

令和 5 年 6 月 1 日現在

機関番号：10101

研究種目：国際共同研究加速基金（国際共同研究強化(B)）

研究期間：2019～2022

課題番号：19KK0211

研究課題名（和文）Transdisciplinary studies on the neural basis of cognitive development of imprinting

研究課題名（英文）Transdisciplinary studies on the neural basis of cognitive development of imprinting

研究代表者

松島 俊也（Matsushima, Toshiya）

北海道大学・理学研究院・名誉教授

研究者番号：40190459

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 14,100,000円

研究成果の概要（和文）：出生直後の経験が認知発達に決定的な役割を果たすことは、霊長類を含む多くの動物で報告されてきた。この過程を分子・回路・認知のレベルに涉って理解するため、孵化直後の刷り込み（インプリンティング）を対象とする国際研究チームを組織した。雛が生まれながらに生物的運動（biological motion, BM）への選好性を備える事（トレント大）、BM選好性が刷り込み学習に伴って許容的に誘導される事（北大）、刷り込み学習の感受性期が甲状腺ホルモンの作用によって決定される事（帝京大）、等の知見を総合した。その結果、孵化前後（周生期）の興奮抑制バランスが、視覚選好性の初期形成において決定的であることを見出した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の結果、古典的な課題である鳥類のインプリンティングが、視知覚の発達一般と同じ過程を備えることが明らかになった。特に甲状腺ホルモンがGABA受容体を介した作用を増強し、かつ感受性期を延伸すること、さらに生物的運動に対する視知覚を強化することを見出した結果は重要である。他方、これら生得的な選好性が、孵化前（発生後期）のアセチルコリン受容体伝達の阻害によって損なわれること、特にネオニコチノイド系殺虫剤の受精卵への微量投与によって自閉症様の視知覚障害が生じることを見出した結果には大きな社会的意義がある。鳥類の認知発達をモデルとして発達障害の発症機構を解析することが可能となる。

研究成果の概要（英文）：Neonatal experiences play a critical role in cognitive development in many animals including primates. To unravel the underlying process at molecular, network and cognitive levels, we organized an international research team focusing on the filial imprinting of newly hatched chicks. The Trento Univ group revealed that chicks have innate predisposition to biological motion (BM). The Hokkaido Univ group showed that the BM preference is permissively induced via imprinting. The Teikyo Univ group found that the sensitive period of imprinting is determined by thyroid hormone. Synthesis of these studies lead us to conclude that excitation/inhibition balance around the perinatal period is critical for the formation of early visual preference.

研究分野：行動科学

キーワード：認知発達 神経回路発達 刷り込み 自閉スペクトラム障害 精神疾病モデル動物 環境毒性 ネオニコチノイド系殺虫剤

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

出生直後の経験が認知発達に果たす役割は決定的である。アカゲザルの研究 (Harlow et al. 1965, Harlow & Suomi 1971) の古典的研究が著名だが、社会的隔離が行動と脳に深刻な影響を与えることは、最近のげっ歯類 (Tóth et al. 2008, Makinodan et al. 2012) さらにヒトを対象とした研究 (Carlson & Earls 1995, Noumova et al. 2019) でも広く確認されている。これは哺乳類に限らない。ふ化直後から隔離して単独飼育すると攻撃行動が不可逆的に増強することは、複数の魚種で独立に確認されている (Tooker & Miller 1980, Barki & Volpato 1998, Ichihashi et al. 2004)。初期経験に基づく認知発達はヒトに固有の現象ではなく、何らかの適応的な意義を備えて脊椎動物の共通祖先より保存されてきた、進化的に古い形質だと考えられる。

心の現象に限らない一般論だが、病理を理解するためには、生理の理解を深めねばならない。認知の発達障害についても同様であろう。社会的不適応行動や学習障害について適切な対処と支援を策定しようとするなら、最も適切な動物モデルを選び取り、核心をなす問いを深く掘り下げる必要がある。核心をなす問いは、次の通りである。

「出生直後の経験は、脳のどこに、どのような不可逆的刻印を分子細胞レベルで加えることによって、社会と物理世界に関わる認知の安定的な発達をもたらしているのか。」

この問いに答えるため、本研究では鳥類の刷り込み (インプリンティング) に焦点を絞り、孵化直後の雛が生得的に備える認知機構とその発達の理解を目的として、行動・回路・分子に渉る総合的研究を進める国際チームを組織することとした。従来、刷り込みは記憶形成の一般論が強調されて、視覚に関わる大脳の限られた領域 (intermediate medial mesopallium, IMM) のみ研究すれば良いという状況となっていた。しかし動物は *tabula rasa* として生まれてくるものではない。生得的な選好性 *predisposition* があり、これが出生後の認知発達の方向を決定していく。刷り込みとは、生得的選好性と生後の学習という二つの過程が相互作用しながら展開していく過程であると着想し、以下に述べる研究を行った。

2. 研究の目的

本研究では鳥類の刷り込み (インプリンティング) に焦点を絞り、孵化直後の雛が生得的に備える認知機構とその発達の理解を目的として以下の3つの課題を行う。

- (1) BM・animacy・顔ゲシュタルトへの選好性に及ぼす初期経験の影響を特定すること。
- (2) 発達を担う責任脳部位と神経回路を同定し、鍵となる候補遺伝子群を同定すること。
- (3) 物理的世界 (数と空間) の認知発達も同じメカニズムによるか、検討すること。

3. 研究の方法

行動解析、薬理学的検討、脳の遺伝子発現、これらを以下のように総合的に実施した。

- 行動解析: 人工物 (非生物学的物体の動画像) を用いて刷り込みを施し、その結果として許容的に誘導された生物的運動や animacy 動画への選好性を計測した。特に人工物への学習性選好性と、生得的な選好性の関係を量的に吟味した。さらに、発生過程の胚の自発運動 (胎動) を、卵殻表面の微小振動として計測した。
- 薬理学的検討: 刷り込みトレーニングに先立ち甲状腺ホルモン、GABA 受容体作動薬、塩素イオントランスポーター作動薬等を投与して、行動への影響を調べた。さらに、孵化に先立つ発生後期の胚に胎動抑制をもたらす一連の薬剤が、孵化後の行動にいかなる影響を及ぼすか、検討した。さらに、大脳連合野 (IMM 領域) の急性スライス標本を作製して甲状腺ホルモンの作用を検討した。
- 脳の遺伝子発現: 孵卵開始 14 日 (E14)、E18、および孵化直後 P1 の各ステージの脳より、大脳連合野 (IMM 領域)、扁桃体 (arcopallium complex)、および中脳上丘 (optic tectum) の組織を採取し、ニューロン成熟の指標として NeuN (rbfox3)、塩素イオンのトランスポーター (NKCC1、KCC2) の発現量を調べた。

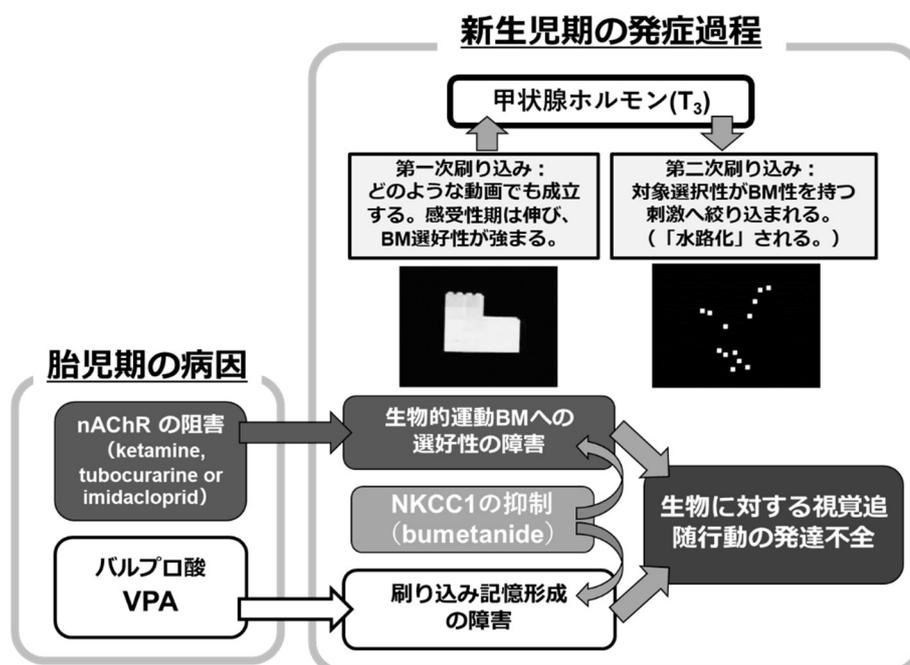
4. 研究成果

当初目的とした3項の目的のうち、(1) と (2) についてはほぼ満足のいく研究成果を得た。他方、(3) (数と空間の理解) については、本研究期間の間には文献調査にとどまり、実験的検討ができなかった。以下、主な成果について述べる。

1. 人工物を用いた刷り込みトレーニングは BM 選好性を高め、高まった BM 選好性は学習

- の対象選択性を絞り込んだ (Miura et al. 2020)。これに伴う大脳の甲状腺ホルモン変換酵素 Dio2 発現の上昇は、刷り込みの感受性期を延伸する (Yamaguchi et al. 2012 にて既報) とともに、animacy に対する選好性をも促進した (Lorenzi et al. 2021)。すなわち、記憶形成と生得的選好性とは甲状腺ホルモンを介して機能的に共役している。
2. 初生雛の IMM 領域を含む急性スライス標本を用いて、甲状腺ホルモン (T_3) の作用を吟味した所、NMDA 型受容体を介した脱分極応答を抑制するとともに、GABA-A 受容体を介したシナプス抑制を強めることが分かった (Saheki et al. 2022)。
 3. E14 日齢胚にバルプロ酸 (VPA) を投与すると孵化後の雛の社会行動の発達が阻害されることがすでに報告されていた (Nishigori et al. 2013, Sgadò et al. 2018)。VPA は抗癲癇薬として著効があるが、ヒストン脱アセチル化酵素の阻害を通して遺伝子発現を攪乱することから妊婦への適用は禁忌である。特に妊娠期の服用によって出生児の自閉スペクトラム障害 (Autism Spectrum Disorder, ASD) のリスクを高める。顔ゲシュタルトへの選好性も胚の VPA 処理によって損なわれる (Adilletta et al. 2021)。
 4. E14 日齢の卵殻表面にアナログレコード針をセンサーとして押し当てることにより、胚の自発運動 (胎動) による微小振動を計測した。VPA の投与は胎動を数時間にわたり停止させた。そこで胎動を抑制する薬物とその用量を体系的に調べた所、NMDA 型受容体の阻害剤 (ketamine, MK-801) とニコチン作動性アセチルコリン受容体 (nAChR) の伝達阻害剤 (tubocurarine, MLA, DH β E) が VPA 同様に有効であることが判明した。なお ketamine は nAChR に対しても阻害作用を持つ。
 5. これらの処理を E14 日齢で一回施して孵化させた雛の行動を解析した。その結果、VPA 投与が人工物への記憶形成を阻害するのに対し、一連の nAChR 伝達阻害剤の投与は BM 選好性を選択的に阻害することが判明した。これら 2 群の薬物の効果は二重分離されていた。すなわち、記憶形成と生得的選好性を薬理的に脱共役することができた。
 6. 孵化後の雛に bumetanide を投与してトレーニングした所、VPA 処理群も tubocurarine / ketamine 処理群においても上記の障害が抑制された。bumetanide は塩素イオンのトランスポーター NKCC1 (Cl⁻を細胞内へ汲み入れる) の選択的阻害剤である。bumetanide は細胞内塩素イオン濃度を下げ、GABA-A 受容体を介したシナプス伝達の抑制性を高めるものと考えられる。機序は異なるが、上記の甲状腺ホルモン (T_3) の作用と同様である (Matsushima et al. 2022)。
 7. 大脳全体の総細胞数と NeuN 陽性細胞の割合を検討した結果、VPA 処理によって前者 (総細胞数) は減少しないが、後者 (NeuN 比) が減少することが判明した。E14 日齢はすでに progenitor 細胞のニューロン・グリア分化が終了している。VPA はニューロン成熟を遅延させることを通して、記憶形成を阻害することが示唆される。
 8. 孵化直後の雛の大脳を対象として、セロトニン、ムスカリン作動性アセチルコリン受容体 (mAChR) の発現を in situ hybridization 法によって記述的に調べた (Fujita et al. 2022a, 2022b)。孵化後の mAChR を介した伝達の障害が記憶形成を損なうことを見出していたからである (Aoki et al. 2020)。また頭部を拘束したまま刷り込みをかける方法を開発した (Aoki et al. 2022)。

以上の結果から、鳥類の雛は ASD の疾患モデル動物として有用であることが示唆された。本研究で明らかとなった発達不全の発症過程を図示する。



nAChR を介した正常な伝達を阻害する一連のネオニコチノイド系殺虫剤が、近年、ASD の環境リスク要因として指摘されているが、本研究でも E14 での imidacloprid 投与は孵化日の遅延や雛の体重・脳重量の減少など急性毒性を伴うことなく、BM 選好性と記憶形成を共に損なうことが判明した。

ASD 様障害の機序、特に責任脳部位と関与する分子カスケードについては多くが未解明である。NKCC1、NeuN の発現を qPCR 法で検討した予備実験の結果、上記の IMM に加えて扁桃体と中脳上丘 (optic tectum) の関与が示唆されたが、いまだ確定的でない。今後喫緊の研究課題である。また、数と空間の理解も本研究で扱った社会的コミュニケーションの発達と関連する可能性がある。学習障害 (特に算数障害 *dyscalculia*) の可能性も長期的な課題として研究を進めたい。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計15件（うち査読付論文 14件／うち国際共著 6件／うちオープンアクセス 11件）

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

1. 著者名 Matsushima Toshiya, Kawamori Ai, Ogura Yukiko	4. 巻 44
2. 論文標題 Construction of Roman roads toward neuroeconomics	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Behavioral and Brain Sciences	6. 最初と最後の頁 20-22
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1017/S0140525X21000303	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 Toshiyuki, Aoki Naoya, Mori Chihiro, Fujita Eiko, Matsushima Toshiya, Homma Koichi J., Yamaguchi Shinji	4. 巻 12
2. 論文標題 Serotonergic Neurons in the Chick Brainstem Express Various Serotonin Receptor Subfamily Genes	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Frontiers in Physiology	6. 最初と最後の頁 882633
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/fphys.2021.815997	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 Mori Chihiro, Aoki Naoya, Fujita Toshiyuki, Yamaguchi Shinji, Matsushima Toshiya, Homma Koichi J.	4. 巻 420
2. 論文標題 Gene expression profiles of the muscarinic acetylcholine receptors in brain regions relating to filial imprinting of newly-hatched domestic chicks	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Behavioural Brain Research	6. 最初と最後の頁 113708 ~ 113708
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.bbr.2021.113708	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, Mori Chihiro, Fujita Toshiyuki, Serizawa Shouta, Yamaguchi Shinji, Matsushima Toshiya, Homma Koichi J.	4. 巻 13
2. 論文標題 Imprintability of Newly Hatched Domestic Chicks on an Artificial Object: A Novel High Time-Resolution Apparatus Based on a Running Disc	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Frontiers in Physiology	6. 最初と最後の頁 822638
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/fphys.2022.822638	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 Fujita Toshiyuki, Aoki Naoya, Mori Chihiro, Fujita Eiko, Matsushima Toshiya, Homma Koichi J., Yamaguchi Shinji	4. 巻 13
2. 論文標題 Chick Hippocampal Formation Displays Subdivision- and Layer-Selective Expression Patterns of Serotonin Receptor Subfamily Genes	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Frontiers in Physiology	6. 最初と最後の頁 882633
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/fphys.2022.882633	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 Saheki Yuriko, Aoki Naoya, Homma Koichi J., Matsushima Toshiya	4. 巻 13
2. 論文標題 Suppressive Modulation of the Chick Forebrain Network for Imprinting by Thyroid Hormone: An in Vitro Study	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Frontiers in Physiology	6. 最初と最後の頁 881947
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/fphys.2022.881947	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 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

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 Matsushima Toshiya, Miura Momoko, Patzke Nina, Toji Noriyuki, Wada Kazuhiro, Ogura Yukiko, Homma Koichi J, Sgado Paola, Vallortigara Giorgio	4. 巻 -
2. 論文標題 Fetal blockade of nicotinic acetylcholine transmission causes autism-like impairment of biological motion preference in the neonatal chick	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Cerebral Cortex Communications	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/texcom/tgac041	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 Matsushima Toshiya, Vallortigara Giorgio	4. 巻 -
2. 論文標題 The domestic chick as an animal model of autism spectrum disorder (ASD); developmental homology gives validity	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 PrePrints.org	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.20944/preprints202305.0245.v1	査読の有無 無
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16件 (うち招待講演 3件 / うち国際学会 2件)

1. 発表者名 三浦桃子・Patzke Nina・田路裕之・和多和宏・小倉有紀子・Sgado P.・Vallortigara G.・本間光一・松島俊也
2. 発表標題 ヒヨコにおいて生物的運動の知覚が正常に発生するためには後期胚中枢神経系のアセチルコリン - GABA系の活動が必要である
3. 学会等名 日本動物学会
4. 発表年 2021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 収益遞減する餌パッチからの離脱決定は異なる時定数に基づく利益率の間の差によって確率的に統制されている
3. 学会等名 日本動物学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Matsushima Toshiya
2. 発表標題 Making of adaptive bias: How does the predisposed preference to biological motion emerge during the late embryogenesis in chicks?
3. 学会等名 日本動物心理学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Matsushima T., Miura M., Patzke N., Toji N, Wada K., Ogura Y., Homma K.J., Sgado P., Vallortigara G.
2. 発表標題 Involvement of nAChR-NKCC1-GABAA cascade in the embryonic development of visual predisposition to biological motion in domestic chicks.
3. 学会等名 Society for Neuroscience (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 三浦桃子・松島俊也
2. 発表標題 刷り込み素因の後生的発達(1): ネオニコチノイドによる自閉症リスク評価
3. 学会等名 日本動物学会北海道支部大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 松島俊也・三浦桃子・田路裕之・和多和宏・Sgado P., Vallortigara G.
2. 発表標題 刷り込み素因の後生的発達(2): パルプロ酸とnAChR阻害による発達障害機構の二重分離
3. 学会等名 日本動物学会北海道支部大会
4. 発表年 2022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
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Huang J.・松島俊也
2. 発表標題 ヒヨコのバッチ利用採餌の努力コストに関わる神経機構
3. 学会等名 日本動物学会第91回大会
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 ヒヨコのバ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
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Matsushima T., Sgado P., Vallortigara, G., Mira, 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
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
4. 発表年 2021年

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

〔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〕

Matsushima Laboratory
<https://sites.google.com/view/matsushima-2022/>

University of Trento,
<https://www.cimec.unitn.it/en>
 CIMEC, visiting professors
<https://www.cimec.unitn.it/en/103/visiting-professors>

なお、2022年4月より、北海道医療大学薬学部（薬理学・臨床薬理毒理学教室、主任：泉剛教授）に学外研究員として所属し研究を継続している。
<https://www.hoku-iryo-u.ac.jp/>

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	藤田 俊之 (Fujita Toshiyuki) (40718095)	帝京大学・薬学部・助教 (32643)	
研究分担者	本間 光一 (Homma Koichi) (90251438)	帝京大学・薬学部・教授 (32643)	

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	Center for Mind/Brain Sciences	Laboratory for Comparative Cognition