

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 3 年 5 月 31 日現在

機関番号：10101

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18K07351

研究課題名(和文)埋没費用効果の生物学的基盤：社会採餌は学習則を変容し不合理行動をもたらす

研究課題名(英文)Biological basis of sunk-cost effect: Social foraging modifies learning rule and causes irrational behaviors

研究代表者

松島 俊也 (Matsushima, Toshiya)

北海道大学・理学研究院・教授

研究者番号：40190459

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：埋没費用効果(コンコルド誤信)は「多くの労働を投資してしまった対象に対し、不合理な高い価値を賦与する」現象として経済学・心理学で指摘されてきた。ヒトではミクロマクロの多くの局面でこの効果が現れる。何らかの生物的背景があると考えた。そこで本研究では孵化後間もないヒヨコを対象に、餌場への歩行コストを実験的に制御し、たどり着いた餌場での滞在時間に及ぼす効果を調べた。その結果、(1)ヒヨコも埋没費用効果を示すが、(2)長期平均利益率を逆説的に高める行動であるものの、(3)利益率は最大化されず亜最適な行動であることが判明した。統計モデルを構築した所、直近の利潤率によって離脱確率を決めている事が判った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

ヒトは経済学的局面でも多くの不合理行動を示す。これはヒトが本来の生態学的環境のもとで小集団による狩猟採集行動を採ってきた進化的背景のためであると想定した。そうであれば、他の多くの動物も一見不合理な行動を採ることが予想される。その行動・心理・認知・神経機構を総合的に明らかとしたことが本研究の意義である。孵化後間もないヒヨコは生後のすべての給餌条件と採餌行動を実験的に操作できる稀有な例である。収益が徐々に逡減する採餌条件の下で、餌場にたどり着くためのコストを操作することで、餌場での滞在時間の延長を見た。この結果は、妥当な労働投資とは何か、という社会的課題について生物学的な基礎を与えるものである。

研究成果の概要(英文)：Sunk-cost effect (Concorde fallacy) refers to an irrational human behavior in economics/psychology, where people often ascribe higher value for such an item that they have invested a huge amount of cost. To understand the biological basis, we studied newly hatched foraging behavior in domestic chicks by experimental manipulation of the running cost for food. As the results, (1) naive chicks revealed sunk-cost effect in gradually deleting food patches, (2) which paradoxically contributed to the long-term gain rate. However (3) the payoff yielded sub-optimal and the gain rate was not maximized. Mathematical analysis using statistical models revealed that the disengaging decision is stochastically determined by short-term profitability and a longer-term gain rate as threshold.

研究分野：動物行動学、神経科学

キーワード：埋没費用効果 コンコルドの誤信 最適採餌理論 行動生態学 行動生態学 統計モデル

## 1. 研究開始当初の背景

当初、埋没費用効果（コンコルド誤信）はヒトに特有の不合理行動であると考えられていた。実際、動物に同様の現象があるかどうかについては、長く議論が続いていた。Kacelnik & Marsh (2002) はムクドリを用いた行動研究において、餌報酬の効用はその場の状態（労働直後の疲労・空腹などで決まる状態）に依存するため、埋没費用効果と同様の現象が生じると主張していた。しかし、その後は追跡研究も少なく、この課題の解明は不十分なままに留まっていた。

我々はヒヨコを用いてこの問題に取り組むことを計画した。研究開始当初、動物それもふ化直後からグリーディーな（強欲な）採餌決定を採るヒヨコが、埋没費用効果のような不合理行動を採るとは期待していなかった。しかし、行動生態学において指摘されてきた最適餌パッチ利用行動 (E. Charnov 1976) に、埋没費用効果と類似した側面があることに着目し、この検討を行動レベルで始めることとした。

また我々は先行研究により、孵化後のヒヨコが近視眼的利益率（瞬間利潤率）と餌対象を速やかに連合学習する事を示した (Yanagihara et al. 2001, Izawa et al. 2003, 2005)。これらの研究の延長として、報酬予期誤差（時間的誤差）を計算する機構についても明らかにした (Wen et al. 2016)。埋没費用効果を生じる条件では大きな予期誤差を長期にわたって負荷することになる。収益逓減環境そのものが動物の学習則（具体的には学習率あるいは報酬の時間割引率）を変える可能性があると考え、本研究を計画した。

## 2. 研究の目的

通常の生態学的環境のもとで餌は空間に均等配置せず、不均等、パッチ状に分布する。採餌者は餌単体ではなく餌パッチを探さねばならない。しかし、パッチの餌は採餌者の餌消費そのものによって徐々に減り、収益は徐々に逓減する。よって、最適な行動を採るために、すなわち長期平均利益率を最大化するために、採餌者はパッチの餌を食い尽くす前、まだそこに餌が見いだされるうちに餌パッチを離脱しなくてはならない。この離脱決定を支配する行動・認知・神経科学的要因を特定することが、当面の目的である。特に、餌パッチに到達するまでの時間と労働投資（歩行距離）を実験的に操作し、投資したコストが離脱決定にどのように影響するか、定量的に解析することとした。

## 3. 研究の方法

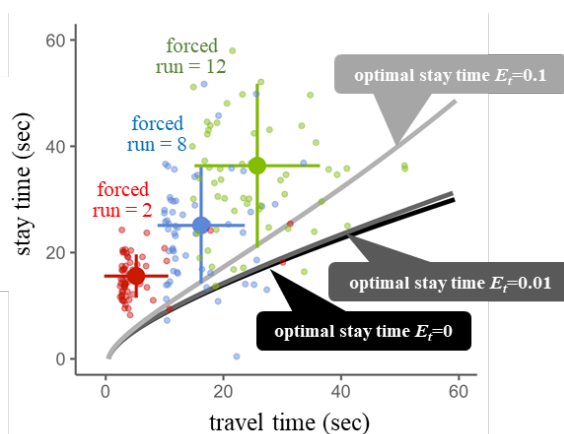
ふ化直後のニワトリ雛（ヒヨコ）を用いた。長さ 60 cm の I 字型迷路を用意し、左右両端に制御された餌場（給餌装置）を設けた。さらに左右の餌場の間にトレッドミルを置き、餌場と餌場の間の移動に要する時間と歩行量を統制した。給餌装置とトレッドミルは Arduino ベースで制御し、給餌パターンと歩行量は赤外線距離測計によって計測し CED 社の Spike2 を用いて記録保存した。得られた行動データに基づき一連の統計モデル（確率的離脱意思決定モデル）を構築し、現実の行動とのすり合わせを検討した。さらに、他個体の認知（資源競合による社会採餌行動）を検討する前提として、刷り込みおよび生物的運動 (Johansson Biological motion) への選好性の誘導に関わる行動研究を展開した。

## 4. 研究成果

研究の結果、(1) ヒヨコは収益逓減条件が同一であっても餌パッチ間移動に要するコスト（時間及び歩行）が長くなると、速やかに滞在時間を延長することが判明した。

右の図は典型的な 1 個体の例である。横軸にパッチ間移動時間、縦軸にパッチ内滞在時間をプロットした。1 つの点は一回の滞在を示す。このように強制歩行を 2 回、8 回、12 回と増やすことで滞在時間は明確に増加した。これは最適（長期利益率を最大化する）滞在時間より明瞭に長かった。移動に要するエネルギー損失を考慮した条件（黒及び灰色のカーブ）でも、説明はできなかった。

この最適性からのずれの認知的背景を説明するために、瞬間利益率と、より長期の平均利益率をヒヨコは独立に備えている、とする確率モデルを複数構築して、その妥当性を検



討した。その結果、直近の回顧的瞬間利潤率と直前の歩行時間を繰り込んだ平均利益率の差に応じて離脱確率を決めるとするモデルが、もっとも良く現実の離脱決定を説明することが判明した。

さらに一連の薬理的・脳局所破壊実験によって、弓外套皮質（鳥類大脳の腹外側に位置する連合性の高い皮質相同領域）の局所破壊実験をおこなった結果、採餌の消費局面での投資量が増え術後のヒヨコは過剰労働投資を示すようになった。この領域は複合的な機能を持つことが知られており、他者との競合による同労働投資量の増加 (Xin et al, 2017a, b)、予期される将来の労働投資を回避する選択シフト (Aoki et al. 2006) などが判明している。さらに、この領域は刷り込み学習の成立、また社会的孤立に対する困窮コール発声の統御にも関わる。

ヒトは経済学的局面でも多くの不合理行動を示す。これはヒトが本来の生態学的環境のもとで小集団による狩猟採集行動を採ってきた進化的背景のためであると想定することができる (戸田正直 2007)。そうであれば、他の多くの動物も生態に近い条件のもとで、一見不合理な行動を採ることが予想される。その行動・心理・認知・神経機構を総合的に明らかにすることが、本研究の意義である。孵化後間もないヒヨコは生後のすべての給餌条件と採餌行動を実験的に操作できる稀有な例である。収益が徐々に逡減する採餌条件の下で、餌場にたどり着くためのコストを操作することで、餌場での滞在時間の延長を見た。この結果はいまだ部分的な理解に留まるが、妥当な労働投資とは何か、という社会的課題について生物学的な基礎を与える。

#### 引用文献

- Kacelnik and Marsh (2002) *Animal Behaviour* 63: 245-250.  
Charnov (1976) *Theoretical Population Biology* 9: 129-136.  
Yanagihara et al. (2001) *NeuroReport* 12: 1431-1435  
Izawa et al. (2003) *Journal of Neuroscience* 23: 1894-1902.  
Izawa et al. (2005) *European Journal of Neuroscience* 22: 1502-1512.  
Wen et al. (2016) *Frontiers in Neuroscience (Decision Neuroscience)* (doi: 10.3389/fnins.2016.00476)  
Xin et al. (2017a) *European Journal of Neuroscience* 45: 365-380 (doi:10.1111/ejn.13475)  
Xin et al. (2017b) *Behavioural Processes* 140: 127-132.  
Aoki et al. (2006) *European Journal of Neuroscience*, 24: 2314-2326  
戸田正直 (2007) 「感情：人を動かしている適応プログラム」

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計11件（うち査読付論文 11件／うち国際共著 2件／うちオープンアクセス 5件）

1. 著者名 Miura M., Nishi D., Matsushima T.	4. 巻 23
2. 論文標題 Combined predisposed preferences for colour and biological motion make robust development of social attachment through imprinting.	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Animal Cognition	6. 最初と最後の頁 169-188
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s10071-019-01327-5	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 Fujita T., Aoki N., Fujita E., Matsushima T., Homma K.J., Yamaguchi S.	4. 巻 9
2. 論文標題 The chick pallium displays divergent expression patterns of chick orthologues of mammalian neocortical deep layer-specific genes.	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 20400
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1038/s41598-019-56960-4	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 Aoki N., Fujita T., Mori C., Fujita E., Yamaguchi S., Matsushima T., Homma K.J.	4. 巻 379
2. 論文標題 Blockade of muscarinic acetylcholine receptor by scopolamine impairs the memory formation of filial imprinting in domestic chicks ( <i>Gallus gallus domesticus</i> ).	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Behavioural Brain Research	6. 最初と最後の頁 112291
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.bbr.2019.112291	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 Takemura Yuri, Yamaguchi Shinji, Aoki Naoya, Miura Momoko, Homma Koichi J., Matsushima Toshiya	4. 巻 349
2. 論文標題 Gene expression of Dio2 (thyroid hormone converting enzyme) in telencephalon is linked with predisposed biological motion preference in domestic chicks	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Behavioural Brain Research	6. 最初と最後の頁 25 ~ 30
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.bbr.2018.04.039	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 Yamaguchi Shinji, Aoki Naoya, Matsushima Toshiya, Homma Koichi J.	4. 巻 102
2. 論文標題 Wnt-2b in the intermediate hyperpallium apicale of the telencephalon is critical for the thyroid hormone-mediated opening of the sensitive period for filial imprinting in domestic chicks ( <i>Gallus gallus domesticus</i> )	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Hormones and Behavior	6. 最初と最後の頁 120 - 128
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.yhbeh.2018.05.011	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 Ogura Yukiko, Amita Hidetoshi, Matsushima Toshiya	4. 巻 4
2. 論文標題 Ecological Validity of Impulsive Choice: Consequences of Profitability-Based Short-Sighted Evaluation in the Producer-Scrounger Resource Competition	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Frontiers in Applied Mathematics and Statistics	6. 最初と最後の頁 49
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/fams.2018.00049	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 -

1. 著者名 Miura Momoko, Aoki Naoya, Yamaguchi Shinji, Homma Koichi J., Matsushima Toshiya	4. 巻 9
2. 論文標題 Thyroid Hormone Sensitizes the Imprinting-Associated Induction of Biological Motion Preference in Domestic Chicks	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Frontiers in Physiology	6. 最初と最後の頁 1740
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/fphys.2018.01740	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 -

1. 著者名 Aoki Naoya, Yamaguchi Shinji, Fujita Toshiyuki, Mori Chihiro, Fujita Eiko, Matsushima Toshiya, Homma Koichi J.	4. 巻 9
2. 論文標題 GABA-A and GABA-B Receptors in Filial Imprinting Linked With Opening and Closing of the Sensitive Period in Domestic Chicks ( <i>Gallus gallus domesticus</i> )	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Frontiers in Physiology	6. 最初と最後の頁 1837
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/fphys.2018.01837	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 -

1. 著者名 Matsushima Toshiya, Amita Hidetoshi, Ogura Yukiko	4. 巻 42
2. 論文標題 Complex social ecology needs complex machineries of foraging. Commentary to the review article "How foraging works: uncertainty magnifies food-seeking motivation"	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Behavioral and Brain Sciences	6. 最初と最後の頁 e45
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1017/S0140525X18002078	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 Zucca Paolo, Rossmann Marie-Christin, Dodic Mitja, Ramma Yashwantrao, Matsushima Toshiya, Seet Steven, Holtze Susanne, Bremini Alessandro, Fischinger Ingrid, Morosetti Giulia, Sitzia Marcello, Furlani Roberto, Greco Oronzo, Meddi Giulio, Zambotto Paolo, Meo Fabiola, Pulcini Serena, Palei Manlio, Zamaro Gianna	4. 巻 9
2. 論文標題 What Do Adolescents Know About One-Health and Zoonotic Risks? A School-Based Survey in Italy, Austria, Germany, Slovenia, Mauritius, and Japan	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Frontiers in Public Health	6. 最初と最後の頁 658876
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/fpubh.2021.658876	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 該当する

1. 著者名 Lorenzi Elena, Lemaire Bastien Samuel, Versace Elisabetta, Matsushima Toshiya, Vallortigara Giorgio	4. 巻 15
2. 論文標題 Resurgence of an Inborn Attraction for Animate Objects via Thyroid Hormone T3	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Frontiers in Behavioral Neuroscience	6. 最初と最後の頁 675994
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/fnbeh.2021.675994	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 該当する

〔学会発表〕 計14件 (うち招待講演 3件 / うち国際学会 3件)

1. 発表者名 Toshiya Matsushima
2. 発表標題 Gordian knot of imprinting: functions of biological motion and thyroid hormone
3. 学会等名 CogEvo2019 (Rovereto Workshop on Cognition and Evolution) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 松島俊也
2. 発表標題 数学の認知とその進化的基盤：ヒヨコのコア知識から
3. 学会等名 日本応用物理学会秋季学術講演会シンポジウム「数理がひもとく自然・生命現象と知的計算能力」(招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 松島俊也・三浦桃子・竹村友里・山口真二・青木直哉・本間光一
2. 発表標題 刷り込みの研究(1)：生物的運動への選好性は記憶形成と共役する
3. 学会等名 日本動物行動学会第38回大会、大阪市立大、大阪市
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 三浦桃子・松島俊也・西大介
2. 発表標題 刷り込みの研究(2)：生物的運動は刷り込みの頑健な発達をもたらす
3. 学会等名 日本動物行動学会第38回大会、大阪市立大、大阪市
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Toshiya Matsushima
2. 発表標題 Predisposed developments of economic, social and mathematical comprehension in domestic chicks.
3. 学会等名 Yoshida Memorial Lecture, Japanese Society of Comparative Physiology and Biochemistry (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takemura Y., Yamaguchi S., Aoki N., Homma K.J., Miura M., Matsushima T.
2. 発表標題 Dio2 gene expression in telencephalon is correlated with the biological motion preference in chicks: role of thyroid hormone on the imprinting predisposition
3. 学会等名 FENS2018 (Berlin) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Patzke N., Watanabe A., Khin K.T., Kobayashi M., Wada K., Matsushima T., Bruno M.
2. 発表標題 Morphology and volumetrics of the Baird's beaked whale ( <i>Berardius bairdii</i> ) brain from magnetic resonance imaging
3. 学会等名 FENS2018 (Berlin) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 三浦桃子・山口真二・青木直哉・本間光一・竹村友里・松島俊也
2. 発表標題 刷り込みは生物的運動への選好性を高め臨界期を延長することによって、より生物的な対象への社会的選好性を形成する。
3. 学会等名 日本動物行動学会第37回大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Ogura Y., Amita H., Matsushima T.
2. 発表標題 Ecological validity of impulsive choice: consequences of profitability-based short-sighted evaluation under resource competition
3. 学会等名 日本比較生理生化学会 第40回神戸大会
4. 発表年 2018年



1. 発表者名 Saheki Y., Aoki N., Homma K.J., Matsushima T.
2. 発表標題 Acute effects of thyroid hormone on pallial associative area involved in imprinting: an in vitro study
3. 学会等名 日本比較生理生化学会 第40回神戸大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 三浦桃子・Sgado P.・Vallortigara G.・松島俊也
2. 発表標題 発生後期の神経活動が刷り込みに伴う生物的運動への選好性誘導に必要である。
3. 学会等名 日本動物学会第91回大会（オンライン）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 松島俊也・藤川雄基・小倉有紀子・川森愛
2. 発表標題 ヒヨコの餌パッチ利用行動の確率的意思決定モデル
3. 学会等名 日本動物行動学会第39回大会（オンライン）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Matsushima T.・Sgado P.・Vallortigara G.・Miura M.
2. 発表標題 Pre-natal neural activity is necessary for biological motion preference in domestic chicks: effects of valproic acid and ketamine infusion to embryos.
3. 学会等名 日本動物心理学会第80回大会（オンライン）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 川森愛・小倉有紀子・藤川雄基・松島俊也
2. 発表標題 最適採餌理論と行動の乖離：認知プロセス解明のための確率的意思決定モデル
3. 学会等名 日本生態学会第68回大会（オンライン）
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 J. Alcock, D. R. Rubenstein, 松島 俊也、相馬 雅代、的場 知之	4. 発行年 2021年
2. 出版社 丸善出版	5. 総ページ数 492
3. 書名 オールコック・ルーベンスティン 動物行動学 原書11版	

〔産業財産権〕

〔その他〕

松島研究室 <a href="https://www.sci.hokudai.ac.jp/~matusima/chinou3/Welcome.html">https://www.sci.hokudai.ac.jp/~matusima/chinou3/Welcome.html</a>
--

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
---------	---------------------------	-----------------------	----

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
---------	---------

イタリア	University of Trento			
ドイツ	Ruhr University Bochum			