

「深海」に生きる



文・図 遠藤 広光 えんどう ひろみつ
高知大学教育研究部自然科学系理学部門教授

高知大学理学部卒業。1995年北海道大学大学院水産学研究科博士後期課程修了。博士（水産学）。1995年新技術事業団特別研究員として東北水産研究所八戸支所に勤務。1996年高知大学理学部助手、講師、助教授、准教授を経て現職。専門は魚類の分類と系統。とくにタラ目魚類の系統進化、ソコダラ科、アシロ科やアカグツ科など深海性魚類の分類。

さまざまな形と謎に満ちた生態をもつ深海生物は、古くから人々の関心を集めてきました。近年、潜水艇などの深海調査船や遠隔操作の無人探査船による調査で得られた膨大な映像、採集された標本の遺伝子解析や形態観察から、「深海生物」の謎が少しずつ解き明かされています。現在では深海生物の写真や映像はインターネットでも気軽に楽しむことができます。また、テレビ番組で取り上げられることも多く、一般向けの書籍も増えてきました。

連載第3回では、厳しい環境に適応し進化してきた深海生物について、魚類を中心にご紹介します。

「深海生物」とは？

広大な深海には、微小な細菌から巨大なマッコウクジラまで多種多様な生物がすんでいます(図1)。水深200mよりも深い海で一生を送るか、多くの時間を過ごすものは深海生物といえるでしょう。たとえば、マッコウクジラは、深海にすむダイオウイカなどをえさとするため、一生の3分の2を深海で過ごします。このような種は、深海生物に含めてもよいかもしれません。目に見える大きさの深海生物は、巨大な真核単細胞生物(有孔虫類など)と、さまざまな多細胞の動物(表1)に分類され、生活様式により海中を漂うプランクトン、遊泳するネクトン、そして海底にすむベントスに大別されます。

深海生物のなかには、一生あるいは1日のうちに表層近くと深海の間を移

動するもの、利用するえさや繁殖のために、すむ水深や海域を変えるもの、そして一生深海底から離れないものもいます。このような生活史や生態の特徴は、それぞれの種が厳しい深海の環境へうまく適応し、進化してきた結果といえます。

深海の環境

中深層(水深200~1000m)には海面からわずかな光が届くとはいえ、深海は高水圧と低水温の暗黒の世界で、その容積は全海水の95%を占める広大な空間です。水圧は海面で1気圧、そこから10mごとに1気圧ずつ増え、水深5000mでは501気圧にもなります。生物の体をつくるタンパク質の構造を変えるほどの圧力です。

水温は緯度や水域により異なります

表1 深海生物に含まれる動物界の主なグループ(動物門と通称)

海綿動物門	カイメン
刺胞動物門	ヒドラ、イソギンチャク、クラゲ、サンゴ
有孔動物門	クシクラゲ
線形動物門	センチュウ
環形動物門	ゴカイ、ウロコムシ、チューブワーム(多毛類)
軟体動物門	巻貝、二枚貝、イカ・タコ(頭足類)
節足動物門	ウミゴモ、カイアシ類、エビ・カニ・タカリ(甲殻類)
棘皮動物門	ウミユリ、ウニ、ナマコ、ヒトデ、クモヒトデ
脊索動物門	ホヤ、サルバ、魚類

が、水深1000mまでは急激に下がり、それ以深では5℃以下、水深2000~3000mでは4℃以下に、さらに深くなると1.5℃前後です。

生物の量は表層(水深0~200m)から中深層上部が多く、それより深い層ではきわめて少なくなります。水に溶けている酸素の量も表層近くに比べると次第に少なくなり、水深700~1000mの間にはきわめて少ない層が存在します。これは表層から落ちるプランクトンの死骸やふんなどの有機物(マリンスノー)を細菌類が分解し、酸素を消費するためです。この層は、呼吸のために酸素を必要とする動物には特に厳しい環境といえるでしょう。

深海での潮の流れはゆっくりで、年間を通してほとんど変化のない安定した環境です。一方、深海底には高温の



図1 深海底びき網調査で採集された、さまざまな魚類(左)と無脊椎動物(右)(紀伊半島沖、水深2000m)。

熱水が噴出する環境が存在し、そこには独特の生物群集が見られます(次号の本連載で解説)。また、深海底の湧水やクジラ類の死骸に形成される生物群集も知られています。

日周鉛直移動

多くの深海生物の幼生や仔稚魚は、えさとなる小型のプランクトンが豊富な表層から中深層上部で過ごします。これは光合成を行う植物プランクトンが表層付近にのみ分布するためです。その後、成長とともに成体のすむ水深へと移動します。また、中深層にすむ小型甲殻類のカイアシ類や魚類のハダカイワシ科のなかには、夕暮れ時に表層近くまで浮上し、夜間に小型の動物プランクトンを食べて、早朝には深海へ戻るといった垂直方向の回遊(日周鉛直移動)を毎日行うものもいます(図2)。日中に明るい表層近くにとどまると、捕食者にすぐ発見されますが、夜間には見つかりにくくなるのが、移動の大きな理由の一つです。また、ハダカイワシ科では、鉛直移動の距離や水深などが種によって異なり、生息する水深から移動しない種もいます。移動する種のうきぶくろは、水圧の急激な変化を受けにくいように、小さくなる(体積変化が少ない)傾向にあります。うきぶくろの中をガスの代わりに脂質で満たす種もいます。これは、さらに水圧変化の影響を少なくするための適応です。

摂餌と省エネ戦略

前項で述べた日周鉛直移動は、小型の深海生物の摂餌と捕食者を避ける戦略ですが、水温の高い表層付近から低い深海へ戻ると、体が使う基本的なエネルギー(代謝)の消費量を低く抑えられるという利点があります。えさの乏しい深海では、出合ったえさを確実に捕食し、エネルギーをなるべく使わないことが生存には

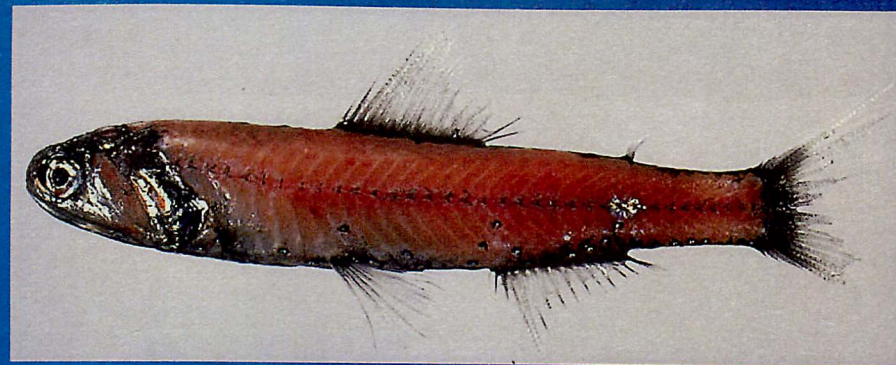


図2 中深層にすむハダカイワシ *Diaphus watasei*。大部分の皮膚ははがれ、うろこは脱落しているが、側線鱗2枚と体下方にある発光器が見える。

有利に働きます。また、深海魚のなかにはホウライエソやワニトカゲギス、チョウチンアンコウ亜目のように、大きな口に長く鋭い歯が並び、内側に倒れるヘビのような歯列をもつものもいます(図3)。これは捕らえた獲物を逃さない構造です。また、クロボウズギス類は伸縮自在な胃袋をもち、大きな獲物を丸のみにします。

体が使うエネルギー量を抑える方法は、筋肉の量を少なくして必要以上に動かないことです。つまり、積極的に泳いでえさを探すよりも、待ち伏せ型の捕食者である方がエネルギーを節約できます。また、泳がずにいることは、触手を伸ばしてえさを待つクラゲやクシクラゲ類などの捕食者に出会う危険が減ることにもなります。

海底から離れて生活する深海生物は、浮力を維持するために、体を含む水分や脂質の量を増やす傾向にあります。たとえば、中深層や漸深層(水深1000~3000m)にすむ深海魚は、水分を多く含む軟らかい骨と筋肉が少な

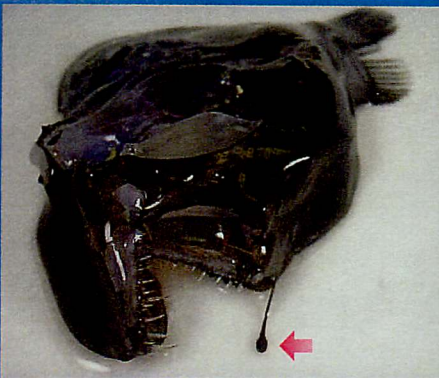


図3 深層にすむベリカンアンコウ *Melanocetus johnsoni* の大きな口と鋭い歯。釣りざおの先端のふくらみは擬餌状体(矢印)。

く寒天質の多い体をしています。また、サメ類の大きな肝臓は脂質を多く含むため、浮力の助けとなります。さらに、頭足類(イカやタコ)のなかには、水よりわずかに軽い塩化アンモニウムを体に多く含むことで、浮力を得るものがあります。

感覚器官の進化

生物が作る光(生物発光)や表層からの光を見る深海魚の眼は、よく発達しています。また、その眼も何をどう見るかにより多様な形状を示します。たとえば、中深層の下部にすむ魚類のデメニギスは、頭部の背面を覆う透明なシールドの中に上方を向いた筒状の眼をもちます(図4)。この筒状の眼は、中深層にすむ魚類のうち、ボウエンギョやデメニギスなど11科にみられ、上方を見上げてえさ生物の影を探すために、ごく弱い光を効率よく集める構造になっています。デメニギスの口は小さく、頭の前方下側に開くため、上方を向く筒状の眼では口元が見えそうにありません。えさを食べる際には、一体どうするのか謎でした。この疑問は最近の無人探査船での観察により、可動式の眼が前方へ傾くことがわかり、解決しました。

一方、視覚に頼らない深海生物の眼は小さく、著しく退化しているものもいます。視覚以外で周囲の情報を把握するには、水中に伝わる振動や音、体から出るわずかな電気、磁場、化学物質を感じる器官が発達します。多くの深海魚は、ほかの動物の動きによって生

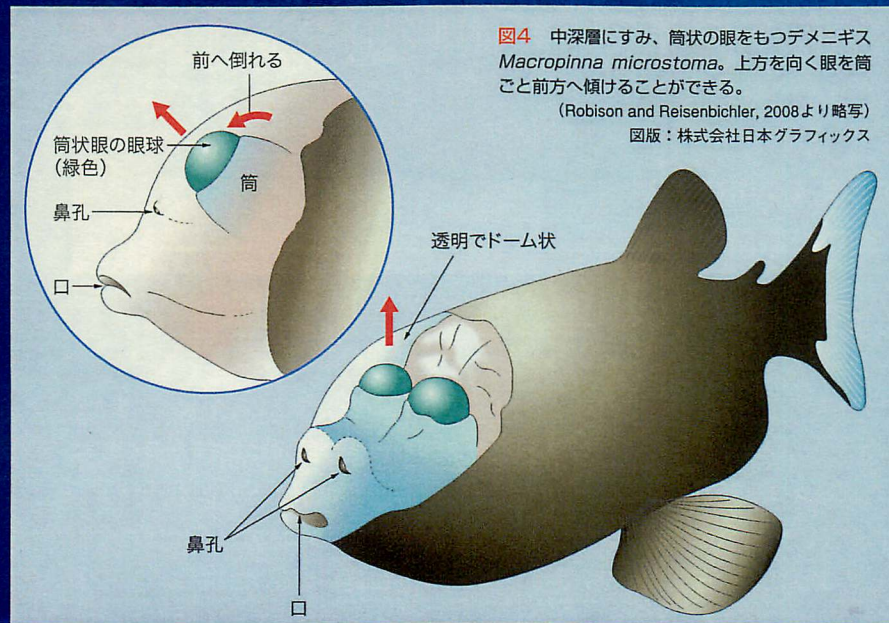


図4 中深層にすみ、筒状の眼をもつデメニギス *Macropinna microstoma*。上方を向く眼を筒ごと前方へ傾けることができる。(Robison and Reisenbichler, 2008より略写) 図版：株式会社日本グラフィックス

じる水流の乱れや、発した音の振動を敏感に感知します。その感覚器官は、頭や体の表面に配置された側線と感丘という神経の器官、ひげや長く伸びたひれ、頭部の内耳にある耳石を含む聴覚系の器官です。眼が小さく退化的なサンキャクウオ類は、海底上に静止して、長く伸びた胸びれをアンテナのように広げてえさ生物を待ち伏せします(図5)。

生物発光

暗黒の深海では生物発光が意外に多いことが知られており、発光細菌との共生による“借り物の発光”と“自力発光”に分けられます。いずれも、化学物質のルシフェリンと酵素のルシフェラーゼの反応によります。深海での発光には、捕食者から逃



図5 深海底で撮影されたオオイトヒキイワシ *Bathypterois grallator*。体全体の様子(左)と、海底に静止して餌生物を待ち伏せしているところ(右)。「潜水調査船が観た深海生物」より転載 © JAMSTEC

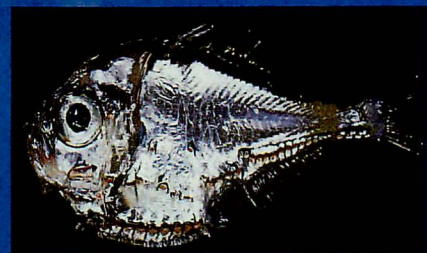


図6 中深層にすみ小型の深海魚カタホウネンエソ *Polypinus stereope*。カウンターシェーディングに適した体色と発光器をもつ。

中深層で隠れる効果を上げます。小型の甲殻類や魚類のなかには、捕食者に襲われると発光液を出して逃げるものがあります。発光液は捕食者の眼をくらませます。もしも体にこの発光液が付着すると、その捕食者はより大型の捕食者に狙われてしまいます。生物発光の大半は青白い光ですが、一部では緑色や赤色の光もあります。たとえば、魚類のオオクチホシエソは、赤色の光をえさ探しのサーチライトとして使います。えさとなる深海生物はこの赤色の光を認識できません。

深海生物の発光器にみられる性的二形(=同種のおすとめすにみられる体の大きさ、形や模様などの違い)は、甲殻類のオキアミ類や頭足類、魚類のハダカイワシ科では比較的良好に知られています。雌雄では発光器の大きさや数、位置が多少異なりますが、発光位置の違いや点滅パターンなどが実際に信号としてどう使われているかは観察されていません。

繁殖戦略

広大な深海で繁殖して子孫を残すためには、つがう相手を見つける必要があります。チョウチンアンコウ亜目の性的二形はよく知られ、黒く丸い体と巨大な口、釣りざおの先端に発光器をもつ個体は、すべてめすです(図3)。おすはいずれも体が非常に小さくて、形態も異なり、めすの体に付着して寄生生活を送る種も多く知られています。おすの嗅覚器官はめすに比べて大きく発達していますが、その理由は、め



図7 クジラウオ類のめすと判明したクジラウオ科の *Gyrinomimus bruuni*。全長10cm。国立科学博物館所蔵 撮影：渋川浩一

すの出す匂い物質(性フェロモン)を感知するためだと考えられています。これは広大な空間で出会う機会を逃さない戦略といえます。

また、最近、クジラウオ亜目の遺伝子と形態の研究から、3つの科に分けられてきたクジラウオ科、ソコクジラウオ科、そしてリボンイワシ亜科(トクビレイワシ科)は、それぞれ1つの科のめすとおす、幼魚であることが判明しました。クジラウオ科はその名前の通り、一見クジラを連想させる顔と体型で、口が非常に大きく、大型のえさを食べることができます(図7)。そもそもクジラウオ類の標本は大変少ないのですが、これまでに知られていたクジラウオ科の標本は不思議なことにすべてめすでした(図8)。リボンイワシ亜科とされていた幼魚は、尾びれの後ろがリボン状に長く伸びています(図9)。これは浮遊生活のための適応か、体を大きく見せて捕食者をだますためか、あるいは長く伸びるクダクラゲ類への擬態とも考えられています。この幼魚期には外洋の表層近くにすみ、カイアシ類などの小型の動物プランクト



図8 クジラウオ類のおすと判明したソコクジラウオ科 *Ataxolepis apus*。全長6cm。米国スミソニアン自然史博物館所蔵 撮影：G. David Johnson 提供：John Paxton



図9 高知県宿毛市沖の島で撮影されたリボンイワシ *Eutaeniophorus festinus*。クジラウオ類の幼魚と判明した。「日本の海水魚」(山と溪谷社)より転載 撮影：中町雅典

でに親と似た体型であることが多く、すぐに親と同じ生息場所へ定着できます。この場合には、表層付近で育つ幼生や仔稚魚に比べて、はるかに生存率が高く、深海底での生活に適した繁殖様式といえます。

おわりに

深海の特異な環境にうまく適応した深海生物は、さまざまな形態や生態、生理、生活史を進化させてきました。未知の領域にすみ深海生物には、まだ膨大な謎が残されています。最も深いマリアナ海溝の水深1万900mでは、小型甲殻類のカイコウオオソコエビやナマコ類が確認されています。しかし、深海生物の情報はきわめて断片的で、その多様性を十分理解するには、さらに多くの調査や研究が必要でしょう。 m

【参考文献】

- 藤倉克則・奥谷喬司・丸山正 編著：『潜水調査船が観た深海生物』487pp. 東海大学出版会 (2008)
- Johnson GD et al.: Deep-sea mystery solved: astonishing larval transformations and extreme sexual dimorphism unite three fish families. *Biology Letters*, 5: 235-239 (2009)
- 北村雄一：『深海生物ファイル』240pp. ネコ・パブリッシング (2005)
- 北村雄一：『深海生物の謎』206pp. サイエンス・アイ新書、ソフトバンククリエイティブ (2007)
- 北里洋・大河原にい葉：深海にいる巨大な真核単細胞生物—有孔虫とゼノファイオフォア。生物の科学『生物の科学 遺伝』62(4): 35-40 (2008)
- 近江谷克裕：『発光生物のふしぎ』224pp. サイエンス・アイ新書、ソフトバンククリエイティブ (2009)
- 岡本誠：深海魚の初期生活史。生物の科学『生物の科学 遺伝』62(4): 21-26 (2008)
- ヘリング P (中山宗雄訳)：『深海の生物学』430pp. 東海大学出版会 (2006)
- Robison BH and Reisenbichler KR: *Macropinna microstoma* and the paradox of its tubular eyes. *Copeia*, 2008(4): 780-784 (2008)
- 齋藤宏明：『海のトワイライトゾーン—知られざる中深層生態系—』141pp. ベルソープブックス, 034, 成山堂書店 (2010)
- Widder EA: Bioluminescence in the ocean: origins of biological, chemical, and ecological diversity. *Science*, 328: 704-708 (2010)