

科学研究費助成事業（基盤研究（S））公表用資料
〔令和5（2023）年度 中間評価用〕

令和5年3月31日現在

研究期間	2021～2025
課題番号	21H05053
研究課題名	脳の一般原理に基づく認知機能の多様性発生機序の理解と発達障害者支援
研究代表者氏名（ローマ字）	長井 志江（NAGAI Yukie）
所属研究機関・部局・職	東京大学・ニューロインテリジェンス国際研究機構・特任教授
研究者番号	30571632

研究の概要：

本研究では、超学際的アプローチから自己認知における多様性の発生機序を系統的に理解し、それに基づいて発達障害者支援を実現することで、個性を生かす社会設計に貢献することを目的とする。機序仮説として、脳の一般原理である予測符号化理論に着目し、予測符号化処理の変動がどのようにどこまでの多様性を生成するのかを明らかにする。

研究分野：認知発達ロボティクス、認知神経科学、発達障害当事者研究

キーワード：発達障害、自閉スペクトラム症、予測符号化、自己認知、神経回路モデル

1. 研究開始当初の背景

発達障害の診断数が急激に増加するなか、1990年代後半にニューロダイバーシティの概念が提案された（Jaarsma & Welin, 2012）。ニューロダイバーシティとは、自閉スペクトラム症（ASD）などの発達障害者に見られる認知機能の差を、治療の対象としてではなく、神経活動の正常な変動の結果として生じる個性と捉えることで、多様性を生かした社会づくりを目指すものである。アメリカや韓国の企業では、発達障害を抱えた人を積極的に雇用し、彼らが得意とする緻密で反復的な作業を任せることで、売上を10倍に伸ばすAIベンチャーも現れている。一方、日本での教育・就労システムはこれまで画一的に設計され、発達障害者の就労率も低い数値にとどまっている。今後、日本が国際的競争力を維持するためには、個性を正しく理解し評価する学術的基盤の構築が必要である。

2. 研究の目的

本研究では、認知発達ロボティクス・認知神経科学・発達障害当事者研究という相補的なアプローチを融合することで、自己認知における多様性の発生機序を系統的に理解し、それに基づいて発達障害者支援を実現することで、個性を生かす社会設計に貢献することを目的とする。機序仮説として、脳の一般原理である予測符号化理論（Friston et al., 2006; Friston, 2010; Clark, 2013）に着目し、予測符号化処理の変動がどのようにどこまでの多様性を生成するのかを明らかにする。

3. 研究の方法

以下の3つの研究項目について、研究代表の長井と研究分担の熊谷・和田が協働して取り組むことで、多様性の発生機序仮説を生成・検証し、それに基づいた発達障害者支援を実現する（図1）。

【項目1】発達障害当事者研究及び認知神経科学実験による多様性発生機序の仮説生成

当事者研究では、自己認知に関する主観的報告を収集し、テーマ・因子分析を通して個人間の差異を抽出することで、多様性を予測符号化処理の変動として評価する。感覚統合や身体知覚に関する心理物理実験では、収集した知覚運動データを予測符号化理論に基づいて統計解析することで、個人の多様性を統計量の変動として推定する。

【項目2】神経回路モデル実験による多様性発生機序の仮説検証

予測符号化理論に基づいて駆動する神経回路モデルを設計し、モデル変数や潜在変数に変動を与えたときの知覚運動の学習結果を比較することで、多様性が生じる機序を構成的に検証する。また、同じ神経回路モデルを用いて人の知覚運動データを学習し、知覚運動に内在する多様性をモデル変数や潜在変数として抽出

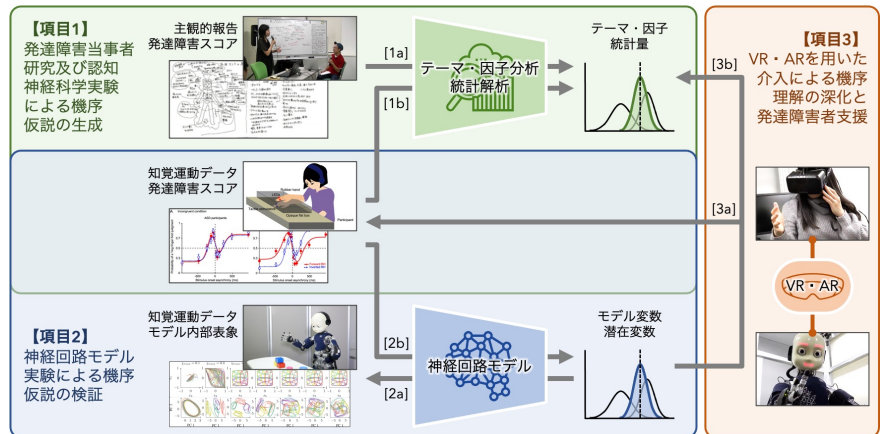


図1：本研究で取り組む3つの研究項目

することで、多様性を解析的に評価する。

【項目3】VR・ARを用いた介入による機序理解の深化と発達障害者支援

人の固有・外受容・内受容感覚に変動を与えることが可能なVR・AR装置を開発し、多様性の機序をより精緻に評価する。VR・AR装置を用いて感覚統合や身体知覚を操作する実験を行い、予測精度や階層性、時定数などの変動が、予測符号化処理に与える影響を調べる。そして、これらのVR・AR装置を用いて、非定型な自己認知能力をもつ発達障害者への支援効果を検証する。

4. これまでの成果

【項目1】発達障害当事者研究及び認知神経科学実験による多様性発生機序の仮説生成

当事者研究では、当事者研究会の語りのデータを網羅的かつ客観的に再分析した。また、仮説駆動型の当事者研究を実施するため、予測符号化理論に関するアニメーション教材などを開発した。心理物理実験では、複数の実験で予測符号化仮説を支持する結果を得た。触覚時間順序判断課題では、ASD傾向が高いほどベイズ推定に基づく知覚を生じにくいことを発見した(図2)(Wada et al., 2023)。表情認知についても、時間的アンサンブル知覚とASD傾向の関係を示した(Harada et al., 2023)。

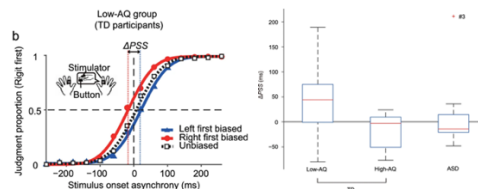


図2: 触覚時間順序判断課題とASD傾向

【項目2】神経回路モデル実験による多様性発生機序の仮説検証

予測符号化理論に基づく神経回路モデルを用いて、多様性の発生機序を構成的・解析的に検証した。描画課題では、感覚信号と予測信号の精度が均衡して上昇することで、発達の变化が再現されること、両信号の精度が不均衡になることで、個人間の多様性が現れることを発見した(図3)(Philippson et al., 2022)。

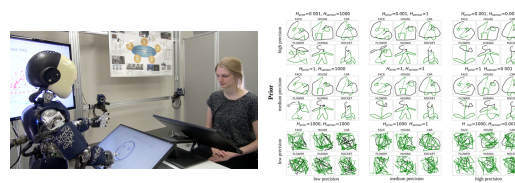


図3: 神経回路モデルを用いた描画の多様性の検証

(Philippson et al., 2022)。社会的文脈でベイズ的知覚が弱まることを示すデータを用いた学習実験では、感覚・予測信号の精度に加えて、モデルの内部表象が社会的/非社会的文脈

と個人差を説明することを明らかにした(Tsfasman et al., 2022)。ASD者の聴覚過敏に注目した実験では、環境因子や感覚過敏スコアと聴覚過敏のパターンが相関することを見出した(Hsieh et al., 2022)。

【項目3】VR・ARを用いた介入による機序理解の深化と発達障害者支援

自己認知の介入実験に向けて、多感覚信号を統合したVRを開発した。特に、内受容感覚が自己の身体知覚や道具使用にどのような影響を与えるのかを検証するため、装着者の心拍と同期してVR内の手先と道具の色が変化する心拍-視覚フィードバック機能を実装した。また、VR・ARを用いた発達障害者支援に備えて、ASD者に対するスティグマ(差別・偏見)の実態を明らかにするため、就労系障害福祉サービスの支援員を対象とした質問紙調査を行った。その結果、謙虚なリーダーシップが心理的安全性を媒介してスティグマに影響を及ぼしていることが明らかになった。

5. 今後の計画

3つの研究項目をより密に連携させることで、予測符号化理論に基づく多様性の発生機序を系統的に理解する。特に、予測符号化処理を規定する因子である(a)予測精度、(b)階層性、(c)時定数、(d)異種感覚統合、(e)環境要因が、さまざまな認知機能レベル(低次・高次の認知機能)と動態レベル(時間的・空間的・社会的動態)の多様性をどのようにどこまで説明するのかを明らかにする。そして、機序の理解に基づいて発達障害者支援を実現することで、個性を活かす社会設計に貢献する。

6. これまでの発表論文等(受賞等も含む)

- Harada Y, Ohyama J, and Wada M, “Effects of temporal properties of facial expressions on the perceived intensity of emotion,” Royal Society Open Science, 10(1):220585, 2023.
- Wada M, Umesawa Y, Sano M, Tajima S, Kumagaya S, and Miyazaki M, “Weakened Bayesian Calibration for Tactile Temporal Order Judgment in Individuals with Higher Autistic Traits,” Journal of Autism and Developmental Disorders, 53(1):378-389, 2023.
- Tsfasman M, Philippson A, Mazzola C, Thill S, Sciutti A, and Nagai Y, “The world seems different in a social context: A neural network analysis of human experimental data,” PLoS ONE, 17(8):e0273643, 2022.
- Philippson A, Tsuji S, and Nagai Y, “Simulating Developmental and Individual Differences of Drawing Behavior in Children Using a Predictive Coding Model,” Frontiers in Neurorobotics, 16:856184, 2022.
- Hsieh J-J, Nagai Y, Kumagaya S, Ayaya S, and Asada M, “Atypical Auditory Perception Caused by Environmental Stimuli in Autism Spectrum Disorder: A Systematic Approach to the Evaluation of Self-Reports,” Frontiers in Psychiatry, 13:888627, 2022.
- Nagai Y, 35 Women in Robotics Engineering and Science, 2022. (受賞)

7. ホームページ等

https://developmental-robotics.jp/projects/kibans_individuality/