



## はじめに

海は広いな大きいな……。有名な唱歌「海」（作詞：林柳波，作曲：井上武士）は、広大な海を情感豊かに表現した素晴らしい歌ですが、海の魅力はこの歌でも伝えきれないほどたくさんあります。海は広く大きく、さらに深いです。大波が揺れ、凸凹していて、流水も漂います。そして多様な生命を産み育んできました。

私たちは海について、どれくらいのことを知っているのでしょうか。じつは知らないことだらけ、分かっていないことだらけです。けれども海は、人間にとって貴重な食糧となる魚介類を育み、地球の環境に大きな影響を与えています。驚異に満ちた生命現象にあふれ、私たちがドキドキわくわくするような新発見がたくさん眠っている、知的好奇心や冒険心をかきたてられる場所なのです。生物が好きな人、化学や工学に興味をひかれる人、数学や物理学で世界を美しく解き明かしたい人、そんな人たち全員にとって、海は大きな大きなビックリ箱です。なにが飛び出すか分かりません。

北海道大学水産学部の教育を担当している私たちは、教員であると同時に、さまざまな形で海を解き明かしたいと願っている研究者でもあります。大学生や大学院生たちと毎日楽しく奮闘しています。この本は、私たちの活動の一端をみなさんにお見せして、海で研究する魅力を伝えたいと願って書きました。

研究活動は型にはまったものではなく、ひとつの大学・学部のなかでもさまざまです。研究室ごとに独自の文化も持っています。そんな日常がうまく伝わるように、この本では、あえて章ごとのスタイルを統一しすぎないようにしました。読者のみなさんには、あちこちの研究室を訪問して先生とおしゃべりしているような気分で、この本を楽しく読んでもらいたいと思っています。

さあ、海をまるごとサイエンスしてみましよう。

# 第1章 海に棲む哺乳類に 会いにいこう



三谷 曜子

## 北海道ぐるっと一周 海棲哺乳類の旅

北海道は日本海，太平洋，オホーツク海と3つの異なる海に囲まれた広大な島です（図 1.1）。日本海では，南からやってきた対馬暖流がイカやイワシを運びつつ北上し，途中で津軽暖流へと分岐します。津軽海峡を抜けた先は太平洋。たくさんの栄養を含んだ親潮が北から千島列島の南岸沿いにやってきます。その千島列島のいちばん南側にある国後島と北海道の境界である根室海峡を抜け，知床岬を回ると，そこはオホーツク海です。日本海を北上してきた対

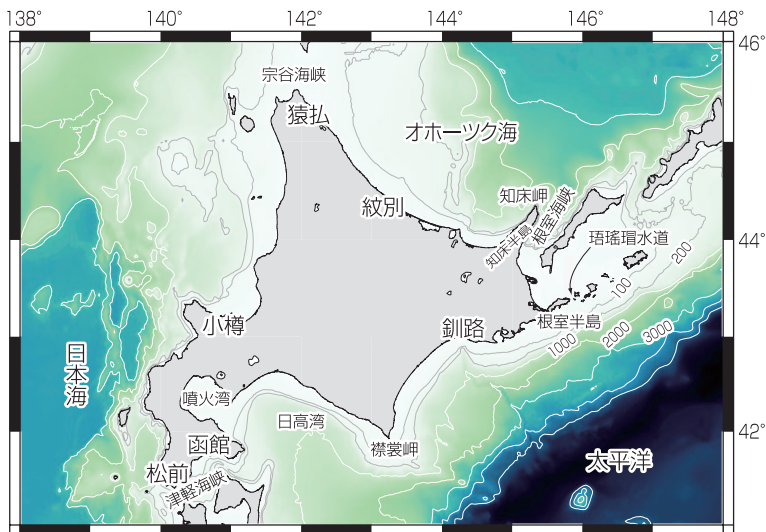


図 1.1 北海道を取り巻く海



図 1.7 ツチクジラのダブルジャンプ

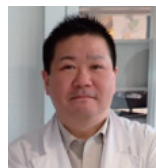
も捕獲していて、その時期になると肉がスーパーにも並びます。時にジャンプして私たちの目を楽しませてくれます（図 1.7）。

日高湾を進むうちに南下していきます。行き着く先は襟裳岬えりもみさきです。えりもは風の町と呼ばれ、とても強い風が吹きます。その岬の突端には日高山脈から続く岩礁が沖のほうまで延びています。その黒い岩礁の上をよく見ると、ゼニガタアザラシが寝転がっています（図 1.8）。ゼニガタアザラシは日本で唯一、一年中生息するアザラシで、ここ襟裳岬が最大の繁殖地です。昔は肉や毛皮を取るために捕獲されたり、コンブを育成するために岩礁が爆破されるなどして、数を減らしました。その後、保護されて数が多くなりましたが、サケ定置網に入ってサケを食い荒らしてしまうとして問題になっています。彼らはなぜ定置網に入って漁業と競合するのか？ 私たちはそれを明らかにするため、食性解析や、バイオロギングによる行動圏解析、水族館における行動観察を行っています。

## 第2章

# 叫びたくなるサケの凄技!

母川刷込の解明を目指す



工藤 秀明

水産学部ではサケの仲間の研究を行っている研究室はいくつかありますが、そのなかの一つ、海洋共生学講座、自称「鮭鱒班」（鮭鱒は音読みで「けいそん」）の様子を紹介します。「海と共に生きる」という現代の水産学にまさにぴったりな講座名を冠しており、海藻の先生、イカ・タコの先生、水産経済の先生からなる多様性のある大講座内の小グループ（教員1名と4年生・大学院生）が私たち鮭鱒班です。

## 研究対象のサケ

私たちが主に扱うサケは、タイヘイヨウサケ属（サケ属, *Oncorhynchus* spp.）と呼ばれるなかでも、日本で最も一般的なサケ（シロザケ）、日本で2番目に獲れる小型のカラフトマス、東アジア固有で高級なサクラマスです。これら3種のサケ（以下、サケ類）は、秋に河川で産卵し（ここでは雌雄双方の繁殖行動を指します）、タイミングは種により異なりますが春に海に降り、海洋生活で索餌回遊して十分に成長した親魚は生まれた（または、降りた）川に再び戻ってくるという「母川回帰」を行い、産卵後は雌雄ともに死んでいきます（図2.1）。この母川回帰には、海に降りる際にその河川特有のニオイを特別な記憶である「刷込」により憶え、戻ってくるときにはそのニオイを思い出す「想起」をして生まれた川を認識しているという“凄技”を持っています。この仕組みは「嗅覚刷込説」として広く知られていますが、実はその詳細については謎だらけの現象でもあります。もっとも、ニオイで識別できるのは河川水が注ぐ沿岸近くになってからで、外洋（遠くはベーリング海）から日本までの方向定位

# 鮭 鱒 はなもん

先生

ゆうらっぶ  
遊楽部川に  
ついたぞー！

おおー！

4年  
宮之上

4年  
守土

4年  
北山リンカ  
初めての研究室  
初めてのサンプリング

サンプリングの  
準備しろー!!  
目標サケ稚魚300尾

4年  
杉田

初めてのサンプリング



## 第3章 諸事情により海に下らない サケ・マス



清水 宗敬

### サケ・マスの生活史

サケ科魚類には川と海を行き来する種類が多い。彼らは淡水で生まれ、一定期間を河川もしくは湖で過ごした後に海に下り、十分に成長すると海から川に戻って産卵する。このように書くと、サケ科魚類の生活史は比較的単純だという印象を持つかもしれないが、実は非常に複雑である。私はサケ科魚類の生活史について強い興味を持っており、それに関連した研究を20年以上行っている。しかし、実際にはまだ生活史周辺の研究に留まっており、なかなか本質に迫ることができないというのが正直なところである。

サケ科魚類の生活史のどこが複雑で面白いかというと、まず、種（たとえばサクラマスやベニザケ）によっては、同じ親から生まれたとしても、海に下るものと下らないものに分かれるところである。すなわち、遺伝的には同じでも、生まれた後の環境に左右される。次に、彼らが生活史のなかで、淡水と海水という塩分濃度が大きく異なる環境を行き来できるという点である。淡水魚であるフナは海水中では生きられず、海水魚であるタイは淡水中では生きられない。しかし、淡水で生まれたサケは、その気になれば海水に適応する能力（海水適応能）を獲得できる。そして、その海水適応能や海へ下ろうとする傾向は遺伝に影響される。つまり、育ち（環境）だけでなく、生まれ（遺伝）も大事である。

本章では、サケ科魚類の生活史のうち、海に下る・下らないという点に焦点を当て、それについていろいろな問いかけをしたいと思う。まず、なぜ海に下るのかという意義（Why）について説明する。そして、どのように海に下るの

析を行うことによって、サクラマスをはじめとするサケ科魚類の海に下る・下らないメカニズムが明らかになると思われる。

## サケ・マスの仲間

よくサケとマスの違いは何ですかと聞かれる。暴論かもしれないが、両方に大した違いはないというのが筆者の見解だ。もちろん、魚の分類をしている研究者にとっては、これらの関係を正しく把握することは重要である。しかし、このサケとマスという用語が学問的な区分ではなく、慣用的なもので変化しうること、また、英語の Salmon と Trout をそれぞれサケとマスに当てはめることが正確ではないことを考えると、両者を明確に区別することに筆者は意義を見いだせない。

もともと Salmon というのはタイセイヨウサケ (*Salmo salar*) を指し、Trout はブラウントラウト (*Salmo trutta*) などを指す。いずれもヨーロッパや北米大西洋側に生息する種類に付けられた名前で、太平洋にいるサケのためのものではない。また、日本語ではシロザケを一般にサケと呼び、それ以外をマスといていた時期がある。たとえば、ベニザケはベニマスと呼ばれていた。でもシロザケもベニザケも、区分としては同じサケ属 (*Oncorhynchus* 属) というグループなので、別々の呼び方をするのは少しおかしい。また、海に下る種を Salmon、川に生息する種を Trout と呼ぶ傾向にあるが、サクラマスは種内で海に下る個体と川に残る個体が出現するため、種を表す用語としては不適當である。

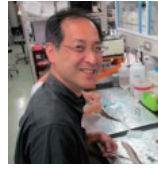
これらをふまえて、筆者がよく説明で使うのは、次のフレーズである。「日本に元々いたサケ・マスと呼ばれる魚はすべて Salmon と違って差し支えない。ただし、アメマス（イワナ属）を除く」。この区分で言うと、シロザケ、ベニザケ、カラフトマス、サクラマスは Salmon である。ちなみに日本に元々はいなかったがよく知られているものとして、ニジマスやカワマスがある。前者は英語では Rainbow trout であるが、サケ属なので Salmon と言っても間違いではなく、後者は Brook trout とか Brook charr と呼ばれ、イワナ属の魚であるので、少なくとも Salmon とは呼ばない。

かえって読者の頭を混乱させたのではないかと少々心配である。



## 第4章 殖えない魚を殖やしたい

### 難種苗生産魚種への挑戦



井尻 成保

### ステルバイの思い出

コリドラス・ステルバイという熱帯魚がいる。焦げ茶色のボディーにやや黄色がかかった白色の小さな斑点が全身に散らばり、時折、目をクリッと一瞬下に向ける仕草がかわいい小型ナマズだ。学生時代、セミナーに遅刻したり、論文提出の締め切りを守れなかったりしたときに、ペナルティーとして熱帯魚を購入してラボの観賞魚水槽に入れた。おおきな失敗をしたときに購入するのがステルバイで、当時は4000円以上した。痛い出費だ。殖やしてペナルティーに備えたいと思った。しかしこのステルバイ、水槽で飼ってもなかなか産卵に至らず、結果として出費が続くことになった。

その後、社会人になり、家に大きな水槽をセットした。模様が綺麗な野生の大型のステルバイを少しずつ買い集めた。水替えを長い間控えて、あるとき一気に新鮮な水に交換した。すると数日後、ステルバイは水槽壁面に粘着卵を多数生み付けた。初めての産卵に大喜びしながら、ガラスに付着した卵をていねいに集めて、200個くらいの卵を小型水槽に移した。数日すると孵化し、卵黄が吸収される頃からアルテミアの卵をすりつぶしたものを初期餌料として与え始めた。残餌は黴びるので、その都度、細いチューブで吸引除去した。この大事なタイミングで西表島で行われる研究会に行かなければならなかった。給餌と残餌除去は妻にお願いするしかない。心配で心配で、毎日のように電話してステルバイの稚魚の様子を尋ねた。1週間ほどして家に帰ると、稚魚は明らかに大きさを増していた。その後ほとんど死なせることなく、すべてのステルバイは大きく育った。妻からは二度と稚魚を残して出張に行ってくれるな、とお

た。これ以降、卵成熟・排卵能の生体外培養検定は以前に比べてはるかに鋭敏なシステムとなった。今後は、排卵誘導のタイミングをより正確に把握できることになりそうだ。

## いよいよ人工授精

さて、このようにして生体外培養で排卵能があることが確認された個体には、いよいよ GnRH を注射する。同時に雄にも GnRH を注射する。こちらは精子を採取するためだが、雌ほどタイミングは難しくない。GnRH 注射後、うまくいくと2~3日後に卵巣から卵が体腔へ排卵される。排卵を確認したら、腹部を圧迫して卵を体外へ絞り出す（図4.4、下のコードまたはURLから動画もご覧ください）。これに事前に採取しておいた精子をかけると受精する。チ



図 4.4 ダウリアチョウザメの採卵。GnRH 注射の数日後、腹部を圧迫して卵を搾出して集める。



図 4.5 チョウザメ受精卵の粘液除去作業。尿素を含む溶液のなかで受精卵をていねいに攪拌することによって卵膜表面の粘液が除去される。



11.9MB

[www.kaibundo.jp/hokusui/mikado.mp4](http://www.kaibundo.jp/hokusui/mikado.mp4)

ミカドチョウザメの採卵



10.9MB

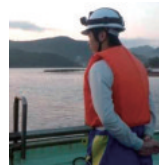
[www.kaibundo.jp/hokusui/dauria.mp4](http://www.kaibundo.jp/hokusui/dauria.mp4)

ダウリアチョウザメの採卵

## 第5章

# 水中で身体測定

画像処理技術で魚の成長を把握する



米山 和良

水産の世界に身を置く私は、魚を見るのも食べるのも大好きだ。魚に関わる仕事をさせてもらっている関係で、漁村をたびたび訪れる機会がある。その際には、必ずその地域の魚を味わうべく食堂を探したり、小売店に並んでいる魚を眺めたりする。水揚げされる魚や魚屋さんの店頭で季節を感じながら、美味しい魚を獲ってくれる漁師さんにいつも感謝している。

ところで、魚の王様と称されるマダイの旬はいつだかご存知だろうか。多くの魚は食べておいしい時期があったり、接岸する季節があったりする。春には鮮やかなピンク色をした桜鯛，秋に来遊する秋太郎，年末年始に欠かせないまるまると太った寒鰯など，漁業は旬のものを提供してくれる。そしてその時期が過ぎてしまえば，次のシーズンの到来を心待ちにするのである。

ところが，ブリやマダイは一年中，食卓に並ぶ。ちょっと高いがクロマグロもお寿司屋さんへ行けばいつでも食べられるし，ウナギも土用の丑の日には必ず市場に出回る。これは計画的に生産できる養殖が盛んに行われるようになったからだ。たとえば，2013年の統計によると，マダイの水揚げ量は8万8477トンで，そのうち養殖マダイが6万3605トンと7割以上を占めている。養殖生簀の多くは波の穏やかな湾内や沿岸に設置されていて，容易に給餌や水揚げができる場所にある。場合によっては陸上の屋内施設で養殖されていたりする。しばらく海が荒れて漁船の水揚げが少なくなってもお刺身やお寿司が食べられるのは，養殖業が普及しているからだといって差し支えないだろう。刺身として食べられるような品質で，必要量を安定的に供給できるのが養殖の特徴といってもよい。餌料となる魚を，本来はヒトが食べるはずだった水揚げから

た。動画には音声も録音されるので、何か目立った音を意図的に記録させてタイムマーカーとし、それを基準に左右のカメラの時間差を修正すればよい。さらに、動画だと 1 秒間に 60 枚もの画像が得られるので、解析する画像を選定する作業は大変だが、ベストショットが撮れる可能性も高くなる。

カメラキャリブレーションが無事に終われば、あとはステレオカメラで写したものは何でもその 3 次元位置を計測できる。マダイの魚体長（尾<sup>び</sup>叉<sup>き</sup>長）を計測したければ、図 5.6 のように吻端と尾鰭の切れ目の 3 次元位置を計測して、2 点間距離を計算するだけである。魚は尾鰭を振るため、また画像計測には多少の誤差はつきものなので、複数回計測して平均をとることによって正しい魚体長を推定する。

魚体長の計測なら吻端と尾鰭の 2 点を測ってしまえば目的は達成される。しかし、やろうと思えば力わざですべての画像ピクセルを 3 次元情報に復元することもでき、これを 3 次元点群処理と呼ぶ（図 5.7）。現在、私の研究室ではメンバーをステレオカメラで撮影して 3 次元点群処理で 3D モデルをつくるのが流行っている。向上心を持ってステレオビジョンを学ぶ姿勢には感心しているのだが、対象を魚に向けてほしいところだ。

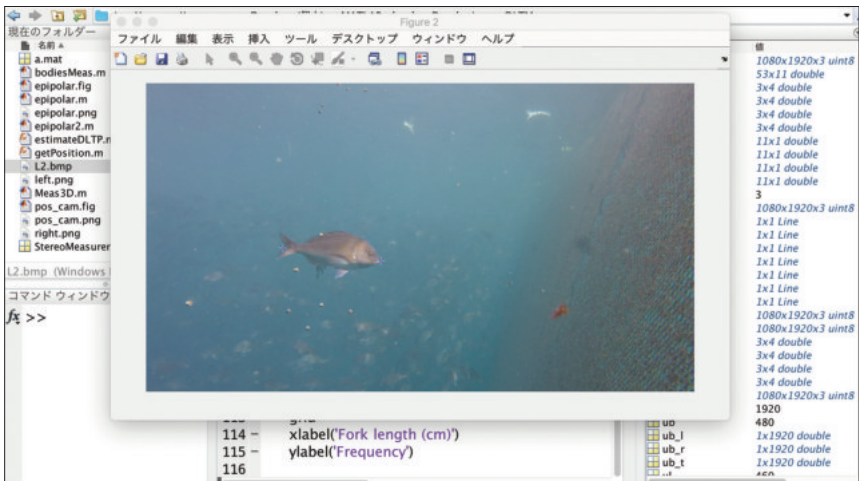


図 5.6 魚体長計測解析画面の一例。吻端と尾鰭を特徴点として検出して、3 次元空間上の長さを測る。

## 第6章

# 動物が好きな人へ

行動生態学をやドカリで紹介する



和田 哲

動物が好きな人とは普通、DNA の塩基配列が好きな人のことではない。犬や猫と触れ合ったり、魚を飼育したり、昆虫や貝の採集をしたりするのが好きな人のことだろう。そんな人たちにとって夢のような学問がある。動物をじっくり観察して、その動物がなぜそんな行動をしたのか仮説を立て、検証する学問。行動生態学だ。

僕は、おもに海岸のヤドカリを調べている生態学者だ。大学の教員なので、授業をしたり、会議に出たりしなければならないが、本当は研究活動のほうが好きだ。調査地である葛登支岬<sup>かつとし</sup>周辺の海岸（図 6.1）に出かけたり、採ってき



図 6.1 函館湾西岸の葛登支岬周辺の海岸で調査。対岸に見えるのは函館山。（山崎歩美さん撮影）



図 6.2 テナガホンヤドカリの交尾前ガードペア。大きいのがオスで、メスが入った貝殻を左鋏脚でつかんで持ち歩いている。(戸梶裕樹さん撮影)

## オスがメスを連れて歩く：交尾前ガード行動

葛登支にはホンヤドカリ、ヨモギホンヤドカリ、テナガホンヤドカリ、ケアシホンヤドカリ、ユビナガホンヤドカリ、イクビホンヤドカリ、ホシゾラホンヤドカリがいる。名前のおお、これらは全部ホンヤドカリ属の種だ。僕たちの研究室では末尾の「ホンヤドカリ」を省略して、ヨモギ、テナガなどと呼び、ホンヤドカリをホンヤドと呼ぶ。さて、海岸で観察していると、オスが左鋏脚（小さなハサミ）でメスの背負っている貝殻をつまんで持ち歩いているペアを見つけることがある（図 6.2）。このペアを採集して飼育すると、たいてい2〜3日以内に交尾をすませてメスが産卵する。つまり、オスは交尾間近なメスを持ち歩いているのだ。これを交尾前ガード行動という。

オスは、メスを交尾相手（配偶者）としてガードするわけだから、交尾前

## 第7章 海面の凸凹は海の天気図



上野 洋路

### 海面の凸凹と天気図

テレビの天気予報では、天気図を見ながら明日の天気の説明をするのが定番です。昔に比べて出番は少なくなりましたが、ほとんどの読者が天気図（大気の手気図）を目にしたことがあると思います。天気図を見ることで晴れか雨かを予想できるだけでなく、等圧線の向きや混み方から、風の向きや強さがわかります。この大気の手気図と似たような図を海についても書くことができます。その一つが海面の凸凹を表した図（海面高度マップ、図7.1）です。

ここで言う海面の凸凹は、風波やうねり、さらには潮汐による海面の上下のことではなく、1週間平均しても、海域によっては100年平均しても残る海面の凸凹のことを指します。また、図7.1を見るときは、0m、1mなどの値そのものではなく、水平的な差や傾きだけに注目してください。

図7.1から凸凹の大きさを読み取ってみると、多くの場合は数十cm程度、最大値と最小値の差でも2m程度です。多くのみなさんが、「それほど大きくはないな」という印象を持ったことと思います。しかし、海面は確かに凸凹していて、決して「水平」ではありません。また、この凸凹は流れの向きや強さと密接に関係していて、その関係は、まさに天気図における等圧線と風の関係と同じ。海面の凸凹は海の「天気」図と呼べる存在なのです。

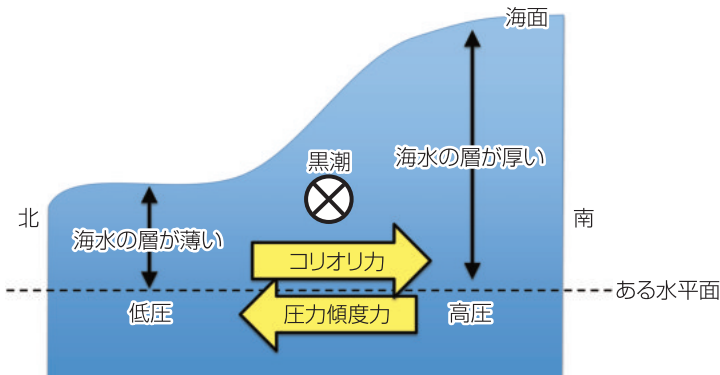
図7.1を見ると、北半分は青色が、南半分は赤色が多くの面積を占めていることがわかります。つまり、北半分では海面が低く、南半分では海面が高くなっていて、その境目には等高線が密集しています。この等高線密集帯、見覚えがある方も多いはず。そう、黒潮です。黒潮は、台湾の東岸沖から東シ

洋亜寒帯海域の渦の横断観測を実施するなど、海洋中規模渦の観測研究を進めてきました。

図7.4は、筆者が初めておしよろ丸に乗船した2009年6月の航海で観測した海洋中規模渦（キーナイ2006）の断面などを示したものです。この中規模渦は、2006年12月に米国アラスカ州キーナイ半島南方で形成され、アラスカ半島、アリューシャン列島に沿って西南西に移動したことが示されました。この渦は、2007年9月に米国の研究者によって観測されていて、渦中心に高温

### 解説 | 海面の凸凹と流れ

海面高度が急激に変わる海域に強い流れがあるメカニズムについて、簡単に紹介します。黒潮を北から南に（沖縄付近では北西から南東に）横断すると、図のように海面高度が急激に高くなります。海面下10mから数百m程度の水深に位置する「ある水平面」を考えると、その上部に載る海水の質量は、黒潮の北側で小さく、南側で大きくなります。「ある水平面」における圧力は、その上部に載る海水の質量で決まりますので、「ある水平面」では、黒潮の北側が低圧、南側が高圧になります。水平面上で圧力が異なると、高圧部から低圧部へ海水を動かそうとする力（圧力傾度力）が働きます。黒潮のような大規模な流れでは、この圧力傾度力と流れによるコリオリ力が釣り合った状態となっています。コリオリ力は、地球が自転していることによる力で、流れる方向に対して右側に働きますので、黒潮においては南向きに働きます。結果として、海面高度の違いはつねに保たれ、黒潮は流れ続けることとなります。また、コリオリ力は速度に比例するので、圧力傾度力の大きい等高線密集帯に強い流れ、黒潮が流れているのです。



黒潮の南北断面の模式図





## 第8章 北極海から氷がなくなる?!



野村 大樹

「北極海から氷がなくなる?!」。近年、よく耳にする言葉である。私がこの業界にいるからよく聞くだけかもしれないが、テレビやインターネットなどで、北極海から氷がなくなり、そこに棲むホッキョクグマが生きていけなくなる?! といった報道を見たことがある人も多いのではないかと。結論から言うと、北極海の氷が融けて減っているのは事実である (図 8.1)。この問題は、科学の分野ではもちろんだが、政治経済面においても、近年、関心を集めている。北極海の海水減少は、新たな商業航路の開拓、北極海での油田掘削、北極海沿岸諸国による領域権の拡大要求など、影響が非常に大きいからだ。

### 氷が融けるとなぜ困るのか

北極海などの極域は、近年の地球温暖化の影響が最も強く現れる地域の一つであり、早急な原因究明が必要とされる重要な研究対象地域である。たとえば、海に浮かぶ氷（海水という。図 8.2）や陸に降り積もった雪は、その「白さ」ゆえに太陽から注ぐエネルギーを反射し、地球表面の温度を下げる役割を果たしている。つまり太陽熱の反射パネルとして働く。しかし、海水の減少によって、海洋表面で吸収される太陽エネルギーが増加し、海水がさらに融けるという連鎖反応が、一層海水量の減少を加速するのである。そして、密度が低い融け水が海洋表層に滞ることによって、海洋循環が弱化し、極域における熱輸送に大きな影響を与える。また、ホッキョクグマやアザラシなど、海水上で生活の拠点とする動物にとって、海水の減少は、生命の存続にかかわる重大な問題になるであろう。



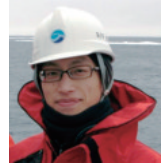
図 8.2 北極海スバル諸島付近の海氷の様子（2011 年 4 月，筆者撮影）

現在，日本では文部科学省の補助事業として北極域研究推進プロジェクト：ArCS（Arctic Challenge for Sustainability）が立ち上がっており，北大水産も本プロジェクトに参画し，北極海の海洋環境，生態系変動に関する研究を実施している。2017 年夏に，私は北海道大学低温科学研究所の研究チームに同行し，グリーンランド北部沿岸域での海洋調査を実施する機会を得た。前述のとおり，グリーンランドでは氷床融解が進行しており，融け水は海洋に供給される。この融け水が海洋表層の海洋環境・生態系に与える影響を評価することを目的として観測を実施した。以降，私が本観測で体験した現地での生活環境，観測の様子などを含め紹介する。なお，北極海のプランクトンについての詳細は，次章を参照されたい。

## グリーンランドへ

グリーンランド（人口 5.6 万人，デンマーク自治領，面積は日本の 5.7 倍）は，日本から遠く離れた北大西洋と北極海の間が存在する巨大な島である。我々

## 第9章 小さな生き物から地球を知る



松野 孝平

### 気候・環境変動

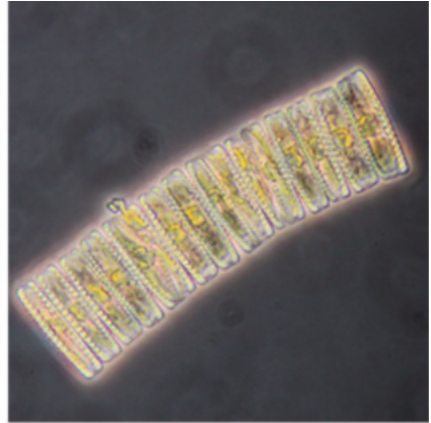
最近、テレビや新聞で「気候変動」という言葉をよく耳にするとと思う。これは気候が、さまざまな要因により、多様な時間スケールで変化することを意味する。つまりは、長い目で見ると、大気が暖かくなったり冷たくなったりしているということである。地球温暖化も広い意味でこの言葉に含まれる。変化している要因は未だに議論されているところだが、事実として地球上のさまざまな場所で気候・環境が変化している。この気候変動が地球上で最も進行しているのが、北極海である。

北極海は海氷に覆われた海だが、その海氷面積は季節によって変化し、毎年9月に最小、3月に最大となる。しかしながら、最近の気候変動により、夏に海水が溶け切ってしまうのではないかと懸念されている。実際に、夏の海水面積はこの20年でおよそ半分に減った（図8.1参照）。消滅した海水を面積で考えると、日本10.8個分に相当する。

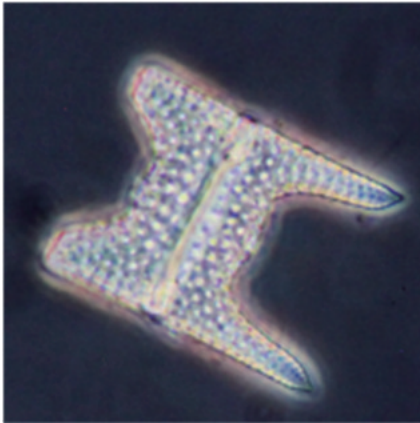
北極海で海水がなくなると、どうなるのだろうか？ 海氷は海の表面に浮いて、海に蓋ふたをしていると考えることができる。海水が溶けると蓋がなくなるため、まず太陽光が海中に届くようになる（図9.1）。そして、海水面が大気や日射によって暖められやすくなる。また、海氷がないと海水が風によってかき混ぜられやすくなる。つまり、海氷が海の表面を覆っている状態と比べて、溶けた状態では、大気や太陽光が海に対してより直接的に影響する。その影響は、そこに住む生物の環境を変えることにつながるかもしれない。私は、気候・環境変動というトピックを、寿命が短く、環境変動の影響を受けやすいと考えられているプランクトンから解明することを試みた。



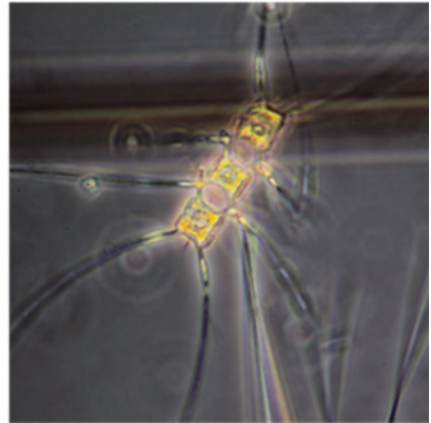
*Chaetoceros concavicornis*



*Fragilariopsis kergulensis*



*Eucampia antarctica*

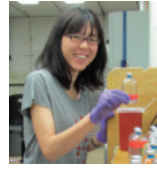


*Chaetoceros atlanticus*

図 9.2 海洋の植物プランクトン相に優占する珪藻類。写真は南極海の海水中に存在していたもの。黄色く光っている部分は葉緑体。さまざまな形態の種が存在する。

珪藻はケイ酸質<sup>から</sup>の殻を持つ。殻の形態のバリエーションは非常に豊富で、見ていて飽きない。浮遊性の珪藻類は運動器官を持たないため、自ら泳ぐことはできない。しかし、光合成を行うためには、海中で光の届く水深に留まる必要がある。そこで珪藻類は、細胞のサイズを小さくし、体の表面積が大きくなるような形態に進化してきた。細胞の体積に比べて表面積を大きくすることにより、水の抵抗を増やし、沈降速度を遅くすることができる。また、細胞内に油

## 第10章 覗いてみようミクロな世界 海の極限環境微生物を科学する



美野 さやか

微生物は、私たちの最も身近なパートナーであり、ヒトの健康はもちろん、私たちの住む地球も彼らの活動によって支えられている。私は“微生物生態学”という分野を中心に研究活動を行っている。微生物生態学とは、微生物と彼らを取り巻く環境や他の微生物、動植物との相互作用を調べる学問であり、その研究手法は微生物研究を大きく進展させてきたといっても過言ではない。この章では、海洋の極限環境の一つを紹介しつつ、そこに棲む微生物について、その研究手法や近年の研究を紹介したい。

### 海洋に棲む微生物の多様性を調べてみると…

最初に、地球上に生息する生物種数について紹介したい。動植物では約 870 万種が存在し、そのうち約 220 万種が海洋に生息すると推定されている。微生物のみに注目すると、現存するものはなんと 1 兆種を超え、海水中には 2 千万種以上が存在しており、海洋動物に寄生または共生する種を含めると 10 億種近くの微生物が生息すると推定されている。

細胞の数にすると、ティースプーン 1 杯の海水には、約  $10^6$  細胞（100 万細胞）の微生物が含まれている。全地球の海水中にいる微生物の細胞数を合わせると、 $10^{28}$  細胞にも達するといわれている。この数はなんと宇宙に存在する星の数の約 100 倍に相当するのである！ 海洋全体の約 98% が、太陽光が届かない 200 m 以深、いわゆる“深海”であることを考えると、そこに棲む微生物の多様性や生理生態を知るとは、地球上の生物の多様性を知る上でも重要と言えそうだ。



図 10.1 母船 ATLANTIS に吊るされる Alvin  
(Woods Hole Oceanographic Institution 提供)

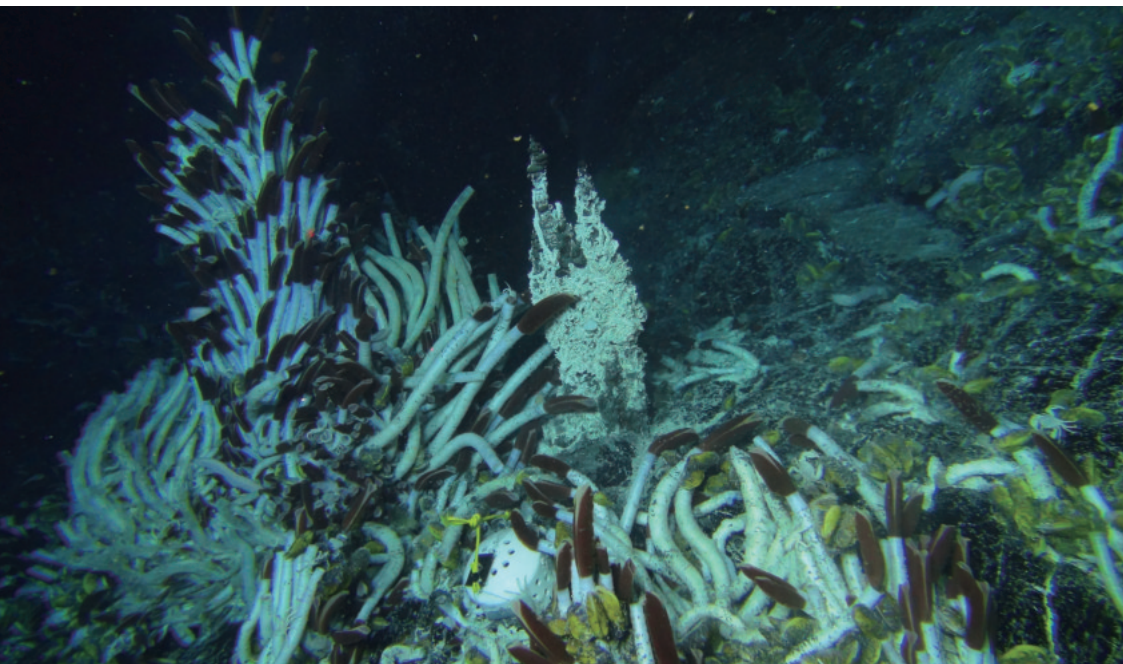


図 10.2 チューブワームとヒバリガイのコロニー。海底に咲く花のようにも見える。  
(Woods Hole Oceanographic Institution 提供)

# 第11章 海の遺伝子で薬をつくる?!



藤田 雅紀

## 水産なのに化学?

フグを食べるとあたる、青魚を食べると体にいい、クラゲに刺されると痛い、コンブからダシがとれる、微細藻類で燃料がつかれる、カニを茹でると赤くなる、カイメンから薬ができる。みなさんよくご存じの水の生き物に関するお話です（カイメンの話は聞いたことがないかな?）。実はこれらはすべて水産化学の研究領域なんです。水産化学は文字どおり水産生物に含まれる化学物質に関する研究です。考えてみましょう。上に挙げたものはフグ毒のテトロドトキシン、魚介類の EPA や DHA などの高度不飽和脂肪酸、クラゲのタンパク毒、コンブのグルタミン酸ナトリウム、微細藻類の炭化水素、甲殻類が持つ赤色素であるアスタキサンチン、クロイソカイメンの抗ガン物質など、すべて水の生き物が保有する化合物の機能・性質によるものです。厳しい生存競争を生き残ってきた生物が保有する物質に意味のないものなどありません。あったとしても、それはおそらくまだ人間が理解できていないだけです。すなわち水の生き物を捕まえてきて、不思議だな、面白いな、かわいいな、美味しいな、役に立つんじゃないかなと成分を調べれば、それが水産化学ということです。

## 海洋天然物化学の紹介

私は“カイメンから薬ができる”に関連する研究をしています。まず、自己紹介を兼ねてこの分野を説明したいと思います。私は理学部化学科出身で、卒業研究のテーマは細菌が生産する抗腫瘍物質でした。4年生になり卒業研究を

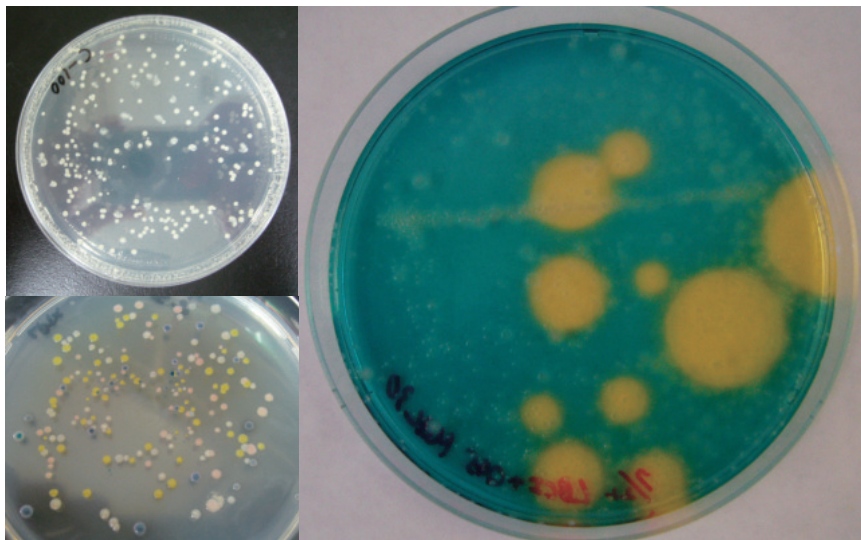


図 11.3 メタゲノムライブラリ (左上), 色素生産コロニー (左下), シデロフォア生産コロニー (右)。黄色い円の中心にいるコロニーがシデロフォアを生産している。

何か新しい方法はないかと考えていたとき、たまたま参加していた海洋生物に関する学会で、海洋細菌が生産する鉄結合物質（シデロフォア類）に関する講演がありました。そのなかで、鉄分が極度に不足している海洋において、細菌は必須栄養素である鉄を獲得するためにさまざまなシデロフォアを生産していること、そしてシデロフォアはシャーレ上で簡単に検出できることを知りました。シデロフォア類にはすでに医薬品として利用されているものもあり、またその多くは海洋細菌由来であるなど、今回のテーマにピッタリであるとひらめきました。

研究室に戻り、さっそくやってみたところ、果たしてコロニーの周りにシデロフォアの存在を示す黄色い円ができています (図 11.3 右)! まさかこれほど高頻度に、こんなにもはっきりと結果が出るとは思わず、最初は何かの間違いではと勘ぐったりもしましたが、繰り返しやってもはっきりと出る。半信半疑で黄色い円の中心にいるシデロフォア活性を示した組み換え大腸菌を解析してみると、確かに海洋細菌に由来するシデロフォアを生産するための遺伝子が見つかりました。こうして、海洋メタゲノムから、海洋生態系において重要であ