



海洋生物学：ゼラチン質プランクトンとの遭遇

深海まで行ける潜水艇の登場によって、クラゲなど、ゼラチン質のプランクトン(浮遊生物)の世界をのぞく新たな窓が開かれた。生物学者たちは、こうした深海の住人たちには驚くべき生態があることを発見しつつある。Carina Dennisが報告する。

原文：Close encounters of the jelly kind

Nature Vo.426(12)/6 November 2003 ; www.naturejpn.com/digest

湿っぽく、寒く、窮屈な空間で、小さな窓から濁った暗闇の中を何時間ものぞきこむ。これが仕事で満足感を得る秘けつだとは、とうてい思えない。しかし、海洋科学技術センター(神奈川県横須賀市)の生物学者 Dhugal Lindsay にとっては、これが彼の仕事における最上の時間なのだ。

Lindsay がそのような状況、つまり、海面下数千メートルの3人乗り潜水艇の中で過ごすのは、それが、クラゲやそのほかのゼラチン質の生物(あわせてゼラチン質プランクトンと呼ぶ)の世界を探る、もっともよい方法だからだ。よく知られたクラゲ(正確には刺胞動物という)から、繊毛を波打たせて進む有櫛動物(クシクラゲ)や、ゼラチン質の巻き貝、線虫、オタマボヤ(粘液の網を出して食物をとらえる、小さなオタマジャクシのような過摂食動物)まで、海は半透明な生物であふれている。しかし、研究者たちは、潜水艇が使えるようになるまで、海のこうした変わった動物たちのことも、そうした動物たちが濁った深海

で何をしているのかも知らなかった。

ようやく、Lindsay のような研究者たちが潜水艇を使えるようになり、研究の空白を埋め始めている。そして、彼らは自らが発見したものに驚いた。ゼラチン質プランクトンは海の生態系の中で私たちが考えていたよりもずっと大きな役割を担い、炭素が海の上層から海底へ、どのように循環しているかという長年の難問を解決するカギでさえあるかもしれないらしい。モントレイ湾水族館研究所(米国カリフォルニア州モスランディング)に所属し、同研究所近くの海でゼラチン質プランクトンを求めて潜水を行っている Bruce Robison は、「私たちはゼラチン質プランクトンの生態学的な重要性をひどく過小評価していた」と話す。

最後の秘境

私たちの多くにとっては、クラゲは、水族館で見ただけのもの珍しい生き物か、海水浴でできなくさせる迷惑な生き物といったところ

だ。だが、クラゲによって大きな問題を引き起こされる人たちもいる。漁師や沿岸住民は春や夏の繁殖期に起こる大量発生に毎年悩まされている。またクラゲは、稚魚や、魚がエサにしている小エビやプランクトンを食べてしまい、漁場を壊滅させる。船のバラスト水に潜んで移動し、遠く離れた海の生態系を乗っ取ることもある。冷却水を海から取り入れるパイプを詰まらせ、海岸近くの原子力発電所を停止させることさえある。

ゼラチン質プランクトンは、このように人間生活とのかかわりは深いが、海洋学者の研究対象からははずれがちだった。というのは、海洋学者たちが海洋生物学の対象として知りうるものは、おもに網の中に見つかる生物に限られるからだ。ゼラチン質プランクトンを網を使って採集すると寒天状の断片にちぎれてしまうので、網に残るものは少ない。採集する簡単な方法がないために、ゼラチン質プランクトンはまさに海洋学研究のはざまに落ちてしまっていたのだ。

1980年代に研究用潜水艇が世界各国で導入されて初めて、研究者たちはゼラチン質プランクトンの世界を探り始めた。科学者たちはまだ、なぞに包まれたゼラチン質プランクトンの世界の表面をようやくひっかいた程度にすぎない。研究用潜水艇の多くが潜れるのは水深1000メートルまでで、それ以上の深さの広大な世界は未調査のまま。海の平均水深は約4000メートルあり、太平洋のマリアナ海溝の水深は1万1000メートルに達する。水深1000メートルより浅いところに生息するゼラチン質プランクトンでさえ、潜水艇から観察されることはまれだった。ワシントン州立大学の海洋学研究所(同州フライデーハーバー)のゼラチン質プランクトン生物学者 Claudia Mills は「研究者たちは通常、バッテリーを消耗させないよう、ライトをつけずにできる限り急いで、海底まで潜水艇を潜航させる。だから、そこで展開されている『ショー』を見逃してしまう」と話す。Millsはゼラチン質プランクトンのことなら熟知している。彼女はクロクラゲの仲間の深海の新種、*Crossota millsae*を見つけ、彼女の名前がつけられたばかりだ¹。

Lindsayは、有人潜水調査船「しんかい6500」を利用できる、少数の幸運な生物学者の1人だ。しんかい6500は、世界でもっとも深くまで潜航できる潜水艇の1つで、6500メートルまで潜れる。だが幸運といっても、ちょっと変わっている。Lindsayがしんかい6500の中で味わう状況を望む人は、ほとんどいないだろう。1回の潜水は約8時間続き、その間、科学者、操縦士、副操縦士は、わずか4.5立方メートルの空間に詰め込まれる。「潜水艇の中は寒く、湿っていて、凍えるような気温だ。脚を伸ばすことさえできない」とLindsayは話す。温度は水深2000メートルを超えると2℃未満に下がり、乗組員は低体温症を防ぐために特別服を着なければならぬ。船体は、バッテリーの消耗を防ぎ、可燃性のガスタンクの温度が上がる危険を避けるため、温められていない。窓から外を見ることさえ容易ではない。舷窓が3つあるが、グレープフルーツよりも小さい。それより大きいと水圧で壊れてしまうからだ。

深海の曲芸

Lindsayは、それでもまだ足りないかのように、潜水中に使える時間をできるだけ多くするた

め、かなり極端な方法を採用している。彼は、しんかい6500の年間60回の潜航に2回以上乗れば幸運だと考えている。調査船の稼働時間は科学者間の取り合いなのだ。Lindsayは、乗船中は用便をしなくてすむようにして時間を節約している。「だれでも自分独自の方法を持っているもの。私は、体が脱水状態になるよう、前夜にウォツカを飲むことにしている」とLindsayは話す。コーヒーは、操縦士が注意力を維持するための最小限の量にとどめる。昼食をきちんと食べることは、Lindsayには時間の浪費に思える。だから、彼は血糖値を保つためにアメをなめることにしている。彼は、脱水状態ですわった姿勢のまま、額を窓におしあて、操縦士に方向を指示し、標本を集めるロボットアームを操作し、最高に興味深い生物をビデオで撮影しようとして何時間も過ごす。「これは曲芸みたいなものだ」と彼は話す。

壊れやすいゼラチン質プランクトンのそばで2万6000キログラムの船を操縦することは簡単ではない。調査船が推進エンジンを使うと、ゼラチン質プランクトンは船の側面に当たって飛び散るか、彼方へ飛び去ってしまう。「いつだって本当に欲しいものは、決して手に入らないものだ」とLindsayは残念そうに言う。

ゼラチン質プランクトンをつかまえた後も、それを深海から海上の屋の光の中へ運ぶという難問が残っている。ウッズホール海洋研究所(マサチューセッツ州)でゼラチン質プランクトンを研究しているRichard Harbisonはこう言う。「なんとかやつらを深海で容器の中に閉じ込めても、無傷のまま海面に持って帰れることはめったにない。完全にばらばらになってしまうことがよくある」。かよいゼラチン質プランクトンが海面へ移動する間の温度変化と物理的な揺さぶりに耐えて生き延びることは、めったにないのだ。

ほかにも問題はある。発光する獲物を食べるゼラチン質プランクトンは多い。発光する食物が捕食動物の目印になってしまうことを避けるため、ゼラチン質プランクトンは自分の消化器官を赤や黒の色素でカムフラージュしている。こうした色素は、光にさらされると致死的な毒に変わることがあるとLindsayは考えている。もちろん、潜水艇のヘッドライトも禁物だ。

Lindsayは痛恨の失敗を思い出す。「私はあんな赤いクラゲを捕まえようと4年間がんばっ

た。そしてとうとう私はそれを捕まえた。保護容器に入れて海面に持ち帰り、ビデオカメラで撮影を始めようとしたとき、うっかり、カメラのライトを最強にしてつけてしまった。クラゲは消化器官を吐き出し、私の目の前で数分ではばらばらになった」

こうした苦痛やフラストレーションには、大きな見返りがなければならぬ。Lindsayの場合、それは発見の喜びだ。「潜航のたびに、ほとんどいつも新種を発見する」と彼は言う。発見は、潜航の後でもある。乗組員は、Lindsayに説得されて降下中もライトをつけるようになった。Lindsayとこの乗組員が撮影したビデオは、深海のたくさんの生物を明らかにした。今のところ、ゼラチン質プランクトンの種類は約2000種とされる。深海には間違いなく、さらに多くの未発見の生物が潜んでいる。

新種だけでなく、ゼラチン質プランクトンの数も研究者たちを驚かせた。「中深層のバイオマス(生物量)のうち、どれだけがゼラチン質生物なのかは発表された記録がない。網を使った研究では1%から2%とみられていたが、潜水艇での調査では50%を超えるように思える」とLindsayは話す。

クラゲだらけ

米海洋漁業局のオレゴン州ニューポートの支所に所属するRichard Brodeurは、最初は魚の研究に興味を持っていた。だが魚の研究はあきらめ、クラゲの研究をすることになった。「私たちは、魚の調査をやり終えることができなかった。海中にあまりに多くのクラゲがいたからだ。私たちが探している魚をつかまえるまでに、網はクラゲでいっぱいになってしまったものだ」と彼は話す。Brodeurは、ボスドクのCynthia Suchmanとともに、オレゴン州沖合いの海中の総バイオマスのうち、巨大なクラゲ、シーネットル(*Chrysaora fuscescens*)が占める割合を推定した。その結果、それはカイアシ類に匹敵することが分かった。カイアシ類はどこにでもいる海の甲殻類で、海中の炭素のうち相当量を占められていると考えられている。「ゼラチン質プランクトンは、海の炭素バイオマスの主たる担い手といえる」とRobisonは結論づけた。

ゼラチン質プランクトンの行動の理解は、潜水艇による調査で飛躍的に進んだ。ゼラチン質プランクトンは海水の流れにまかせて漂

い、偶然見つけた獲物をつかまえるだけの肉食動物だと考えられてきた。しかし、ゼラチン質プランクトンの中には、海面近くのプランクトンやオキアミを食べるため、夜の闇にまぎれて深みから上昇し、食べた物の消化は深いところで行うため、ふたたび潜航するものがあることが分かっている。

同類のゼラチン質プランクトンを食べるために、独特の特徴を進化させたものもある。例えば、ウリクラゲ (*Beroe*) という科のゼラチン質プランクトンは、歯のような繊毛のついた口みたいな袋だけでできていて、この口でもっぱらほかのゼラチン質プランクトンを食べる。「海のバイオマスのかかなりの割合は、お互いを食べ物としているゼラチン質プランクトンの体が占めている」と Robison は言う。彼はこの複雑な状況の中で、何が何を食べているかを解明しようとしている。「ゼラチン質プランクトンどうしの共食いが、食物網の本流とどう結びついているのかはまだ分かっていない」と彼は言う。

もっと根本的に複雑な問題は、ゼラチン質プランクトンが食物連鎖の底辺の栄養分を直接摂取しているらしいことだ。ゼラチン質プランクトンは、水中に漂う栄養分を軽い食事としてその「皮膚」から吸収できることを示す研究結果がある^{2,3}。Lindsay とポスドクの三宅裕志は現在、こうした炭素源がさまざまなゼラチン質プランクトンの成長にどう影響するかを調べている。

ゼラチン質プランクトンは食物網の中で多様な役割を持ち、その数は膨大だ。このため、ゼラチン質プランクトンを調べることで、海の生態系の中で炭素がどう循環しているのかという未解決の問題を解くことができるかもしれない。海洋学者たちは長い間、海底に生息する生物が、その成長を支えるだけの有機物をどうやって得るのかを解明しようと苦労してきた。もっとも明らかなる有機物源はマリンスノーだ。マリンスノーは、微小なプランクトン、魚の排せつ物、脱皮した外骨格、死んだ生物などで、漂いながら絶え間なく海底に降り注ぐ。しかし、それらをすべて足し合わせても足りない。海底に生息する生物すべてを養うには、マリンスノーだけでは足りないのだ。いくつかの研究では、数値が大きく変化する余地はあると考えられるものの、この不足分は約 55% と見積もられた⁴。

炭素供給源

モントレイ湾水族館研究所の海洋学者 Steve Haddock は「ゼラチン質プランクトンは、今まで見落とされていた方程式の一部なのかもしれない」と話す。ゼラチン質プランクトンの本当の量と、その炭素吸収能力を考えると、死んだゼラチン質プランクトンが大量の炭素を海底に供給しているとみられる。また、生きているゼラチン質プランクトンは、人間が死んだ皮膚を落とすように、ときどき、その表面から粘液の小滴を出す。オタマボヤは、食物をつかまえるときに使う粘液の網をじゃまになると捨てるので、これもゼラチン質プランクトンの粘液放出の一部をなす。こうした小滴が水柱の中を沈んでいくと、増加する水圧によって圧縮され、下方向へ加速される。「こうした小滴はとて大きく、炭素に富んだ高速の粒になり、その大きさは握りこぶしぐらいになって深海の海底に達する。こうした粒が含んでいる炭素は、海底に届く炭素の大きな割合を占めている」と Robison は話す。

ゼラチン質プランクトンが見せてくれた最後の驚きは、それらとほかの生物との近い結びつきだった。網にかかる漁獲物から、互いに近くに存在しているところを見つかることが多い甲殻類があることが知られていた。しかし、彼らがどうやってうまく一緒にいることができるのかはなぞだった。潜水艇での観察で、彼らはゼラチン質プランクトンの上に一緒に乗っていることが分かった。

それはもっともだ。ゼラチン質プランクトンは、多くの甲殻類にとって隠れ家と食料になりうる。甲殻類はゼラチン質プランクトンのひだに隠れたり、かじって食べたりするからだ。Haddock と、その同僚で、メキシコ・チェトゥマルにある海洋学研究を行っている南部フロンテア大学 (ECOSUR) の Rebeca Gasca は、カリフォルニア湾での最近の調査で、オオトガリズキンウミノミ (*Oxycephalus*) とよばれる甲殻類が、その子供をクシクラゲの上で育てるのを発見した。また、中深層でもっとも大きなクラゲの 1 つで透明な寒天の薄い袋のように見える *Deepstaria enigmatica* が、ほぼいつも *Anuropus* とよばれる甲殻類を 1 匹か 2 匹併い、一緒に生活していることを、深海を調べた多数の研究者が観察している。「彼らがどうしてこうした関係を持つのかや、彼らが広い海の中でどうやって互いを見

つけるのかは分かっていない。深海にはたくさん不思議なことが起こっている。私たちは、まだそれを理解し始めたばかりだ」と Haddock は言う。

ゼラチン質プランクトン研究者たちが残っているなぞを解くには、中間的な深さでの研究に最適化された潜水艇がもっと必要だろう。「ほとんどの潜水艇は海底での作業にあわせて設計されている」と Lindsay は話す。のぞき窓は下に向いていることが多いし、潜水艇の多くは浮力を相殺することができないため、ある動物を追うには推進エンジンを使わなければならない。

ワシントン DC の米国科学アカデミーは現在、今後の深海科学に必要なものと、将来の海洋調査における調査船の役割について検討している⁵。報告書はまもなく発表されるとみられている。委員会のメンバーは報告書の内容についてのコメントを避けたが、報告書には、中深層に適した新しい潜水艇、あるいは古い潜水艇の改良の勧告が盛り込まれることになりそうだ。「ゼラチン質動物研究の黄金時代を迎える用意はできている。さまざまな技術が結集されつつあり、ゼラチン質プランクトンたちは注目を浴びようになるだろう。彼らにはその価値がある」と Haddock は熱っぽく語る。

将来、ゼラチン質プランクトン研究の大部分は、ロボット潜水艇に取りつけられたビデオカメラを使って行われるだろう。ロボット潜水艇は低コストで作れ、シンプルで小さく、長時間潜水できるので、有人潜水艇よりも多くのデータを集めることができる⁶。しかし、研究者たちは有人潜水艇の使用をやめるつもりはない。「人間の目に勝るものはない」と Lindsay は言う。カメラは現場の奥行きを常に伝えることはできないし、複数の対象に同時に焦点を合わせることできない、と彼は指摘する。窮屈な足元、深夜のウォツカ、凍えるような寒さにもかかわらず、Lindsay は今後も自分自身で深海へ降りて行き続けることを望んでいる。 ■

Carina Dennis はネイチャーのオーストラレーシア特派員。

1. Thuesen, E.V. *Zootaxa* 309, 1–12 (2003).
2. Shick, J.M. *Biol. Bull.* 148, 117–140 (1975).
3. Haddock, S. H. D., Rivers, T. J. & Robison, B. H. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 98, 11148–11151 (2001).
4. Smith, K. L. & Kaufmann, R. S. *Science* 248, 1174–1177 (1999).
5. <http://dels.nas.edu/deepsubmergence>
6. Clarke, T. *Nature* 421, 468–470 (2003).