

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 1 日現在

機関番号：14401

研究種目：新学術領域研究（研究領域提案型）

研究期間：2012～2016

課題番号：24119003

研究課題名（和文）社会的認知発達モデルとそれに基づく発達障害者支援システム構成論

研究課題名（英文）Modeling Social Cognitive Development and Designing Support Systems for Developmental Disorders

研究代表者

長井 志江 (Nagai, Yukie)

大阪大学・工学研究科・特任准教授

研究者番号：30571632

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 196,500,000円

研究成果の概要（和文）：社会的認知発達の基盤として「感覚・運動信号の予測学習」に基づく理論を提案し、計算論的視点から認知発達の構成的理解と発達障害者支援システムの開発に取り組んだ。乳幼児-養育者相互作用の解析では、乳幼児の身体的・社会的随伴性の発達と、それを促進する養育者の行動変容を明らかにした。計算論的発達モデルの研究では、多様な認知機能が予測学習に基づき獲得されること、モデルのパラメータ変動が発達障害を生み出すことを明らかにした。発達障害者の理解・支援システムの開発では、社会性の問題を引き起こす感覚・運動の非定型性を定量化・再現するシステムを実現した。これらの成果は認知発達原理の解明に大きく貢献している。

研究成果の概要（英文）：This study aims at understanding the underlying mechanism for social cognitive development and at designing assistant systems for developmental disorders. We suggest that predictive learning of sensorimotor signals plays a key role in cognitive development. First, our computational analysis of infant-caregiver interaction revealed improvement in bodily and social contingency in infants, which is supported by adaptive scaffolding by caregivers. Then, computational modeling of predictive learning investigated to what extent the theory accounts for development. Our robot experiments demonstrated successful development of various abilities as well as its disorders caused by modifications in model parameters. Finally, we designed assistant systems for developmental disorders. Their atypical perception and action were analyzed and reproduced to investigate the influence on social difficulties. These results contribute to better and deeper understanding of the principle of development.

研究分野：認知発達ロボティクス

キーワード：知能ロボティクス 認知発達ロボティクス 発達障害者支援 自閉スペクトラム症 人-ロボットインタラクション 予測符号化 神経回路モデル

1. 研究開始当初の背景

人間の認知発達において、他者との相互作用経験は重要な役割を担う。例えば、乳幼児は養育者から教示や援助を受けることで、新たな認知機能を獲得する。また、幼児は自身よりも能力が未熟な他者に対して教示したり支援したりすることで、間接的に自らの認知機能を強化する。従来の認知発達研究では、他者との相互作用の重要性は指摘されていたが、その過程で乳幼児の認知機能がいかに構造化されるのかまでは十分に検討されていなかった。多くの観察データをもとに、乳幼児の教示・被教示経験と認知機能の発達の関係も調べられていたが、現象面の解析にとどまっていた。特に、発達障害として知られる自閉スペクトラム症 (ASD) に関しては、行動に現れる社会的能力の問題が主に注目され、どのような情報処理過程における困難さが社会性の問題を導くのか、また、発達過程で他者との相互作用がどのような役割を担うのかについてはほとんど議論されていなかった。

2. 研究の目的

本研究では、乳幼児の認知発達を「感覚・運動情報のまとめあげ過程」として定式化し、社会的相互作用をとおした情報のまとめあげのメカニズムを、乳幼児-養育者インタラクションの定量的解析と、計算モデルを実装したロボットの相互作用実験をとおして、解析的・構成的に理解する。従来、社会性の問題と認識されていた発達障害が、近年の神経科学研究や当事者研究によって、その原因が感覚・運動情報のまとめあげの困難さにあることが指摘されている (Happe&Frith, 2006; 綾屋&熊谷, 2008)。人間の脳は環境や身体からのボトムアップな信号をまとめあげることによって状態を認識し行動決定を行なっているが、その過程に問題があることで、結果的に高次認知機能である社会性に困難を生じるという説である。一方で、乳幼児の認知発達を支える養育者は、乳幼児に働きかける際に運動や発話を誇張したり、分節に区切るなどして、乳幼児の感覚・運動情報のまとめあげを支援していることが示唆されている (Nagai&Rohlfing, 2009)。本研究では、これらの背後にある神経・身体・環境のメカニズムを、ロボット工学を中心とした発達心理学・当事者研究との協働により明らかにし、それに基づいて発達障害者の支援システムを開発する。

3. 研究の方法

上記の目的を達成するため、主に以下の3つの課題に取り組む (図1)。

(1) 乳幼児-養育者相互作用の計算論的解析：情報理論の概念を導入して、乳幼児-養育者相互作用における乳幼児の社会的随伴性の発達と身体協応の発達を定量的に評価する。モーションキャプチャ装置から得られる乳幼児と養育者の身体運動や、視線、発話などの信号をもとに二者間の情報の流れを解析し、それ

発達における社会的要因の構成的理解と支援技術への応用

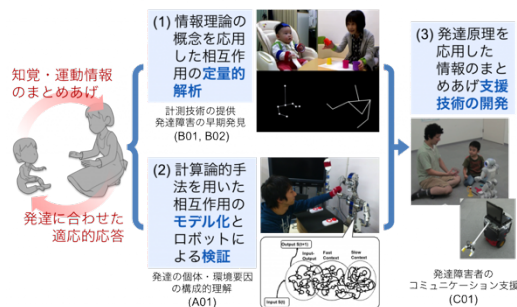


図1：本研究の3つの課題

が乳幼児の月齢によってどう変化するのか、また養育者の適応的な応答が乳幼児の随伴性の獲得にどう影響するかを明らかにする。

(2) 計算論的認知発達モデルの開発とロボットによる検証：神経回路モデルや確率モデルを用いて、乳幼児の認知発達とそれを支援する養育者の振る舞いをモデル化する。感覚・運動情報のまとめあげを計算モデルとして具現化し、その学習過程をとおしてどのような認知機能が獲得されるのか、またモデルのパラメータ変動により発達障害に類似した行動が生成されるのかなどを構成的に調べる。

(3) 発達障害者の理解・支援システムの開発：乳幼児の認知発達過程の解析とロボットを用いた構成的研究によって得られる知見から、発達障害者の情報のまとめあげを支援するシステムを開発する。発達障害当事者研究との協働により情報のまとめあげの困難さを定式化し、それを工学的技術を用いて支援することで、社会性問題の解決につなげる。

4. 研究成果

(1) 乳幼児-養育者相互作用の計算論的解析

B02班と協働して、乳幼児の随伴性発達と、それと同期した養育者の適応的行動を調べた (図2)。対面相互作用中の乳幼児と養育者の身体運動と視線を計測し、情報理論の指標である移動エントロピーを用いて個体内 (身体協応) と個体間 (社会的随伴性) の情報伝達を解析したところ、(a)低月齢児に比べて高月齢児では情報伝達量が個体内・間ともに増加すること、(b)乳幼児が随伴的に応答する養育者の信号が、低次信号 (色や動き) から社会的信号 (視線) へ月齢に応じて変化すること、(c)乳幼児の月齢増加にともない、養育者の応答の複雑性が増加することが明らかになった (Nagai et al., 2012)。

さらに微視的なダイナミクスに着目し、一相互作用内での乳幼児の運動学習と養育者の動作呈示の時間的変化も解析した (Fukuyama et al., 2016)。その結果、乳幼児の動作目標の理解の未熟さが養育者の動作呈示における目標誇張を誘発し、それが直接に乳幼児の動作目標の達成に貢献することが明らかになった。これらの結果は、身体協応、及び社会的随伴性という情報のまとめあげが乳幼児の月齢とともに発達すること、そして乳幼児の能力に

応じた養育者の援助がそれを支援していることを示している。

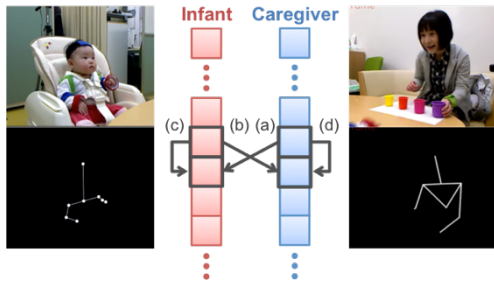


図 2：移動エントロピーを用いた乳幼児-養育者相互作用の定量的解析 (Nagai et al., 2012)

(2) 計算論的認知発達モデルの開発とロボットによる検証

① 予測学習理論に基づく社会的認知機能の発達モデル

情報のまとめあげを具現化する計算論的理論として「感覚・運動信号の予測学習」に着目し、多様な社会的認知機能が予測学習を通して発達することを提案した (Nagai&Asada, 2015; 長井, 2016)。予測学習とは、身体や環境からのボトムアップな感覚信号と、脳が内部モデルをもとにトップダウンに予測する信号の誤差を最小化するように内部モデルを更新したり、環境に働きかけることである。

ミラーニューロンシステムの発達に注目した研究では、深層型神経回路モデルを用いて、自己運動の生成経験が他者運動の認識に与える影響を検証した (図 3, Copete et al., 2016)。ロボットによる学習実験の結果、自己運動の生成時に得られる複数感覚信号を同一の予測器で統合学習することで、他者運動の観察時に視覚入力から対応した自己運動を想起することが可能となり、想起信号によって他者運動の予測精度が向上することを明らかにした。

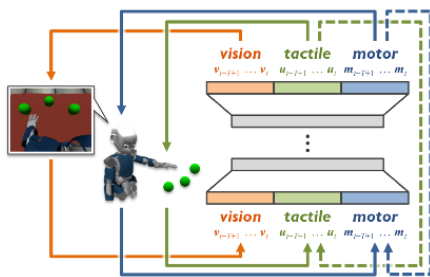


図 3：予測学習に基づく自己運動の生成と他者運動の認識 (Copete et al., 2016)

動作模倣に関する実験では、乳幼児に観察される模倣対象 (目標と手段) の発達的変化が、予測誤差の相対的差によって生じることを明らかにした (Park et al, 2017)。帰型神経回路モデルを用いた運動学習において、目標が大局的な予測誤差を生じるのに対して手段が局所的な予測誤差を生じることで、目標から手段の順で予測誤差最小化が生じることを確認した。

情動発達に着目した研究では、複数感覚信号の空間的予測学習が、他者の内部状態の推定とそれに基づく情動模倣を可能にすることを示した (図 4, Horii et al., 2016)。階層型確率的神経回路モデルを実装したロボットが、他者の表出する視覚・聴覚信号を予測学習することで、モデルの上位層に情動に対応する空間が形成され、さらにその空間を介して未観測信号の推定も可能になることを明らかにした。

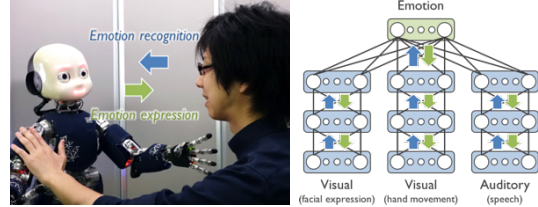


図 4：複数感覚信号の予測学習による情動認識・表出 (Horii et al., 2016)

さらに、他者運動に起因する予測誤差の最小化が、援助行動の創発につながることをロボット実験で示した (Baraglia et al., 2016, 2017)。自己運動を通して獲得した予測モデルに基づき他者運動を推定し、他者が目標達成に失敗したときの予測誤差を引き金として、それを最小化するように自己運動を生成することで、原初的な利他的行動が創発することを確認した。

以上の成果は、従来の発達心理学研究において個別に説明されていた認知機能が、予測学習という共通原理に基づいて発達しうることを構成的に示すものであり、人間の認知発達原理の理解に大きく貢献している。

② ASD の発生要因を説明する計算論的発達モデル

発達障害の発生要因として、予測学習を基盤とした階層型神経回路モデルの機能バランスに注目し、予測精度を推定可能な再帰型神経回路モデル (S-MTRNN) を提案した (図 5, Murata et al., 2016)。ロボットを用いて行動実験を行なった結果、初期パラメータの違いが階層間の不均衡性を誘発し、強いトップダウン予測による自閉的な行動形態や、強いボトムアップ修正による過敏な行動形態を生み出すことを確認した。

また、ASD の病因の一つとして注目されている、神経回路における興奮性/抑制性ニューロンの偏りに着目し、それが運動生成に与える影響を検証した。再帰型神経回路モデルの興奮性/抑制性バランスに変動を与えて予測学習を行なった結果、偏りが一定以上均一な場合、学習自体が成功であっても感覚情報に対する不確実性の推定と汎化性の低下や、運動制御の不安定さが現れることを確認した。また、環境に応じた動作切り替えの困難や、学習していない奇異パターン動作、繰り返し動作なども観察した。

以上の結果は、ASD に対する認知理論の知見や観察される行動的特徴とも合致しており、

発達障害を生み出す神経基盤の理解に重要な示唆を与えている。

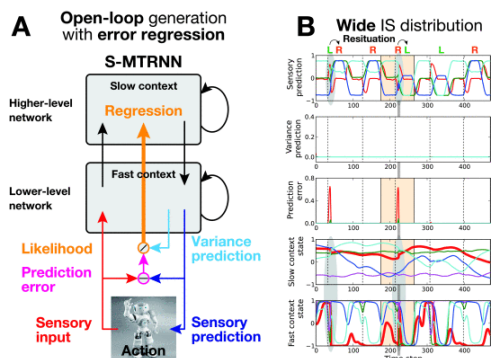


図 5: S-MTRNN における機能バランスと発達障害の発生 (Murata et al., 2016)

③ 養育者との相互作用を通じた認知発達モデル

乳幼児の描画能力の発達に着目し、(1)乳幼児-養育者の相互作用解析で得られた知見を計算論的に検証した。描画発達を(a)発達の側面、(b)認知的側面、(c)社会的側面に分類し、(a)については再帰型神経回路モデル(MTRNN)を用いて選択的追加学習を行うモデルを提案し(Mochizuki et al., 2013)、(b)ではオンライン学習系をモデルに導入(望月他, 2014)、(c)ではモーショニーズ(対乳幼児動作誇張)に基づく描画教示の段階的变化を導入した学習モデルを提案した(Nishide et al., 2014)。さらに、効率的なバブリング学習の検討(Watanabe et al., 2016)や、(a)で追加学習を行う際の学習対象の選択方法として、予測性に基づく指標を提案した(Nishide et al., 2014, 2015)。ロボットを用いた評価実験の結果、(a)をベースラインとして、(b)と(c)の導入により描画模倣誤差がそれぞれ約 22%、約 12%減少することを確認した。また、予測誤差に基づき追加学習対象を選択することで、通常の学習よりも低い学習誤差が得られることを示唆する結果も得た。本成果は、認知機能の発達における段階的学習の意義と、他者からの支援の役割を構成的に示したものである。

④ 連続的な認知発達を説明する計算モデル

複数の認知機能の連続的発達を説明する計算モデルを提案し、実世界での有効性を確認した。感覚・運動経験から随伴性(予測性)を逐次的に評価・再現するメカニズムをもとに、随伴性評価において特定の観測の変化を弁別的に導く行為と状況の組み合わせを局所的に評価する方法を採用することで、視線追従や振り返り行動といった因果的な行動連鎖を、高速・正確に獲得できることを示した(Mahzoon et al., 2016)。さらに、自然教育学の示唆に基づき、アイコンタクトをトリガーとしてロボットの動作・観測タイミングを遅延させるしくみを導入することで、一般被験者を相手にした 40 分程度の相互作用実験において、小型ロボットが実世界でより長い連

鎖の因果的な行動を獲得できることを確認した(Mahzoon et al., 査読中)。本成果は、養育者の関わり方の、発達個体が体験する随伴性に及ぼす影響の可視化・定量化を可能にしたという側面があり、今後、養育者の発達に合わせた適応的応答の仕組みの研究を促進するものと期待される。

(3) 発達障害者の理解・支援システムの開発

① ASD 視覚体験シミュレータ

発達障害者の社会性の問題が感覚・運動信号のまとめあげの困難さに由来するとの仮説に基づき、C01 班との協働で ASD 者の視覚過敏・鈍麻の発生過程を解析・モデル化した。

(図 6, 長井他, 2015; 長井, 2016)。画像・音声処理技術を用いてさまざまな視覚過敏・鈍麻のパターンを画像フィルタとして用意し、ASD 者が日常生活の経験に基づいて、社会的文脈ごとに自己の視覚世界を再構成する実験を行なった。成人 ASD 者 22 名のデータから環境因子と誘発される視覚症状の関係を解析した結果、主に(a)輝度によるコントラスト強調と高輝度化、(b)動きによる無彩色化と不鮮明化、(c)動きと音量の変化による砂嵐状のノイズの 3 症状が起きることが確認された。これらを説明する生理学的・神経学的知見も発見されており、予測符号化との関連を考慮した発生機序の理解が期待される。

また、得られた結果を用いて、ASD の困難さを定型発達者が共有することのできる ASD 視覚体験シミュレータを開発した。本シミュレータはこれまで未知であった発達障害者の世界を解明するものとして、社会的に高い注目を集めている(メディア成果参照)。



図 6: ASD 視覚体験シミュレータとそれが再現する視覚過敏・鈍麻(長井, 2016)

② 感覚過敏要因データ収集アプリ

ASD 者の感覚過敏・鈍麻の発生要因を調査することを目的に、感覚過敏要因データ収集アプリを開発した。感覚過敏当事者が日常的に直面する快・不快情報を、写真と感覚の種類として、気圧などの環境情報と同時に収集する。現地実験により、多種多様なデータと感覚過敏要因に関する複数の仮説、アプリの改善点や知見に関するフィードバックを得た(田沢他, 2014)。

③ 言いつばなし聞きつばなし SNS

発達障害当事者研究の一手法である言いつばなし聞きつばなしをオンラインで実現することを目的に、言いつばなし聞きつばなし SNS

を開発した。本 SNS はテキストベースの会話表示の空間的・時間的関係性を崩すことで、発話間の関係性を明示しないようにする。非当事者である大学生を対象とした実験では、自己開示において有用性が見込まれること、高対人不安者に対して発言数を高める効果があることを確認した (Ichikawa et al., 2017)。発達障害者を対象とした実験では、自己開示度について大学生と似た傾向を示し、対面と SNS の比較では、当事者研究への参加数の少なさと SNS への慣れが、SNS への高評価につながることを確認した。

④ 神経回路モデルとロボットによる ASD 者のコミュニケーション解析

回帰型神経回路モデルを実装したロボットが ASD 者と相互作用することで、ASD 者の個性を定量化するシステムを構築した (Murata et al., 2016)。ロボットにあらかじめ複数の周期運動を学習させておくと、被験者の呈示運動が既学習運動に近づいたときにロボットの運動が引き込まれ、結果的に模倣が成立する。ASD 者 16 名、定型発達者 41 名を対象に実験を行なった結果、一つのパターンを繰り返し呈示し続ける参加者は、定型発達者 1/41 名だったのに対して ASD 者 4/16 名となった。また、ロボットの運動パターンを複数発見できた参加者は、定型発達者 6/41 名だったのに対し、ASD 者 0/16 名であった。ASD 者は複数のパターンを探索するがロボットとの同調は無いことがわかる (図 7)。以上の結果は、神経回路モデルのダイナミクスの変化が ASD 者の個性を表現しうることを示しており、予測符号化に基づくモデルが ASD 者のコミュニケーション解析に拡張できる可能性を示唆している。

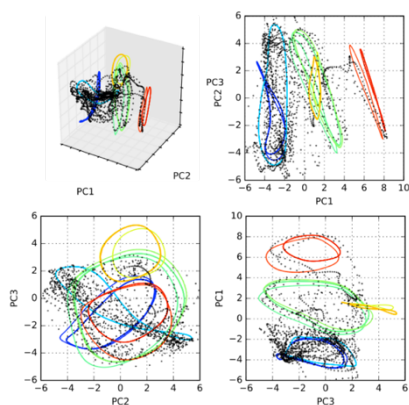


図 7: 相互作用中の神経回路モデルのダイナミクス (複数パターンの探索)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 (計 33 件)

- [1] J.-C. Park, D.-S. Kim, and Y. Nagai, “Learning for Goal-directed Actions using RNNPB: Developmental Change of “What to Imitate””, IEEE Transactions on Cognitive and Developmental Systems, 2017. 【査読有】 DOI: 10.1109/TCDS.2017.2679765

- [2] J. Baraglia, M. Cakmak, Y. Nagai, R. P. N. Rao, and M. Asada, “Efficient human-robot collaboration: when should a robot take initiative?,” The International Journal of Robotics Research, 2017. 【査読有】 <https://doi.org/10.1177/0278364916688253>
- [3] T. Horii, Y. Nagai, and M. Asada, “Imitation of human expressions based on emotion estimation by mental simulation,” Paladyn, Journal of Behavioral Robotics, 7(1): 40-54, 2016. 【査読有】 <https://doi.org/10.1515/pjbr-2016-0004>
- [4] J. Baraglia, Y. Nagai, and M. Asada, “Emergence of Altruistic Behavior Through the Minimization of Prediction Error,” IEEE Transactions on Cognitive and Developmental Systems, 8(3): 141-151, 2016. 【査読有】 DOI: 10.1109/TCDS.2016.2562121
- [5] 長井, “自閉スペクトラム症の特異な視覚世界を再現する知覚体験シミュレータ,” 精神看護, 19(1): 59-63, 2016. 【査読無】 <https://doi.org/10.11477/mf.1689200182>
- [6] S. Murata, Y. Yamashita, H. Arie, T. Ogata, S. Sugano, and J. Tani, “Learning to Perceive the World as Probabilistic or Deterministic via Interaction with Others: A Neuro-Robotics Experiment,” IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems, 28(4): 830-848, 2016. 【査読有】 DOI: 10.1109/TNNLS.2015.2492140
- [7] H. Mahzoon, Y. Yoshikawa, and H. Ishiguro, “Social Skill Acquisition Model through Face-to-Face Interaction: Local Contingency for Open-Ended Development,” Frontiers in Robotics and Artificial Intelligence, 3(10), 2016. 【査読有】 DOI: 10.3389/frobt.2016.00010
- [8] H. Fukuyama, S. Qin, Y. Kanakogi, Y. Nagai, M. Asada, and M. Myowa-Yamakoshi, “Infant's action skill dynamically modulates parental action demonstration in the dyadic interaction,” Developmental Science, 18(6): 1006-1013, 2015. 【査読有】 DOI: 10.1111/desc.12270
- [9] S. Nishide, H. Nobuta, H. G. Okuno, and T. Ogata, “Preferential training of neurodynamical model based on predictability of target dynamics,” Advanced Robotics, 29(9): 587-596, 2015. 【査読有】 <http://dx.doi.org/10.1080/01691864.2015.1031279>

〔学会発表〕 (計 294 件)

- [1] Y. Ichikawa, S. Ayaya, S. Kumagaya, and E. Tanaka, “Investigating Self-disclosure and the Amount of Speaking in an Online Meeting Under the Rule of Casual Talking and Casual Listening,” the Tenth Intl. Conf. on Advances in Computer-Human Interactions, Nice (France), 2017/03/19-23.

- [2] S. Murata, K. Hirano, H. Arie, S. Sugano, and T. Ogata, "Analysis of Imitative Interactions between Humans and a Robot with a Neurodynamical System," IEEE/SICE Intl. Symp. on System Integration, Sapporo (Japan), 2016/12/13-14.
- [3] J. L. Copete, Y. Nagai, and M. Asada, "Motor development facilitates the prediction of others' actions through sensorimotor predictive learning," in Proc. of the 6th IEEE Intl. Conf. on Development and Learning and on Epigenetic Robotics, Cergy-Pontoise (France), 2016/09/19-22.
- [4] Y. Nagai and M. Asada, "Predictive Learning of Sensorimotor Information as a Key for Cognitive Development," in Proc. of the IROS 2015 Workshop on Sensorimotor Contingencies for Robotics, Hamburg (Germany), 2015/10/02.
- [5] S. Nishide, H. Nobuta, H. G. Okuno, and T. Ogata, "Applying Intrinsic Motivation for Visuomotor Learning of Robot Arm Motion," Intl. Conf. on Ubiquitous Robots and Ambient Intelligence, Kuala Lumpur (Malaysia), 2014/11/12-15.
- [6] S. Nishide, K. Mochizuki, H. G. Okuno, and T. Ogata, "Insertion of Pause in Drawing from Babbling for Robot's Developmental Imitation Learning," IEEE Intl. Conf. on Robotics and Automation, Hong Kong (China), 2014/06/01-05.
- [7] 田沢, 綾屋, 熊谷, 森田, 田中, "発達障害者の感覚過敏要因収集のためのスマートフォンアプリケーションの開発," 人工知能学会全国大会, ひめぎんホール (愛知県松山市), 2014/05/13.
- [8] 望月, 西出, 奥乃, 尾形, "ロボットによる描画運動発達モデルと軌道の重み付き区間認識・学習を利用した精度向上," 日本情報処理学会第 76 回全国大会, 東京電機大学 (東京都足立区), 2014/03/11-13.
- [9] K. Mochizuki, S. Nishide, H. G. Okuno, and T. Ogata, "Developmental Human-Robot Imitation Learning of Drawing with a Neuro Dynamical System," IEEE Intl. Conf. on Systems, Man and Cybernetics, Manchester (UK), 2013/10/13-16.
- [10] Y. Nagai, A. Nakatani, S. Qin, H. Fukuyama, M. Myowa-Yamakoshi, and M. Asada, "Co-Development of Information Transfer within and between Infant and Caregiver," in Proc. of the 2nd IEEE Intl. Conf. on Development and Learning and on Epigenetic Robotics, San Diego (USA), 2012/11/07-09.

〔図書〕 (計 3 件)

- [1] Y. Nagai, "Mechanism for Cognitive Development," Cognitive Neuroscience Robotics: A: Synthetic Approaches to Human Understanding, pp. 51-72, Springer, 2016.

- [2] 尾形, "深層学習技術のロボット応用," 人工知能・機械学習・ディープラーニング関連技術とその活用, 第 3 節 1 項, 2016.
- [3] 長井, "感覚・運動情報の予測学習に基づく社会的認知機能の発達," ロボットと共生する社会脳: 神経社会ロボット学, pp. 211-242, 新曜社, 2015.

〔その他〕

ホームページ

- [1] 新学術領域研究「構成論的発達科学」
<http://devsci.isi.imi.i.u-tokyo.ac.jp>
 メディア (テレビ 8 件, 新聞 16 件)
- [1] NHK, "NHK スペシャル: 発達障害〜解明される未知の世界〜," 2017/05/21.
- [2] NHK, "SF リアル「#2 アトムと暮らす日」," 2016/08/23.
- [3] 読売テレビ, "かんさい情報ネット ten. 【Go!Go!若一調査隊】阪大が開発! 自閉症の理解に効果が期待! ? 世界初の装置とは," 2015/4/15.
- [4] NHK 関西, "自閉症特有の見え方疑似体験," 2015/3/17.
- [5] 読売新聞, "サイエンス BOX 「自閉スペクトラム症(ASD)／特異な見え方疑似体験」," 2017/04/14.
- [6] 日経産業新聞, "阪大、赤ちゃんの成長ぶり「自他認知」ロボで再現," 2016/02/03.
- [7] 毎日新聞, "阪大ロボット学／2 知覚体験し障害を理解 工学研究科・長井志江特任准教授," 2015/09/12.
- [8] 朝日新聞, "自閉症の人の目線, 感じて知って仮想体験機器, 阪大・東大グループ開発," 2015/03/19.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

長井 志江 (NAGAI, Yukie)
 大阪大学・大学院工学研究科・特任准教授
 研究者番号: 30571632

(2) 研究分担者

田中 文英 (TANAKA, Fumihide)
 筑波大学・システム情報系・准教授
 研究者番号: 50512787

(3) 研究分担者

尾形 哲也 (OGATA, Tetsuya)
 早稲田大学・理工学術院・教授
 研究者番号: 00318768

(4) 研究分担者

吉川 雄一郎 (YOSHIKAWA, Yuichiro)
 大阪大学・大学院基礎工学研究科・准教授
 研究者番号: 60418530

(5) 研究分担者

西出 俊 (NISHIDE, Shun)
 徳島大学・大学院理工学研究部・講師
 研究者番号: 30613400

(6) 連携研究者

浅田 稔 (ASADA, Minoru)
 大阪大学・大学院工学研究科・教授
 研究者番号: 60151031