

科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成 2 5 年 5 月 1 5 日現在

機関番号：3 2 6 1 2

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2011～2012

課題番号：2 3 7 0 0 3 1 9

研究課題名（和文） 鳥類を用いた関係性認知の進化的起源に関する研究

研究課題名（英文） Comparative cognitive neuroscience study on the ability to recognize the relationship in birds

研究代表者

伊澤 栄一（IZAWA EI-ICHI）

慶應義塾大学・文学部・准教授

研究者番号：10433731

研究成果の概要（和文）：

私たちが序数を理解する上で不可欠な「推移則（ $A < B$ かつ $B < C$ ならば $A < C$ ）」の理解能力が、群れの仲間の序列順位を理解するために進化したと仮説を立て、ヒトとは系統的に離れた鳥類カラスを用い、その認知神経基盤の解明を試みた。屋外飼育群の観察、実験室での行動実験、脳の組織学的分析の結果、カラスが仲間の声と姿を結びつけた個体認知をもとに推移性順位を形成し、その形成・維持に「大脳皮質連合野 - 海馬・扁桃体 - 中隔」の神経回路が関与していることを見出した。

研究成果の概要（英文）：

This study investigated psychological and neural mechanisms for the cognition of transitive relation (i.e., if $A < B$ and $B < C$, then $A < C$) in the crows and yielded three new findings. First, psychological experiment using an expectancy-violation paradigm demonstrated visuo-auditory cross-modal individual recognition. Second, analysis of social interactions in captive flocks revealed altruistic allopreening played a role to maintain the transitive dominance rank between males. Third, analysis of immediate-early gene expression in crow telencephalon suggested limbic circuit, including association pallium, hippocampus, amygdala, and septum, was involved in social recognition based on dominance and individual discrimination.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・認知科学

キーワード：カラス，順位，島皮質，運動野，利他行動

1. 研究開始当初の背景

我々は日常、人と人、物と物の関係性を認知している。関係性の一つに推移性「 $A < B$ かつ $B < C$ ならば $A < C$ 」がある。例えば、他者間の上下関係や物同士の大小の認知がある。

推移性認知の進化起源を解明すべく、ヒト

を含む霊長類だけでなく、鯨類や鳥類を用いた研究が過去なされてきた。しかし、その多くが当該動物種の生態文脈から切り離された刺激・文脈での実験であるため、得られた結果からは、動物の“暮らし（生態）”の何を進化因として生じたかを明らかにすることができなかった。

2. 研究の目的

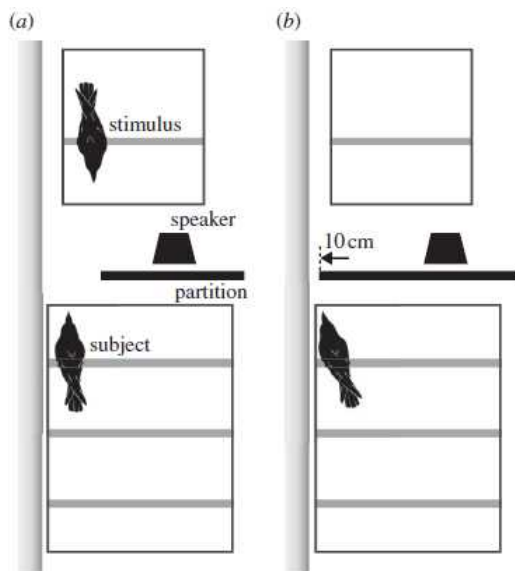
本研究では、関係性認知の進化因として、“群れ社会”という社会生態に着目した。様々な成員がつくる社会は、自-他との関係に加え、他者間の関係をも認知するからである。そこで、複雑な群れ社会を形成する鳥類カラスを用い、推移性関係の認知、および、それを支える基盤認知機能と脳機能の解明を試みた。

3. 研究の方法

推移性認知とその基盤認知機能および関連脳機能を明らかにするために次の実験を実施した。

(1) 個体認知能力の行動学的検証

他者間の関係を理解する推移性認知には、その基礎として個体認知能力が必須である。従来霊長類研究で用いられていた「予測離反課題」を鳥類カラスに適用する行動実験系を開発、実施した。カラスが他個体を姿と声を統合し認識しているならば、既知個体の姿と声とが一致しない事態では、被験体には予測離反が生じ、強い反応が予想される。被験体と刺激個体を対面させた（視覚刺激提示）直後、対面個体と一致する／不一致しない声をプレイバックし、この2条件間で被験体の反応を比較した（図1）。



(2) 推移性関係の認知神経基盤

図1 期待離反課題の模式図。(a)被験体(手前)は刺激個体(後方)と対面する視覚刺激を呈示された直後、(b)スピーカーから刺激個体と同じあるいは異なる個体の音声呈示された。

社会的推移性関係としての個体間の優劣順位に関わる神経機構の検討を行った。一対対戦状態で優劣を形成した若鳥オス個体を用い、優位または劣位個体と再対面させた際の攻撃・服従・中立社会行動の頻度を計測し（図2）、カラス大脳全域における最初期遺伝子 ZENK の発現量との相関を網羅的に調べた。

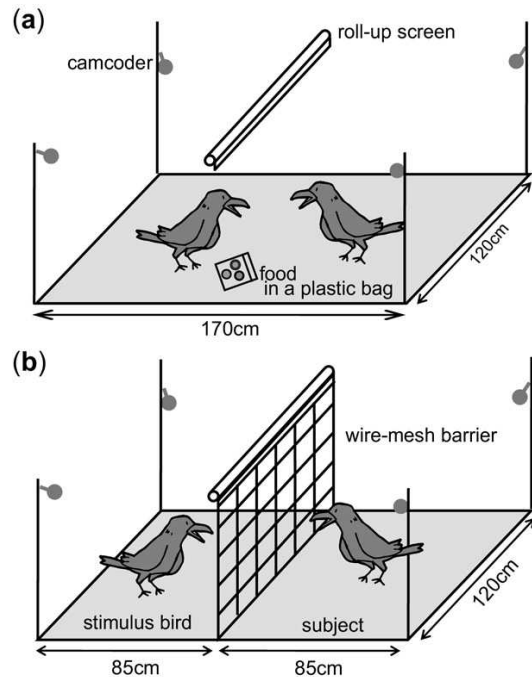


図2.(a)一対対戦法の模式図。2羽は対面すると社会行動ディスプレイによって直ちに優劣関係を形成する。(b)個体刺激呈示の様子。優位・劣位個体と対面させた後、神経活性を組織学的に計測、解析した。

(3) 飼育カラス群における優劣推移性順位関係の成立検証

屋外の飼育ケージを2棟設け、8羽と10羽の雌雄混合集団を2群導入し、恒常的観察を実施し、個体間の社会行動パターンを長期記録・解析することで「個体間の優劣順位の有無」「順位を形成・維持するための行動」を調べた。

(4) カラス大脳皮質における新規な神経核の回路連絡の同定

実験(2)における神経活性解析において、巣外套とよばれる領域のなかに、従来鳥類脳には記述されていない新規な神経核を発見した。この発見は予想外であったが、脳と関係性認知との進化における連関について、斬新な仮説を得られる可能性が浮上したため、当初計画していなかったものの、神経

連絡標識による当該新規部位の回路連絡の同定を試みた。

4. 研究成果

(1) 個体認知能力

カラスが隙間を覗く性質を利用し予測離反課題を開発した。対面個体とは異なる声が提示されることで生じた予測離反が引き起こす対面個体ケージへの注意・関心を、壁と被験体チャンバーの間に設けられた隙間を覗く行動として計測することを指標として定量化した。

実験の結果、結果、不一致条件において強い反応が見られた。未知個体に対しては、一致/不一致いずれにおいても強い反応は見られなかった。以上の結果は、カラスが相手の姿と声を統合することで「個体」という概念を形成して認識していることを示す。鳥類がこのような個体認知を示す世界で初めての研究であり、当該学術分野への強いインパクトはもちろん、国内外のメディアにも取り上げられた。

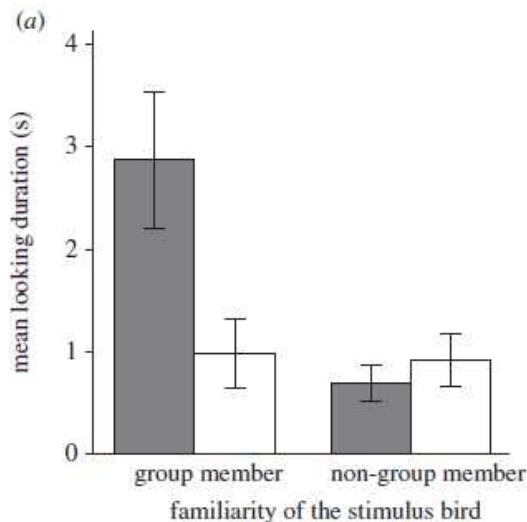


図3. 音声刺激呈示に対する被験体の覗き潜時。既知個体と対面後、異なる個体の音声呈示された場合、被験体は刺激個体ケージを長時間覗いた(左側の黒グラフ)。しかし、同じ個体(左側の白グラフ)あるいは未知個体(右側グラフ)に対しては長時間の覗き行動は生じなかった。

(2) 推移性関係の認知神経基盤

既知の優位個体/既知の劣位個体/未知個体と対面させた3群に対し、遺伝子標識による神経活性に対する、対面刺激個体の優劣カテゴリーと表出行動との相関解析を元に、30以上の大脳部位について網羅的解析を行った。

その結果、中隔をはじめとする辺縁系諸部位の神経活性は、被験体が攻撃したか服従したかを反映すること、外套連合野の神経活性は、対面刺激が既知か未知かを反映すること、海馬はの両方が反映されることが判明した。これらの結果は、カラスの優劣関係の維持に、外套連合野による刺激弁別、辺縁系による攻撃・回避という社会行動の出力制御、両者の海馬における統合、という機能的神経回路が関わっていることを示唆する。これらの知見は、従来哺乳類で報告されている関連神経回路と一致することから、大脳皮質が層構造にない鳥類においても、類似の情報処理神経アルゴリズムが備わっている可能性を示す。

(3) 飼育カラス群における優劣推移性順位関係の成立検証

屋外ケージにて飼育した2群のハシブトガラスの社会行動を、2年間、計180時間超にわたって観察した。

蓄積したデータを解析した結果、群れ内には線形性優劣順位が形成されること、オス間の優劣順位は利他行動である相互羽づくろいを優位オスから劣位オスに一方向的に行うことによって維持されること、メス間の順位は不明瞭であることが判明した。1群において、秋から冬の繁殖期に、それまで2位だったオスが1位オスとの闘争に勝ち、順位が逆転する現象が観察された。それに伴って、当該個体間における相互羽づくろい方向が逆転したことから、オス間の相互羽づくろいが上位から下位へと一方的に生じることを確認することができた。

(4) カラス大脳皮質における新規な神経核の回路連絡の同定

神経の順行性連絡と逆行性連絡を標識可視化するデキストラン2種(分子量3000, 10000)を用い、巣外套の新規な神経核の回路連絡標識を行った結果、間脳の体性感覚視床からの入力、延髄へ直接下降路をもつ、

大脳皮質体性感覚野と連合野との相互連絡をもつことを見出した。少数例の結果ではあるが、機能解剖学的可能性として、哺乳類大脳の「運動野皮質」あるいは「島皮質・帯状回皮質」のいずれかの可能性が浮上した。霊長類の研究では、前者は運動だけでなく序数の情報処理に関与し、後者は内観や「心の理

論」への関与が報告されている。いずれも高次な社会認知に関わるものであり、関係性認知を含めた高次認知の進化には、運動野皮質や島皮質などの構造が発達することが関係しているかもしれない。このような仮説は国内外では全くなく、さらに実験知見を蓄積することで、動物種を超えた脳構造と高次認知機能の進化的関係を理解する斬新な仮説を提唱することができる。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計6件)

1. 伊澤栄一, 渡辺茂 (2013) 個に根差したカラスの社会 ~もう烏合の衆とは言わせない~ 私たちの自然(日本鳥類保護連盟誌) 54: 19-2. 査読なし
2. 近藤紀子, 伊澤栄一 (2013) 「烏合の衆」ではないカラスの群れ 個体認知に基づくカラスの社会 生物の科学 遺伝 67: 358-363. 査読なし
3. Kondo, N., Izawa, E-I., and Watanabe, S. (2012) Crows cross-modally recognise group members but not non-group members. *Proceedings of the Royal Society B* 279: 1937-1942. 査読あり
DOI: 10.1098/rspb.2011.2419.
4. Nishizawa, K., Izawa, E-I., and Watanabe, S. (2011) Neural-activity mapping of memory-based dominance in the crow. *Neuroscience* 197: 307-319. 査読あり
DOI: 10.1016/j.neuroscience.2011.09.001.
5. Izawa, E-I., and Watanabe, S. (2011) Observational learning in the large-billed crow (*Corvus macrorhynchos*). *Interaction Studies* 12: 280-302. 査読あり
DOI: 10.1075/is.12.2.05iza
6. 伊澤栄一 (2011) カラスの社会. *動物心理学研究* 61: 55-68. 査読あり
DOI:10.2502/janip.61.1.5

[学会発表](計12件)

1. 近藤紀子, 伊澤栄一 ハシブトガラスの発声行動は社会的順位の影響を受けるか 日本動物行動学会第31回大会, 2012年11/23-25, 奈良市.
2. 伊澤栄一 カラスの社会, 認知, 脳 科研費基盤A「カラスの感染伝搬と飛翔軌跡の解析(代表者 杉田昭栄)」主催カラスシンポジウム, 2012年11/17, 宇都宮.
3. 伊澤栄一, 清水透, 渡辺茂 ハシブトガラスの脳に見出された新規な皮質 - 延髄路 日本動物心理学会第72回大会, 2012年5/12-13, 西宮市.

4. 金井将希, 伊澤栄一, 渡辺茂 ハシブトガラスの道具使用における視覚の役割 日本動物心理学会第72回大会, 2012年5/12-13, 西宮市.
5. 伊澤栄一 カラスの行動と脳から知性の進化を探る 2011年度第3回社会的知能発生学研究会, 2012年2月25-26日, 東京.
6. Ikkatai, Y., Izawa, E-I., & Watanabe, S. Postconflict affiliation in budgerigars, *Melopsittacus undulates*. *Behavior* 2011, 25-30 July 2011, Bloomington, USA.
7. Kondo, N., Izawa, E-I., & Watanabe, S. Cross-modal individual recognition in large-billed crows. *Behavior* 2011, 25-30 July 2011, Bloomington, USA.
8. 近藤紀子, 伊澤栄一, 渡辺茂 ハシブトガラスにおける“声”と“姿”を統合した他個体の認知 日本鳥学会 2011年度大会, 2011年9/17-19, 大阪市.
9. 金井将希, 伊澤栄一, 渡辺茂 ハシブトガラスの道具使用における運動制御 *Animal* 2011, 2011年9/8-11, 東京.
10. 近藤紀子, 伊澤栄一, 渡辺茂 ハシブトガラスにおける異種感覚情報を統合した個体認知の検証 *Animal* 2011, 2011年9/8-11, 東京.
11. 一方井祐子, 伊澤栄一, 渡辺茂 セキセイインコにおける宥和行動 *Animal* 2011, 2011年9/8-11, 東京.
12. 伊澤栄一, 柳掘直子, 渡辺茂 ハシブトガラスの群れにおける採餌技術の伝播と優劣順位 *Animal* 2011, 2011年9/8-11, 東京.

[その他]

ホームページ等

メディア報道

新聞 2012年1月12日 読売新聞朝刊 35面「カラス烏合の衆じゃなかった」

など計10紙

TV

2012年4月7日 フジテレビ系 FNNスーパーニュース「外見と鳴き声で仲間識別カラスの高度な能力判明」など計3件

6. 研究組織

(1) 研究代表者

伊澤 栄一 (IZAWA EI-ICHI)
慶應義塾大学・文学部・准教授
研究者番号: 10433731