

## サイエンスネット

物(化)生(地)...

数研出版株式会社

CIENCE NET

Contents

▶ 特集 1 / 杉田 昭栄...2

▶ 特集 3 / 黒木 修平...10

▶ 特集 2 / 三代木 伸二...6

▶ コラム / 小笹哲夫 他...14



図 A カラスと他の鳥の脳の比較。カラスは大脳が大きいことが分かる。スケールバー:1cm

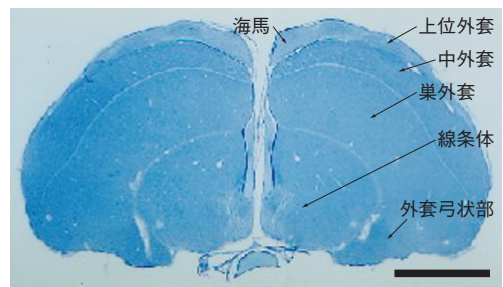
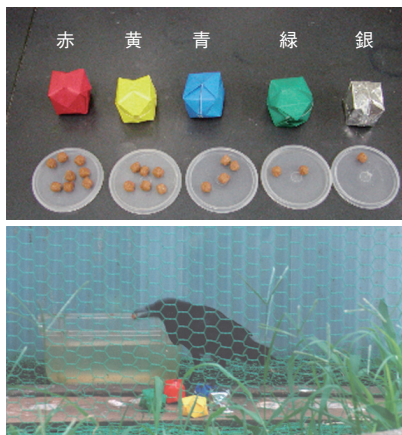


図 B カラスの脳中央部の断面切片(厚さ 100 $\mu$ m)。何層もの外套で構成されている。スケールバー:1cm



選択順 実験日	1	2	3	4	5
1	銀	緑	青	赤	黄
2	黄	緑	銀	赤	青
3	銀	緑	青	黄	赤
4	青	緑	赤	黄	銀
5	青	緑	赤	黄	銀
6	黄	赤	緑	銀	青
7	赤	黄	青	緑	銀
8	赤	黄	緑	青	銀
9	赤	黄	青	緑	銀
10	赤	黄	緑	青	銀

図 C 左上:それぞれの色の紙風船に違う個数の餌が入っている。表の縦軸は実験日数, 横軸は選んだ風船の順。7日目あたりから、餌の多い色の風船を選ぶようになる。

## ヒトは動物の心を知れるかーカラスの脳と行動の研究を通して考えるー

宇都宮大学農学部生物資源科学科 動物機能形態学研究室 教授 杉田昭栄

10gの脳を持ったカラスは、クルミを車に轆かせ殻を割って実を食べたり道具を使って餌である昆虫を引き出したりする。また、ヒトがどんなにカラス対策を講じていても学習してその対策を克服してしまい、1300gの脳を持つヒトを翻弄する。ヒトの顔写真を見て何人かの間違いを数日で覚えたり、紙風船の色とその中身の餌の量の違いを1週間で理解したりするなど、その学習能力は高い。(→特集 1 p.2 ~ 5)

# カラスの脳と学習

宇都宮大学農学部生物資源科学科 動物機能形態学研究室 教授 杉田 昭栄

## 1. 研究の概要

「理は形に現れ、形は理を示す」という言葉がある。動物機能形態学研究室は、その言葉どおりのことが動物の体のつくりや生理機能に見られるかを探求する場所である。平たく言えば、「解剖して足を動かす神経はどのように足を動かす筋肉に繋がっているのかを目で確認し、だから足を前に出すにはこの筋肉が収縮しこの筋肉が弛緩するのだということを頭でも理解する」ための教育・研究を行うところである。研究対象の動物はカラス、ヤギ、モグラ、ウマなど研究内容により多種多様である。モグラを例に挙げると、モグラは地下で生活するにもかかわらず米粒ほどの眼球をもっており、それには必ずや理由があるはずというところから研究が始まる。研究を始めると、小さなレンズも水晶体も備わっているし網膜も存在する(図1)。当然視神経も網膜から脳へ向かう。地下生活で視覚が必要ではないはずが、視神経は脳に入っている。それがなぜかを追求すると、脳の視覚を司る部分に視神経が向かっているのではなく、なんと視覚には関係ない概日リズムを形成する視床下部の視交叉上核という神経細胞の集団に入っていることが分かる(Kudo *et al.* 1991)。動物は、体内時計というリズムを作る機構を有するが、モグラもわずかな光を捉え体内リズムを太陽でリセットするのも知れないと「理」を考える。

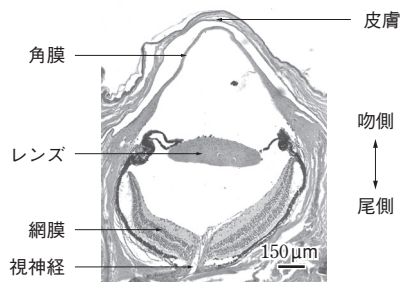


図1 モグラの眼球組織

一方、鳥の嘴は餌を啄むとともに嘴を使い上手に巣もつくるし、雛の羽をつくろう際は優しい咬みを行う。器用であるとともに感覚にも優れているのはという理屈が出てくる。それが形に現れているか

を調べるために嘴の解剖を行う。すると、嘴には非常に多くの神経があることが分かってきた(図2上)。また、感覚器としての特殊な構造体も感覚小体も多数確認できた(図2下)。やはり、繊細な動きと感覚を有する「形:構造」があるのだ。

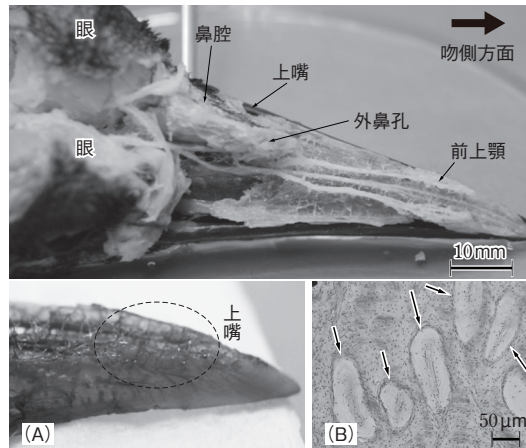


図2 上:カラスの嘴を走行する神経 下:(A)カラスの嘴の神経の細い枝(破線領域) (B)先端の感覚受容器(矢印部分)

最近では、この「形」と「理」の関係に加え、行動や学習についても手掛けている。それは、「形」を求めカラスの脳の構造を研究したことから始まる。著者は、哺乳動物を始めとして色々な動物の脳を解剖して比較神経解剖学的な研究を行ってきたがカラスの脳の充実した構造には大変おどろいた。特に、大脳の発達には身近な鳥類では群を抜いて大きい(表紙図A)。このような脳を持つカラスに何が出来るかを確かめたくなり、カラスの学習や行動も研究の対象となっている。したがって、研究の対象になる動物は先に述べたように多様であるが、分野もカラスに限って言えば解剖から学習・行動さらに最近では生態系まで広がってきている。

## 2. 鳥類の脳の特徴

脳科学は常に時代の先端科学に位置づけられる。それだけ、脳の難病とされる病気のメカニズムやその治療などにつながり医学の領域での貢献性も高いためと考えられる。このような中で、鳥の脳の研究

も進んできた。しかし、鳥類の脳となると若干話が変わってくる。そもそも英語で「Bird's Brain」と言うと少し思慮の足りない人の例えになってしまう。それくらい我々の脳に比べ発達が良くないと考えられて来た。一方、生物の進化の面からも鳥の脳は、哺乳類の脳の中でも知能に関わらない大脳の中心部にある線条体が特殊に発達して大脳を形成したものであるから、その知能の程度もさほど高くないと考えられてきた。しかし、動物行動学あるいは動物心理学の分野で鳥の研究を見ると、共同作業ができること(伊澤 2017)、学習する能力に優れた様々な絵を記憶してその違いを理解できることなど知的行動が確認されている(渡辺 1995)。さらに、ニューカレドニアに棲むカレドニアガラスは右目を効かして道具を作ることが多いということで、この場合は左脳の機能優位を示し、右脳左脳の基本的形成のヒントが隠されているのではないかと注目された(Hunt *et al.* 2001)。

このような研究の成果を受けてかどうかわからないが、鳥の脳構造に関する考え方が2004年に大きく変わった(Reiner *et al.* 2004)。これまでは哺乳類の脳が持つ線条体が特化して大脳を形成していると考えられていたため大脳の各部位には線条体という名称が入っていた。それに対し2004年以降は線条体と呼んだ部位は実は哺乳類の外套(皮質)に相当すると考えられ、各細胞層に外套という名称がつけられた(図3)。つまり、鳥類も学習、記憶、判断など知的機能を司る大脳皮質を名実ともに得たことになる。

カラスは体重が650~800g前後の鳥であり、その脳の重さは、約10g前後の値を示し、身体の割には身近にいるニワトリ、カモ、ハトなど他の鳥類より脳が大きい。ちなみに、ニワトリは体重が1.2kg前後で脳の重さは約3gである。つまり、体重がカ

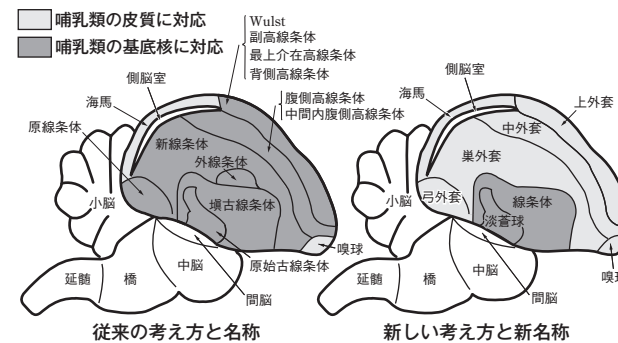


図3 鳥の脳の名称の変化

ラスの2倍近くあるにもかかわらず、ニワトリの脳の重さはカラスの約1/3しかない。また、脳幹と呼ばれる部位はハシブトガラス、カモ、ニワトリともに大きな差は見られない(表紙図A)。脳幹は呼吸、血圧、体温および消化管運動など植物機能の中核であるため各種間で変わらないが、知能を生み出す大脳の大きさについてカラスとカモやニワトリを比べるとカラスのそれは格段に大きいことが分かる。単純に脳の各部位の構成比を見ていくとハトやニワトリでは脳幹が約33%、カラスのそれは約13%、それに対し、大脳はハト、ニワトリで約53%である。ところがカラスでは、なんと79%になる。

カラスに限ったことではないが、鳥類の終脳を構成するのは、外套という幾つかの層を持った細胞集団である(表紙図B)。外套には知的情報処理レベルによって役割がある。本能的な学習能力を司る弓外套、その他、訓練あるいは経験によって学習する巢外套、より高度で総合的な知的判断を行うための中外套、上外套がある。上外套や中外套が行う高度で総合的な知的判断とは、訓練や経験によって得られた学習経験をもとに、それらを組み合わせる新たな別の行動をとることを言う(例:クルミを車に轆かせると、殻が割れて実が食べやすくなることを理解する)。外套の発達の評価として、各外套の容積を調べた。その結果、ニワトリの5倍、カモの3倍となりカラスは際立って外套が発達していることが分かる。また、淡蒼球など外套以外の古い脳が占める割合はニワトリが20%、カモが10%、カラスが6%を示し、カラスでは外套の占める割合が大きいことが分かった。このような脳を持つカラスはどのようなことができるのだろうか、研究室の行動や学習実験を通して見て行くこととする。

## 3. カラスの行動 / 学習の研究事例

カラスの野外で見られる知的な行動として道路にクルミを置き車に轆かせて殻を割って実を食べる行為、余分な餌を隠して保存する貯食行動などが知られている。また、先に触れたように、餌である昆虫を引き出す道具をつくるカレドニアガラスの研究も広く知られている。このように興味ある行動や報告を耳にすると、脳解剖に留まらず行動や学習実験を行いながらカラスの脳活動の優れた面を見

たくなるのが自然の流れである。

・**数や量の概念**:カラスに数的概念はあるのだろうか。この疑問に応えるために、これまでに数羽のカラスを使い次のような実験を試みた。赤・黄・緑・青・銀の紙風船を用意し、それぞれの色の風船の中にドッグフードの数を8個、6個、4個、2個、1個と数を変えて入れるようにした(表紙図C左上)。このように細工した紙風船をカラスのいる小屋に撒いてやる(表紙図C左下)。最初はカラスもどの色のものをとっていいのか分からないので、結構いいかげんなとり方をする。しかし、1週間もすると赤や黄など餌の多い方を最初に選び、最も少ない銀は最後に選択するようになる(表紙図C右)。

数的概念では、別のデザインの実験も行った。餌箱の蓋に様々な数のシンボルをランダムな位置に印刷し、数の少ない方に餌を入れて提示する方法である。シンボルの数は2個から12個とし、同じ数でも印刷場所は不定とした。実験は、3個と4個でトレーニングを行った。つまり、3個模様がついている餌箱に餌を入れ、4個模様がついた方は空とした。カラスが3個のシンボルの餌箱を選ぶようになったら、組み合わせを4個と5個、6個と8個というように変えていく。出された2つの餌箱の蓋のシンボルを見て少ない方に餌があるということをカラスが認識している場合は、どのような数の組み合わせを提示されても、少ない方を選択することになる。結果はどうかと言うと、数の比較ができたのである(Afawaok *et al.* 2011b)。例えば、4個と5個では4個の方、5個と7個であれば5個の方を選ぶのである。全ての数について行うことはできていないが、8対の組み合わせで行い、数の少ない方の選択を行うカラスは、やはり数量の概念が備わっていると考える。

・**カラスの人の顔写真認識**:カラスの識別能力を調べる一つの研究として、著者の研究室では、顔写真の識別実験を行うことが多い。したがって、著者の顔写真と他の人の顔写真の識別ができることは様々な機会で紹介しているので、本稿では目や口など顔の一部をマスクング(図4)しても識別ができたことを紹介する。マスクングしない場合は10回試行中で9~10回は餌の入っている正解の顔写真を選べたことは当然であるが、一度覚えると図4のようにマスクングしても10回試行中で9~10回は餌の入っ

ている正解の写真を選ぶことができるのである。このように顔の部分的な情報からカラスが判断するポイントとして目と鼻、あるいは口と目などが考えられるが、組み合わせを含めこの研究は現在も進行中である。面白いことに、図4の6組の写真の組み合わせの中で顔を3分割した最後の組み合わせでは学習が成立しなかった。このことから、各部位とともに輪郭などの要素も識別情報には重要と考えられる。

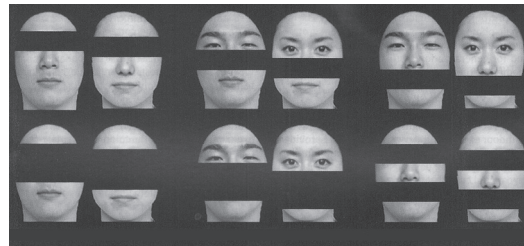


図4 実験に使用した、顔の一部を覆った写真

・**カラス同士の識別**:類似した方法をとるが、現在カラスはカラスの顔を見ているかというテーマの研究も行っている。人間から見ればカラス類はみな黒く個体識別も容易でない。そのカラス同士がそれぞれの個体認識を行っているのだろうかという極めて素朴な疑問から始めた実験である。実験方法は、人間の顔写真識別とはほぼ同様である。カラスAとカラスBの2羽のペアで行う。カラスAの頸より上の写真を前、横、斜めなど6アングルほど様々な角度から撮る。同じくカラスBの写真も撮る(図5)。まずは、カラスA、カラスBの正面から撮った写真で行う。この場合、カラスAの写真の蓋を破ると餌が得られるようにした(図6)。1日10試行行いカラスAの写真で蓋をされた器を9回以上選ぶようになったら学習成立とした。その後は、カラスAの横向きとカラスBの斜め後ろ向きのペアというようにランダムに組み替えも器を置く位置も変えて試行を行った。その結果、カラスはどのような向きであろうがカラスAの写真を選ぶようになった。カラスAの写真を追加しその未経験の写真を用いても判断できた。このことは、カラス同士はお互いの顔を認識していることを示唆する。この研究は、最近始めたばかりでまだ1羽の例であるが、研究の現場を紹介する意味でも記載した。

これまで、顔写真の識別や数的違いが分かるかの実験を紹介してきたが、いずれもカラスは識別能力や学習能力が高いことを示す結果となった。

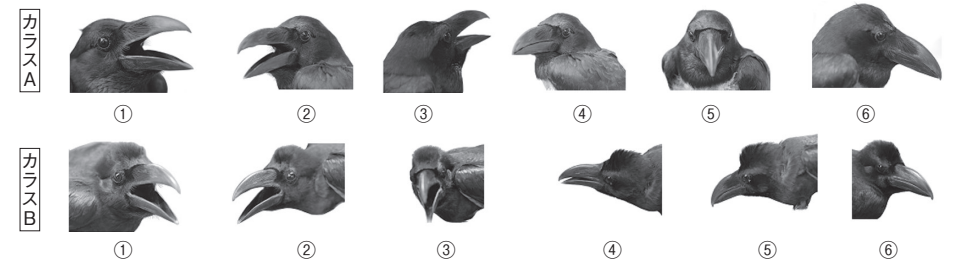


図5 カラス同士の顔写真識別に使った様々な角度の写真(①~⑥)



図6 カラス同士の識別実験の様子

#### 4. 研究成果と、カラスと人のかかわり

カラスの研究を始めて間もないころから、研究室にカラスで困っている方、カラス対策品の製品化を目指しているメーカーの方など多くの方々を訪ねてきた。それだけカラスが各領域で問題行動を起こしていることになる。カラスの研究を通じて実感したことは、基礎的な動物科学がこんなに世に求められているということである。例えば、カラスの記憶がどれだけ保持されるかという実験を、大手電力会社と共同で行った。つまり記憶の持続が分かれば、忌避製品の持続性を読める。つまり嫌なことをどれだけ覚えていたかを計れば製品への投資の判断にもなる。一方、研究室では鳥の眼の研究も行っている。鳥の網膜の基礎研究が、鳥の視覚を攪乱するごみ袋の開発に繋がった。研究が新発見の喜びとともにその成果が人間生活の役に立つというのは嬉しいことである。農学は生活の科学でもある。

#### 5. 研究の成果は絶え間ない探究の次への一歩

本稿ではカラスの脳の構造や学習能力に関する研究成果を紹介してきたが、それらはカラスという生き物を通して鳥類の能力を知る一歩にしかすぎない。他にも鳥類の頭脳の素晴らしさを証明している研究は、カナリアの鳴き声の学習、刷り込みなど鳥類特

有の記憶のメカニズム、フクロウの優れた聴覚とそれを利用したハンティング、渡りの能力など数えあげればきりが無い。しかし、それぞれの研究で分かることとは、鳥の脳および能力にはそんな一面があるという事実が一つ分かった、つまり一歩進んだだけなのである。鳥の脳科学の目的は鳥の脳(心)を知ることではあるが、限りなく鳥の生物学的真実に近づく一歩は進められても、鳥の脳の営みの全貌を理解することが容易でないことを認識しておく必要がある。しかし、喜びはある。ゴールは近づいたり遠ざかったりするが、研究の楽しみは「分かった」という一歩前進の喜びを感じた時である。そして、その一歩は、鳥の脳の営みの全貌を知るための絶え間ない研究の次への一歩となる。研究は一瞬の喜びと絶え間ない努力と興味の連珠である。一方、疑問や興味への切り口は沢山ある。自分の領域や経験だけで済ませる発想ではなく、領域を超えた目線を養うことも大切である。最後に最も大切なこととして気づきがある。そのためには、目の前のことに素直な疑問と興味、感動を持てる生活をして欲しいと思う。

#### 参考文献

- 1) Afawaok BB *et al.* Behav. Process. 86:109-118. 2011a
- 2) Afawaok BB *et al.* Animal Behaviour. 82:635-641. 2011b
- 3) 藤田和生 編「比較認知科学」(一般社団法人放送大学教育振興会, 2017)トピック2-カラスのこころ(伊澤栄一)
- 4) Hunt GR *et al.* Nature. 414:707. 2001.
- 5) Kudo *et al.* Brain Behav. Evol. 38:332-338. 1991
- 6) Reiner A *et al.* J. Comp Neurol. 473:377-414. 2004.
- 7) 渡辺茂「ピカソを見分けるハト」(NHK ブックス, 1995)