

魚は何を見ているか

赤金の、水の純質の、鏡のように平たい、輝やく眼

——「魚」D・H・ロレンス³⁾(安藤一郎訳)

視覚、嗅覚、聴覚、触覚、味覚と、感覚は五つあることになっている。じつをいうと、これは最少にしぼった数だ。考えてみてほしい。もしよろこびを感じなかったら、人生はどんなに退屈なところか！ また、痛みや苦しみがなければどんなによいだろうと思うけれども、もし熱いコンロに手がふれているのに気づかなかったら危険きわまりない。平衡感覚がなければ自転車に乗るところか、うまく歩くことすらできないだろう。圧力を感じなければ、ナイフとフォークをまともに扱うのに四苦八苦するにちがいない。長い時間をかけて進化した生物は知覚が発達していると考えられるが、魚にも高度に発達したさまざまな知覚がある。

わたしは学生時代に動物行動学を学んだが、そのころ知った概念のなかで好きなものの一つが環世界である。この概念は、二十世紀初頭にドイツの生物学者ヤーコプ・フォン・ユクスキュルが提

唱した。環世界とはその生物の固有の感覚世界だと考えればよい。生きものの感覚器官はさまざまだから、同じ生息域に棲んでいても世界の感じ方は種によって違うだろう。

たとえばフクロウやコウモリやガは夜間に飛びまわるが、体のつくりの違いから環世界もそれぞれ異なると考えられる。フクロウが獲物を捕まえるときにはおもに視覚と聴覚を頼りにする。コウモリも聴覚を使うが、そのやり方はフクロウとはまったく違う。高周波の鳴き声を発し、それが何かにぶつかった反響を受け止めてそのものの位置を知る。これをエコーケーション（反響定位）というが、コウモリはこの方法で飛び、狩りをする。また、いま挙げた三つの生きもののうち、ガは無脊椎動物だから、その環世界はわたしたちの環世界と最もかけ離れているだろうが、ガが非常に視力がよいこと、また嗅覚も鋭く、繁殖相手の出すにおいを遠くから嗅ぎつけられることはよく知られている。どんな感覚のはたらかせ方をしているかは、その生物が世界をどう感じとっているかという謎の解明にいくらか役立っている。

魚は水中で進化した生物なので、その環世界はわたしたち人間のそれとは違っていると考えられる。だが、進化は設計者として保守的で、簡潔を旨とする。その好例が魚の目だ。まぶたがないことを別にすれば、魚の目は人間の目とよく似ている。人間を含むほとんどの脊椎動物の目玉と同様に、魚の眼球も三対の筋肉で上下左右に回転させられる。また毛様小帯と毛様体筋のはたらきで、魚はエアポンプから立ち上る泡に焦点を合わせられ、二本足で直立した生きものは水槽の外側からそれを見つめることができる。陸生生物の祖先である初期の魚がこのような視覚システムを発達させたからである。小さい魚では眼球が回転しているのがわかりにくい、今度水族館へ行ったら水

槽に近づいて、大きい魚をよく見てみてほしい。どこかに目を転じるときに眼球が動いているのがわかるはずだ。

魚の目は屈折率の大きい球形レンズで——屈折率は真空中の光速を媒質（この場合はレンズ）中の光速で割った値——それによって水中でもわたしたちが陸で見ると同じようにはっきりものを見ることができ⁴る。いうまでもないが、魚は傷つきやすい目の表面をうるおわせるための涙腺も涙管もないし、まぶたもない。水中にいたので眼球がつねにきれいであるおっているから、その必要がないのだ。

タツノオトシゴ、ギンポ、ハゼ、カレイは目の筋肉構造がもっと複雑で、カメレオンのように左右の眼球を別々に動かすことができる⁵。だとすると、そういうことのできる生きものは二つの視野を同時に処理できるとしか考えられない。人間の脳がしていることはまったく違うようだが、意識的に制御できる二つの視野があるとどういうことになるのかを想像しようとしても、わたしの環世界の限界をはるかに超えていて、宇宙の果てがどうなっているかを考えるのとまるで変わらない。イスラエルとイタリアの研究者グループが別々に動くカメラを取りつけた「ロボットの頭部」を製作してカメレオンの視覚システムをシミュレーションしているが、その情報を一つの脳がどうやって処理しているかまで踏み込んでいる研究をわたしは知らない。隣の枝にとまっているむちりしたバッタを片目でにらみ、もう片方の目でそれにうまく近づけそうな枝を探しているカメレオンは二つのことを同時に考えているのだろうか。タツノオトシゴはパートナー候補に片目で色目を使いながら、こっそり近づいてくる捕食者をもう片方の目で追うことができるのだろうか。わたしのシ

ングルタスクの脳では、とてもそんなことはできない。新聞を読みながらネットラジオで音楽番組を聴けば、二つのあいだを行ったり来たりすることはできても、両方を同時にというのは無理だろう。

それにカレイに世界がどんなふうに見えているのかもわからない。とくに幼魚はどうなのだろう？ カレイの子はふつうの魚と同じかたちをしていて、目が顔の左右に一つずつつき、縦になって泳ぐ。それが成長するにつれておかしい姿に変身する。片方の目が顔の反対側に移動するのだ。まるでゆっくり時間をかけて、切ったり縫ったりせずに整形手術をしているようではないか。いや、ゆっくりとはかぎらない。ヌマガレイならたった五日で移動が完了するし、一日すらかららない種もいる⁷。不安でいっぱいの子思春期をすごす魚がいるとしたら、このカレイにちがいない。

両眼が顔の片側に寄っている不細工さと引き換えに、カレイはすばらしい立体視の能力を手に入れた。二つの目は競いあうように張り出していて、なおかつ別々に回転する（カレイとその仲間らは自分で自分を見てドキッとする唯一の魚かもしれない）。海底の砂や岩の上に横たわって巧妙にカムフラージュし、何も気づかずに通りかかった不運な小エビなどを目にもとまらぬ速さで一撃する。立体視はそんな生活様式に役立つ適応である。奥行知覚にすぐれたカレイは、待ち伏せしてタイミングを見計らうのが得意だ。

カレイなどの体の平たい魚にとって、目が片側に移動するのが生き残り戦略として有効なのは明らかである。そういう魚は、カレイ、ヒラメ、オヒョウ、ウシノシタなど、六五〇種以上を数える。カレイは左目が右に移動したあと左半身を下にするが、ヒラメはその逆だ。だが、せっかくうまく

適応したのに、現在、大西洋では多くの種が乱獲の憂き目に遭っている。

南米から中米にかけての沿岸の汽水域に棲むヨツメウオは、別のやり方で視界を広げている。自然の多焦点レンズを使うのだ。グッピーの類縁であるこの魚は網膜を上下に分割し、その境界線を水面に合わせて泳ぐ。水面から出た部分は水面より上を見るのに適した視覚に、水面より下の部分は水中環境に合った視覚になっているのである。さらに遺伝コードに柔軟性があるので、目の上部は空中環境に多い緑の波長の光を、目の下部は濁った水によく見られる黄色の波長の光をよりよく感じとる⁸。腹をへらした鳥に上から奇襲されることなく水中のおいしいごちそうを探すには、ありがたい小道具だ。

メカジキやマグロや一部のサメなど、獲物を追って大洋を高速で泳ぐ大型魚の大半は、スピードと鋭い視力にものをいわせて獲物を捕らえる。体長三・五メートルのメカジキの目は直径一〇センチ近くにもなる。それでも水中で狩りをするのはらくではない。たとえば懐中電灯をもたずに洞窟に入ったと考えれば、光の少ない水中深くへもぐった魚がどう感じるかを想像できるだろう。不利な点はまだある。海は深いほど水温が低く、脳と筋肉のはたらきが鈍るために反応速度が遅くなるのである。

そこで脳と目のはたらきを強化して、深い海でも動きがのろくなるのを克服している巧妙な魚がいる。筋肉で発生する熱を利用して感覚器の能力を向上させるのだ。メカジキは目の温度を水温よりも一〇℃から一五℃高くできる⁹。この熱は外温で冷やされた動脈血と筋肉組織で温められた静脈血とのあいだで対向流熱交換することでもたらされる。しかもこの部分の動脈と静脈は密な網目状

になっているので、熱交換の効率がさらに高まるというわけだ。最近捕獲されたメカジキから目を取り出して調べたところ、この戦略によって獲物が動く速さの変化を追う能力が一〇倍高まることがわかった。

メカジキとはちがって、多くのサメは夜間に狩りをする。当然ながら、夜は光の量が極端に少ない。生息域に見事に適応したサメの目には、網膜の下に輝板もしくはタペタムと呼ばれる、輝板細胞が積み重なってできた反射板がある。この層に光があたるとはね返り、網膜に二度光があたるためにサメの夜間視力は二倍になる。猫などの陸生の夜行性動物の目が光るのもこれと同じ仕組みだ。もしサメが陸を歩いていれば、夜間にヘッドライトを浴びたサメの目が不気味に光るのがわかるだろう*。

獲物をとるのは重要だが、逆の立場からすれば捕食動物に食われないようにするのも負けず劣らず重要である。海、湖、川に棲む魚はさまざまな視覚テクニックを駆使して相手の上手（うま）（上）びれ（れ）をいこうとする。たとえば浅い海に生きる魚は水面を鏡として利用する。直接見えないものも、そこに姿が映れば見えるというわけだ。北米原産のブルーギル（湖や池や流れのゆるやかな川に生息する、まるみを帯びた体形の魚）は水面を見上げることで、岩の陰や藻の茂みにひそんでいるカワカマスの様子をうかがうことができるだろう。しかし、こちらに都合のよいことは相手にも都合がよいわけだから、捕食動物のほうも同じようにして獲物を見張るのではないだろうか。両者をつかまえて観察してみれば簡単にわかるにちがいない。

ブルーギルの鏡のテクニックは穏やかな水域でこそ役に立つ。海が穏やかなら水面より上で起きていることもわかるから、こちら目がけて飛んでくる鳥から逃げることできる。水面が波立っていたらそうはいかないので、海鳥は海が穏やかなときよりも荒れているときに狩りをするだろう。また、水面が静かなほうが海岸のものもよりよく見える。だから水際から離れて立つようにするのが釣り人の知恵なのだ。

「スチュームと目くらま」

もちろん、見つけてもらうのが目的の場合もある。サンゴ礁はさまざまな新しい視覚テクニックを発達させる舞台になる。サンゴが生息する暖かい地域の浅い海は、水温が高く、光の量が多い。光は色の魔術師で、サンゴ礁に棲む魚の色がハッとするほどカラフルなのはそのためだ。実際、三億年前のサメに似た生きものの化石に桿体（かんたい）〔暗所で光を感じる眼の細胞〕と錐体（すいたい）〔明所での視覚と色覚に関与する眼の細胞〕の痕跡があるのが二〇一四年に発見されたことから、色覚は水中の生物から発達したと考えられるようになっていく。

魚はその時代から見る能力を人間以上に進化させてきた。たとえば現在の硬骨魚の大半は四色型色覚なので、三色型色覚のわたしたち人間よりも色があざやかに見えている。三色型色覚は目の錐体細胞が三タイプしかないということだから、見える色のスペクトルが四色型よりもせまい。一方、

*「歩くサメ」と呼ばれるサメがいるが、これらは陸地ではなく海底を歩く。

魚の目は四タイプの錐体があるために色の情報を伝えるチャンネルが四つある。そのおかげで、人間の「可視スペクトル」に入らない波長の短い電磁波、すなわち近紫外スペクトルが見える魚もいる〔口絵12〕。サンゴ礁に棲む既知の魚およそ二二科一〇〇種が大量の紫外線を皮膚で反射しているのはそういうわけだ。^[15]とすると、魚は黒一色のウエットスーツよりも青と黄のストライプのウエットスーツを着たダイバーを見るとより興奮するのだろうかと思ってしまうのはわたしだけだろうか。

二〇一〇年に発見された事実は、可視スペクトルが広いことの利点を示すものだった。^[16]研究者らはスズメダイの視覚によるコミュニケーションを調べた。この仲間はサンゴ礁に生息するカラフルで多種多様な魚で、そのうちのニセネッタイスズメダイとネッタイスズメダイは西太平洋の同じサンゴ礁に棲み、人間の目にはそっくりに見える。ニセネッタイスズメダイはなわばり意識が強く、同じニセネッタイスズメダイが侵入してくるとさかんに追い払おうとする。だが、相手がそっくりのネッタイスズメダイではないとどうしてわかるのだろうか？ 研究者らはこれも視覚が関係しているのだろうと推測した。調査の結果、この二種の魚は顔の部分の模様が違い、それは紫外スペクトル内でのみ識別できることがわかった。紫外線をあてると、斑点と指紋のような曲線が顔に現われたのである〔口絵13〕。この模様は種によって微妙（人間からすると）だが確実に異なる。飼育下で餌の報酬をあたえて識別能力をテストしてみたところ、自分と同じ種の魚の写真を口でつついて正解する。紫外線フィルターでこの視覚情報を除くと、正解できなくなる。さらにスズメダイを捕食する敵には紫外線が見えないようなので、スズメダイの顔認識の能力は捕食者に見つからないよう

にするためのカムフラージュを台なしにすることなくひそかに発揮されるのである。^[17]仮面舞踏会で魅惑的な仮面の奥が誰なのかをただ一人知る者のようだ。

魚は体の色を使って自らをさまざまなやり方で表わしている。多くの魚の体色はそこから種を判別できるのに加えて、性別、年齢、生殖状態、気分などの情報を伝えもする。皮膚の色素細胞はカロテノイドなどの暖色系の色（黄、橙、赤）を示す化合物を含んでいる。白い色は色素がないから白いのではなく、白色素胞内の乳酸結晶と虹色素胞のグアニンが光を反射することで現われる。緑、青、紫はほとんどが皮膚とうるこの構造によって生じる色で、この組織の厚さによって色の見え方がさらに変わる。美しい色のクマノミ（ディズニーマのアニメ映画『ファインディング・ニモ』の主人公ニモはこの種）のことを考えてみよう。体の色はクマノミの仲間のうちのどの種であるかを示しているが、ほかの魚に対してよく目立つ警告にもなる。クマノミを追いかけると彼らの棲みかであるイソギンチャクの触手に刺されてしまうからろくなことにならないぞ、というわけだ〔口絵3〕。色あざやかな衣装をまとうことに実用性があるなら、その衣装をいろいろに取り替えられればもっとよいだろう。シクリッドやハコフグといった魚は黒色素胞（黒いメラニン顆粒^{メラノソーム}を多数含む色素細胞）を拡散させたり凝集させたりすることで体色をすばやく濃くしたりうすくしたりすることができる。カレイやヤガラのように細胞の拡散と凝集を器用に制御する魚がいる一方、「ポスターカラー色」とも呼べるあざやかな色の明度を制御できる魚もいる。とくにサンゴ礁に棲むカラフルな魚がそうだ。魚は美しい色を誇示して繁殖相手の気を引いたり競争相手をたじろがせたりもすれば、逆に色を目立たないようにしてうるさい競争相手をなだめたり、捕食者から身を隠したりもするの

である。

とくにカレイやヒラメのような魚（先述した、片方の目が反対側に移動する魚）は色素を扱う名人だとわたしは思う〔口絵¹⁴〕。皮膚の色を変えて背景の色に溶け込んでしまうところは、カメレオンさながらだ。わたしは高校生のころ、生物の教科書をばらばらめくっていたときにカレイの写真を目にしてびっくりしたことがある。水槽のなかのチェス盤にのせられたカレイがものの数分で背中に市松模様を描いてみせるのだ。¹⁸離れて見るとカレイの姿はかき消えてしまう。皮膚の色素の配置を変えて背景と同じ色にするこの能力は視覚とホルモンが関係しているが、非常に複雑で詳しいことはわかっていない。カレイの片方の目が見えなくなったり砂に埋もれたりすれば、体色を周囲と同じ色にうまく合わせられなくなるから、これはたんに細胞レベルのメカニズムではなく、カレイがある程度意識的に制御しているのではないかと考えられる。

生息環境には仲間もいれば敵もいる。そこで魚は、見つかりやすさと見つかりにくさのあいだに妥協点を見つけないければならない。有光層の水面近くでは実質的にどんなものも見えるが、光は海の深いところへいくほど急激に減少する。見られることが魚にとってより重要であることは、水深一〇〇〜一〇〇〇メートルの薄光層の生物の九〇パーセントに、闇のなかでビーコンの役割を果たす発光器が備わっていることからわかる。¹⁹太陽光のとどかない水深二〇〇〇メートル以上の無光層ともなると、この割合はもっと高い。この水層に棲む深海魚には、ヨコエソやハダカイワシ、そして有名なアンコウがいる。

このような深海では、光のほとんどは太古から魚と共生している発光細菌のつくるものである。

発光細菌は下宿させてもらっているかわりに、宿主にさまざまな便宜を図る。チョウチンアンコウは光をちらつかせることにかけてはすご腕だ。頭についている誘引突起が発光し、種によっては下顎からぶら下がった木の枝のような構造体からも光を放つ。これらの光る飾りは獲物を誘い、つられた獲物はキャンドルに引き寄せられるガのように、待ち構えているアンコウの顎にまんまと吸い寄せられていく〔口絵²⁰〕。その一方で、誘引突起をいきなり発光させれば、自分を食おうとする敵をおどかすこともできる。体から発する光はカムフラージュにもなる。腹部をぼんやりと光らせて、上方からとどく太陽光と同じくらいの明るさにすれば、下から見上げるものから見えにくくなる。仲間とすごしたいときは同じ器官から識別のための光のパターンが出るので、自分と同じ種の魚を認識できる。

ヒイラギの発光のしかたも独特だ。²¹オスには食道をとりかこむ発光器があり、ここに共生する発光細菌のコロニーの発する光が表面を反射物質で被覆した特殊な浮き袋（気体の詰まった袋状の器官で、これで浮力を得る）に入る。光はこの被覆にあたってはね返り、皮膚の透明な部分から出ていく。そして体壁の筋肉をシャッターのように制御することで、ヒイラギは閃光を発するのである。オスの群れはこの閃光を同時に発して目がくらむようなショーを披露する。メスをその気にさせるための戦略だと科学者は考えている。

ヒカリキンメダイ（ふつう深海よりも浅い海域に棲む数少ない発光魚の一つ）はもっと直接的なやり方をする。両目の下に半月状の発光器があり、その光をいろいろな用途に使うのだ。この発光器の部分には発光細菌がいて、筋肉で発光器にふたをすることで細菌の放つ光を明滅させる。ヒイ

ラギと同様、ヒカリキンメダイも夜間に群れ集い、その集まった光は動物プランクトンを引き寄せると同時にそれらを照らす役目を果たす。また、捕食者を避けるのにも光が使われる。危険が迫ると、ねらわれた魚はぎりぎりまで光を出し、あわやというその瞬間に光を消して方向転換するのである（なかなかの度胸が必要だ）。つがいになったヒカリキンメダイは岩礁になわばりをもち、もし別のヒカリキンメダイが侵入してきたら、メスがそいつに近づいていって、「あっちへ行け！」とばかりに顔の前で光をパッと放つ²²。

深海の光のショーはほとんどの生物発光と同様に青と緑の光で繰り広げられるが、これはおそらくこの色の波長が海水をよく透過するからだろう。ところがこのルールに反する魚のグループがある。ホウキボシエソ類だ。この仲間は両眼の下に発光器から赤い光を放つのである。なかでもよく知られているのが、ぱっくりと開く大きい顎が名前の由来になったオオクチホシエソで、その赤い光からストップライトフィッシュの別名をもつ。この赤い光は種によって特殊な蛍光タンパク質によるもの、発光器にゲル様の簡単なフィルターを被せることによるものがある。当然のことながら、進化は目の色素細胞の構造をつかさどる遺伝子に少し変化を加え、オオクチホシエソが赤い光を出すだけでなく、赤い色が見えるようにも計らっている。

その利点は計り知れない。なにしろ赤い光は発する本人にしか見えない。おかげでこの深海のハンターたちは、自分の姿をさらすことなくひそかに獲物を探することができるのだ。見つかって食われたりしないようにときによって光を消す深海魚もいるのに、オオクチホシエソは堂々と明かりをつけっぱなしにしながら、敵にも獲物にも見つからずに危険なくハンティングをする。これが深海

の暗視ゴーグルなのだ。

騙されたね！

こうしてみると、魚の視覚戦略が幅広く、かつ独創的であるのは疑いようがない。彼らはそれを使って見る力を拡大する。また自分の姿を目立たせたり隠したりし、自分が何者かをはっきりさせ、獲物を引きつけ、敵を撃退し、策を弄する。

それにしても、魚は見ているものをどう感じているのだろうか。魚の心的経験はどんなもので、人間のそれとどう違うだろう？

この疑問の答えを探る方法の一つとして、錯視について考えてみよう。わたしたちが騙される視覚映像に引っかけられなければ、その生きものは視野に映るものをロボットと同じように機械的に感じとっているのかもしれない。だが、もしわたしたちと同じように騙されるなら、目に見えるものに対して人間と似た心的経験をしていると考えられるだろう。

アイリーン・ペーパーバーグがヨウムのアレックスとの三〇年を描いた感動的な回想録『アレックスと私』²³には、心をとらえるような数々の発見が報告されているが、その一つに知能の高いこの鳥が錯視画を人間と同じように知覚していることがある。彼らも錯視画に騙されるのだ。このことから、オウムの仲間は人間と同じように、この世界を見ていると考えられるとペーパーバーグは述べている。

魚はどうだろう？ 飼育下のハイランドカープ（メキシコの高地を原産とする、グッピーやカダヤシと近縁の小型魚）を使った実験では、二枚の円盤を用意し、大きいほうをつつくと餌の報酬がもらえることを魚に学習させた。次にエビングハウス錯視を見せた。これは同じ大きさの二つの円があり、片方はその円よりも大きい円でかこまれ、もう片方はその円よりも小さい円でかこまれている図で、同じ大きさの円のはずなのに前者のほうが後者よりも小さく見える（図1）。ハイランドカープは大きく見えるほうを選んだ。

この実験結果から、ハイランドカープは何も考えずにただ刺激に反応してものを知覚しているわけではないことがわかる。知覚にもとづいて心的概念を形成しているのである——いつも正しく認識するとはかぎらないわけだが。同様に、初期のある研究では、ハイランドカープはもっとよく知られているミュラー・リヤー錯視にも騙されることが発見されている^[25]。これは同じ長さの二本の線が違った長さに見える錯視だ（図2）。長い線を選ぶように訓練されたハイランドカープはBを選んだのである。

キンギョとシマザメの研究でも、魚が錯視に反応することが示されている。白い背景に描かれた黒い三角形と黒い四角形を識別するようキンギョを訓練する。それからカニツツアの三角形がカニツツアの四角形を見せると、キンギョは三角形と四角形をそれぞれ認識するのである。カニツツア錯視はイタリアの心理学者ガエターノ・カニツツアが考案したもので、実際には描かれていない白い三角形が背景の白よりも少し明るく浮き上がって見える（図3）。ということは、キンギョの脳は人間の脳と同じようにこの図を処理している——不完全な図を完成させようとするのだ。

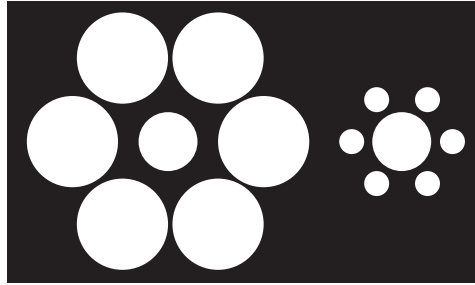


図1 エビングハウス錯視

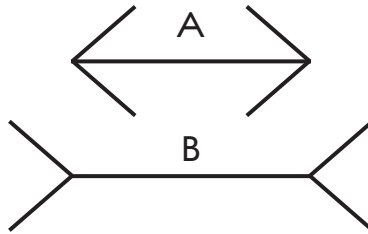


図2 ミュラー・リヤー錯視

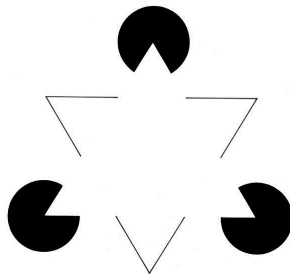


図3 カニツツア錯視