

令和 3 年 6 月 17 日現在

機関番号：32612

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2019～2020

課題番号：19K21818

研究課題名（和文）身体拡張性の比較心理学

研究課題名（英文）Comparative psychology research of the extended body-part control

研究代表者

伊澤 栄一（Izawa, Ei-Ichi）

慶應義塾大学・文学部（三田）・教授

研究者番号：10433731

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 5,000,000円

研究成果の概要（和文）：ヒトには道具使用など拡張した身体を操作する身体拡張能力が進化している。ヒト以外の動物の身体拡張能力は霊長類以外では検証されてこなかった。本研究では、身体拡張能力の基礎となる効果器（手や嘴）の運動制御メカニズムを鳥類および頭足類を対象に調べた。鳥類を対象とした実験では、カラスが首を伸ばし嘴で餌をつかむ運動を詳細に解析した結果、数十ミリ秒の短い時間で視覚情報をもとに行動を調整できる高速かつ柔軟な運動制御能力をもつことが判明した。頭足類を対象とした実験では、タコの腕の詳細な解剖学的解析によって、腕のつけ根から先端の位置によって機能が異なる可能性が見出され、効果器の運動制御能力の高さが示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

ヒトは、道具使用にみられる拡張された身体を制御する能力に長けている。この能力は霊長類以外の動物では検証されてこなかった。本研究では、霊長類以外の動物を対象にした身体拡張性の検証というユニークかつ斬新な試みを行った。身体拡張性の基礎となる到達把握運動に焦点を当て、鳥類カラスが動く餌を掴むという短時間の中で、視覚を用いた高速運動制御が行われていることが判明した。頭足類タコの腕の解剖学的解析によって、柔軟な動きを可能にする特徴的形態が判明した。本研究を今後さらに展開し、ヒトとヒト以外の動物との比較によって、私たちヒトの際立った身体拡張性の進化起源の理解へとつながることが期待される。

研究成果の概要（英文）：This study aimed to investigate the capacity for motor control of extended body-part in non-human animals from a comparative viewpoint. We conducted kinematic analyses of reaching-and-grasping behaviour, as a basic component of this capacity, in crows. We found that crows flexibly switched reaching-movement strategies between on-line feedback and predictive feedforward controls dependently on velocities of moving targets. To investigate the capacity to control of extended body-parts in cephalopods, we aimed to know the function of octopus arms that act as physical effector as well as receptor. For that purpose, arms of two tropical octopus were histologically observed. We found the specific muscles and nerve previously described for other octopus, and also detected volume of these cells vary at site of arm. These features might reflect capacity for flexible motor control of arms in octopus.

研究分野：動物心理学

キーワード：身体性 身体操作 道具使用 鳥類 霊長類 頭足類

### 1. 研究開始当初の背景

身体拡張性とは、道具など延長された身体を操作する能力のことである。身体拡張性は、従来、道具使用のメカニズムとして理解されてきた。ヒトやサルなど、道具使用が可能な動物を対象に検討されてきたからである。研究代表者らは、本研究に先立つ鳥類を対象にした研究において、身体（効果器）の形態が道具使用の制約・促進要因になっていることを発見した。この発見は、身体（効果器）の形態が道具使用の制約となった動物では、たとえ身体拡張性が備わっていても道具使用が進化しなかった可能性があることを示唆する。逆に言えば、道具使用の困難な動物種に、身体拡張性が備わっていても不思議ではない。このような視点は、従来の動物行動研究になかった。それゆえ、野生下で道具を使わない動物種に対する、身体拡張性あるいはその基盤となる感覚-運動協調を検証する研究はなされてこなかった。

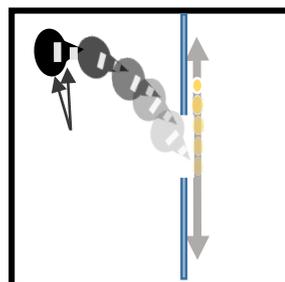
### 2. 研究の目的

本研究では、身体拡張性の基盤となる行動・生理メカニズムを検証するために採餌行動に焦点を当てた。具体的には、腕やクチバシなどの効果器の到達運動に着目した。視覚によって効果器の動きを制御する到達運動は、身体拡張性の基盤メカニズムであることが、ヒトを含む霊長類を対象とした従来の研究によって明らかになっている。本研究における第1の目的として、主に鳥類（カラス）および頭足類（タコ）を対象に、到達運動の行動・生理メカニズムの検証を行った。第2の目的として、動く標的への捕捉行動について、視覚-運動制御メカニズムの検証を行った。動く標的を捕まえる採餌行動は、標的の動きが速い場合、標的の動きを視覚的に逐次捉えながら次の瞬間の位置を予測し、その位置へと効果器（手指あるいはクチバシ）を到達させる予測的な視覚-運動制御が必要となる。このような行動は、効果器の近傍空間に対する視覚情報と身体運動制御の柔軟な調整能力を意味するものであり、本研究では、身体拡張性の基盤メカニズムの1つと考え、行動メカニズムを検証した。

### 3. 研究の方法

#### (1) 鳥類（カラス）を対象とした実験

① 静止した標的への到達把握運動の解析：実験ケージ内において、カラスに、針金先端に固定された異なる大きさの餌小片（5~10mm 径のチーズ片）を提示し、摂餌に伴う頭部・クチバシの到達把握運動を、ケージ側方に設置した高速ビデオカメラで撮影した。ビデオデータからクチバシの併進運動および開閉運動について運動学的解析を行った。



② 動く標的の捕捉行動の解析：餌小片を左右に往復直線運動させた状態でカラスに提示し（右図）、餌の速度を 9, 15, 30cm/sec の3条件に変化させ、高速ビデオカメラを用いてカラスの到達把握運動を撮影した。ビデオデータをもとに、捕捉の成功率、到達運動ベクトルの速度と加速度、および角速度などについて運動学的な解析を行い、標的の速度の3条件間で比較した。

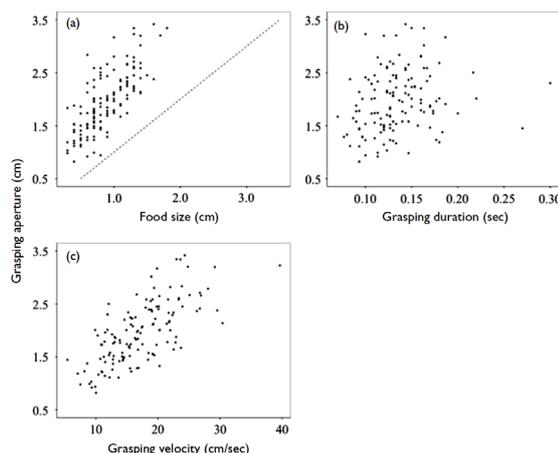
#### (2) 頭足類（タコ）を対象とした実験

沖縄島沿岸より採集したソデフリダコとヒラオリダコを材料に腕の組織学的観察を行った。観察対象は右第III腕とし、10%海水ホルマリンで固定後、常法によりパラフィン切片を作成して、ヘマトキシリン・エオシンの二重染色を施し、検鏡した。組織観察映像より筋繊維等を特定し、腕の部位ごとに異なる筋繊維が占める面積を求め、それぞれの腕部位に占める異なる筋繊維の割合を算出した。

### 4. 研究成果

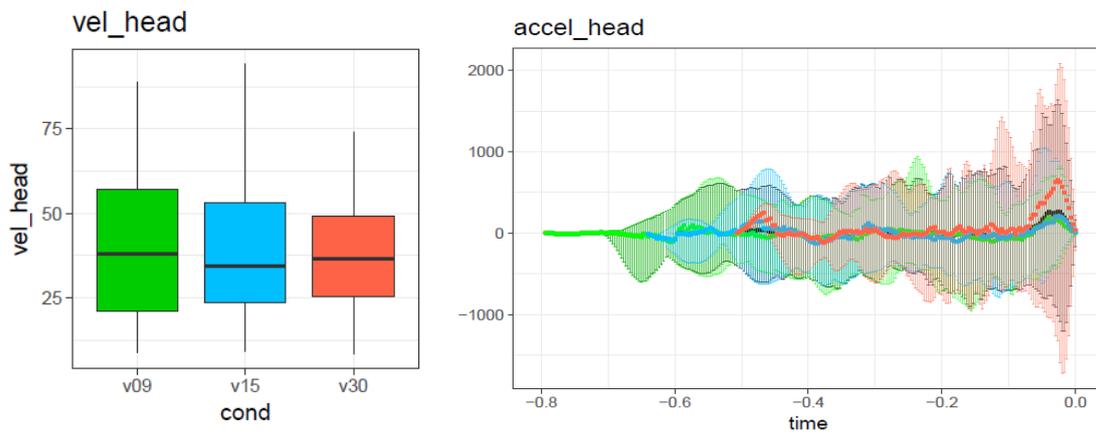
#### (1) 鳥類（カラス）の研究成果

① 固定して提示された異なる大きさの標的に対するカラスの到達把握運動を解析した結果、運動学的特徴3点が明らかになった。1つは、標的の大きさに応じてクチバシを開く幅が大きくなることである。2つめは、標的が大きいくちバシの開口速度が速くなることである。3つめは、クチバシを開き始めるタイミングは標的の大きさによらず一定であり、標的到達の約0.1秒前であった。これらの結果は、カラスの効果器（頭部・クチバシ）の到達把握運動にお



ける把握運動は、主にクチバシの開口速度で調整され、開口タイミングは標的によらず一定であることが明らかになった。カラス実験のこの結果は、ヒトとは異なる。ヒトでは、到達運動において手を開ける運動は、開く速度が一定で、開くタイミングが早まることで調節される。到達把握運動における、鳥類とヒト（霊長類）との差異が明らかになった。

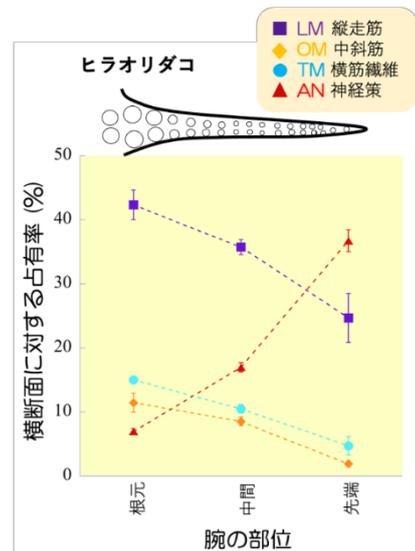
② 動く標的の捕捉行動を解析した結果、異なる速度の標的に対して、カラスの到達運動ベクトルの併進速度および角速度には差がなく、標的に到達する 0.1 秒前から生じる加速度に差があることが明らかになった。具体的には、高速で動く標的に対し、カラスは到達 0.1 秒前に急加速することで捕捉し、低速で動く標的に対してはそのような加速が生じていなかった。捕捉成功率は、標的速度 9, 15, 30cm/sec の順に有意に低くなった。これらの結果から、カラスは、標的の動きが遅い条件下では標的の動きを追跡しながら捕捉する運動制御（オンラインフィードバック制御）を用い、速い条件下では標的の動きから次の瞬間の位置を予測し、急加速することで捕捉する予測的運動制御（フィードフォワード制御）に切り替えている可能性が示唆された。これらの結果は、カラスの到達把握運動には、0.1 秒で到達可能なクチバシ近傍空間における柔軟な視覚-運動制御メカニズムが関与していることを示唆するものであり、身体拡張性の基盤メカニズムを備えていることを示唆する。



左図:カラスの到達運動速度. 標的の速度条件間で差がない(緑 9 cm/s, 青 15 cm/s, 赤 30 cm/s).  
右図:到達運動の加速度成分の時間変化. 30cm/s(赤)条件では到達 0.1 秒前に急加速している.  
到達時点を 0 秒とし遡った値として表示されている。

## (2) 頭足類（タコ）の研究成果

2種のタコの腕について、マダコ属で特定されたものと類似の構造、すなわち中央に位置する神経索 axial nerve cord (AN)、腕縦方向に伸びる縦の筋肉 longitudinal muscle (LM)、神経索の周りに位置する径方向の筋線維 transverse muscle fiber (TM)、腕の四方向に配置された筋肉内の神経 intramuscular nerve (IN)などが特定された。一方、吸盤については、一次括約筋と一次括約筋より小さな二次括約筋、放射状筋肉や環状筋が確認できた。これら異なる筋繊維の量的割合は、腕根元部、中間部、先端部で一様のもとは異なるものがあり、腕の動作における機能局在を反映している可能性がある。



5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Matsui H, Izawa, E-I	4. 巻 30
2. 論文標題 Control of bill-grasping aperture with varying food size in crows.	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 NeuroReport	6. 最初と最後の頁 522-525
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1097/WNR.0000000000001240	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 中田 龍三郎, 川合 伸幸	4. 巻 26
2. 論文標題 社会的な存在 - 他者 - をプロジェクションする	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 認知科学	6. 最初と最後の頁 86-97
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.11225/jcss.26.86	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 持田 浩治, 香田 啓貴, 北條 賢, 高橋 宏司, 須山 巨基, 伊澤 栄一, 井原 泰雄	4. 巻 70
2. 論文標題 社会学習による行動伝播の生態学における役割	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 日本生態学会誌	6. 最初と最後の頁 177-195
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.18960/sei tai.70.3_177	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計7件（うち招待講演 1件/うち国際学会 0件）

1. 発表者名 伊澤 栄一
2. 発表標題 生物心理学：カラスをモデルとした“こころ”の進化
3. 学会等名 慶應義塾大学 自然科学研究教育センター開所10周年記念シンポジウム 「自然科学のこれまでと今後の展望」（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 中田 龍三郎, 川合 伸幸
2. 発表標題 実環境に存在しない他者をプロジェクションする -他者がいなくても、プロジェクションによって社会的変化が生じる-
3. 学会等名 日本認知科学会第36回大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 三浦 慎司, 川合 伸幸
2. 発表標題 日本刀の印象評価は身体感覚に左右される
3. 学会等名 日本認知科学会第36回大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 與那嶺 沙季, 川島 董, 池田 譲, 伊澤 栄一, 川合 伸幸
2. 発表標題 タコ類の身体性に関わる腕の機能局在に関する解剖学的研究
3. 学会等名 令和3年度日本水産学会春季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 三浦 慎司, 川合 伸幸
2. 発表標題 応援に伴う身体運動は映像作品の登場人物の魅力を高めるか
3. 学会等名 日本認知科学会第37回大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 金谷 悠太, 川合 伸幸
2. 発表標題 怒りを紙に記入して捨てると、怒りは抑制されるか?
3. 学会等名 日本認知科学会第37回大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 盛田 一孝, 伊澤 栄一
2. 発表標題 Visceral "cortex" in pigeons: A lesion study
3. 学会等名 第80回日本動物心理学会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計3件

1. 著者名 上田恵介 (伊澤栄一 章分担執筆)	4. 発行年 2019年
2. 出版社 一色出版	5. 総ページ数 432
3. 書名 遺伝子から解き明かす鳥の不思議な世界 (第12章 カラスの認知)	

1. 著者名 Kawai, N	4. 発行年 2019年
2. 出版社 Springer	5. 総ページ数 187
3. 書名 The fear of snakes: Evolutionary and psychobiological perspectives on our innate fear	

1. 著者名 小田亮, 橋彌和秀, 大坪庸介 (伊澤栄一 分担執筆)	4. 発行年 2021年
2. 出版社 朝倉書店	5. 総ページ数 320
3. 書名 進化でわかる人間行動の事典	

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担者	川合 伸幸  (Kawai Nobuyuki)  (30335062)	名古屋大学・情報学研究科・教授   (13901)	
研究 分担者	池田 譲  (Ikeda Yuzuru)  (30342744)	琉球大学・理学部・教授   (18001)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------