

1 1 1 「眼」

C S放送で『眼球の奇跡』（副題 人類の存続のための眼の機能の研究）というのを観た。ここでいう「眼」は、目の黒い部分（瞳孔・黒目）のことである。

生物は生き残り、存続するために、狩りの手段や保身術を進化させてきた。そのための最も重要な手段として、生物の目は独自の進化を遂げている。

生存条件とは次の6項目である。

- (1) 食物を得ること
- (2) 自由に動けること
- (3) 捕食されないこと
- (4) 同じ種と争わないこと
- (5) 子孫を残すこと
- (6) 種を存続させること

これらのことについて、例を挙げながら詳しく解説した番組だった。

その中で、次の2つのことが強く印象に残っている。

1. 「シャコの眼は円偏光を知覚する能力がある」
2. 「草食動物の眼は姿勢によらず常に水平である」

というのである。

「シャコの眼は円偏光を知覚する能力がある」というのは、(4) 同じ種と争わないこと、に関わっている。

生物が知覚できる光の特性として「強さ」「色」および「直線偏光」がある。光は電磁波の一種で、電界による波（振動）と磁界による波（振動）が直交して進む波である。

振動が方向性を持つとき、その光を偏光（偏った光）という。太陽の光は、いろいろな方向に振動する光であり、方向性はなく偏光ではない。振動が“一方向”に限られている光が「直線偏光」で、水面に反射した光や透明な膜（ハエの羽など）を通過した光は異なる角度に進む性質がある。

ハチなどの昆虫や、一部の鳥類は直線偏光を利用して正確に飛び、魚や甲殻類は正確に泳いで餌を見つける能力を持っている。ヒトはほとんど偏光を知覚することができないが、偏光サングラスを使えば、海や池など水面の反射を抑えて水面下の魚を見ることができる。

円偏光は、円を描きながら進む光である。直交する2つの直線偏光の組み合わせで作られ、3D映画などの技術に応用されている。生物の中で、唯一シャコだけが直線偏光のほかに円偏光を知覚することができる。シャコの眼の円偏光知覚のしくみを、英ブリストル大学の研究者が解明し発表した。

普通の生物には見えないものがなぜシャコには見えるのか？生物の中で最も複雑といわれるその眼は、12種類の錐体（色覚）細胞を持ち色の識別をする。シャコの眼は3つの部分に分かれ、1つの眼が3つの視点を持ち、その中の2つで立体視（後述）も行う。シャコがなぜ12種類もの色覚細胞を持つのか、直線偏光や円偏光を知覚する能力を持つのかについては、未だ明らかになっていない。

シャコは円偏光を知覚するだけでなく、それを反射することもできる。

通常シャコは穴に潜み、穴に入って来た生物を瞬間的、反射的に襲う習性がある。別のシャコが穴に

入る場合、もし円偏光が出ていれば同じ仲間が潜んでいることが分かり、同じ種を襲うことがなくなる。これは明らかに「種の存続に影響を及ぼさない」能力を備えるように進化したものと考えられる。さらに、円偏光を反射する能力を使い信号を送り合うことで、交尾や縄張りの交渉をしているという研究もある。

ヒトは赤、青、緑の3種類の色覚細胞しかなく、シャコはその4倍もの細胞を持つ。しかし、色覚の仕組みは非常に複雑で、シャコは多くの色覚細胞を持っているにも関わらず、実際の色覚能力は人間よりも低いという研究者もいる。このことは、“器官の機能”と“知覚能力”は必ずしも一致しないことの意味で、シャコの知覚器官としての「眼」の機能は驚くべきものだが、眼からの情報を処理する「脳」の機能がヒトの脳に及ばないことを示している。

円偏光は、腱や靭帯損傷の診断に利用されてきた。シャコの眼の研究からヒントを得て開発されたカメラは、腱や靭帯の診断以外にガン細胞の発見に応用できる可能性があり、早期のガン発見が安価にできるようになると期待されている。

「草食動物の眼は姿勢によらず常に水平である」というのは、

(3) 捕食されないこと、に関係している。

動物が生き延びる“カギ”は眼が握っており、動物の目には次のような特徴がある。

肉食動物の目は顔の前面についている。その理由は、狙った獲物までの距離を測り、左右の目が近くにあることで視野が重なり、物体をより立体的にとらえるためである。

一方、シマウマやヒツジなど、草食動物の目は顔の側面についている。それは、できるだけ広い範囲を見渡し、近づいてくる天敵をいち早く見つけ身を守るためである。

草食動物の目で、強く印象に残っていることがある。それは『草食動物の眼は、下を向いて草を食べている時でも、姿勢に関係なく瞳孔は水平を保っている。』ということだ。

以下は、カリフォルニア大学バークレー校マーティン・バンクス (Martin S. Banks) 教授の研究である。彼は、視覚科学の権威で「動物の瞳孔の形と、それが生存に与える影響調査」という興味深い研究を発表している。その概要を記す。

陸生動物の瞳孔の形と、それらが捕食活動する時間には相関関係がある。瞳孔が垂直に伸びている動物(タテ長の眼)は待ち伏せ捕食者であり、昼夜を問わず活動している。タテ長の眼は、垂直方向の焦点が合いやすく鮮明に見えるのに対し、ヨコ方向の焦点は合いにくいいため輪郭はぼやける。

これは待ち伏せ捕食者が、立体視(両眼が離れている[視差がある]ことで、対象を立体的に把握することができる能力)によりタテ方向の大きさや距離を正確に把握し、ヨコ方向については焦点ぼけを利用して、狩りに必要な獲物の正確な情報を得るのに有利である。

(以下の図は、すべて Science Advances 07 Aug 2015:Vol.1 より引用)

図1は、瞳孔の形の違いを示したもの。

図2は、垂直スリット瞳孔の影像と焦点ぼけの状況を示し、タテ方向は鮮明なのに対し、ヨコ方向はぼけることを表している。

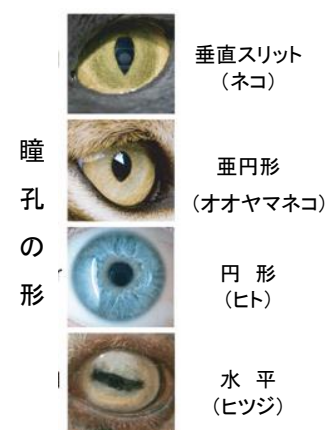


図 1

A 垂直スリット瞳孔の非点収差被写界深度

- ・垂直方向（タテ線）は鮮明なのに対し、水平方向（ヨコ線）はぼけている
（非点収差被写界深度とは、眼のレンズの曲率が違うことで斜めの入射光による像がぼけること）

B 垂直スリット瞳孔の焦点距離の関係

- ・写真上：水平断面（ヨコ方向の焦点範囲は狭い）下：垂直断面（タテ方向の焦点範囲は広い）

C 縦絞りのカメラで撮影した深度変化

- ・模型の鳥がタテ長に映っている

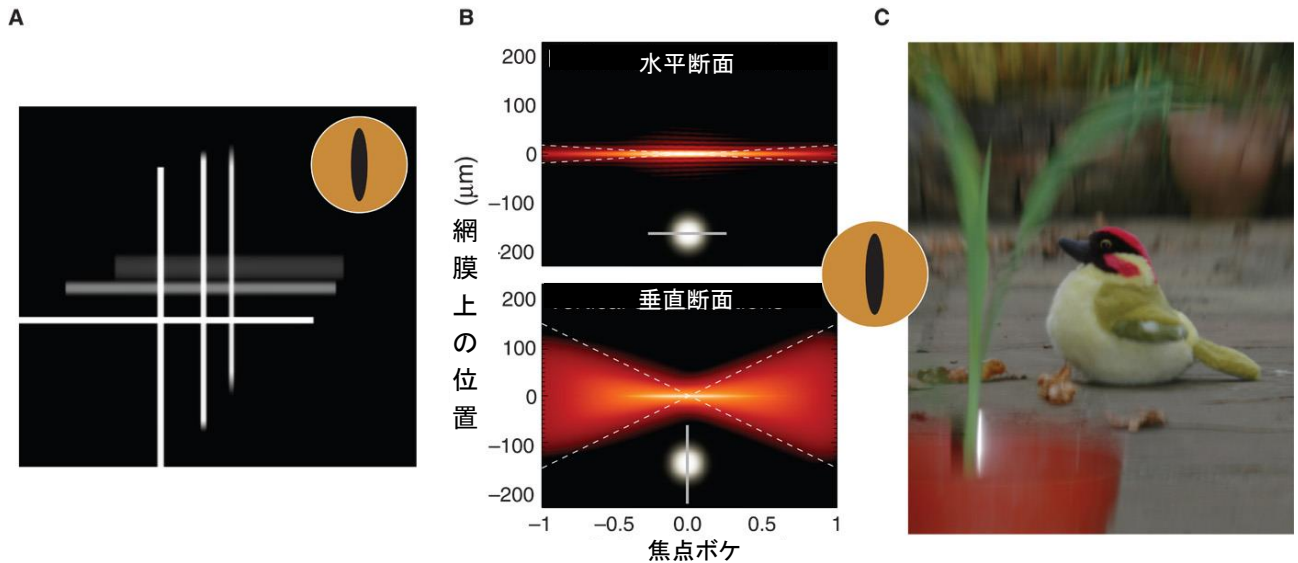


図 2

陸生動物の体形は横長が一般的である。地面に沿って遠方から見ると、(円形[ヒト]や水平[ヒツジ]の眼では) タテ方向に縮小されて見え、ヨコ方向の輪郭が崩れてしまう。

肉食動物の目は顔の前面にあり、立体視により攻撃する前に獲物との距離を測定する。

さらにタテ長の瞳孔は、水平方向の被写界深度が浅く、ヨコ方向の焦点ぼけ効果で立体視の欠点であるヨコ方向に関する情報を補っている。

肉食動物は、ヨコ方向に分離した目とタテ方向に細長い瞳孔の組み合わせで、視差と焦点ボケを補完的に組み合わせることで、獲物の正確な輪郭を知ることができるのである。

また、小型の肉食動物は、目の位置が地面に近くその間隔も小さいので、視差による立体視を補うため、よりタテ長の瞳孔を持つ傾向がある。

一方、獲物となる草食動物は、接近する肉食動物をいち早く発見し、素早く逃げなければならない。彼らは、さまざまな方向を見渡せるパノラマ的視野と、起伏の多い地形を逃げるため、前方がはっきり見えなくてはならない。草食動物の目は顔の側面にあり、ヨコ方向に細長い瞳孔を持つ。

ヨコ長の瞳孔はタテ長瞳孔とは逆に、垂直方向の被写界深度が減少し、水平方向の被写界深度が増加することで、ヨコ方向の輪郭を正確に捉えられる。また、地面に沿った光を多く集めることで、輪郭がより鮮明に見え捕食者から逃げることができる。

ウマやヒツジのような草食動物にとって、下を向いて草を食べている時が最も危険である。

驚くことに、そんな時でもヨコ長の瞳孔は地面と平行で、いち早く捕食者に気付けるようになっている。襲われる側が持つこのような能力に驚嘆しかないが、これに気付くバンクス博士も凄い！



下を向いても瞳孔は水平



図 3



多くの草食動物が群れをつくるのは、何頭かが捕食されても、種が存続できるようにするためである。まさしく、草食動物にとって肉食動物は“天敵”なのだが、天敵の存在は生態系のバランスを保つための、より高い次元の意思が存在していることを思わせる。

生き残りの戦略として“擬態”^{ぎたい}が良く知られている。多くの昆虫は、捕食者から身を護るのに擬態のテクニックを駆使し、自分を隠蔽^{いんぺい}したり扮装^{はんそう}したりする。

隠蔽や扮装の区別は、捕食者の視覚能力の違いに基づいている。隠蔽は捕食者に存在を気づかれることなく、捕食者の視覚の検出能力を超える。一方、扮装は捕食者に存在を気付かれるが、食べられない枯葉や枝として認識させ捕食者の食性を超える。食べられる側は、食べる側の視覚や好みを知っているかのようで本当に興味深い。

近年、このような擬態模様の謎が、分子生物学と遺伝子解析の進歩により解明されつつある。生物には共通する基本設計図（ランドプラン）があり、骨格構造や体の模様など、複雑なものも単純な基本要素を組み合わせられて作られていることが解ってきた。

これまで、模様などの進化は大きな変化が突然起き、それが受け継がれていったと考えられていた。しかし実際は、何十万年にも及ぶ選択と適応の結果、少しずつ変化を蓄積して進化してきたことが解明された。模様を作る遺伝子の源はホルモンである。脳からの指令で特殊なホルモンが分泌され、それによってランドプランを巧妙に変化させることで、色素により表皮細胞が着色され、目的に合った模様が作られると考えられている。

捕食される昆虫は生死をかけて逃げる。その生き延び行動の積み重ねで、小さな昆虫の生存本能がホルモンを作らせる。そして、気の遠くなるような長い年月をかけ、目的にあった擬態が少しずつ実現されてきたに違いない。自然には知れば知るほど不思議なことに溢れている。自然から学ぶことは、まだ多くあるのではないだろうか？（2021. 08. 05）