

定型・非定型発達児を対象とした他者視点取得に関する 神経基盤の解明

自治医科大学医学部先端医療技術開発センター脳機能研究部門 平井真洋

The neural mechanisms underlying the visual perspective-taking in both typical and atypical children

Center for Development of Advanced Medical Technology,

Jichi Medical University, HIRAI, Masahiro

要約

他者の見ている景色は自分の見ている景色とは異なることを理解する能力は社会生活を営む上で極めて重要である。「視点取得能力」と呼ばれるこの能力は古くから発達心理学の重要な研究テーマとして扱われてきた。これまでの研究は主として行動学的な指標を用いることにより、視点取得能力の発達的变化を明らかにしてきた。しかしながら、その神経メカニズム、さらにはその発達変化については十分明らかにされていない。また近年、自閉症スペクトラム児において他者視点取得が困難であるとの報告がなされているものの、その神経機序は十分に明らかにされているとは言いがたい。本研究では、(1)成人を対象に指標を確立した上で、(2)定型発達児ならびに自閉症スペクトラム児を対象とした視点取得課題における脳機能計測ならびに行動計測を実施し、その神経活動の相違について検討した。

【キー・ワード】 視点取得, 心的回転, 定型, 非定型発達変化

Abstract

To imagine others' perspective is one of the important abilities to live in our social world. This ability has been known as a "visual perspective-taking (VPT)" ability. The developmental changes of performances on the VPT task have been assessed by behavioral experiments. However, the developmental changes in the neural activities underlying the VPT task still remain unclear. In the current study, we found the enhanced neural activities related to visual perspective-taking task in the bilateral temporoparietal junction in healthy adults revealed by functional-near infrared spectroscopy. By using the neural activities as indices, we also measured the neural activities related to the VPT task in typically developed children and children with autism spectrum disorders. We discuss the current findings in light of previous behavioral studies on VPT in children with ASD.

【Key words】 Visual perspective taking, mental rotation, typical, atypical development

はじめに

他人が自分とは違う景色を見ていること、すなわち他者の視点を理解することは、社会生活を円滑に営む上で極めて重要な能力である。「他者視点取得」と呼ばれるこの能力はこれまで、Piaget & Inhelder (1956)による「三つ山課題」により検討されてきた。「三つ山課題」とは、立体的な山の模型を示し、自分の見えている風景とは異なる位置から山を見るときにどのように見えるかを答えさせる課題である。課題を実施した際に、年少児は他者の視点取得が困難であり、自己の視点に固執することが報告されている。「三つ山課題」の報告後、数多くの研究がなされ、理論的な定式化が試みられてきた。例えば、Flavellら(1984)は、視点取得には二つのレベルがあるとしている。視点取得第一水準では、相手が何を見ているかを理解する能力を、視点取得第二水準では、相手が「どのように」見ているかを理解する能力を指す。この二つの視点取得能力は同時に取得されるのではなく、月齢によって異なることが報告されている。例えば、第一水準については2歳児において課題を通過することが報告されている(Moll and Tomasello 2006)。一方、第二水準については3歳児において課題を通過することが報告されている(Moll and Meltzoff 2011)。

特に2000年代に入り、他者視点取得に関連する神経メカニズムが精力的に検討されてきた。健常成人を対象とした一連の研究により、他者視点取得の際には、心の理論課題の遂行と関連した脳部位(頭頂接合部、Temporo-parietal Junction: TPJ)が活動することが報告されている(Schurz et al. 2013)。近年、Hamiltonら(Hamilton et al. 2009)は、このような視点取得能力と心の理論課題成績の間には相関があり、特に自閉症スペクトラム(ASD)児においては、視点取得課題成績が定型発達群と比較して有意に低いことが報告されている。一方、統制課題としての心的回転課題成績は定型発達児よりもASD児において良いことが示されている。更に申請者らは、遺伝性疾患で他者への関心が強いとされるウィリアムズ症候群患児においてもASD児と同様に視点取得が不得手であることを報告している(Hirai et al. 2013)。その上で、視点取得の困難さが、自分自身の身体移動を想像する事に困難を抱えることにより生じる可能性についても検討した(Hirai et al. 2013)。

これまでASD児を対象とした視点取得研究は複数実施されているものの、実験パラダイムの相違などにより一貫した結果が得られていないのが現状である(Pearson et al. 2013)。また、これまでの研究は主として言語報告等による行動研究であるため、ASD児における視点取得の困難さがどのような神経メカニズムにより起因しているか十分に明らかにされていない。そこで本研究では、定型発達児・ASD児を対象とし、視点取得課題遂行中の脳活動を光トポグラフィーにより計測し、他者視点取得課題に関連した脳活動を可視化する。

研究 1

方 法

本研究では、まず成人を対象とした光トポグラフィー研究により、他者視点取得に関連した指標の確立を目指す（研究 1）。次に、確立した指標に基づき定型発達児ならびに自閉症スペクトラム児を対象に実施する（研究 2）。特に両課題に関連した神経活動を可視化するために、乳幼児を対象に簡便に脳活動を計測可能な光トポグラフィーを用い、他者視点取得課題の遂行に関連した脳部位を可視化し、指標の確立を目指す。

研究参加者

健常成人 23 名（男性：11 名，女性：12 名）が実験に参加した。平均年齢は 22.2 歳であった。

実験刺激・方法

1. 他者視点取得課題（VPT 課題）

Hamilton ら(2009)の課題を参考に刺激を作成し、光トポグラフィーによる脳機能計測に適した実験パラダイムに改変した。視点取得課題では、色の縁取りされた回転台の上に 6 種類のぬいぐるみ、もしくはおもちゃ（パンダ、うさぎ、トラック、車など被験者に容易に判別可能なおもちゃ）を置き、バケツをかぶせる（図 1 A）。その後、バケツの横（3 箇所のうちいずれか）に女兒の人形を置いて、人形からどのような姿が見えるかを 4 つの選択肢からできるだけ早く正確に回答するように被験者に依頼した。

2. 心的回転課題（MR 課題）

他者視点取得課題の統制課題として、対象の回転操作が必要となる心的回転課題を被験者に依頼した（図 1 B）。心的回転課題では、他者視点取得課題と同様に、色の縁取りされた回転台の上にぬいぐるみ、もしくはおもちゃを置き、バケツをかぶせる。その後台を回転させ（時計回りに 90 度、反時計回りに 90 度、180 度のうちいずれか）、バケツをあげたら被験者から見てどのような姿が見えるかを 4 つの選択肢から回答させる。回答は、他者視点取得課題と同様に 4 つのボタンのうち、該当するボタンをできるだけ速く正確に押すように要請した。

他者視点取得課題ならびに心的回転課題それぞれの提示刺激はデジタルビデオカメラで記録し、その後バケツをかぶせるタイミング、提示時間が全ての刺激で揃うように編集した。刺激開始から刺激終了まで 6 秒である。その後、画面におもちゃ、人形を四方向からそれぞれ撮影した写真を提示した。回答は自作の大きなボタンが 4 つある反応ボックスを用い、児童が容易に反応しやすいように工夫した。提示プログラムは自作し、各刺激の開始タイミングに合わせて光トポグラフィーに信号を送るようにし、オンセットがどの提示刺激においても同一となるようにした。

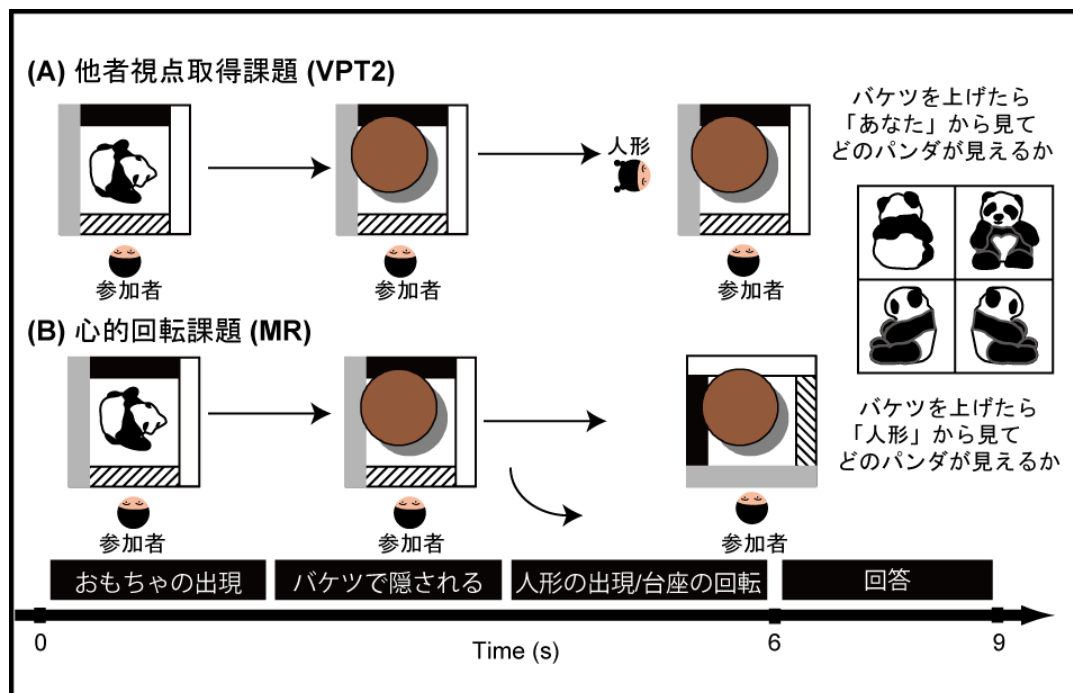


図 1 実験手続き (心的回転課題と他者視点取得課題)

手続き

これまでの研究により、他者視点取得課題時には頭頂側頭接合部(Temporoparietal Junction: TPJ)の活動が増大することが報告されている(Schurz et al. 2013)。本研究では、TPJ 付近のプロープの血流変化を指標とし、健常成人において視点取得課題時の血流変化が統制課題 (心的回転課題) と比較してどのように異なるのかを明らかにする。日立メディコ社製 ETG-7100 により課題に関連した血流量を計測した。48 チャンネルプローブを両側側頭頭頂部 T3/T4(10-20 system)をランドマークとし、本研究においてターゲットとする頭頂側頭接合部の活動を計測することが可能となるようにホルダーを装着した。

データ解析方法

行動データ

他者視点取得課題ならびに心的回転課題の正答率ならびに反応時間を解析対象とした。統計解析は、課題 (MR, VPT) を被験者内要因とした対応のある t 検定を用いた。

光トポグラフィーによる脳活動計測データ

光トポグラフィー酸化ヘモグロビン変化量を指標とし、MR, VPT 各課題に関連した血流変化量を明らかにする。具体的には、注視点のみを提示したベースラインから、課題実施時の血流変化量を明

らかにした上で、MR 課題ならびに VPT 課題に関連した血流変化量について解析した。刺激提示前の 5 秒間を基準とし、酸化ヘモグロビン量を z-score に変換した。解析対象とした時間は、提示刺激が終了した刺激提示後 6 秒から選択肢が消える 9 秒間とした。この時間区間における酸化ヘモグロビン平均値を課題間で比較し、MR 課題に選択的、VPT 課題に選択的に活動する脳部位を明らかにし、課題間の血流変化量を検討した。また、検定結果に関しては、FDR 法による多重検定の補正を行った。

結果

行動データ

反応時間ならびに正答率に関して有意差は認められなかった。

脳活動計測データ

全チャンネルの酸化ヘモグロビンの血流変化量を解析対象とした結果、CH7 左角回 ($p < 0.05$), CH11 左中心前回 ($p < 0.05$), CH13 : 左半球角回 ($p < 0.05$), CH14 : 左後頭回 ($p < 0.05$), CH44 : 右角回 ($p < 0.05$)において、他者視点取得時において心的回転課題よりも有意な活動が認められた (図 2 A,B)。

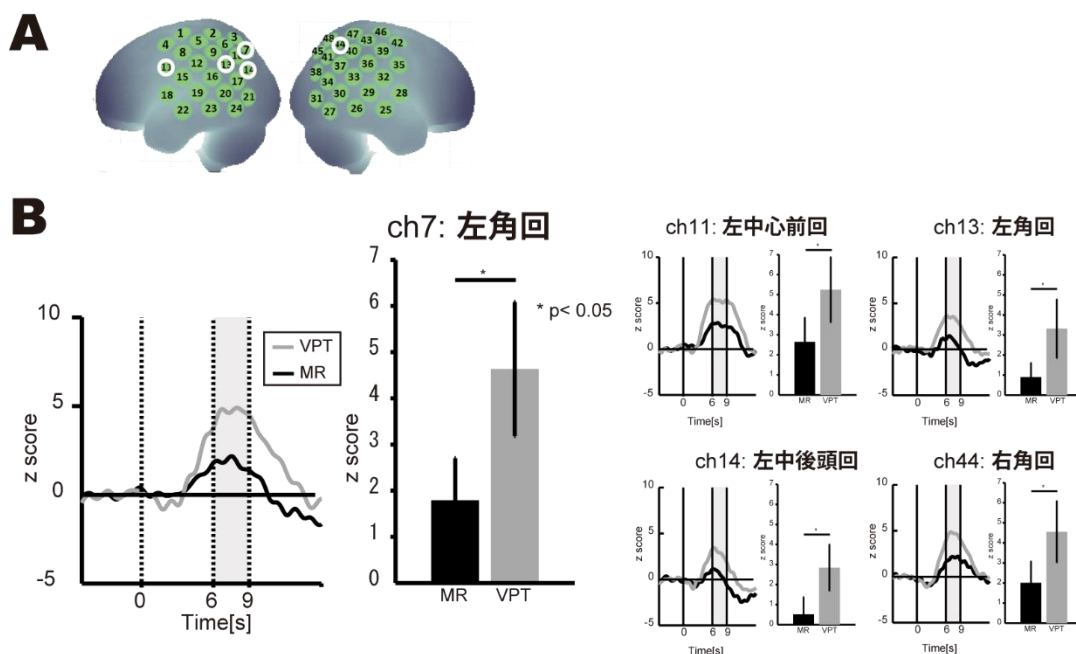


図2 実験結果 心的回転課題に比して他者視点取得課題において (A) 活動が増加した部位と (B) 該当チャンネルにおける各条件の波形。エラーバーは標準誤差。

研究 2

方法

上記実験において確立した、他者視点取得課題に選択的に活動する部位の血流変化量を指標として用いることにより、非定型発達児（自閉症スペクトラム児）ならびに生活年齢をほぼ同一となるように揃えた定型発達児を対象に研究を行った。

研究参加者

国際医療福祉大学なす療育園においてフォローアップされている自閉症スペクトラム児 11 名（平均年齢: 13 歳）ならびに年齢統制した定型発達児 17 名（平均年齢: 12.5 歳）を対象とした。そのうち、ノイズによってデータ解析に適さない自閉症スペクトラム児データ 3 名、定型発達児 3 名分のデータは解析から除外した。結果、定型発達児 14 名、自閉症スペクトラム児 8 名を解析対象とした。

実験パラダイム、刺激

予備的検討により、成人を対象とした実験を拡張した実験パラダイムへと変更した。ベースライン条件として、台が現れ（人形も玩具も置かれず）たまま 6 秒が経過し、その後その下に 4 つの選択肢が現れる。適当にランダムにボタンを押す課題とした。本課題を 3 回繰り返した後に、実験課題（心的回転課題条件もしくは他者視点取得課題条件）を提示した。

他者視点取得課題

実験 1 で用いた Hamilton ら(2009)の課題を参考にした刺激と同様の動画を用いた。実際には、色の縁取りされた回転台の上に 6 種類のぬいぐるみ、もしくはおもちゃ（パンダ、うさぎ、トラック、車など被験者に容易に判別可能なおもちゃ）を置き、バケツをかぶせる。その後、バケツの横（3箇所のうちいずれか）に女兒の人形を置いて、人形からどのような姿が見えるかを 4 つの選択肢からできるだけ早く正確に回答するように被験者に要請した。ただし、実験 1 とは異なり、1 ブロックにおいて 3 回連続で他者視点取得課題を実施した（図 3 A）。

心的回転課題

心的回転(MR)課題は実験 1 と同様に、色の縁取りされた回転台の上にぬいぐるみ、もしくはおもちゃを置き、バケツをかぶせる。その後台を回転させ（時計回りに 90 度、反時計回りに 90 度、180 度のうちいずれか）、バケツをあげたら被験者から見てどのような姿が見えるかを 4 つの選択肢から回答させる。回答は、他者視点取得課題と同様に 4 つのボタンのうち、該当するボタンをできるだけ速く正確に押すように要請した。本課題においては、実験 1 とは異なり、1 ブロックにおいて 3 回連続で心的回転課題を実施した（図 3 B）。

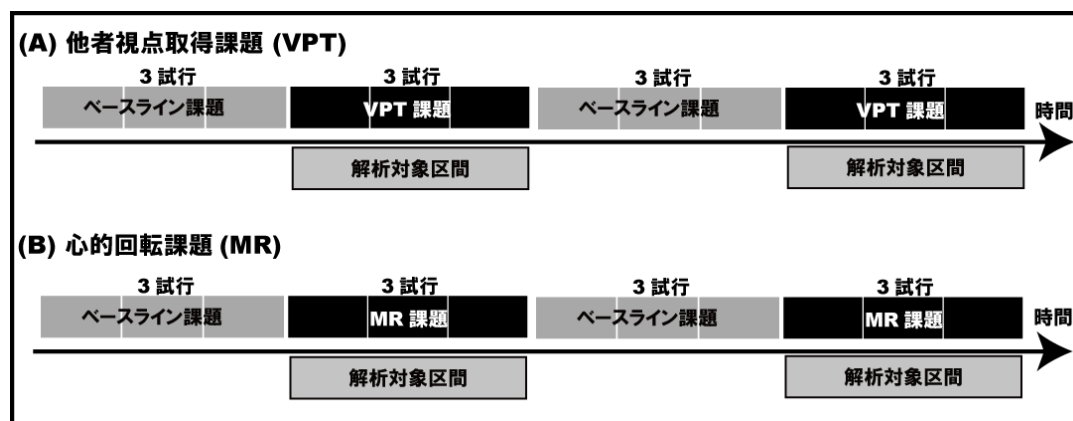


図3 実験2手続き図

データ解析方法

行動データ

研究参加群（自閉症スペクトラム児，定型発達児）を被験者間要因とし，課題（他者視点取得課題，心的回転課題）を被験者内要因とした 2×2 の分散分析を正答率ならびに反応時間を解析対象とした。

光トポグラフィーによる脳活動計測データ

実験1と同様に光トポグラフィー酸化ヘモグロビン変化量を指標とし，MR，VPT各課題に関連した血流変化量を明らかにした。本実験では，台のみが提示され，その後提示された4つの選択肢のうち1つをランダムに押す課題をベースラインとし，各課題における酸化ヘモグロビン血流変化量を指標とした。課題前5秒間をベースラインとした z -score に変換した。解析対象とした時間は，刺激提示後から刺激が終了する45秒までを解析対象区間とした。この時間区間における酸化ヘモグロビン平均値を課題間で比較し，MR課題に選択的，VPT課題に選択的に活動する脳部位を明らかにした上で，該当部位を検討した。

結果

行動データ

正答率について，有意差は認められなかった ($F_s < 1.03$, $p_s > 0.32$)。反応時間について，有意差は認められなかった ($F_s < 1.19$, $p_s > 0.29$)。

脳活動データ

実験1において課題間において有意差が認められたCH7を解析対象とした（図4）。結果，研究参加群 [$F(1,20) = 0.29$, $p = 0.59$]，課題要因 [$F(1,20) = 1.64$, $p=0.21$]，研究参加群 \times 課題要因の交互作用

用 [$F(1,20) = 1.07, p = 0.31$]となり、いずれの有意差も認められなかった。

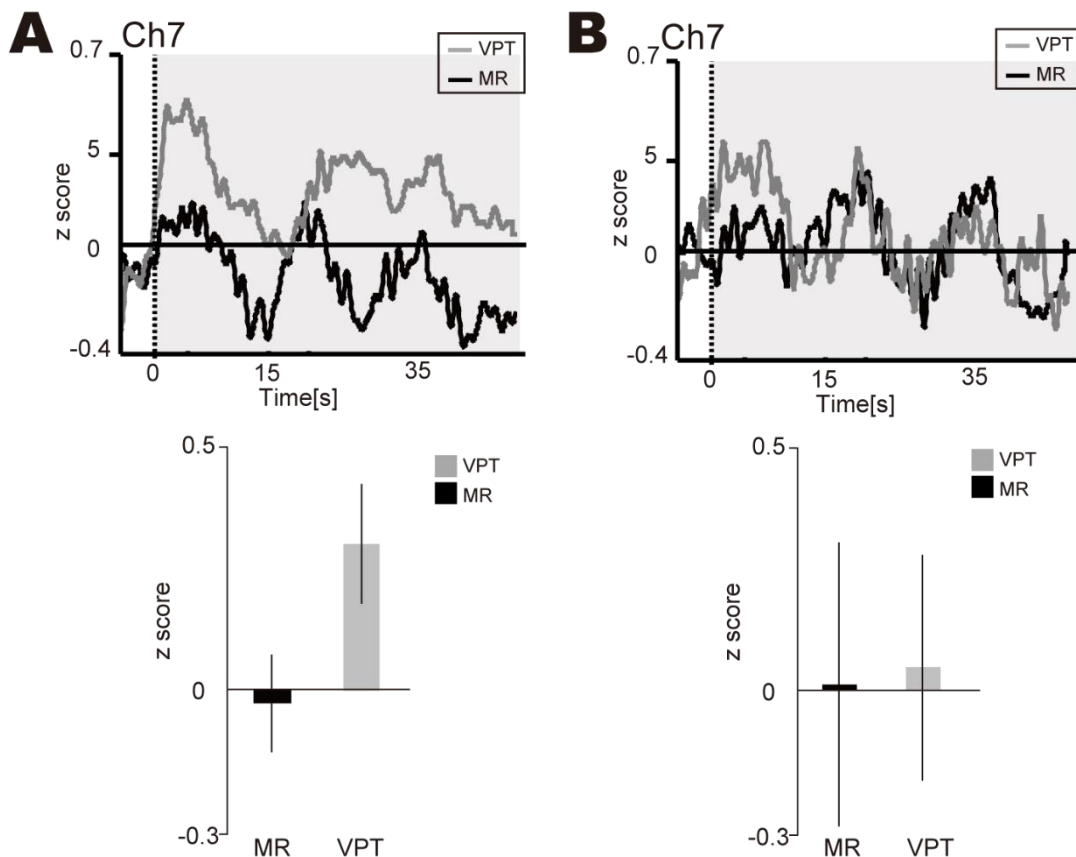


図4 実験2結果 Ch7における参加ヘモグロビン波形と各課題における平均値 (A) 定型発達児群 (B) 自閉症スペクトラム児群 ただし、エラーバーは標準誤差。

考 察

本研究では、他者視点取得課題と、その統制課題である心的回転課題を用いることにより、他者視点取得に関連した脳活動を光トポグラフィーによって可視化した。実験1の成人を対象とした検討により、行動データにおいては心的回転課題ならびに他者視点取得課題に関する有意差は認められなかったが、光トポグラフィーによる脳血流変化を計測した結果、CH7 (左角回)、CH11 (左中心前回)、CH13 (左半球角回)、CH14 (左後頭回)、CH44 (右角回) において、他者視点取得時において心的回転課題よりも有意な活動が認められた。これは、行動データより難易度について心的回転課題ならびに他者視点取得課題ともに有意差はないものの、脳内においては異なる処理を経る可能性が考えられる。本研究結果は、先行研究で報告されている Schurz ら(2013)のメタ解析の結果と一致する。

成人によって確立した指標に基づき、実験2では自閉症スペクトラム児ならびに定型発達児を対象

に他者視点取得時の脳活動を計測した。現時点においては、研究参加群と課題の交互作用に関する有意差が認められなかった。実際、定型・非定型発達児を対象とした計測データはノイズの含まれた信号が多く、本研究においても解析対象から除外した児のデータも多く、当初、例数設計で想定した研究参加者数を下回ったことも一因であることが考えられる。また、予備的検討により定型発達児・自閉症スペクトラム児を対象とした実験パラダイムを変更したことも要因として考えられる。

これまでも行動実験において、自閉症スペクトラム児の他者視点取得に関する研究は多数あるものの一貫した結果が得られていないのが現状である(Pearson et al., 2013)。今回用いた課題は、これまで成人を対象に用いられている他者視点取得課題よりも児童を対象とした研究に親和性が高く、成人においては他者視点取得時において有意に高い活動を見出した。本課題を更に洗練させ、非定型発達児の神経メカニズムの解明に迫る必要がある。

引用文献

- Flavell, J.H., B.A. Everett, K. Croft, E.R. Flavell (1984). Young children's knowledge about visual perception: Further evidence for the Level 1–Level 2 distinction. *Developmental Psychology*, 17, 99-103.
- Hamilton, A.F., R. Brindley, U. Frith (2009). Visual perspective taking impairment in children with autistic spectrum disorder. *Cognition*, 113, 37-44.
- Hirai, M., Y. Muramatsu, S. Mizuno, N. Kurahashi, H. Kurahashi, M. Nakamura (2013). Developmental changes in mental rotation ability and visual perspective-taking in children and adults with Williams syndrome. *Frontiers in Human Neuroscience*, 7, 856.
- Moll, H., A.N. Meltzoff (2011). How does it look? Level 2 perspective-taking at 36 months of age. *Child Dev*, 82, 661-73.
- Moll, H., M. Tomasello (2006). Level 1 perspective-taking at 24 months of age. *British Journal of Developmental Psychology*, 24, 603–613.
- Pearson, A., D. Ropar, C.H.A.F. de (2013). A review of visual perspective taking in autism spectrum disorder. *Frontiers in Human Neuroscience*, 7, 652.
- Piaget, J., B. Inhelder (1956). *The child's conception of space*. London, Routledge & Kegan Paul.
- Schurz, M., M. Aichhorn, A. Martin, J. Perner (2013). Common brain areas engaged in false belief reasoning and visual perspective taking: a meta-analysis of functional brain imaging studies. *Frontiers in Human Neuroscience*, 7, 712.

謝 辞

成人実験実施ならびにデータ解析の補助を頂いた、自治医科大学医学部先端医療技術開発センター脳機能研究部門 市川みなみ氏、増田浩代氏に感謝いたします。また、自閉症スペクトラム児を対象

とした研究実施に際し多大なご支援を賜った，自治医科大学医学部小児科学 山形崇倫教授，門田行史講師，池田尚広助教，国際医療福祉大学なす療育園施設長・下泉秀夫教授に感謝申し上げます。