

認知ミラーリング：その背景にある障害の捉え方・設計原理・効果 Cognitive Mirroring: Its design principle and impacts on developmental disorders

長井 志江†

Yukie Nagai

† 情報通信研究機構 脳情報通信融合研究センター

CiNet, National Institute of Information and Communications Technology

yukie@nict.go.jp

概要

自閉スペクトラム症などの発達障害に対する新たな支援技術として、筆者らの研究グループは「認知ミラーリング」を提案した。計算論的手法を用いて発達障害者の認知機能を鏡のように映し出し、観測可能にすることで、感覚・運動レベルの非定型性が社会性の問題に与える影響を解明し、障害の自己理解や周囲による困難さの共有を促進することが期待できる。本稿では、認知ミラーリングの設計原理とそれによる効果、そして本課題に取り組む学際融合研究プロジェクトを紹介する。

キーワード：自閉スペクトラム症，認知神経ロボティクス，予測符号化，当事者研究，障害者支援

1. はじめに

近年の社会問題の一つとして、発達障害者数の急激な増加とそれに対応しきれない環境整備の遅延が挙げられる [1]。全国の小中学校を対象にした文部科学省の調査（H24年）では、通常の学級に在籍する生徒のうち学習・行動面で著しい困難を示し、発達障害の可能性があると判断される児童の割合が6.5%に上がることが明らかになった。このうち38.6%の児童はまだ支援を受けておらず、早急な支援策の検討が望まれる。就労に関しては、発達障害者を含む知的・精神障害者の就労率が6.2%と報告されており、身体障害者の就労率28.9%に比べて大きく下回ることが知られている（H27年内閣府，厚生労働省）。知的・精神障害と身体障害は診断の基準や社会生活での難しさが異なるため、一概に比較はできないが、前者に特有の課題があることが示唆される。一方で、障害者の社会参画を推進するため、事業主に一定の割合で障害者の雇用を義務付ける法定雇用率も制定されているが（H30年4月に2.0%から2.2%に引き上げ）、それを達成している企業の割合は50.0%にとどまるのが現状である（H29年厚生労働省）。



(a) 従来の発達障害の捉え方



(b) WHO が提唱する新たな発達障害の捉え方

図1 発達障害の捉え方。従来は、社会性の問題を全て個人に帰属させていたのに対して (a)，新たな定義では、個人に帰属する機能障害と周囲の人や物が持つ環境要因の相互作用として、社会的活動における能力障害が生じると考える (b)。

これらの社会問題に対処するため、内閣府は全ての国民が障害の有無によって分け隔てられることなく、相互に人格と個性を尊重し合いながら共生する社会の実現を目的に、障害者差別解消法を施行した（H28年4月）。障害を理由とする差別の解消を目指して、個々の障害者の困りごとに合わせて合理的配慮を提供することを義務付けた。例えば、会話で意思を伝え合うことが困難な人に対しては、絵や写真のカードやタブレット端末を利用することで、意思疎通を支援するよう提案し、大きな音に対して敏感な児童がいる学

校では、机や椅子の引きずる音を減少させるため、全ての机と椅子の脚に防音加工を施すよう提案した。しかし、これらの配慮はそれぞれの状況に特化した事例ベースによるもので、合理的配慮の一般的な設計指針は示されていない。

このような課題が生じる理由として、大きく二つの要因が考えられる。第一に、発達障害者の困りごとが周囲に見えにくいことが挙げられる。身体障害に比べて、発達障害は当事者が何に困っているのかが周囲に伝わりにくいいため、当事者にとって真に役立つ配慮が適切に選択されないという可能性がある。そして同時に、見えにくさの問題は発達障害当事者側にも起きている。社会生活での困難さが、感覚から運動に至る認知機能のどの段階で生じているのか、またどのような内的・外的要因によって生じているのかが当事者にも分かりにくいいため、適切な配慮を求めることも困難となる。第二の理由は、障害の帰属性の曖昧さである。障害が個人の機能的な非定型性によるものなのか、環境要因によって引き起こされるのかが区別されていないため、ときに過剰に個人の問題と認識されることがある。図1に、発達障害の捉え方を図示する。従来は、社会性の問題が全て個人に帰属されることが多く、支援に限界を生じていた(a)。これに対して、世界保健機構(WHO)は困難さの原因を個人に帰属する機能障害と周囲の人や物が持つ環境要因に分け、その相互作用として社会的活動における能力障害が生じると提案した(b)。

本稿では、上記の考えに基づく新たな障害者支援のアプローチとして、「認知ミラーリング」を紹介する[2,3]。認知ミラーリングとは、計算論的手法を用いて発達障害者の認知機能を鏡のように映し出し、観測可能にすることで、これまで見えにくいとされていた発達障害者が抱える困難さを、見える化する知的情報処理技術である。困難さを発達障害当事者やその周囲の人々が共有し、さらに計算論的アプローチを生かして発達障害モデルを用いた仮説検証を繰り返すことで、障害の帰属性を明らかにし、個人や状況の変化に対応した適切な合理的配慮の設計を提案する。以降の節では、認知ミラーリングの基本アイデアとその背後にある認知(障害)原理仮説、そして、それを用いた発達障害者支援の方針を説明する。また、本目的を達成するために構成した学際融合研究プロジェクト、戦略的創造研究推進事業(CREST)「認知ミラーリング：認知過程の自己理解と社会的共有による発達障害者支援」(代表：長井志江，期間：2016年12月-2022年3月)の取り組みを紹介する。

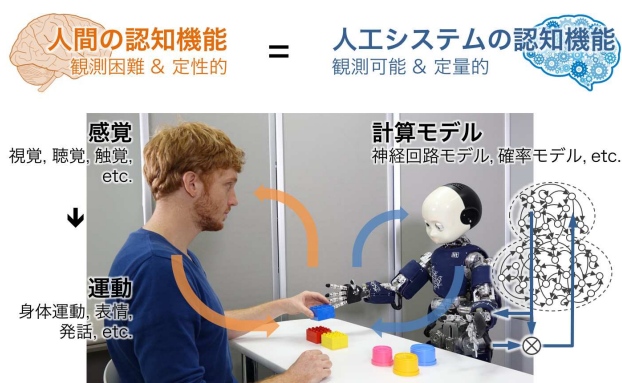


図2 認知ミラーリング。定性的で直接には観測困難な人間の認知機能を、ロボットなどの人工システムが相互作用を通して計算モデルの中に学習・推定することで、定量的に観測・評価可能にする。

2. 認知ミラーリング

筆者らの研究グループは、人間の感覚から運動に至る認知機能を鏡のように映し出し観測可能にする知的情報処理技術として、「認知ミラーリング」を提案した(図2)[2,3]。人間が視覚や聴覚などの感覚器から入力される信号を知覚し、身体運動や発話などの行動を決定するまでの過程は、従来の認知心理実験では直接観測・評価することは困難である(図2左)。脳イメージング研究との融合により、認知課題遂行中の神経活動の計測を通して認知機能を司る神経基盤の解明も試みられているが、神経活動というマイクロな現象と認知行動というマクロな現象をつなげることは容易ではない。また、近年では発達障害当事者研究[4,5]という新たなアプローチによって、当事者が内部観測者視点から認知機能とその障害の原理を探求する試みも注目されているが、報告が定性的であるといった課題を残す。

これに対して、認知ミラーリングは構成的・計算論的アプローチから、上記の課題を解決する新たな手法を提供する。核となるアイデアは、直接には観測が困難で定性的解釈にとどまっていた人間の認知機能を、脳の機能を模した神経回路モデルや確率モデルを用いて鏡のように映し出し、操作可能な形で具現化することで、定量的に観測・評価することである(図2右)。具体的には、

- (a) ロボットが人との相互作用を通して、人の認知機能を計算モデル内に学習・推定する
 - (b) 認知心理実験により人が自己の認知過程(主に知覚)を再現し、それを計算論的にモデル化する
- の2通りの方法を提案する。これにより、人間の行動特性を説明するモデルパラメータを推定し、定型発達

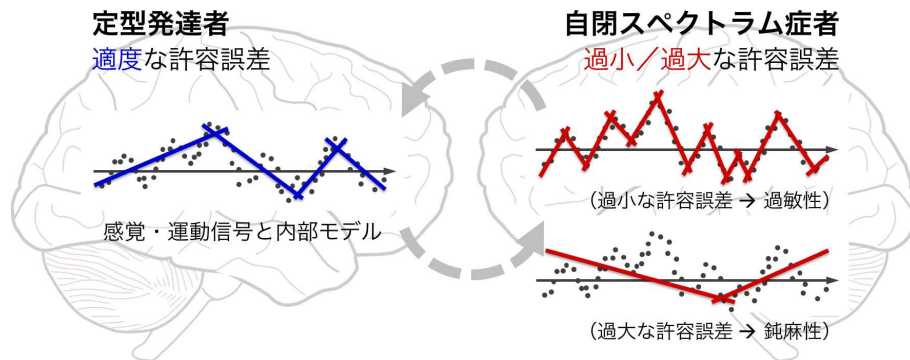


図3 予測符号化理論に基づく認知(障害)原理仮説. 定型発達者と比べて, ASD者では内部モデルにおける感覚・運動信号への許容誤差が過小/過大となることで, 非定型な感覚特性や社会的能力の困難さを生じると考えられる.

から発達障害に至るスペクトラムを, パラメータ変動として定量的に評価することが可能になる.

3. 予測符号化理論に基づく認知(障害)原理仮説

認知ミラーリングの設計原理として, また人間の認知発達および発達障害を統一的に説明する理論として, 筆者らは予測符号化理論 [6-10] に注目している. 発達障害の一種である自閉スペクトラム症 (ASD: autism spectrum disorder) は, 診断基準 DSM-5 によると, 社会的コミュニケーションや社会的相互作用における持続的な欠陥と, 限定された反復行動・興味・活動といったさまざまな特徴で定義される. これに対して, 近年の認知神経科学研究や当事者研究は, 社会性や高次の認知機能における多様な障害は, その背後にある共通した低次の感覚・運動レベルの非定型性に起因する可能性を指摘している [4, 5, 11, 12]. 一般に, 人間の脳では感覚器から入力された信号を時空間的に統合し, さらに統合した表象から感覚信号を予測することで環境認識や行動決定を行うが, その過程で発達障害者は定型発達者と異なる情報処理を行なうことで, 高次の認知機能である社会的能力に問題を生じたり, 知覚過敏や知覚鈍麻などの非定型な知覚症状を発現するというものである.

筆者らは上記の考えを計算論的視点から考察することで, 予測符号化理論に基づく認知(障害)原理仮説を提案した(図3) [13, 14]. 人間の脳は環境からボトムアップに入力される感覚信号と, 脳の内部モデルに基づきトップダウンに予測する信号の誤差(予測誤差)を最小化するように構成されており, 自己の感覚・運動経験を通じた内部モデルの更新や, 環境への働きかけによって予測誤差最小化を実現している. 筆者らの仮説では, 定型発達者は予測誤差に対して中程度の許

容範囲を持つものに対して(図3左), ASD者は予測誤差に対する感覚が過小もしくは過大であると推測される(図3右). 同じ環境を共有している場合でも, 定型発達者は適度な許容誤差のおかげで環境の変化に対して柔軟に適應できるものに対して, ASD者は過小もしくは過大な許容誤差により, 環境変化に対して過敏または鈍感になり, 突発的な状況においてパニックなどの過剰な反応を示したり, 新しい環境に適應できないなどの困難さを抱えるのではないかと考えられる.

4. 当事者視点からの発達障害の理解と支援

前節の原理に基づき認知ミラーリングシステムを開発することで, 発達障害の正しい理解とそれに基づく支援を実現する. ASD者の認知特性を社会性の欠陥や限定された行動・興味といった表層的な指標だけで測るのではなく, 内部観測者視点から予測符号化理論に基づく神経基盤の変容として解析することで, 当事者による自己理解とそれを通じた自己肯定感の向上が期待される. さらに, これまでは当事者の困りごとが周囲に見えにくく, 困難さの共有が難しかった発達障害を, 認知ミラーリングによって見える化することで, 当事者にとって真に役立つ支援と合理的配慮の設計を可能にする.

これは, 従来の発達障害者支援とは一線を画すアプローチである. 例えば, 欧州では DREAM [15], BabyRobot [16], DE-ENIGMA [17] など, 複数の EU プロジェクトがロボティクス技術を応用した発達障害者支援を推進している. しかし, これらは主に発達障害者の社会性の問題に注目し, 行動療法におけるコミュニケーション相手としてヒューマノイドロボットを導入するなど, 療育者視点での支援設計を目指している. 本稿で提案する認知ミラーリングは, 発達障害者による内部観測者視点の重要性を主張するもので,

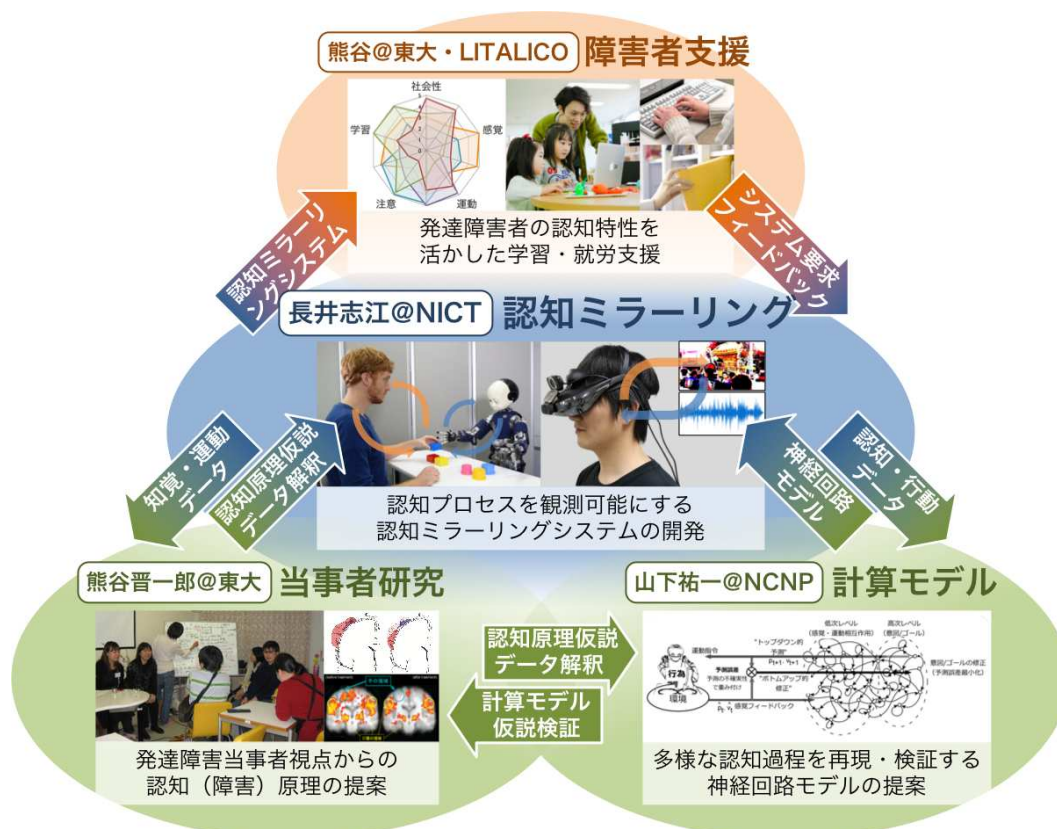


図4 認知ミラーリングによる発達障害の理解と支援を実現する学際融合研究チーム。発達障害者の内部観測者視点から認知(障害)原理仮説を提案する当事者研究グループ(左下)、神経回路モデルを用いて原理仮説を具現化・検証する計算モデルグループ(右下)、認知(障害)原理に基づき認知機能を観測可能にする知的情報処理技術を開発・評価する認知ミラーリンググループ(中央)、認知ミラーリングシステムを用いて発達障害者の認知特性を評価・支援する障害者支援グループ(上)の4グループから構成される。

世界に類のない障害者支援を実現する。

5. 学際融合研究プロジェクト： CREST「認知ミラーリング」

これまで説明してきた認知ミラーリングの理念を具現化するため、筆者らの研究グループは、2016年12月にCREST「認知ミラーリング：認知過程の自己理解と社会的共有による発達障害者支援」(代表：長井志江，期間：2016年12月-2022年3月)を始動した[2,3]。図4に本プロジェクトの全体構成を示す。本プロジェクトは異なる専門分野をもつ4グループから構成されており、システム開発と評価を担う認知ミラーリンググループ、認知(障害)原理を探求する当事者研究グループと計算モデルグループ、そして社会実装を担う障害者支援グループが密に連携することで、学際融合かつ産学連携を両立した体制を実現する。

5.1 認知ミラーリンググループ

筆者を中心とした認知ミラーリンググループは、人間の認知機能を観測可能にする認知ミラーリングシステムを開発し、実験室環境でシステムの有効性を検証することを目的とする(図4中央)。筆者らはこれまでに、多様な認知機能の発達を統一的に説明する枠組みとして、予測符号化に基づく認知発達原理を提案した[13,14]。予測誤差の最小化を規範として、感覚・運動経験を通じた内部モデルの更新と内部モデルに基づく他者への働きかけが、自己認知や他者識別[18]、模倣[19]、他者の意図推定[20]や情動推定[21]、利他的行動[22]の発達につながることを、認知ロボット実験により示した。また、ASD者の視覚過敏・鈍麻の発生過程を明らかにし、それを再現するヘッドマウントディスプレイ型視覚体験シミュレータを開発した(図5)[23]。本シミュレータは認知ミラーリングの設計案(b)(2節参照)を具現化したもので、感覚の非定型性と社会性の問題の関係を解明する重要な一歩となる。



図5 ASD者の視覚過敏・鈍麻を再現するヘッドマウントディスプレイ型ASD視覚体験シミュレータ

本プロジェクトではこれらの研究を拡張することで、発達障害を客観的・定量的に評価可能にする認知ミラーリングシステムを開発する。人との相互作用を通して認知機能を学習・推定するロボットには、計算モデルグループが開発する神経回路モデルを応用し、モデルのパラメータ変動として認知特性を定量化できることを示す。知覚体験シミュレータに関する研究では、当事者研究グループと協働でASD者を対象にした構成的認知心理実験を行い、多様な感覚様式におけるASD者の知覚特性を明らかにし、予測符号化理論に基づいた発生機序のモデルを提案する。そして、これらの研究開発過程で得られる知見を、当事者研究グループと計算モデルグループにフィードバックすることで、認知（障害）原理仮説の精緻化に貢献する。さらに、開発したシステムは障害者支援グループとの協働で学習・就労支援の現場に実装することで、認知（障害）原理の理解に基づく障害者支援を実現する。

5.2 当事者研究グループ

東京大学の熊谷を中心とした当事者研究グループは、発達障害者の内部観測者視点から認知（障害）原理仮説の提案と行動実験による仮説検証を行う（図4左下）。熊谷と綾屋 [4,5] は世界に先駆けて当事者研究を推進し、発達障害者の社会性の問題が、社会性以前の感覚・運動レベルの非定型性や、それらの信号をまとめあげることの困難さに起因し得ることを指摘した。また、予測符号化理論に着目し、ASD者では内臓感覚の誤差精度が亢進することで、内臓感覚と外受容感覚の統合不全が生じ、内部モデルの獲得や選択に困難さを生むことを提案した [24]。

本プロジェクトではより大規模で長期的な当事者研究を実施することで、仮説の精緻化に取り組む。当事者研究会で収集される発達障害者の主観的エピソード

や行動・臨床実験を通して得られるデータ、さらには認知ミラーリンググループから提供される知覚・運動データをもとに、多様な行動特性を予測符号化理論に基づいて統一的に説明することを試みる。そして、生成した仮説を計算モデルグループに提供し、神経ロボティクス実験を通して仮説の検証と更新を繰り返すことで、統一的な認知（障害）原理を生成する。

5.3 計算モデルグループ

国立精神・神経医療研究センターの山下を中心とした計算モデルグループは、人間の認知機能を再現する計算モデルを開発し、構成的アプローチから認知（障害）原理を探求する（図4右下）。山下らは、人間の脳の機能的階層性を模した多時間スケール回帰型神経回路モデル（MTRNN）[25]や、信号の予測機能に加えて予測精度の推定機能も有した統計的連続時間回帰型神経回路モデル（S-CTRNN）[26]などを提案してきた。これらのモデルは予測符号化仮説に基づくもので、人間の適応的な運動生成機能を再現するだけでなく、ノイズの付加により統合失調症などに観察される非定型な運動生成も説明することができる [27]。

本プロジェクトでは、当事者研究グループとの密な連携により、認知（障害）原理を予測符号化モデルに基づき具現化し、定型発達から発達障害に至る多様な認知特性をモデルのパラメータ変動として説明することを目指す。当事者研究グループにはモデル実験の結果をフィードバックすることで認知（障害）原理仮説の精緻化を促進し、認知ミラーリンググループには認知（障害）原理を具現化する神経回路モデルを提供することで認知ミラーリングシステムの開発を促す。そして、同グループから提供される認知・行動データをもとに神経回路モデルを改良することで、相補的に認知（障害）原理の解明に貢献する。

5.4 障害者支援グループ

(株) LITALICO と熊谷を中心とした障害者支援グループは、認知ミラーリングシステムを学習・就労支援現場で運用し、発達障害者の認知特性を活かした支援を実現する(図4上)。(株) LITALICO は、様々な障害者のための就労支援を提供する LITALICO ワークス(59拠点、登録者1,900名)と学習支援を提供する LITALICO ジュニア(76拠点、登録者8,314名)、そしてポータルサイト LITALICO 発達ナビ(メール会員25,000名)を中心に、障害のない社会づくりを目指している[28]。障害は人ではなく社会の側にあるという理念のもとに、当事者研究との協働により障害の帰属性を明らかにし、当事者の視点に立った支援設計を提案している。

本プロジェクトでは上記の理念のもと、認知ミラーリンググループが開発する認知ミラーリングシステムを用いて、当事者が抱える困難さの見える化と他者との共有による効果を定量的に評価する。発達障害当事者を対象とした実験では、認知ミラーリングにより認知機能を客観化・定量化することで、自己の理解や自己肯定感の向上に与える影響を確認する。家族や支援者、教師、企業などを対象とした実験では、認知ミラーリングシステムの体験・研修会を実施することで、発達障害者の認知特性を社会と共有し、当事者に対するスティグマの軽減や合理的配慮の設計提案につなげる。そして、これらの活動を通して得られる当事者や支援者からの要望を認知ミラーリンググループにフィードバックすることで、システム改善と新たなシステム設計に貢献する。

6. おわりに

本稿では、発達障害者支援の新たなアプローチとして、認知ミラーリングを紹介した。認知ミラーリングによって発達障害者の認知機能を鏡のように映し出し、観測可能にすることで、障害の帰属性とその発生機序を明らかにすることが期待できる。これは、療育者視点で設計されていたこれまでの障害者支援と一線を画すものであり、当事者視点に立った真に役立つ支援設計を可能にする。

筆者らが推進する研究プロジェクト CREST「認知ミラーリング」は、計算論的アプローチと発達障害当事者研究を融合することで、上記理念を達成することを目標とする。これまでに、臨床介入実験による当事者の首尾一貫感覚の向上効果の確認や、当事者研究の普及に向けたマニュアル化、ASD 者の適応能力の不全を予測符号化仮説に基づき説明する神経回路モデル

の設計などを達成した。また、聴覚過敏・鈍麻特性の解明や、予測符号化仮説に基づく視聴覚過敏・鈍麻の発生モデルの開発、そして、発達障害者の家族や支援者を対象とした ASD 視覚体験ワークショップの定期的開催なども実現し、順調に成果をあげている。特に、ASD 視覚体験シミュレータは、周囲による理解が困難であった ASD 者の困りごとを見える化し、共有可能にする全く新しい情報処理技術として、メディアからも高い注目を集めている。世界に類のない当事者視点を重視したアプローチによって、発達障害の正しい理解と当事者にとって真に役立つ支援設計の実現が期待される。

謝辞

本研究は、JST CREST「認知ミラーリング：認知過程の自己理解と社会的共有による発達障害者支援」(課題番号：JPMJCR16E2)の支援を受けたものである。研究遂行にあたり多くの議論を重ねた東京大学 熊谷晋一郎准教授、国立精神・神経医療研究センター 山下祐一博士、(株) LITALICO 鈴木悠平氏、他メンバーに感謝の意を表する。

文献

- [1] K. Weintraub: "Autism counts", *Nature*, **479**, 22-24 (2011).
- [2] 長井: "認知ミラーリング：認知過程の自己理解と社会的共有による発達障害者支援", *生体の科学*, **69**, 1, pp. 63-67 (2018).
- [3] "戦略的創造研究推進事業 (CREST)「認知ミラーリング：認知過程の自己理解と社会的共有による発達障害者支援」", <http://cognitive-mirroring.org> (2016).
- [4] 綾屋, 熊谷: "発達障害当事者研究～ゆっくりしていねいにつながりたい", 医学書院 (2008).
- [5] S. Kumagaya: "Tojisha-kenkyu of autism spectrum disorders", *Advanced Robotics*, **29**, 1, pp. 25-34 (2015).
- [6] K. Friston, J. Kilner and L. Harrison: "A free energy principle for the brain", *Journal of Physiology Paris*, **100**, 1-3, pp. 70-87 (2006).
- [7] K. Friston and S. Kiebel: "Predictive coding under the free-energy principle", *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. B: Biological Sciences*, **364**, pp. 1211-1221 (2009).
- [8] K. Friston: "The free-energy principle: a unified brain theory?", *Nature Reviews Neuroscience*, **11**, 2, pp. 127-138 (2010).
- [9] R. P. N. Rao and D. H. Ballard: "Predictive coding in the visual cortex: a functional interpretation of some extra-classical receptive-field effects", *Nature Neuroscience*, **2**, pp. 79-87 (1999).
- [10] A. Clark: "Whatever next? predictive brains, situated agents, and the future of cognitive science", *Behavioral and Brain Sciences*, **36**, pp. 181-253 (2013).
- [11] U. Frith and F. Happé: "Autism: beyond "theory of mind"", *Cognition*, **50**, 1-3, pp. 115-132 (1994).

- [12] F. Happé and U. Frith: “The weak coherence account: Detail-focused cognitive style in autism spectrum disorders”, *Journal of Autism and Developmental Disorders*, **36**, 1, pp. 5–25 (2006).
- [13] Y. Nagai and M. Asada: “Predictive learning of sensorimotor information as a key for cognitive development”, *Proc. of IROS2015 Workshop on Sensorimotor Contingencies for Robotics* (2015).
- [14] 長井: “認知発達の原理を探る: 感覚・運動情報の予測学習に基づく計算論的モデル”, *ベビーサイエンス*, **15**, pp. 22–32 (2016).
- [15] “DREAM: Development of Robot-Enhanced therapy for children with Autism spectrum disorders”, <http://www.dream2020.eu>.
- [16] “BabyRobot - Child-Robot Communication and Collaboration: Edutainment, Behavioural Modelling and Cognitive Development in Typically Developing and Autistic Spectrum Children”, <http://www.babyrobot.eu>.
- [17] “DE-ENIGMA Project: Playfully Empowering Autistic Children”, <http://de-enigma.eu>.
- [18] Y. Nagai, Y. Kawai and M. Asada: “Emergence of mirror neuron system: Immature vision leads to self-other correspondence”, *Proc. of the 1st IEEE International Conference on Development and Learning and on Epigenetic Robotics* (2011).
- [19] 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* (available online).
- [20] J. L. Copete, Y. Nagai and M. Asada: “Motor development facilitates the prediction of others’ actions through sensorimotor predictive learning”, *Proc. of the 6th IEEE International Conference on Development and Learning and on Epigenetic Robotics* (2016).
- [21] T. Horii, Y. Nagai and M. Asada: “Modeling development of multimodal emotion perception guided by tactile dominance and perceptual improvement”, *IEEE Transactions on Cognitive and Developmental Systems* (available online).
- [22] 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, pp. 141–151 (2016).
- [23] 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, pp. 59–63 (2016).
- [24] T. Inui, S. Kumagaya and M. Myowa-Yamakoshi: “Neurodevelopmental hypothesis about the etiology of autism spectrum disorders”, *Frontiers in Human Neuroscience*, **11**, 354 (2017).
- [25] Y. Yamashita and J. Tani: “Emergence of functional hierarchy in a multiple timescale neural network model: A humanoid robot experiment”, *PLoS Computational Biology*, **4**, 11, p. e1000220 (2008).
- [26] 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, pp. 830–848 (2017).
- [27] Y. Yamashita and J. Tani: “Spontaneous prediction error generation in schizophrenia”, *PLoS ONE*, **7**, 5, p. e37843 (2012).
- [28] “(株) LITALICO”, <http://litalico.co.jp>.