

大阪市立大学の研究者の世界

第3回

# ACADEMIC CAFE

2020 7.9 Thu  
13:10~15:10

Zoom開催  
学内限定

参加方法: Zoomウェビナーにて開催(URLより参加)  
※URL・パスワードはポータルサイトに掲載します。

## テーマ: 動物にころはあるか?

### Episode1. 魚にもころはあるか?



幸田 正典  
理学研究科 教授

昨年、我々の研究室は、魚が鏡に映る姿を自分だと認識することを世界ではじめて発見した。その後、魚もヒトと同様に相手の顔で他個体を区別し(「他者認識」、鏡に映る自分の顔を自分だと認識(「自己認識」)することを、動物ではじめて明らかにした。魚が他個体と鏡の自分を認識する過程は、ヒトの場合とよく似ている。鏡がわかる魚は自分の顔が分かっており、さらに自分が存在していることもわかっている可能性すらある。この自己意識の存在は、魚にもヒトのような高次の「ころ」があることを示唆している。

### Episode2. ハトは他者に協力できるのか?



佐伯 大輔  
文学研究科 准教授

行動分析学では、条件づけの手法を用いて、ヒトや動物の行動が、経験によってどのように変化するかを研究する。今回、その研究例として、「四人のジレンマゲーム」という、他者との「協力」と「裏切り」の間の選択場面を持ちいて、ハトの協力的行動を調べた研究を紹介する。また、行動分析学は、行動の原因を、心(ころ)ではなく、環境に求めるという立場をとるが、このような立場から、動物の行動がどのように解釈できるかを論じる。

不可識別者同一性原理を持ち出すまでもなく、また、ピュリダンのロバを思い出すまでもなく、あるものを別のものと区別したり、またあるものとあるものとの同一性を確認したりすることには自然種の問題などの困難が伴う。ましてやそれが、「自己」と「他者」の文脈では、自己の同一性の根拠と、他者が「異なるが似ている」ことをもとにした他者行動の推測がどのようにして可能となるのかも問われる。さて、AIは鏡を見るだろうか?



ファシリテーター  
橋本 文彦  
副学長

※後日動画配信予定

All religions, arts and sciences are branches of the same tree. Albert Einstein

われわれは、すべてのものを包括する統一  
的な知識を求めようとする熱望を、先祖代々  
受け継いできました。学問の最高の殿堂に  
与えられた総合大学(university)の名  
は、古代から幾世紀もの時代を通じて、総  
合的な姿こそ、十全の信頼を与えられるべき  
唯一のものであったことを、われわれの心  
に銘記させます。しかし、過ぎる100余年の  
間に、学問の多種多様の分枝は、その広さ  
においても、またその深さにおいてもま  
す拡がり、われわれは奇妙な矛盾に直面す  
るに至りました。われわれは、今までに知ら  
れてきたことの総和を結び合わせて一つの  
全一的なものにするに足る信頼できる素  
材が、今ようやく獲得されはじめたばかりで  
あることを、はっきりと感じます。ところが一  
方では、ただ一人の人間の頭脳が、学問全  
体の中の一つの小さな専門領域以上のもの  
を十分に支配することは、ほとんど不可能  
に近くなってしまったのです。

この矛盾を切り抜けるには(われわれの真  
の目的が永久に失われてしまわないように  
するためには)、われわれの中の誰かが、  
諸々の事実や理論を総合する仕事に思い  
きって手を着けるより他には道がないと思  
います。

シュレーディンガー：岡小天；鎮目恭夫 訳。  
「生命とは何か—物理的にみた生細胞」  
まえがきより抜粋

申込  
不要

知の  
SEEDS  
大阪市立大学

# 魚にもこころはあるか？

---脊椎動物のこころの起源を探る---

理学部 生物学科 幸田正典



## 脊椎動物

ヒト 霊長類 哺乳類 鳥類 爬虫類 両生類 魚類



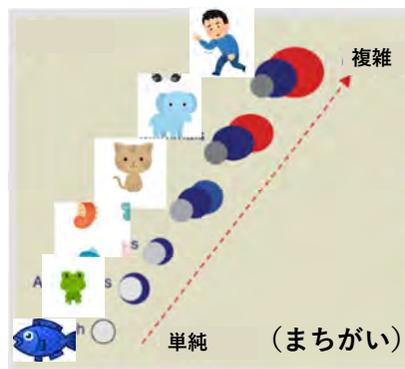
こころって何？

自分のこころ(心)は実感できるけど、  
心は定義が最も難しい言葉の1つ

人間の精神作用のもとになるもの (広辞苑)

脳の働きで生じるもの

## 前世紀：脳の捉え方



新しい脳が追加されて進化してきた

ヒトには高度な心がある。  
しかし魚類などには心はない

## 前世紀：脊椎動物の知性やこころの捉え方

(こころ、思考、洞察、予測、同情)

学習(かしこい)



本能 (アホ)

(生得的反応、刺激反射)

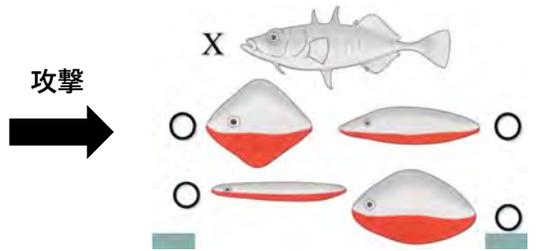
ヒトと魚が両極

: 現在も

# 動物行動学：魚類の行動は刺激への反射



トゲウオの縄張り雄



誰もかわかっていない

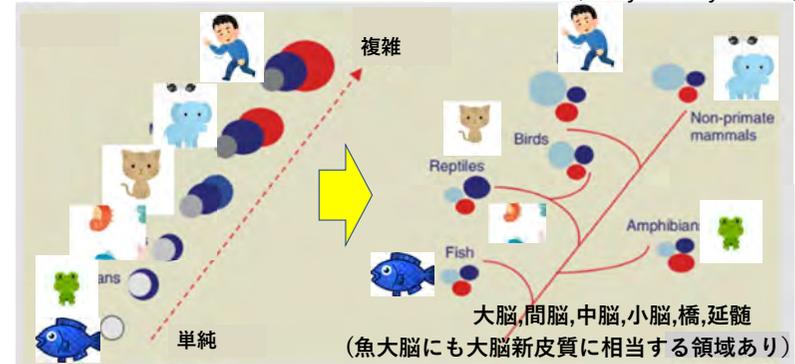
赤色の鍵刺激がオスの攻撃(反射)を引き起こす。  
(→ 意図・目的もない)



魚にこころなどない (1950- )

# 今世紀：新しい脳の捉え方

(Emery and Clayton 2005)



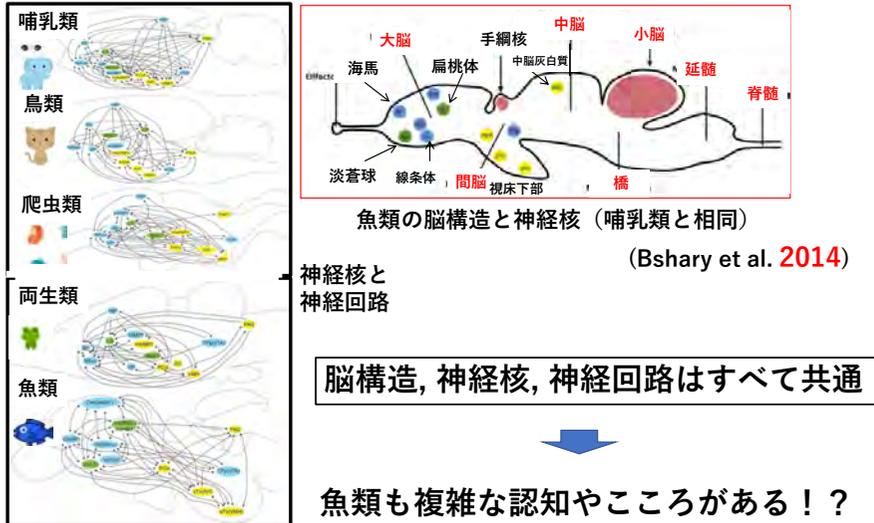
前世紀の捉え方(間違い) 新しい捉え方 (正しい：事実)

新しい脳が追加された

脳構造は進化の初期段階で成立

脳神経科学の成果

# 最新の見解：脊椎動物の脳と神経回路



(O'Connell and Hoffman 2012)

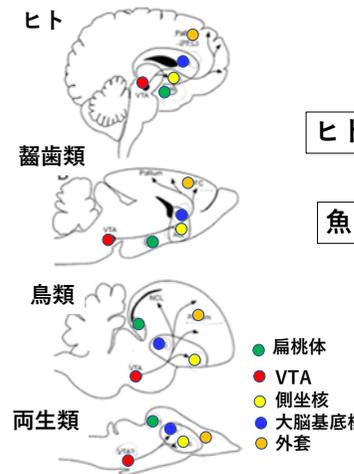
やや脱線!

# 基本的な感情 = 情動

ヒトの基本6情動：喜び, 悲しみ, 怒り, 嫌悪, 恐怖, 驚き

前世紀：爬虫、両生、魚類にはないとされた。

魚の基本情動：喜び, 悲しみ, 怒り, 嫌悪, 恐怖, 驚き



情動処理の神経基盤：中脳ドーパミン系

魚類にも哺乳類に類似した神経回路や機能がある (篠原・清水 2015)

情動処理に関する脳の進化 (篠原・清水 2015)

2010年頃から魚の認知能力の研究が始動 \*は大阪市立大学

<p><b>論理的思考</b></p> <p>A&gt;B &amp; B&gt;C ↓ A&gt;C</p> <p>(2007 Nature)</p> <p>(2014*, 2015*)</p>	<p><b>嘘をつく</b></p> <p>(2006 Science)</p>	<p><b>鏡像認知</b></p> <p>(2019*)</p>
<p><b>顔認識</b></p> <p>顔で相手を個別に識別する</p>	<p><b>エピソード記憶</b></p> <p>(2016)</p>	<p><b>救済・援助</b></p> <p>(投稿準備中*)</p>
<p>(2015*) (2016*) (2017*) (2018*) (2019a*) (2019b*)</p>	<p><b>道具使用</b></p> <p>(2012)</p>	<p><b>共感と同情</b></p> <p>(準備中*)</p>
	<p><b>遊び</b></p> <p>(2014)</p>	<p><b>メタ認知</b></p> <p>(実験中*)</p>

魚の高度な認知能力は霊長類に匹敵！

鏡像認知から「高度なところ」へ

鏡像認知：鏡に映る姿を自分と認識できる能力

= 自分を他者とは別の個人であると認識する能力 (自己認識)



⇒ 自分自身や自己の存在に気がつく(意識上にあがる)能力  
自己意識 (自意識)

鏡像認知 ⇒ 自己認識  
自己意識 (自意識) ⇒ 高度なところ  
(≒ヒトのようなところ)

(Gallup 1985, 1987; Basile et al 2013)

鏡像認知ができる動物；

(できなかった動物>100種)



(Gallup 1970)  
チンパンジー  
4/4個体  
(累計約50/100, 50%)



(Reiss et al. 2001)  
イルカ  
2/2 (100%)



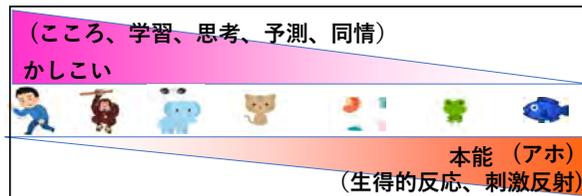
(Plotnik et al. 2006)  
ゾウ  
1/3 (33%)



(Prior et al. 2008)  
カササギ  
2/5 (40%)



(Kohda et al. 2019)  
ホンソメワケベラ  
(ホンソメ)  
3/4 (75%)



鏡像認知までの過程

はじめて鏡を見ると：

- 1 **社会行動 (攻撃、挨拶)**  
他個体と勘違い
- 2 **随伴性の確認**  
自分かどうかの確認
- 3 **自分の顔を何度も見る**  
自分と認識しはじめる  
(鏡像認知のできはじめ?)

	ホンソメ	チンパンジー
「鏡の自分を魚が認識するイメージ」	1 攻撃しして	他の個体と勘違いして
	2 不自然な行動	突然ダッシュするなど
	3 のぞき込む	自分の姿を鏡に

これでは決定的証拠とは言えない

## マークテスト(ルージュテスト) :

- 1) 鏡像認知ができたと思われる動物の額や喉(直接見えない)に印(マーク)をつけ、
- 2) 鏡を見た時だけマークを擦れば(触れば)、
- 3) 自分にマークがついていると認識していることの証拠!



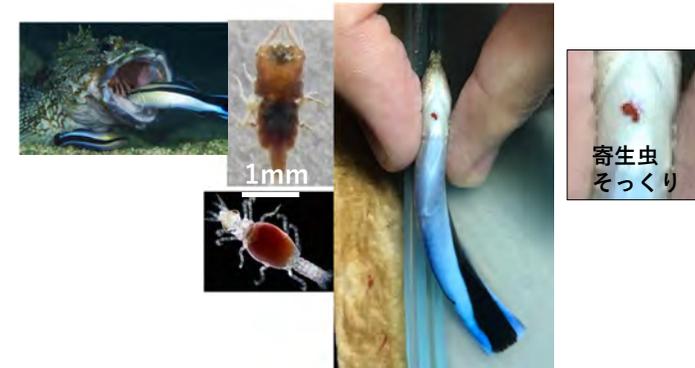
マークテストに合格



鏡像が自分だとわかっている = 鏡像認知ができる証拠

13

ホンソメを選択した理由：掃除魚で魚類の寄生虫をとる。マークを気にするだろう。喉に入れ墨(マークテスト)



(予想)

鏡で喉の寄生虫だとみなせば底で擦る

14



鏡を見慣れた新たな14個体で実験 (by 院生・4回生)

実験	予測
マークなし (対照実験 1)	✗
擬似マーク (対象実験 2)	✗
茶色マーク (対照実験 3)	✗
茶色マーク (本実験)	◯

予想通りだとマークテスト合格！ 自己認識できる！

結果や如何に？

2019論文ではホンソメは、3/4が合格

16

マークテスト		予測	結果
マークなし (対照実験 1)		✗	0% (0/14)
擬似マーク (対象実験 2)		✗	0% (0/8)
茶色マーク (対照実験 3)		✗	0% (0/14)
茶色マーク (本実験)		◯	100% (14/14)

幸田はノータッチ！ 追試実験は大成功！

17

マークテスト		予測	結果
マークなし (対照実験 1)		✗	0% (0/18)
擬似マーク (対象実験 2)		✗	0% (0/12)
茶色マーク (対照実験 3)		✗	0% (0/18)
茶色マーク (本実験)		◯	94% (17/18)

サンプル数(n=18)は、チンパンジーに次いで世界第2位。  
合格率94%は世界新 (チンパンジーは約50%、ゾウ30%、カササギ40%)

ホンソメワケベラは鏡像認知ができる

18

### 寄生虫に見えないマークだと？

実験		予測	結果
青/緑色 マーク		✗	/10
青/緑色マーク		✗	/10
茶色マーク		◯	17/18

予想：青や緑色マークは寄生虫とは見えず擦らない

19

### 寄生虫に見えないマークはどうする？

実験		予測	結果
青/緑色 マーク		✗	0% 0/10
青/緑色マーク		✗	0% 0/10
茶色マーク		◯	94% 17/18

青や緑のマークは見えても擦らない。

マークの色(意味)はとても重要！

合格  
不合格

20

マークテストに合格しなかった動物を再検討



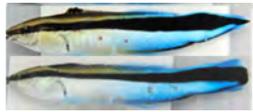
(Roberts 2011)



(Broom et al. 2009)



(Ohnishi per com)

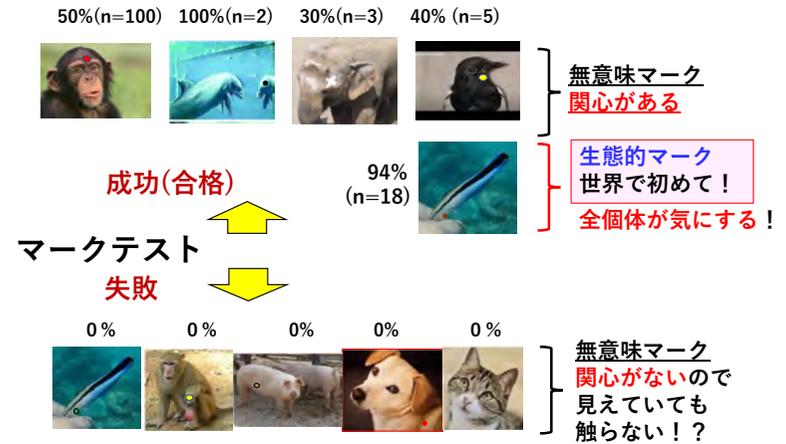


体側のマーク(寄生虫似)を直接見て何度も擦る!(意味のあるマーク)

そもそも直接マークを見ても気にしない!(意味のないマーク)

ほとんどの実験はこの前提の確認なし。ほとんどの実験が失敗の可能性大

無意味マークと生態的マーク



無意味マークを触らない場合、鏡像認知の有無が判定できない!

実験失敗の例数が多い(総数 > 100種)



無意味マーク 関心がないので触らない!

Povinelli教授



不合格だ。鏡像認知ができない。自己認識できない。



生態的マーク

世界の通説はまちがい

ホンソメのように生態的マークなら多種が反応。= 鏡像認知ができる。自己認識できる。



動物の鏡像認知を不当に過小評価している!

<ここまでの結論>

ホンソメは鏡像認知できる。

多くの動物は鏡像認知ができるだろう

ホンソメは鏡像認知できる。



彼らはどうやって鏡像認知するか？

自己意識があるのか、形成過程を探る重要な手がかり。

でも動物の実証研究がまったくない！！

なんでやねん！

大型類人猿、ゾウ、イルカ、カササギ



### ヒトの鏡像認知のやり方

ヒト：自分顔のイメージに基づき鏡像認知する。  
このやり方で自己認識し、自己意識を持つ



(Keenan 2003)

動物：ヒトと同様な鏡像認知をするなら、  
同様な自己意識と高度なところを持つ。



(Gallup 1985, 1987)

そこで、

世界で初めて動物(魚)で鏡像認知のやり方を調べた。

### 魚は自分の姿を自分と認識？(写真で実験)



ホンソメは知らない個体を攻撃する

鏡像認知前



自分 他人 (写真)

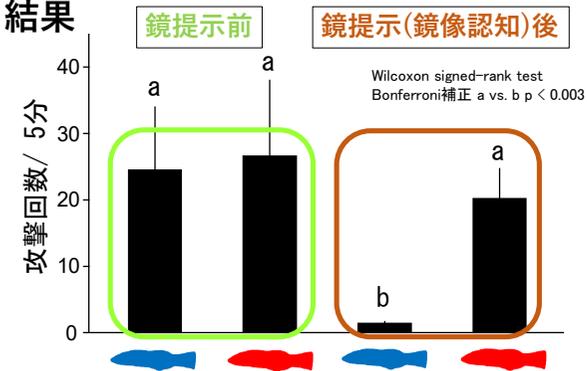
鏡像認知後



自分 他人 (写真)

鏡像認知

### 結果



鏡提示前：他人と勘違いする。

鏡提示後：自分自身と認識。

写真のどこで認識した？ 顔？

## ホンソメの顔



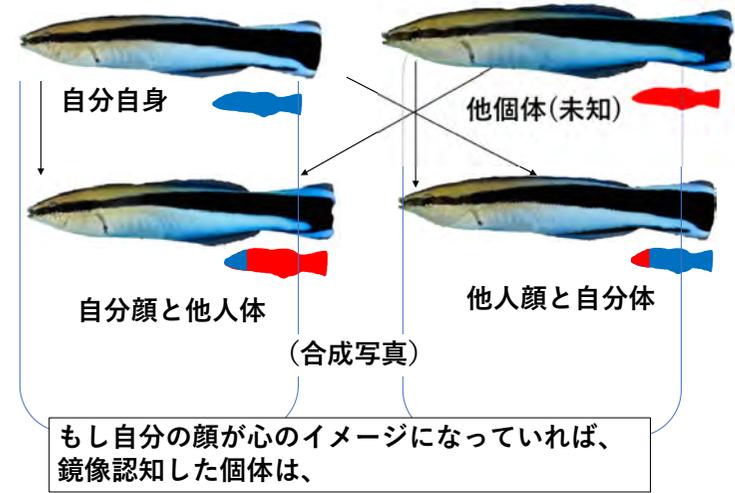
ヒトの顔は個体変異が多く、自己イメージがしやすい。(他者のイメージも！)



顔にソバカスの個体変異がある

ホンソメも自分の顔のイメージを持つ可能性？

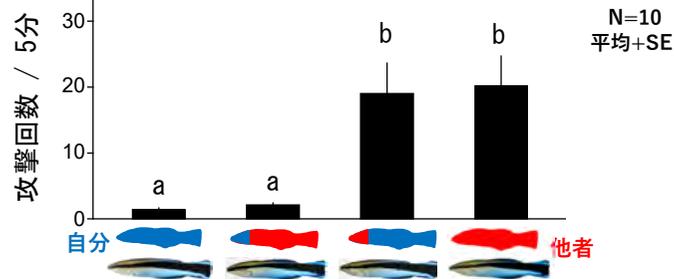
29



予想 **攻撃しない** **攻撃する**

30

## 結果 鏡像認知ができた後の反応



ホンソメは顔で自己か他者かを認識！  
= ヒトのように顔の心的イメージがある！

ヒトのやり方とそっくり！

動物が自己顔の心的イメージを持ち、鏡像認知することを世界で初めて証明！

31

## 結論



De Waal教授  
チンパンジー研究  
の世界的第一人者。  
2020年1月のシンポ  
での我々のこの発表  
に強く賛同。

魚も自分の顔の心的イメージを持ち、鏡に映る顔で自分と認識している！



自己意識の持ち方に  
魚とヒトで高い共通性

魚類にはヒトに近い**高度な**ところがありそう！

多くの脊椎動物は自己意識があり高度なところを持つだろう！

32

# 魚もヒトのように高度なところを持つ



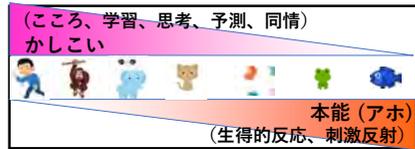
私は間違っていた!



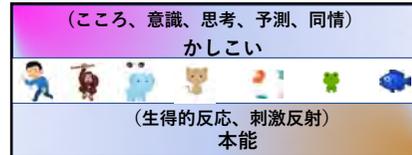
デカルト  
(動物機械論)

動物の捉え方のコペルニクスの転回。

これは大間違い



より正しい (仮説)



動物の捉え方の変革の時が来ている

# 大阪市大で魚の認知と高度なところについて研究が始まる

論理的思考



(2014, 2015)

意図的騙し



(継続中)

エピソード記憶



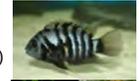
(計画中)

鏡像認知



(2019)

援助行動



(投稿準備中)

共感や同情



(準備中)

情動伝染



(実験中)

メタ認知



(実験中)

鍵刺激の再検討



(開始した)

顔認識



(2015)  
(2016)  
(2017)  
(2018)  
(2019a)  
(2019b)

顔で相手を個別に識別する

情動が絡んだ認知能力 (こころ)

魚類の高度な認知ところを極めます!

どうか実験室をよろしくお願いします。



ご清聴ありがとうございました。



本研究は大阪市立大学の戦略的研究「重点研究」の補助を受けています。

北海道大学石原助教

アメリカザリガニ シオマネキ

顔で個別に個体識別。鏡像認知の可能性

頭足類

甲殻類

脊椎動物

イカは鏡像認知できる



琉球大学  
池田教授



幸田 大阪市立大  
安房田准教授

高い社会性・視覚認知と運動性・中枢神経が3門で発達!

頭足類や甲殻類が相似のこころ(自己意識)を持つ可能性

この認知進化生態学プロジェクトは本学での  
学術変革領域研究として現在準備中

## ハトは他者に協力できるのか？

佐伯大輔  
大学院文学研究科・人間行動学科  
心理学専修

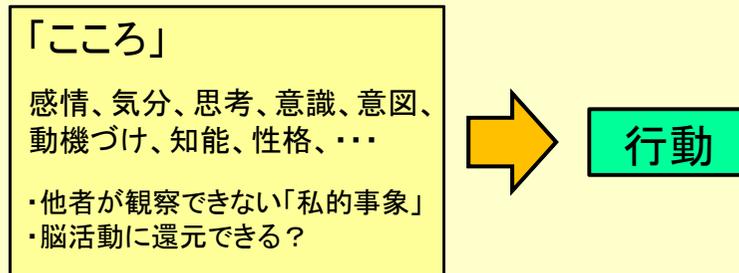
1

## 目次

1. 心理学における「こころ」
2. 心理学における動物行動の解釈について
3. 行動分析学の考え方
4. 囚人のジレンマゲームによる協力行動研究
5. 餌場の共有場面を用いた協力行動測定
6. まとめ

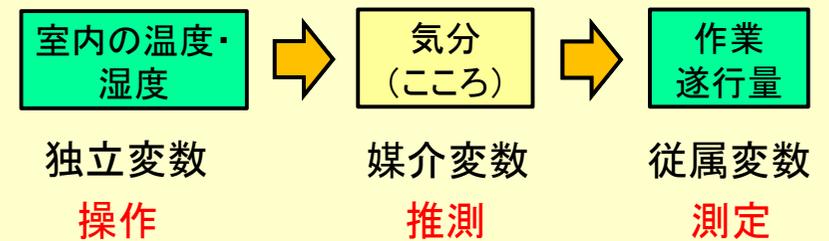
2

### 1. 心理学における「こころ」



「こころ」は行動の原因で、行動から推測される。

3



「独立変数(外的環境)と従属変数(行動)の関係から  
媒介変数(心)をさぐる」(中島, 2019)

4

## 2. 心理学における動物行動の解釈について

ロマネス(1848-1894)

### 逸話蒐集法

「動物の知能」(1882)

- ・「自殺」するサソリ
- ・ドアノブのしくみを「理解」するネコ

### 擬人的解釈

⇒ 動物は「意図」をもって行動する

ロイド・モーガン(1852-1936)

「比較心理学入門」(1894)

ロマネスの研究を批判

サソリの行動は**反射**、  
ネコの行動は**試行錯誤**による

⇒ 「観察された事実」と  
「観察者の推測」を区別する必要がある

### モーガンの公準 (Morgan's canon)

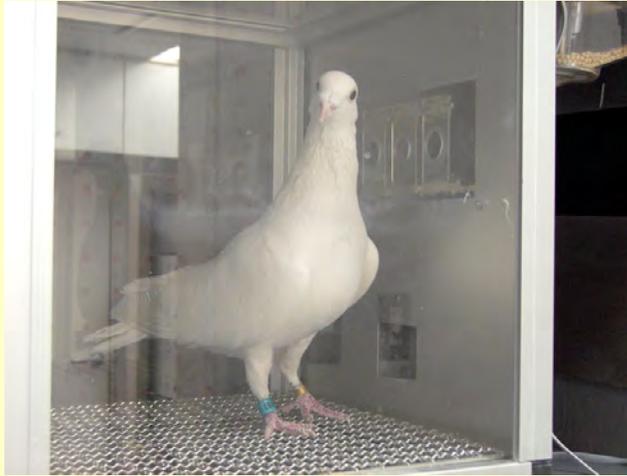
「心理学的尺度において低次の能力によるものとして解釈できる場合は、高次の心的能力が作用したものとして解釈してはならない」(中島, 2019)

⇒ 「意図」による解釈と、「反射」による解釈の両方が可能ならば、「反射」による解釈を採用すべき

## 3. 行動分析学の考え方

- 動物の習得的行動は、条件づけにより形成・維持  
古典的条件づけ、オペラント条件づけ





9



キーをつついては



エサを食べる

10

- 行動を内的要因(意識、意図、モチベーション、性格)によって説明することは、**循環論**に陥る

「うちの犬は外交的な性格をしている」

原因



「他の犬によく近づき、じゃれる」

結果

「外交的性格」であることが、どのようにしてわかったのか？  
「他の犬によく近づき、じゃれる」から(循環論)

11

- 行動分析学の目的: 行動の予測と制御
- 行動の**原因**として内的(心的)要因ではなく、環境刺激や行動履歴を考える。
- 実験により、条件(独立変数)の操作に応じて、行動(従属変数)がどう変化するか、環境変数と行動の関数関係を明らかにする。

12

#### 4. 囚人のジレンマゲームによる協力行動研究

		プレイヤー2	
		協力	裏切り
プレイヤー1	協力	(3, 3)	(0, 5)
	裏切り	(5, 0)	(1, 1)

(プレイヤー1の利得, プレイヤー2の利得)

- 選択が1回きりであれば、「裏切り」が合理的
- 選択が繰り返し行われる場合、合理的な選び方は、対戦相手の選択方略に依存

13

- 対戦相手の方略が、**ランダム(RND)**の場合、「裏切り」選択が合理的
- 対戦相手の方略が、**しっぺ返し(TFT)**の場合、「協力」選択により、双方の協力選択を実現できる。

しっぺ返し(tit-for-tat, TFT)方略:

1試行目は「協力」を選び、2試行目以降は、直前の試行の対戦相手の選択と同じ選択を行う。

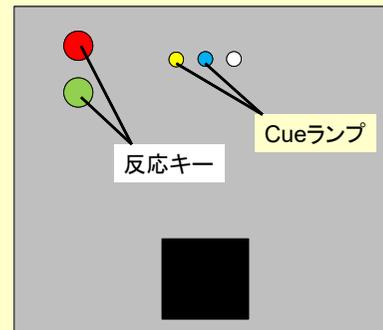
- 動物を対象に、囚人のジレンマゲームを用いた研究の多くは、動物が「裏切り」を多く選ぶことを報告

14

- Green, Price, & Hamburger (1995)

実験箱を用いて、ハトがコンピュータを対戦相手に選択

- ・ハトがキーをつつくことで、「協力」または「裏切り」を選択
- ・コンピュータの選択を、Cueランプの色で表示
- ・利得行列で定められた数の餌ペレットを提示



15

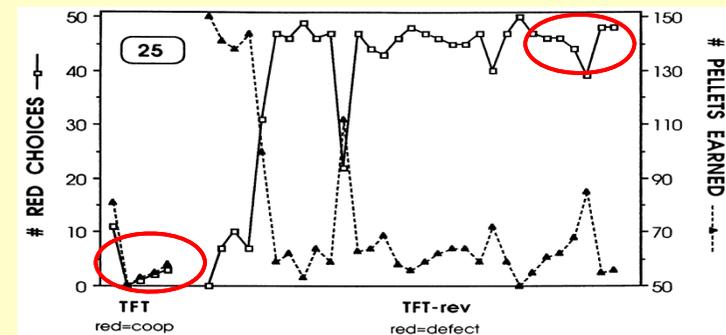


Figure 1. TFT条件下のハトの協力選択数と提示ペレット数。  
Green et al. (1995)のFig. 2から引用。

➡ コンピュータの方略がTFTでもRNDでも、ハトは「裏切り」を多く選んだ。

16

● Stephens, McLinn, & Stevens (2002)

移動式実験箱を用いて、アオカケスがサクラと対戦

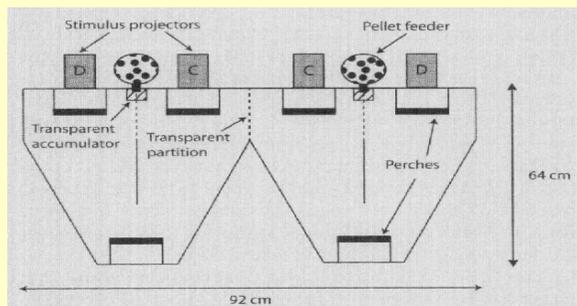


Figure 2. アオカケス用移動式実験箱。Stephens et al. (2002) のFig. 1から引用。

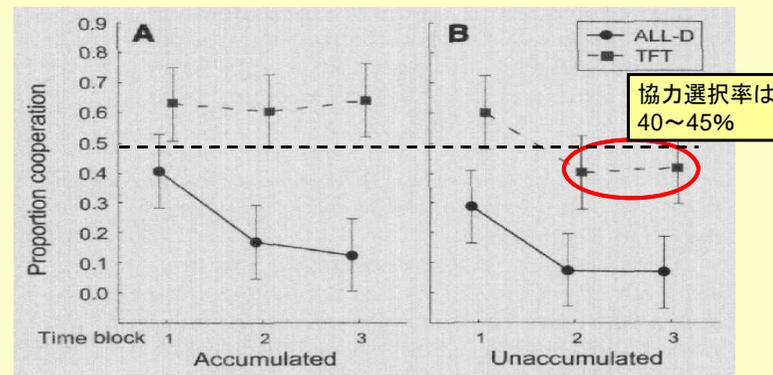


Figure 3. アオカケスの協力選択率。Stephens et al. (2002)の Fig. 2から引用。

5. 餌場共有場面を用いた協力行動測定

- ハトを対象に、他個体との餌場の「共有」と「独占」の間の選択場面を用いて、協力選択を測定 (Kitano et al., in press)
- 「共有」は、協力の一種と位置づけられる。
- サクラ個体の存在、対戦相手の方略 (TFT、RND)、ジレンマ構造 (PDゲーム、チキンゲーム) の効果を検討

チキンゲームの利得行列

		プレイヤー2	
		協力	裏切り
プレイヤー1	協力	(3, 3)	(1, 5)
	裏切り	(5, 1)	(0, 0)

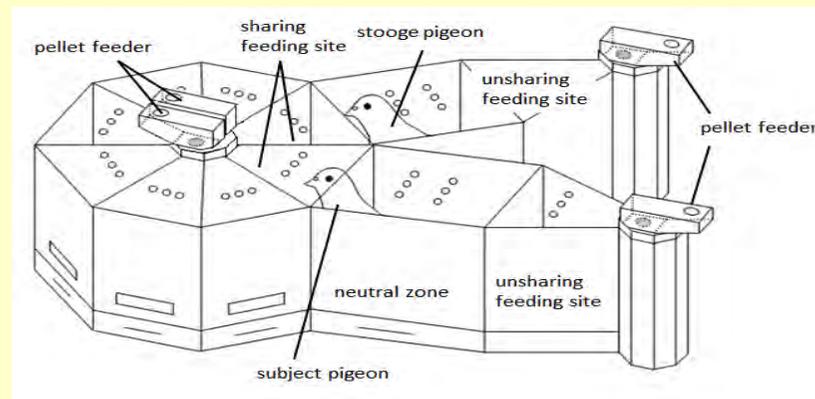


Figure 4. ハト用の餌場の共有-独占選択を測定するための装置

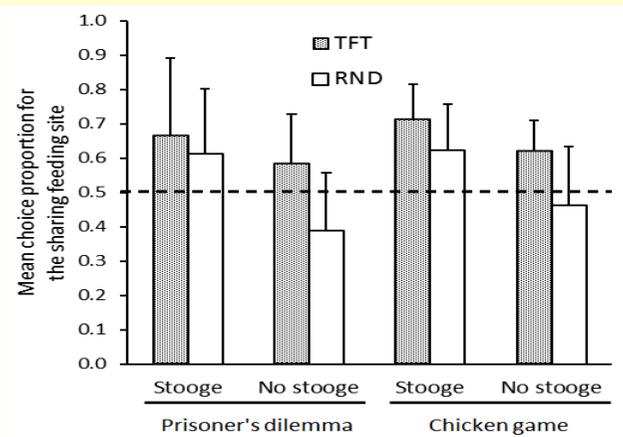


Figure 5. 共有餌場の平均選択率

共有選択率は、サクラあり条件とTFT条件では、0.5よりも高かった。条件間の比較では、

TFT条件 > RND条件  
 サクラあり条件 > サクラなし条件

➡ 協力選択時に他個体が見える場合や、対戦相手がTFT方略を取る場合、ハトは他者に協力することが可能

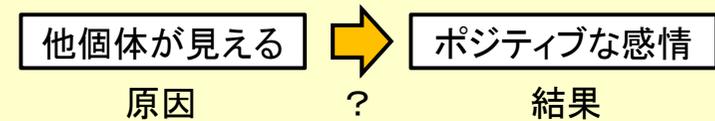
## 6. まとめ

- 場所の移動による選択や、他個体が見えることは、自然場面で実現される特徴である。実験的統制を重視しつつも、動物の協力行動に影響する環境要因を特定する必要がある。
- 行動分析学の観点からは、「他者への協力」といった複雑な行動も、条件づけの結果として生じるものとして考えることができる。行動の**原因**として、「**ここ**ろ」を設定する必要はない。

25

- 原因としての「**ここ**ろ」ではなく、**結果**としての「**ここ**ろ」はありうるか？

➡ 環境刺激により**私的事象**が変化することはありうる（渡辺, 2019）。しかし、それを明らかにする方法は、今のところ不明。



26

## 文献

- ボークス, R. 宇津木保・宇津木成介 (訳) (1990). 「動物心理学史: ダーウィンから行動主義まで」 誠信書房
- Green, L., Price, P. C., & Hamburger, M. E. (1995). Prisoner's dilemma and the pigeon: Control by immediate consequences. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 64, 1-17.
- Kitano, S., Yamaguchi, T., Saeki, D., & Ito, M. (in press). Pigeons' choice between shared and unshared feeding sites in game situations. *Mexican Journal of Behavior Analysis*, 45.
- 中島定彦 (2019). 「動物心理学—心の射影と発見—」 昭和堂
- Stephens, D. W., McLinn, C. M., & Stevens, J. R. (2002). Discounting and reciprocity in an iterated prisoner's dilemma. *Science*, 298, 2216-2218.
- 渡辺 茂 (2019). 「動物に『心』は必要か—擬人主義に立ち向かう」 東京大学出版会

27

2020. 7. 9 開催  
第3回アカデミックカフェ  
「動物にころはあるか？」

## 魚にもころはあるか？

理学研究科 教授 幸田 正典

**概要** 我々は魚類(ホンソメワケベラという熱帯魚)が鏡の姿を自分だと認識することを世界で初めて発見した[1]。次の課題として、魚がどのように自己鏡像を認識しているのかについて、ヒトのように自己のイメージに基づくのか、それとも魚類独自の方法で行うのかを実験により調べた。なんと、魚もヒトと同様に自分の顔がわかり、その顔のイメージと照らして鏡像を自分と認識していたのだ。この自己鏡像の認識様式の解明も動物では世界初の成果である。自分の顔に基づく自己認識は、魚が自己意識を持つこと、つまり魚にもヒトに近い「ころ」が存在する可能性を示唆している。

キーワード: 鏡像自己認知, 他者認知, 自己意識, 顔認識, 高次認知能力。



会場の様子

### 1. 心とは何だろうか

誰もがヒトには心があると認めるだろう。イヌやネコを飼ったことのある人なら、おそらく彼らにも心を認めるだろう。そもそも心とは何だろうか？痛いと感じれば心があるとする例もある。しかし、物事の理解力の程度や感情も関与するため、心の捉え方は様々で簡単に定義はできない[2]。心の階層分類もなされている[3]。その中でもヒトの心のような高次の心は、「自己意識」を持つ心、つまり自分がわかる心であるとされる[2, 3, 4]。この考えでいくと、動物に高次の心があるかどうかは、動物に自己意識があるかどうか、と言い換えることができる。

言葉を話さない動物の自己認識の能力は、どうしたら確認できるだろうか。その方法の1つが、鏡に映る姿が自分と認識できるかどうかの検証である。この検証ができれば、その動物には自分を認識できる自己意識があると言える。

### 2. 鏡像自己認知

鏡に映る姿が自分だと認識ができる(=鏡像自己認知)動物は、チンパンジーなど大型類人猿・

イルカ・ゾウ・カラス類など少数の動物に限られる[2, 3, 4](図1)。



インドゾウ チンパンジー カササギ

図1 鏡像自己認知ができる動物たち。

初めて鏡を見たとき、彼らは鏡に映る姿に対し攻撃や挨拶行動をする。鏡像を他個体だと思っているのだ。しばらくすると、鏡の前で不自然な行動を繰り返し、鏡像が自分かどうかを確認する。その後、自分の顔、喉、口の中や背中など、普段見えない箇所を、鏡を使って観察する。この時鏡の姿が自分だと認識していると考えられている。しかし、これだけでは、鏡像認知の実証にはまだ弱い。そこでマークテストが行われる。このテストは鏡を長時間見せた個体を対象に、鏡がないと見えない、顔、おでこ、喉などにマークをつける。もし鏡を見せた時だけそのマークを直接触れば、そのマークが自分の鏡像についており、それが自分であるとわかっている証拠になる。そうでないと、自分の額のマークを直に触ることはできない。先ほどの動物はすべてこのテストに合格している。

ある日、ホンソメワケベラ(以後ホンソメ)に鏡を見せてみた。この魚はかなり賢いことが知られている。ホンソメも鏡を攻撃し、確認し、そして、なんと自分の顔を何度も覗いたのだ。ひょっとしたら、魚が鏡像を自分だとわかっているかもしれない。しかしそんな話、一度も聞いた事がない!

### 3. ホンソメでのマークテスト

この魚 18 個体でマークテストを行った。掃除魚と呼ばれるホンソメは、魚の体につく寄生虫をとって食べる。そこで寄生虫に似た茶色いマークを喉につけた(図 2 a)。ホンソメは鏡がないと喉のこの寄生虫似のマークを自分で見ることはできない。

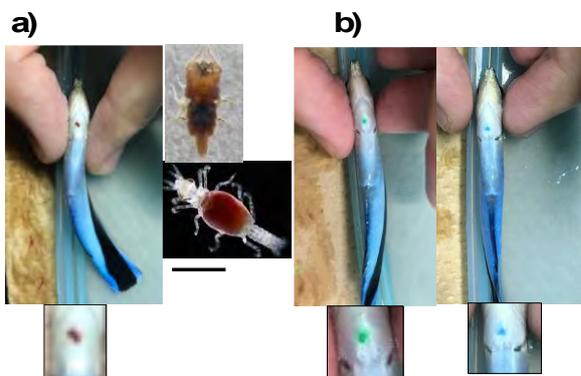


図 2. ホンソメワケベラの喉へのマーク. a): 寄生虫に似た茶色マークと寄生虫. スケールは 1mm. b): 寄生虫に似ていない青色マークと緑色マーク.

実験は、鏡はあるが何も操作はしていない実験 1, 透明な擬似マークを付けた実験 2, 茶色マークは付けたが鏡がない実験 3 (以上, 対象実験), そして茶色マークを付け、鏡がある本実験である(図 3). ホンソメがもし最後の本実験だけで喉のマークを擦ったら、鏡の喉のマークがついているのは自分だと、鏡を見て認識していること、つまり鏡像自己認知が証明できたことになる。

### 4. マークテストの結果

実験 1 ではまったく喉を擦らなかった(図 3)。ホンソメは普段は喉を擦らない事がわかる。実験 2 でも擦らなかった。透明マークに色はなく、注射による痛みや痒みもない事がわかる。実験 3 では茶色マークはあるが、鏡がないためマークを見ることができない。その時もまったく擦らなかった。茶色マーク自身にも痒みや痛みがないことが示された。いよいよ本実験である。この時ホンソメははじめて鏡でマークを見て、マークを擦ったのである! このマーク擦りは、ホンソメが鏡像を見て、自分の喉に寄生虫がいると認識しないとできない行動である。この実験により、この魚が鏡像を自分だと認識していることが証明された。実

験したのべ 18 個体のうち 17 個体(=94%)が合格した。

マークテスト		結果(喉を擦った個体の割合%)
マークなし(実験 1)		0% (0/18)
擬似マーク(実験 2)		0% (0/12)
茶色マーク(実験 3)		0% (0/18)
茶色マーク(本実験)		94% (17/18)

図 3. 鏡を 1 週間見せた個体で実験。喉マークが見えない実験 1-3 では、実験魚は喉を擦らない。喉マークが鏡に見える本実験では、マークを擦り落とそうと何度も底で擦る。この行動は、鏡像のマークが自分の喉に付いていると認識していないとできない行動である。

実はホンソメのように、実験したほぼ全個体が鏡像認知をできた動物は 1 例もない。チンパンジーで 40%、ゾウでも 30%である。なぜだろう? ホンソメのマークは彼らが除去したくて仕方ない寄生虫にそっくりなのだ。これに対し、今までの実験では赤い点などの意味のないマークが使われていた[5, 6]。彼らには、マークを触って取る強い動機がないのだ。マークの意味の有無が効いているようだ。そこでホンソメにも、寄生虫に似てない意味のない青や緑のマークを喉につけ、別の 5 匹で同じように実験をした(図 2 b)。思った通り、誰も青や緑を擦らないし、そもそも鏡の喉のマークを見もしない。茶色のマークはちゃんと分かっているのだから、喉の緑や青のマークも見えている。しかし、興味がないので気にしないのだ。

この結果が暗示することは大きい。これまでマークテストで不合格だった動物はイヌ・ネコ・ブタ・サル類など 100 種を超える。いずれも意味のないマークが使われている。実は意味のあるマークを使ったのは、我々が世界で初めてなのである。青・緑マークの結果は、これまでの実験でも意味のあるマークを使えば、合格する種類がもっと増える可能性が期待される。私はイヌもネコも、おそらく鏡像自己認知ができると予想している。

### 5. どのように鏡像を認識しているのか?

動物が鏡の自分の姿をどのようにして認識しているのかは、さらに面白いテーマであるし、鏡像自己認知の新たな証拠にもなる。自己鏡像の認識

過程には大きく2つの仮説がある。1つ目はヒトのように鏡像そのものを見て、自分だと認識できるとの説。2つ目は本人と鏡像の動きの同調性から、鏡像を自分と同じ動きをする「変な」個体とみなすとの説である。この仮説2の場合は、自己意識は認められないことになる。では動物はどちらなのだろうか？残念ながら動物研究の例はないのだ。まず仮説1か2のどちらが正しいかをホンソメで実験した。



ちなみにヒトは、個体変異が多く、自己イメージがしやすい

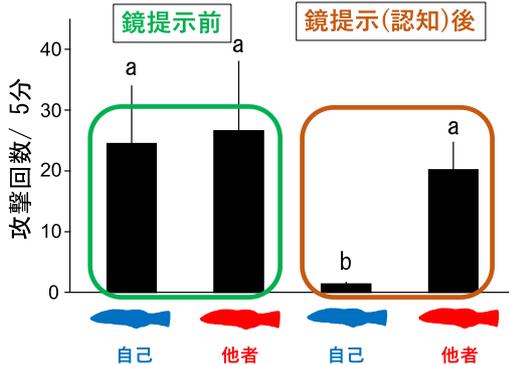


図4 鏡を見る前後でのホンソメワケベラの写真への反応。

鏡を見たことのないホンソメに、自分の全身写真と、未知個体の全身写真を見せた(図4)。ホンソメには未知個体を攻撃する習性がある。鏡を見ていない個体は自分の写真も、未知個体の写真も激しく攻撃した。鏡を見る前は、当然ながら自分の写真を自分と認識できないのだ。では自己鏡像認知ができ、自分の鏡像を攻撃しなくなった個体ではどうだろう。そんな個体に自分の写真と未知の他人の写真を見せたところ、他人の写真は激しく攻撃するが、自分の写真は攻撃しなかった。自分の写真は自分だとわかっているのだ。これでホンソメの場合は仮説1が当てはまることが示された。写真を使った今回の実験は、動きの同調性は関係なく、仮説2は完全に否定された。

ではホンソメは自分の写真のどこを見て自分だと判断しているのだろうか？我々の考えではそれは、全身でもなく、顔である。というのもヒトや霊長類などと同様に、多くの社会性魚類も他個体の識別は、個体特有の顔や顔模様でしているのだ[7]。ホンソメもきっと個体ごとに異なる顔の模様で個体識別しているに違いない。そこでホンソメの顔を調べて見たらやっぱりそうだ。顔には個体特有のソバカス模様があるが、体にはない(図5)。

図5 ホンソメワケベラ6個体の顔と全身写真。顔のソバカス模様は個体ごとに異なる。

この顔認識仮説を証明するために次の4つの写真を作成し、鏡像認知するホンソメにランダムに見せた：1) 自分の写真、2) 顔は自分で体は他人、3) 顔は他人で体は自分、4) 全身他人の写真である(図6)。もし写真1)と2)を攻撃せず、写真3)と4)だけを攻撃すれば、その個体は自分の顔で自分の姿を認知していることになる。その結果は予想通りだった。攻撃しなかったのは、1)と2)、激しく攻撃したのが3)と4)だった。この結果はホンソメが、鏡像が自分かどうかを識別する際、顔に基づいて行なうことを明白に示している。ホンソメは、鏡像の顔が自分の顔かどうかを見て判断している。これはヒトの場合と極めてよく似ている。

実験中はワクワク・ドキドキの連続の毎日であった。動物が自己顔で鏡像認知するのが示されたのは、なにせ世界で初めてのことなのだ！しかも相手は魚である！まさかまさかの連続である。前回の魚の鏡像認知の発見に続いて、世界の常識がさらに覆った瞬間だった。

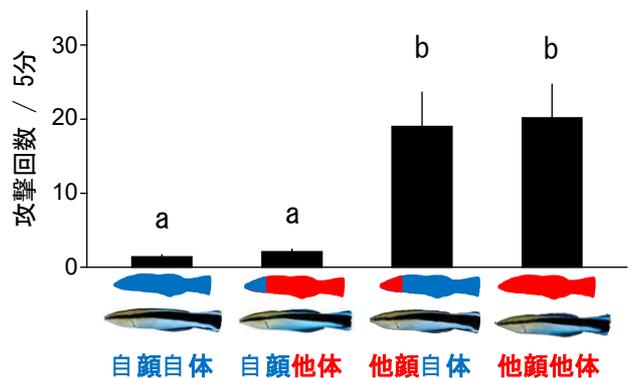


図6. 4つの写真に対するホンソメワケベラの反応。自分の顔の写真(青い顔)には寛容であり、他者顔(赤い顔)の写真には攻撃的である。この結果は、この魚は顔で自己鏡像を認識することを示す。a-a、b-b間は無差、a-b間では有意差あり。

## 6. 魚にも心はあるか？

ヒトの鏡像認知の過程は仮説1が当てはまり、この認知は自己の映像的イメージ(心的表象=心象)がないとできない。自己顔という心象を持ち自己認知するヒトは、自己意識があるとみなされる。ホンソメもヒトと同様に自己顔を認識し、鏡像自己認知をしている。つまり、魚は自分の顔という映像イメージ、心象を持っていると言える[5]。ヒトのように自己の心象を持ちかつ自己認識することから、ホンソメにも自己意識があり、ヒトに近い心を持っている可能性が高いと言えそうだ。

実は哺乳類や鳥類も、視覚により他者の顔に基づいて個体識別をしている種が多い。脊椎動物の祖先に近い魚と我々ヒトが、自己顔という心象により、同じように鏡像認知しているわけだ。となると鳥類や哺乳類も顔を使って鏡像認知していることは十分にありそうだ。さらに最近の脳神経科学は、魚から霊長類まで脊椎動物全体での脳構造・神経領域・神経回路は相同であり、機能面の高い類似性も示している[8]。どうやら多くの脊椎動物もヒトのような自己意識のある心を持つだろうと仮説が立てられそうだ。大切なことはこれら検証研究をうまく展開させていくことである。これができれば動物の捉え方が大きく覆されることだろう。大いに楽しみである。

### 参考文献

- [1] Kohda et al. (2019) If a fish can pass the mark test, what are the implications for consciousness and self-awareness testing in animals. Plos Biol. 17: e3000021.
- [2] キーナン, JP (2006) うぬぼれる脳。(鏡の中の顔と自己意識) 山下篤子訳 NHK ブックス
- [3] ドゥ・パール F (2016) 動物の賢さがわかるほど人間は賢いのか。柴田裕之訳 紀伊国屋書店
- [4] 板倉昭二 1999 自己の起源。金子書房
- [5] ドゥ・パール (2010) 共感の時代へ 柴田裕之訳 紀伊国屋書店
- [6] ナショナルジオグラフィック別冊 (2018) 動物の心: 知性, 感情, 言葉, 社会 日経ナショナルジオグラフィック
- [7] Kohda et al. (2015) Facial recognition in a group-living cichlid fish. PloS One 10: e0142552
- [8] ファインバーグ, マラット (2020) 意識の神秘を暴く。勁草書房

### 発表者紹介

幸田正典 1957年大阪生まれ。鹿児島大学卒。京都大学霊長類研究所で修士論文。研究対象は新旧世界猿類22種。京都大学大学院理学研究科動物生態学研究室で博士論文「三重縄張り・種間社会学」。1985年から本学教員。1999年から教授。現在に至る。アフリカのタンガニカ湖や沖縄サンゴ礁でフィールド調査に従事。最近は行動生態学と比較認知科学の学際研究を模索。奇想天外な「おもしろい」研究を行うのがモットー。今回の魚類の鏡像自己認知の一連の研究もその1つ。

2020.7.9 開催  
第3回アカデミックカフェ  
「動物にころはあるか？」

## ハトは他者に協力できるのか？

文学研究科 准教授 佐伯 大輔

**概要** 「ころ」は「感情」や「思考」からなり、行動から推測されるものである。心理学史において、動物行動の解釈に際してできるだけ低次の過程を想定すべきとするモーガンの公準が重視されてきた。行動分析学では、行動の原因として「ころ」を想定せず、行動が条件づけの結果として獲得・維持されるとする。囚人のジレンマゲームを用いてハトの他個体との餌場の共有を調べた研究から、協力行動といった複雑な行動も条件づけの結果として学習されることが示された。

**キーワード** 擬人主義、モーガンの公準、循環論、囚人のジレンマゲーム、しっぺ返し方略



会場の様子

### 1. 心理学における「ころ」

心理学では「ころ」を、単一の用語で定義せず、「感情」、「気分」、「思考」、「意識」、「意図」、「動機づけ」、「知能」、「性格」等からなるものとする。これらの「ころ」の多くは、他者から観察できない「私的事象」(private events)である。例えば、「自分が何を考えているか」は、自分には明らかだが、他者からは観察できない。

一方、行動は、他者からも観察可能な公的事象(public events)である。「ころ」と行動の関係について、心理学者の多くは、「ころ」は行動の「原因」であり、行動から推測されるものであるという立場をとる。

心理学では、「ころ」の働きを明らかにするために、「実験」という方法が用いられる。例えば、部屋の湿度が作業遂行量に与える効果を調べようとした場合、部屋の湿度を様々に変化させ、それに応じて作業遂行量がどう変化するかを調べる。実験で、実験者が変化させる内容(部屋の湿度)を「独立変数」、独立変数の操作に応じて変化すると考えられる内容(作業遂行量)を「従属変数」と呼ぶ。さらに、直接観察できない変数と

して、「媒介変数」を想定する(図1)。これは、独立変数の操作によって影響を受け、従属変数に影響を与えると想定される変数である。例えば、湿度(独立変数)の変化が、気分(媒介変数)の変化をもたらし、それによって作業遂行量(従属変数)が変化すると考える。



図1. 心理学実験における各変数の位置づけ

### 2. 心理学における動物行動の解釈について

動物の行動をどう解釈するかについては、これまでにいくつかの主張がなされてきたが、心理学の歴史において取り上げられてきたテーマとして、「擬人主義」、「モーガンの公準」、「行動主義」等がある。擬人主義とは、人の行動解釈と同じ方法で、動物行動を解釈するという立場である。イギリスの生物学者ロマネスは、例えば、様々な動物が取る珍しい行動に対して、動物は「意図」をもって行動する、という擬人主義的な解釈を行った<sup>[1]</sup>。

一方、イギリスの生物学者ロイド・モーガンは、動物行動の解釈に際して、「観察された事実」と「観察者の推測」を区別する必要があると主張した。彼は、「心理学的尺度において低次の能力によるものとして解釈できる場合は、高次の心的能力が作用したものとして解釈してはならない」<sup>[2]</sup>とするモーガンの公準 (Morgan's canon) を提唱した。すなわち、ある動物の行動について、「意図」という高次のプロセスによる解釈と、「反射」という低次のプロセスによる解釈の両方が可能な場合、後者を選択するべきとする主張である。このモーガンの公準は、心理学では、個体の学習を基本原理とする行動主義 (behaviorism) の立場が盛んであった 1900 年代半ばまで、動物行動を解釈する上で重要な指針となった。

### 3. 行動分析学の考え方

行動分析学 (behavior analysis) は、行動主義の考え方を受け継ぎながらも、新しい行動の見方を提供する。行動分析学は、動物の習得的 (学習性) 行動が、条件づけ (conditioning) によって形成・維持されることを主張する。条件づけには 2 種類あるが、このうち、環境に働きかける行動を対象とするオペラント条件づけを重視する。オペラント条件づけの基本図式である三項随伴性を図 2 に示す。



図 2. 三項随伴性

例えば、野生の鳥が、赤い実を食べたところ、甘い味がしたが、青い実を食べたところ、苦い味がしたとする。そして、以後この鳥は、赤い実のみを食べるようになったとする。この時、赤や青は「弁別刺激」、食べる行動は「オペラント」、甘い味は「強化子」ということができる。赤い実を食べる行動が頻繁に生じるようになった場合、その行動は甘い味によって「強化」されたとする。弁別刺激は、特定のオペラント行動が強化されるかどうかを示す「手がかり」として機能する。

行動分析学では、行動を「意識」や「性格」といった内的要因によって説明することは循環論に陥るとし、そのような説明を避けてきた<sup>[3]</sup>。循環論の例として、家で飼っている犬が「外交的な性格」をしているとする。この「性格」は、例えば他の犬に積極的に働きかけるという行動から推測したものであるにもかかわらず、この行動の説明に用いられていることから、循環論となる。

行動分析学は、行動の原因を「こころ」ではなく、環境刺激 (弁別刺激, 強化子) や行動履歴に求める。このように行動分析学では、「こころ」を想定せずに、主に環境刺激によって行動を説明する。次に述べるように、「他個体への協力」といった複雑な行動も、条件づけの結果として分析することができる。

### 4. 囚人のジレンマゲームによる協力行動研究

心理学では、協力行動の分析に「囚人のジレンマゲーム」 (prisoner's dilemma game)<sup>[4]</sup> という枠組みを用いる。これは、経済学で開発された「ゲーム理論」に由来しており、心理学や行動生物学等で広く用いられている。囚人のジレンマゲームでは、2 個体のプレイヤーが、それぞれ、相手に「協力」するか、「裏切り」かの選択を行う。選択結果として得られる利得は、互いの選択内容によって決まる (図 3)。

図 3 は、囚人のジレンマゲームの利得行列を表す。カッコ内の左側の数値が、プレイヤー 1 に与えられる利得、右側の数値が、プレイヤー 2 に与えられる利得をそれぞれ示す。集団レベルで最も利得水準が高いのは、2 個体とも協力を選ぶ場合であるが、個体レベルで最も利得水準が高いのは、自分が裏切り、対戦相手が協力を行う場合である。

		プレイヤー 2	
		協力	裏切り
プレイヤー 1	協力	(3, 3)	(0, 5)
	裏切り	(5, 0)	(1, 1)

図 3. 囚人のジレンマゲームの利得行列

囚人のジレンマゲームにおける合理的選択は、このようなゲームを 1 回だけ行う場合には「裏切り」であるが、選択を複数回行う場合には、対戦相手の選択方略に依存する。例えば、対戦相手の選択方略がランダム (RND) の場合、「裏切り」が合理的であるが、しつぺ返し (tit-for-tat, TFT) の場合、「協力」が合理的となる。しつぺ返し方略とは、1 試行目は「協力」を選択し、2 試行目以降は、前試行で対戦相手が選んだ選択肢と同じ選択肢を選ぶ方略である。

これまで、様々な種類の動物を対象に、囚人のジレンマゲームを用いて協力行動が調べられてきた。動物には利得行列の説明を言葉で行うことができないので、オペラント条件づけの手法を用いて、動物に「協力」と「裏切り」の選択を行わせ、その結果を何度も経験させることで、利得行列の内容や対戦相手の方略を学習させる。多くの研究

は、動物が「協力」よりも「裏切り」を多く選ぶことを報告している。

例えば、Green, Price, & Hamburger (1995)<sup>[5]</sup>は、ハトを対象に、オペラント条件づけの手法を用いて、コンピュータを対戦相手とした囚人のジレンマゲームを実施し、協力行動を測定した。

実験では、ハトは実験箱の中で、「協力」を示すキーと「裏切り」を示すキーのいずれかをつつくことで餌（強化子）を得ることができた（各キーは、赤または緑色で示された）。いずれかのキーがつつかれた後、コンピュータの選択が、ランプの色（青または黄）で示された。その後、図3の利得行列に基づき、ハトに餌ペレットが提示された。例えば、ハトもコンピュータも協力を選択した場合、ハトに3個の餌ペレットが提示された。これを1試行とし、1日あたり数十試行実施された。このような実験が30日前後行われた。コンピュータの方略として、RNDやTFTが設定された。

その結果、コンピュータの方略に関わらず、ハトは「裏切り」を多く選ぶことが明らかになった。この結果は、囚人のジレンマゲームにおいて、ハトが対戦相手の方略を学習できないことを示している。

Greenらの研究は、実験的な統制が取れている点では優れているが、対戦相手の見えない実験箱において、キーをつつくことで「協力」「裏切り」を選ぶという自然場面とはかなり異なる状況が用いられている。自然場面では、他者と協力をする場合、他者が近くにいる、他者が見えることが多いと思われる。

Stephens, McLinn, & Stevens (2002)<sup>[6]</sup>の研究では、アオカケスを対象に、協力選択時に対戦相手が見えるような実験箱を用いて、囚人のジレンマゲーム状況における協力行動を測定した。対戦相手のアオカケスは、コンピュータの指示通りに選択を行う「サクラ」であった。その結果、コンピュータの方略がTFTである時に、アオカケスの協力選択の割合は0.45付近まで上昇した。

## 5. 餌場共有場面を用いた協力行動測定

上述の先行研究を踏まえ、Kitano, Yamaguchi, Saeki, & Ito (in press)<sup>[7]</sup>は、餌場の「共有と独占」という選択場面を用いて、17個体のハトを対象に、協力行動に及ぼす要因の効果を検討した。この研究では、他個体（サクラ）と同じ場所で餌を食べる（共有）か、自分だけで餌を食べる（独占）かを、場所の移動によって選択する実験装置が用いられた（図4）。

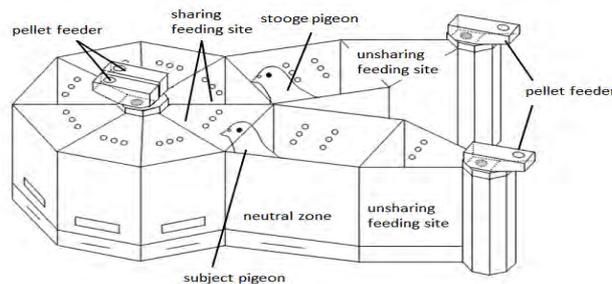


図4. 餌場の共有-独占選択を測定する装置

「共有」は協力の一種と位置づけられる。図4の左側が「共有餌場」であり、右側が「独占餌場」である。これらの餌場の選択はそれぞれ、囚人のジレンマゲームの「協力」と「裏切り」に対応させ、図3の利得行列に基づいて餌ペレットを提示した。隣の部屋のハトはサクラであり、コンピュータの指示通りに選択するよう予め訓練された。

実験では、サクラ個体の存在（有り/無し）、対戦相手の方略（TFT/RND）、ジレンマ構造（囚人のジレンマゲーム/チキンゲーム）が、独立変数として操作された。チキンゲームは、双方のプレイヤーが裏切りを選択した場合に最悪な結果になる利得行列である。

図5は、各条件における共有餌場の平均選択割合を示す。統計的検定の結果、共有餌場の選択割合は、サクラ有り条件とTFT条件では0.5よりも高いこと、さらに、RND条件よりもTFT条件のほうが高く、サクラ無し条件よりもサクラ有り条件のほうが高いことが明らかになった。

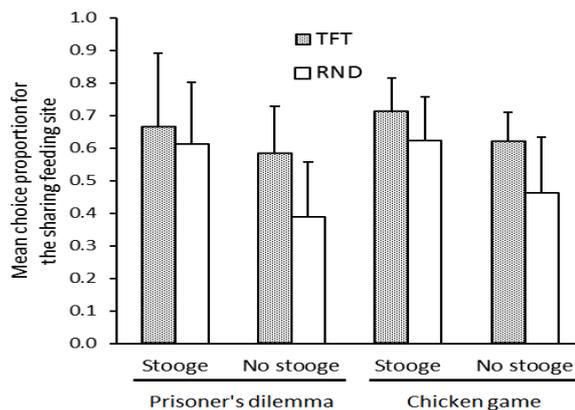


図5. 各条件における共有餌場の平均選択割合

本実験の結果は、場所の移動による選択や、他個体が見える、といった自然場面に近い状況では、ハトは協力行動を学習できることを示している。

このことから、ハトは、オペラント条件づけの経験を通して協力行動を学習できることから、協力行動の原因として、必ずしも「こころ」を設定する必要は無いと考えられる。

しかしながら、環境刺激により私的事象が変化することはありうるため<sup>[8]</sup>、原因ではなく「結果」としての「こころ」については、検討の余地がある。

## 参考文献

- [1] ボークス, R. 宇津木保・宇津木成介(訳)(1990).「動物心理学史:ダーウィンから行動主義まで」誠信書房.
- [2] 中島定彦(2019).「動物心理学—心の射影と発見—」昭和堂.
- [3] 杉山尚子(2005).「行動分析学入門—ヒトの行動の思いがけない理由」集英社新書.
- [4] パウンドストーン, W. 松浦俊輔他(訳)(1995).「囚人のジレンマ—フォン・ノイマンとゲームの理論」青土社.
- [5] Green, L., Price, P. C., & Hamburger, M. E. (1995). Prisoner's dilemma and the pigeon: Control by immediate consequences. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, *64*, 1-17.
- [6] Stephens, D. W., McLinn, C. M., & Stevens, J. R. (2002). Discounting and reciprocity in an iterated prisoner's dilemma. *Science*, *298*, 2216-2218.
- [7] Kitano, S., Yamaguchi, T., Sacki, D., & Ito, M. (in press). Pigeons' choice between shared and unshared feeding sites in game situations. *Mexican Journal of Behavior Analysis*.
- [8] 渡辺 茂(2019).「動物に『心』は必要か—擬人主義に立ち向かう」東京大学出版会.

## 発表者紹介

佐伯大輔 1973年京都市生まれ。岡山大学文学部卒。大阪市立大学大学院文学研究科後期博士課程単位修得退学。博士(文学)。専門分野は、行動分析学、学習心理学。主な研究テーマは、ヒトを含めた動物の意思決定・選択行動に関する研究。主要著書:「価値割引の心理学—動物行動から経済現象まで」(昭和堂, 2011年)、「はじめての行動分析学実験—Visual Basicでまなぶ実験プログラミング」(共著)(ナカニシヤ出版, 2011年)