などから DNA を抽出し解析します

人間の活動によって、二酸化炭素など大量の温室効果ガスが大気中に放出されてきたことで、地球の気温が上昇し続ける「地球温暖化」や「海洋酸性化」が深刻さを増しています。気候や生物など自然界の「炭素循環」のバランスが崩壊しかけている今、これまでの地球では何が起り、これから何が起るのか、過去の気候変化を含めた環境変動のメカニズムを解明することが、この問題を食いとめる鍵と言えます。

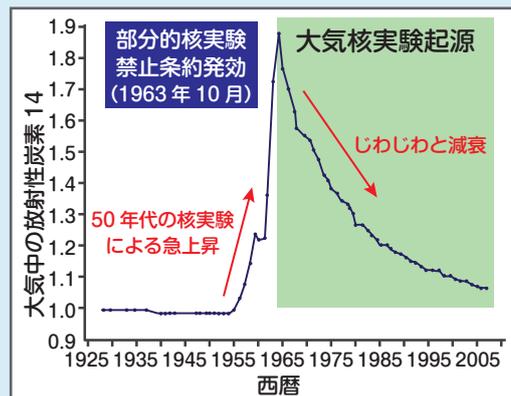
過去の年代情報を導き出す ^{14}C

過去の環境変動を解明するためには、正確な年代測定が重要ですが、その方法の一つが「放射性炭素年代測定法」です。宇宙から地球に降り注ぐ高エネルギーの宇宙線と地球の大気との相互作用で放射性炭素 (^{14}C) が作られます。その後速やかに酸化されて二酸化炭素になり、植物の光合成など炭素循環の経路によって環境中を巡っています。放射性炭素 (^{14}C) の量は5730年で半分になる性質があるので、生物が死滅して ^{14}C が取り込まれなくなると体内の ^{14}C は減っていきます。したがって、試料中の ^{14}C 量を測定できれば試料の年代を決めることができるのです。

生物動態の履歴を表す ^{14}C

大気中の ^{14}C の存在量は、1950年代に行われた大気核実験によって急上昇し、自然レベルの2倍にまで達しました。その後、炭素循環によって大気から移動していますが、大気や海洋といった地球表層に分布する ^{14}C の濃度は均一ではありません。海洋表層に生息するプランクトンはその地域の海水の ^{14}C 情報を保存しており、それを捕食する動物はその情報を体に残しています。したがって ^{14}C の分析をすることで、生き物の生態についてのシグナルを取り出すことも可能です。

いわば「時計を持った炭素」として環境中に広がる ^{14}C の分析によって、地球表層環境や生物動態の履歴を追跡できます。テーマ2では、こうした分析手法を中心とした、本研究所の先端分析研究施設などを紹介します。

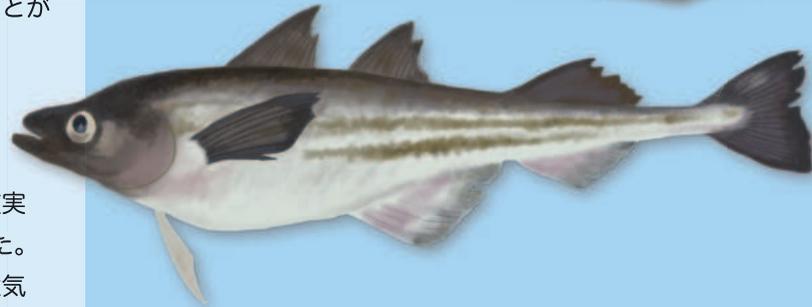
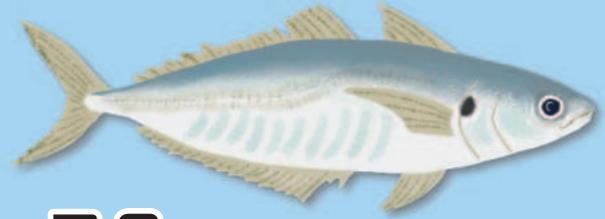


図：大気中の放射性炭素の濃度変化 (1925～2005年)

テーマ2

履歴を探る

—大気海洋研究所の先端分析機器—



日本唯一・世界最高性能の分析装置で 気候変動の解明に貢献

シングルステージ加速器質量分析装置

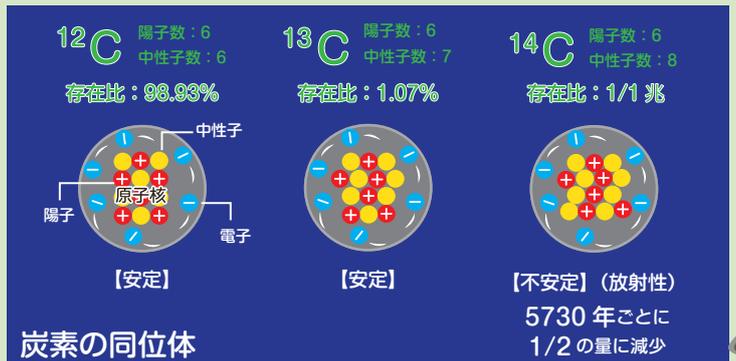
2013年に最先端次世代研究開発支援プログラムにて導入されたシングルステージ加速器質量分析装置は、大気海洋研究所の分析装置の目玉の一つとして広く活用されています。非常に存在量の少ない“炭素 14 (^{14}C)”の分析に特化した装置ですが、加速器では炭素原子の個数(存在量)を直接測定でき、独自の処理技術の開発を行ったことで、少量の試料でも短時間で高精度に分析ができるようになりました。



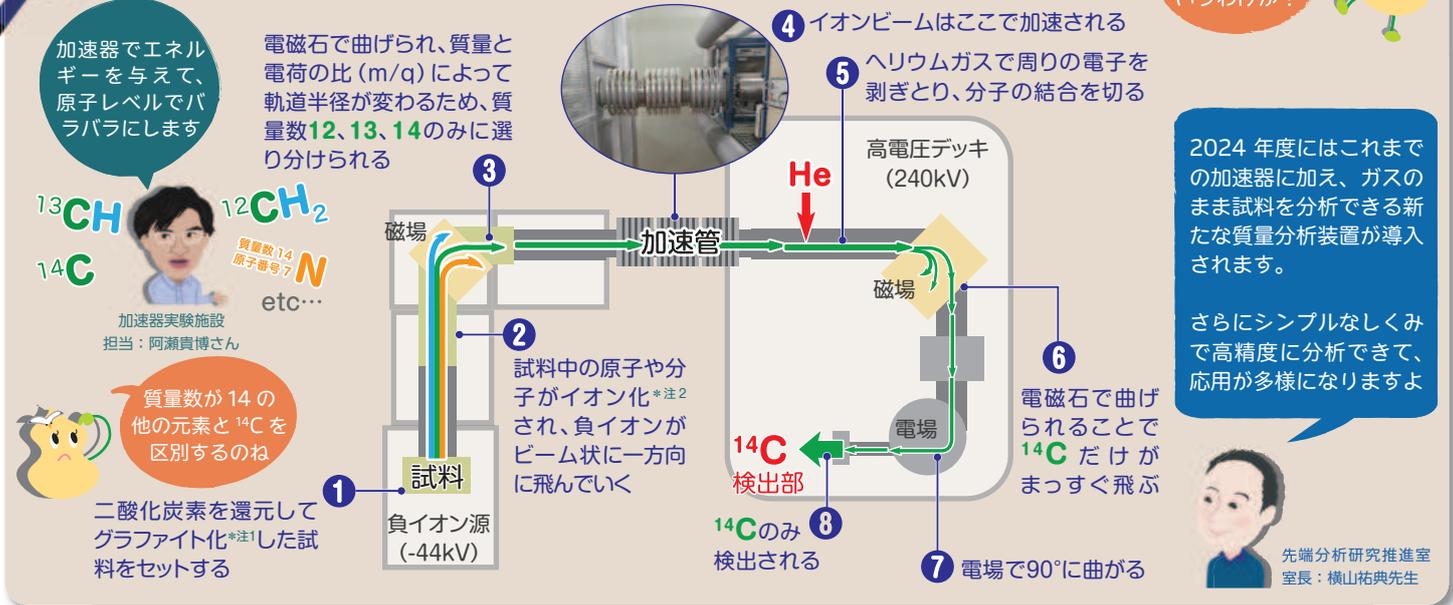
^{14}C 分析に特化したシングルステージ加速器質量分析装置
1年間で8000時間以上稼働しており、メンテナンス時以外は、ほぼ毎日測定が行われている

「放射性炭素年代測定」って何？

陽子数が等しく同じ性質を持っていても、中性子の数が異なり重さが異なる同元素を「同位体」と言います。炭素同位体では ^{12}C 、 ^{13}C 、 ^{14}C などがありますが、その中でも不安定で一定の時間で別の核種に変わるものを「放射性同位体」と言います。 ^{14}C は放射壊変によって5730年ごとに半分の量に減少していきます。つまり試料中の ^{14}C 濃度(どれくらい減ったのか)を測定し、年代決定を行う方法が「放射性炭素年代測定」です。



シングルステージ加速器質量分析装置のしくみ



*注1 グラファイト化：二酸化炭素となった試料を鉄触媒を用いて熱処理して黒鉛状態にすること。導電性が増しイオン化しやすくなる
*注2 イオン化：電荷的に中性な原子や分子がエネルギーを受けて、電子を放出したり外から受けたりすること

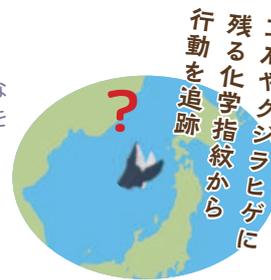
どんなことがわかる？



浜辺に打ち上げられた津波石や、地層の痕跡や断層、火山灰が含まれる堆積物から、地震や津波、火山噴火が起こった年代を測定



氷床の急激な拡大・縮小を詳細に解明

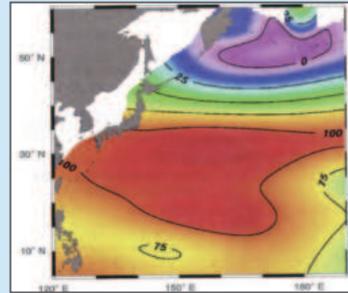


北海道周辺で採取されたスケトウダラの個別の行動履歴や、日本海に漂流したザトウクジラのクジラヒゲから行動履歴を探る

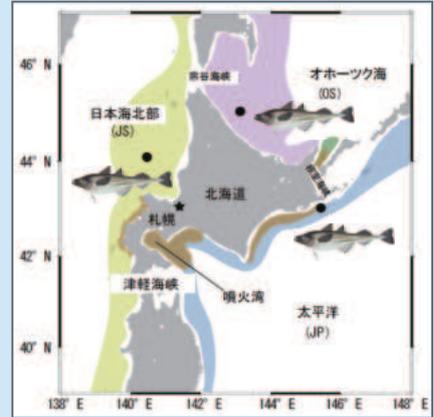
生き物が残す化学指紋・耳石と ^{14}C 時系列情報

大気中の二酸化炭素はかき混ぜられて循環するため、地表付近の ^{14}C の割合は世界のどこをとってもほぼ同じです。一方、海では混ざるのに時間がかかったり、横から別のシグナルを持った水が移動してきたりするため、 ^{14}C の濃度勾配は場所ごとに特徴を持ちます。深度・海域・海流によって変化することから、同位体が周りの環境の「化学指紋」となります。例えば、日本の周りに着目すると日本海・オホーツク海・太平洋側で大きく異なる海水が分布しており、これを使って生態履歴を復元することもできます。

使うのは魚類の生体履歴を、時間を追って辿ることができるレコーダーである耳石です。北海道周辺で漁獲されたスケトウダラの耳石にわずかに残された ^{14}C 濃度を分析し、時系列で復元することによって、それぞれの個体ごとの約5年間の移動経路を復元することに世界で初めて成功しました。その結果、多くの個体が漁獲された海域にとどまっていることが示されましたが、日本海北部とオホーツク海南部のグループでは、複数の個体が漁獲海域から大きく離れて回遊していたことがわかりました。スケトウダラは北部太平洋に広く分布する重要な漁業資源ですが、広域での回遊が示唆されたことは、持続可能な水産資源の管理を行う上で重要な情報となります。(先端分析研究推進室長 / 教授 横山祐典)



北西太平洋域の炭素 ^{14}C 濃度分布 (Larsen et al., 2017)
黒潮域で高く、親潮域で低い



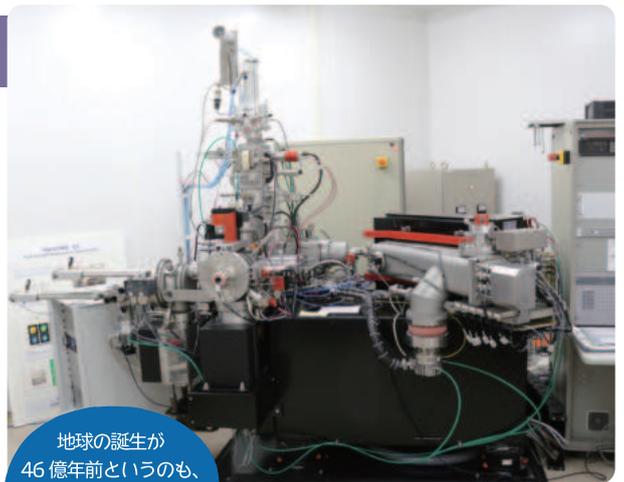
北海道周辺のスケトウダラの分布域と3つの資源グループの分布域。黒点がサンプル採取地点 (Ando et al., 2024)

ナノシムス実験施設

生命の成り立ちや進化が見える 高感度・高空間分解能の「イオンの顕微鏡」

二次元高分解能二次イオン質量分析装置 (NanoSIMS)

ナノシムスは水素からウランまでほぼすべての元素と同位体を高感度で検出できる分析装置です。ナノ (nano) とは、ナノメートル (nm)、10億分の1mに相当する単位のことです。その解像度で固体試料に含まれる元素の分布を検出します。数値を画像化することで「絵」として見るのが特徴です。ナノシムスは試料にイオンをぶつけて、飛び出したイオンを見るため、「イオンの顕微鏡」と言い換えることもできます。岩石や鉱物の年代や元素の動きを解析したり、医薬品の開発など幅広い分野で活用されています。



地球の誕生が46億年前というのも、隕石の同位体を測ると数値として表れるので実感できます

極微小領域の元素や同位体の分布を観察できるナノシムス

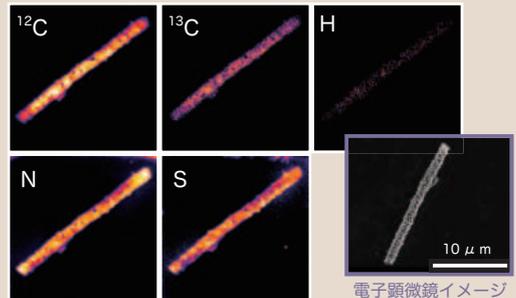
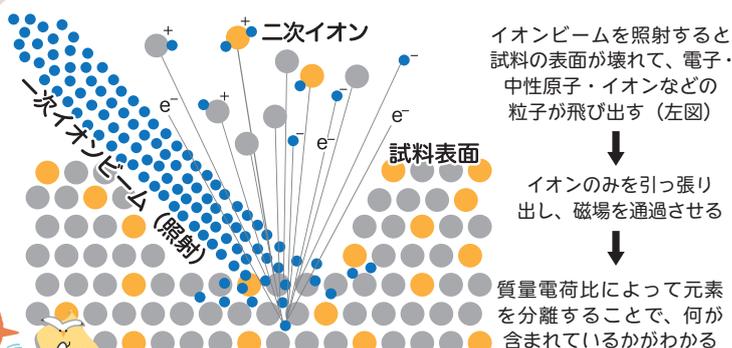


先端分析研究推進室
：高畑直人先生



岩石から海洋・生命・地球の進化史を解明

ナノシムスのしくみ



20億年前の微化石のイオンイメージ
ナノシムスにより、微生物らしき元素の組成・分布を持つ微化石が見出され、太古の地球に生息していた生物の姿が解明され始めています



ビリヤードみたいだね!

見えない見えるに変える
大気と海洋の謎を
「顕微鏡技術」で解き明かす



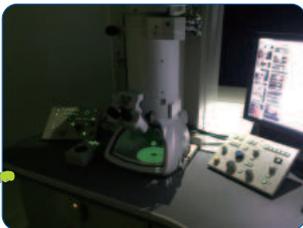
中央顕微鏡施設では、さまざまな分析能力を備えた4台の電子顕微鏡と2台のX線分析装置を運用しています。また、設備を提供するだけでなく、観察技術の開発も進め、利用者に提供しています。分析試料の前処理設備も併設されており、研究目的に合わせて最適な前処理を行うことができます。

元素の分布と濃度を見る

電子線プローブマイクロアナライザ (EPMA) では、試料中に含まれる元素の濃度を 1 μ m の解像度で測ることができます。海洋生物の耳石を用いた回遊履歴の研究 (Topic9) や、鉱物の化学組成の研究などに利用されています。最近では、広域分析用に微小部分分析用蛍光 X 線分析装置 (uXRF) も設置されました。

ナノメートルの世界を見る

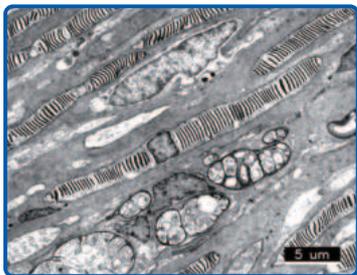
電解放出型走査電子顕微鏡 (FE-SEM) では試料表面の凹凸を、透過型電子顕微鏡 (TEM) では細胞内小器官の構造を、ナノメートルの分解能で観察することができます。海洋生物の細胞機能を予測したり (P6 Topic1)、マイクロプラスチックごみなどの解析にも使用されます。解析に必要な前処理法に関する特許技術も保有しています。



透過型電子顕微鏡でエゾハリイカの虹色素胞を観察する様子。電子線が透過され緑色 (写真中央) に発光する

▶ P6 Topic1 参照

生き物の細胞って整っていて、とてもきれい！彼らも生きていく中で最適化していくのかな？



透過型電子顕微鏡のモニターに映し出された偏光を反射するエゾハリイカの虹色素胞



中央顕微鏡施設
担当：小川展弘さん

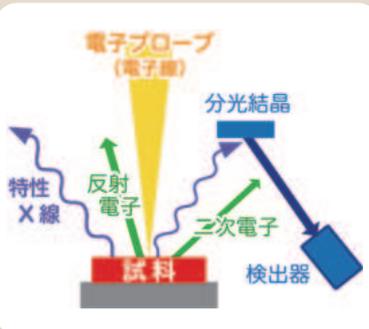
微小鉱物の原子配置を見る

微小部分分析用 X 線回折装置 (uXRD P3 写真参照) では、試料表面の結晶の原子配置などを解析できます。微細な結晶の種類や方向性などの情報を得ることができるようになりました。



電子線プローブマイクロアナライザを使用して試料中の化学組成を分析

電子線プローブマイクロアナライザのしくみ



試料に電子線を照射することで特性 X 線が放出されますが、その波長は元素ごとに異なります。この波長を分光結晶により分離して強度を測定することで、元素の種類や濃度を決定できます。

Topic9

耳石から生活環境を復元する
マアジはいつ深くに潜るの？

食卓でなじみの深いマアジですが、マアジの多くが台湾北東の大産卵場で産卵されます。卵から孵化したマアジは海岸からはがれて海表面を漂っている海藻などに隠れながら黒潮に乗って日本沿岸へと来遊します。しかし、5 cm を超える稚魚は表層では捕まえることができず、水深 100 m くらいの海底近くにいます。つまり、稚魚に成長するまでに餌の豊富な海底近くへ潜っているようです。しかし、いつ、どこで、何をきっかけに深くへと潜るのかは謎なままでした。

そこで、耳の中で平衡感覚を保つのに使われている耳石に注目しました。耳石には 1 日 1 本の日輪が形成されるため、採集したマアジの日齢が推定できます。さまざまな水温で飼育したマアジの耳石と比較しながら、採集したマアジの耳石の日輪に含まれる物質の化学分析を行い、どのような水温を経験していたのかを調べました。その結果、28 日齢あたりから 30 日間程度をかけてゆっくりと潜っていることが解明されました。(魚類の環境学 伊藤進一 教授・樋口富彦 特任助教)



日輪が形成されたマアジの耳石。中心から外側に向けて細かく分析していくことで、生涯を通じた履歴を調べることができます



海洋での物質の動きを明らかに

海水中にはさまざまな物質が溶け、生物由来の細かい粒子なども漂っています。その化学組成は、海の表面と海底、太平洋と大西洋でも大きく異なっています。さらには同じところにとどまっているのではなく、常に循環して現在の環境が保たれています。

無機系実験室では、海水や海底堆積物などに含まれる微量元素・同位体、天然放射性核種を精密に測定するための装置が整備されています。海洋における物質循環の現状を理解するとともに、地球環境の変化に対してどのように変化しているのか、研究を進めています。



撮影：竹内 誠

誘導結合プラズマ質量分析計 (ICP-MS)

微量元素を分析するための装置で、多元素を同時に高感度で分析することができます。学術研究船や調査船で採水した海水や堆積物などの測定に使われており、採水範囲は沿岸から沖合・深海に及びます。2011年3月の東日本大震災では、車などの人工物や陸域由来の物質が海洋に大量に流出したため、海水や堆積物中の貴金属濃度が増加しました。このような災害による影響の調査にも活用されてきました。



誘導結合プラズマ質量分析計 (ICP-MS)

極微量の分析をするので、他の物質が混入しないように細心の注意を払うよ



固体・液体・気体と、分析したい試料の状態によって処理の仕方が異なり、特徴ごとに装置を使い分けます

無機系実験室
担当：羽山和美さん

Topic 10.

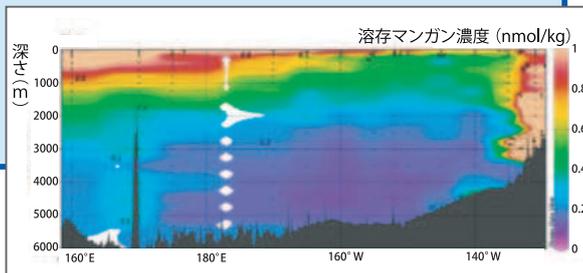
海水中の微量金属元素を測定する

海洋に放出された物質の広がり

クリーン実験施設では海水中にほんの少ししか溶けていないような金属を測定する事ができます。クリーン実験施設に設置されている誘導結合プラズマ質量分析計は、非常に濃度の低い金属も高感度に測定できる優れた分析装置です。ただ、たくさん塩が含まれた海水中の金属をそのまま測定することはできません。クリーンな汚染のない環境で最初に塩を除き、金属を回収する必要があります。

一例として、北太平洋で得られた海水中のマンガンの濃度分布を示します。濃度は色で表されており、表層から水深500mあたりまでマンガンが高濃度に存在していることがわかります。この高濃度のマンガンはオホーツク海やベーリング海などの縁辺海からもたらされています。肉眼でこのような広がりを追いかけることはできないのですが、高感度分析の技術を用いれば数千kmにわたってマンガンなどの物質が広がっていることを見出すことができます。(海洋地球化学 小畑元教授)

図：北太平洋亜寒帯における溶存マンガンの鉛直断面分布



無機系実験室の主な装置

レーザーアブレーション (LA)

固体試料に強力なレーザーを照射して、出てきた微粒子やガス(気体)をICP-MSに取り込んで元素を測定します。固体表面の局所分析ができる手法です。

表面電離型質量分析計 (TIMS)

海水中の微量元素などを抽出し、金属のフィラメント*上に塗布します。加熱して電離(イオン化)させイオンを質量分析することで、元素の同位体組成を測定します。

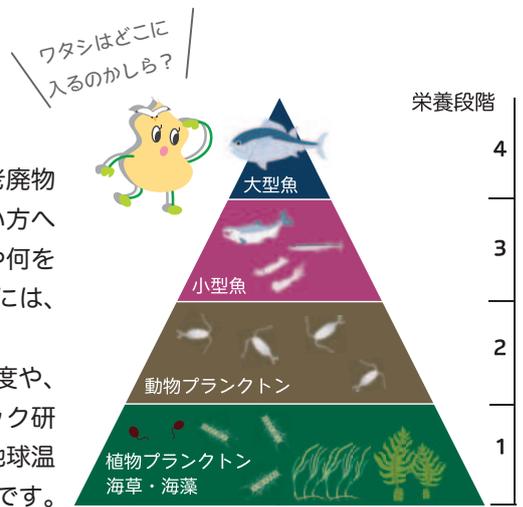
*フィラメント：電球などの発光部分に使われ、電流を流して熱電子を放出する繊維

そのほか 安定同位体質量分析装置、天然放射性核種測定装置 など

生命体の維持に不可欠な栄養元素や有機物の循環を明らかにする

環境中の炭素、窒素、リンなどの元素は、生物によって取り込まれ、代謝老廃物や死滅により環境中に戻ります。また、摂餌によっても物質は栄養段階の高い方へと移動していきますが、安定同位体比などを調べることで、生物の栄養段階や何を食べているのかを明らかにすることができます。海の生態系を理解するためには、こうした物質の動態・循環を明らかにする必要があります。

生物地球化学実験室では、河川や海の水、堆積物などに含まれる元素の濃度や、安定同位体比を分析する装置の他、近年問題となっているマイクロプラスチック研究に使用される装置なども備えています。物質循環を明らかにすることは、地球温暖化や生物多様性の喪失をはじめ、現代社会が抱える課題解決に対しても重要です。



Topic 11

安定同位体比から種間関係を探る

体は食べ物で出来ている

生物の生態を理解する上では、どのような餌をどのくらい食べているのかを明らかにすることが重要です。私が研究対象としている巻貝類やウニ類は、餌と一緒に餌でないものを飲み込んだり、複数の餌が混ざり合うように飲み込んだりするため、どれが餌で、どのくらい重要なかを判定するのが難しいことがあります。

このような時、研究対象の生物と餌候補の生物の安定同位体比を求めて比較すると、どれが重要な餌として体づくりに利用されているのかがわかります。例えば、複数の海藻を摂餌するサザエの稚貝でも、安定同位体比を調べてみると、特定の海藻のみを摂餌させた稚貝と近似していました。このことは、この特定の海藻が体をつくる餌として重要であって、必ずしもたくさん食べている餌が良い餌ではないことを示しており、このような視点は生態学的にとっても重要です。(底生動物の生態学 早川 淳 准教授)



流れ藻のワカメを食べるカタムラサキウニとエゾアワビ (撮影: 早川 淳)



←抽出したウニの消化管と粒状の内容物



Topic 12

海に入ったプラスチックの動きを解明する

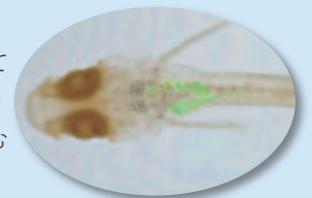
人間が排出したプラスチックと海への影響

私たちの暮らしの中で使用されたプラスチックの約8割が最終的に海洋へと流出しています。特に、紫外線などにより細かい破片となった『マイクロプラスチック』が問題で、人間活動が少ない北極や南極などの海域や、さまざまな海洋生物の体内からも見つかってきています。

顕微フーリエ変換赤外分光光度計 (μ FT-IR) は、約10 μ m サイズであっても破壊せずにプラスチックの種類やサイズを調べることができます。例えば、東シナ海や本州南部の外洋域の海洋表層では、300 μ m 以下のプラスチック数は、それより大きなサイズと比べて2-3桁多く存在することがわかってきました。また、海底に沈みやすいはずのプラスチックが表層でも検出されることから、海流によって運ばれるだけでなく、大気経由で長距離輸送された可能性も考えられています。

生物がマイクロプラスチックを飲み込んでしまう様子を可視化して調べる試みも進んでおり、海水魚は淡水魚と比べて多くの水を飲むため、マイクロプラスチックも大量に飲み込むことが示されています。

(海洋汚染 山下 麗 特任研究員、
分子海洋生物学 井上広滋 教授)



マイクロプラスチック粒子に曝露された海水中のジャワメダカ稚魚 (撮影: Hilda Mardiana Pratiwi)

生物地球化学実験室の主な装置

安定同位体比質量分析計

安定同位体比の測定に特化した質量分析計で、炭素や窒素など生体を構成する元素の同位体比から、有機物の起源や生物の栄養段階の推定などに活用されています。

元素分析計

有機物を燃焼させて発生したガスを分析することで、炭素や窒素などの含量を測定し、これらの元素が環境中でどのように分布しているかを調べています。

栄養塩自動分析装置

連続流れ分析という手法で試料と試薬類の混合、色の変化の測定までを自動で行い、植物の肥料となる無機塩類の濃度を測定しています。

顕微フーリエ変換赤外分光光度計 (μ FT-IR)

顕微鏡下で有機物試料に赤外光を当て、その干渉パターンからマイクロプラスチックの材質や量、劣化の具合などを細かく見えています。

生体を構成する元素が地球上をどのようにめぐっているのか、多様な装置で研究しています



生物地球化学実験室 担当: 早乙女伸枝さん

その他の施設

飼育や実験、分析、観測など研究を支えているその他の施設を紹介します！



低温施設

冷凍保存室 (-30℃ / 4室)、低温保存室 (+4℃ / 2室)、低温実験室 (+4℃ / 2室)

研究船やフィールド、実験室で採取した試料を化学系と生物系に分けて保存しています。特に微量成分の分析では、異物の混入や汚染（コンタミネーション）を防いで正確なデータを得る必要があります。生物試料は深刻な汚染源なのです。温度設定にも細心の注意を払い、厳重に管理します。



設定温度から±5℃の差がある状態が1時間続くとアラームが鳴り、1日4回の霜取り機能も作動しています

コラ、メーユ！
そっちの部屋は
生きもの
侵入禁止！



低温施設担当：森山彰久さん



メーユ

うぐぐ！



陸上研究推進グループ長
：岩田容子先生

…メーユって
生きもの？



海洋科学研究用電子計算機システム

電子計算機ネットワーク管理室

海洋科学研究用電子計算機システム

電子計算機は
海外からでも
どこからでも
使えます



電子計算機ネットワーク管理室 担当
：榎橋由紀さん・長井真由美さん

進化が早いので入れ替わりも早いですね



電子計算機ネットワーク管理室では、所内のネットワークと電子計算機の管理を行っており、大規模な数値シミュレーションやデータ解析を可能とする並列計算サーバを配備しています。さまざまな実験のシミュレーションを行い、その過程を可視化できる計算機は、科学的な事象を解析するための重要なツールで、めまぐるしい勢いで進化しています。電子計算機は共同利用の申請を行うことで、所外の方でもお使いいただけます。目的によって情報基盤センターにある計算機を使い分けることもできます。

海洋生物培養施設

さまざまな温度域で、海洋細菌、微細藻類などの株の保存や、培養実験を行うことができます。

▶ P7 Topic4 参照

遺伝子解析実験施設

遺伝子組み換え実験、遺伝子配列の解析、発現量解析など、DNAに関するさまざまな測定・分析ができる設備を設置しています。

▶ P7 Topic5,7 参照

物理環境実験施設

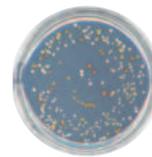
地球の回転によるコリオリ力や密度成層の効果の効いた大規模な大気・海洋の運動と、その生物環境への影響などを調べる室内実験を行うことができます。

地学試料処理施設

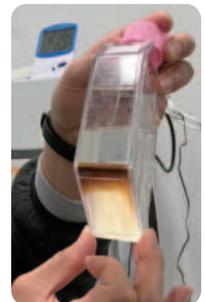
岩石や耳石の切断・研磨、蛍光X線分析用のガラスビードの作製、ドレッジ試料・堆積物コア試料の記載、岩石物性測定、サンプリングなどを行うことができます。

地学精密分析実験施設

炭酸塩試料、海底堆積物、岩石試料に含まれる微量元素や同位体比を分析できます。



サンゴに共生する褐虫藻を培養中



遺伝子解析実験施設 / DNAシーケンサー



科学研究をさらに多くの人へ

東京大学大気海洋研究所は、共同利用・共同研究拠点として、日本全国の海や空の研究者が行うさまざまな研究活動を支援しています。支援の内容は、研究船を用いた沖合の観測、岩手県大槌町と鹿児島県奄美を拠点とした沿岸の観測、海の生き物の飼育を通じた実験、世界中で取得した調査試料の先端分析、大規模な数値シミュレーションなど、幅広い研究活動にまたがっています。

オープンサイエンス推進室は、これらの研究活動で得られたデータをまとめて保管・公開して研究者や市民が活用できるようにするため、2022年に設置されました。大気海洋研究所内のさまざまな研究・支援活動と連携し、データの収集と誤差などの補正や修正、保管、公開を進めているほか、東京大学FSI事業であるオーシャンDNAプロジェクトのもと、海洋環境DNA（オーシャンDNA）の分析とマッピングにも取り組んでいます。（オープンサイエンス推進室長 / 准教授 伊藤幸彦）



どんな情報にアクセスできる？

* 2024年6月現在

- **研究船の観測データ** 白鳳丸、新青丸、淡青丸等の学術研究船共同利用航海の情報とともに取得されたデータを「研究船観測データベース」で公開しています（図1）。

研究船観測データベース <https://opensci.aori.u-tokyo.ac.jp/cruise.html>



- **大槌拠点の観測データ** 大槌拠点で得られた共同利用のデータを大槌拠点のメンバーの協力のもとでデータベース化し、公開しています（図2）。

大槌拠点データベース <https://opensci.aori.u-tokyo.ac.jp/otsuchi.html>



調査データや研究成果が世界中に公開されているのね！

多くの人を利用して、成果が大きく広がっていくことを期待しているよ

オープンサイエンス推進室
室長：伊藤幸彦先生



図1. 研究船観測データベースのWebサイトトップページ



図2. 大槌湾観測データベースとして公開予定の大槌湾内の水温・塩分観測点

■ オーシャンDNA（環境DNA）データと解析ツールの開発・公開

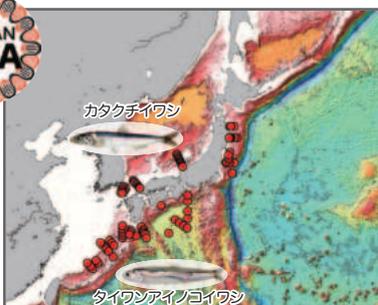


図3. オーシャンDNAプロジェクトで2020年度にサンプリングを実施した地点と代表的な魚種

環境DNAサンプルを取得した研究船観測のデータを蓄積しているほか（図3）、海水から取得した海洋動物のDNAが、どの種に由来するかを特定するWebツールを井上潤准教授が開発しています。このWebツールは、系統樹*を考慮するので高精度に種を特定できます。

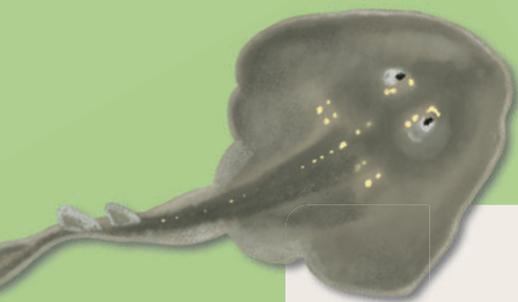
*系統樹：生物の進化の道筋を描いた図。生物の各類が共通の祖先から分岐してきたありさまを示したもの

解析ツールについては <https://www.aori.u-tokyo.ac.jp/research/topics/2021/20211126.html> をご参照ください



OceanDNAプロジェクトについては https://cesd.aori.u-tokyo.ac.jp/project/project_ocean.html をご参照ください

うみとそら（地球環境）の健全性、変動機構、将来予測につながるオープンサイエンスを展開します



飼育実験施設等
担当：渡邊太朗さん



加速器実験施設
担当：阿瀬貴博さん



ナノシムス実験施設
& 無機系実験室
担当：羽山和美さん



陸上研究推進
グループ長
：岩田容子先生



生物地球化学実験室
担当：早乙女伸枝さん



中央顕微鏡施設
担当：小川展弘さん



電子計算機
ネットワーク管理室
担当：棚橋由紀さん



電子計算機
ネットワーク管理室
担当：長井真由美さん



低温施設等 & オープン
サイエンス推進室
担当：森山彰久さん



「緑の下の力持ち」陸上グループのスタッフを紹介します！

陸上研究推進グループの技術職員は、研究者がいつも安定して実験ができるように施設や分析機器を維持管理すること、より正確に、精密に、迅速に、効率良く分析するための技術開発、さらにはこれまで測ることができなかったものを測るための新規手法の開発に取り組むことで、最先端の研究を支えています。ユーザーや大学院生には技術指導を行い、また大海研の研究者や学生だけでなく、共同利用・共同研究の制度で大海研に訪れる全国の研究者をサポートしています。日本の大気海洋研究を支える緑の下の力持ちチームです。（陸上研究推進グループ長 / 准教授 岩田容子）



■共同利用・共同研究推進センター 陸上研究推進グループの施設紹介等、関連ページにアクセスできます

<https://ccrp.ori.u-tokyo.ac.jp>



■共同利用の公募については、大気海洋研究所のウェブサイト「共同利用」のページをご覧ください

<https://www.ori.u-tokyo.ac.jp/coop/>

別冊 **Ocean Breeze うみそら** No.6

発行日 / 2024年9月 編集・発行 / 東京大学大気海洋研究所

構成・デザイン / 渡部 寿賀子 撮影（施設写真） / 森山 彰久

〒277-8564 千葉県柏市柏の葉 5-1-5 電話：04-7136-6006（代表） FAX：04-7136-6039 URL：www.ori.u-tokyo.ac.jp

印刷 / 株式会社ヒラマ写真製版



東京大学
大気海洋研究所