

平成 30 年 6 月 22 日現在

機関番号：82404

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K17333

研究課題名(和文) 自閉症者の身体近位空間の変容に基づく視触覚間の過剰な分離/統合メカニズムの解明

研究課題名(英文) The underlying mechanism of integration and segregation of visuotactile integration derived from atypical representation of peripheral space surrounding body in autism spectrum disorders.

研究代表者

井手 正和 (Ide, Masakazu)

国立障害者リハビリテーションセンター(研究所)・研究所 脳機能系障害研究部・研究員

研究者番号：00747991

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：自閉スペクトラム症者では、障害物に頻繁に接触するといった特徴が見られる。こうした障害の背景には、脳内における身体近位空間の変容が関与すると考えた。Ide & Hidaka (2013) では、身体近位空間を変容させるような条件では、視覚と触覚の時間的な順序判断が難しくなることを報告した。本研究では、この視-触覚間の時間順序判断課題の成績の低下が、自閉症傾向が高い人では起こりづらいことを見出した。また、触覚と聴覚に関する時間処理精度が、定型発達者のおよそ10倍の自閉症の症例を見出した。以上の成果から、感覚刺激に対する過剰/過小な時間処理精度が、身体近位空間の変容の背景にあることが示唆された。

研究成果の概要(英文)：Difficulties to avoid obstacles are frequently be observed in individuals with autism spectrum disorders (ASD). We hypothesized that these features are linked to atypical peripersonal space surrounding their body. Ide & Hidaka (2013) have reported that temporal order judgements (TOJ) of visuo-tactile stimuli becomes difficult when they see a line-drawing of a hand. In the current study, we found that the phenomenon of degraded visuo-tactile temporal resolution by visibility of a body part less occur in neurotypical individuals with higher autistic traits. We also found that a case of ASD had excessively higher temporal resolution at 10 times in comparison with neurotypical individuals. These results would indicate that the excessively superior or inferior temporal resolution of sensory stimuli, and resulting difficulty to integrate them, is underlying of atypical peripersonal space of body in individuals with ASD.

研究分野：認知神経科学

キーワード：身体近位空間 時間順序判断 視触覚 触覚 視覚 身体表象 自閉スペクトラム症 発達障害

### 1. 研究開始当初の背景

スクランブル交差点を歩く時、人は実に無駄なく身体を回旋させながら、歩行人と一定の距離を保ちつつスムーズに避けることができる。これはあたかも、自分の身体だけでなく、それを取り囲む空間一帯を含んだ形で自己の境界を理解しているかのようである。こうした身体とその周辺空間（身体近位空間）は、視触覚間の統合に基づいて脳内に表現されている。ラバーハンド錯覚では、参加者の手とその目の前に置いたゴムでできた手（ラバーハンド）を、筆などで同期刺激することで、視覚的に刺激されたラバーハンドが、あたかも自分の手であるかのように錯覚する (Botvinick & Cohen, 1998)。一方、自閉スペクトラム症 (autism spectrum disorders: ASD) 者では、身体表象に変容が生じていることが示唆されている。例えば、くぐり抜け動作時の接触頻度が高いことや (島谷ら, 2008)、動作模倣の困難が見られる (Curcio, 1978)。また、ラバーハンド錯覚を生起させるためには、視触覚刺激をより多く繰り返して提示する必要がある (Casio et al., 2012)。この背景には、ASD 者では、身体座標系に偏った処理を行う傾向があり、視覚刺激の影響を受けづらいことが関与する可能性がある (Haswell et al., 2009)。こうした異種感覚情報の「過剰な分離」とは対照的に、ASD 者では大きな時間差で提示された視覚刺激と聴覚刺激でさえ「過剰に統合」して処理することも報告されている (Boer-Schellekens et al., 2013; Foss-Feig et al., 2010; Kwakya et al., 2011)。しかし、こうした自閉症者における異種感覚間の過剰な分離と統合を規定する要因は明らかになっていない。

### 2. 研究の目的

ASD 者では異種感覚情報の過剰な分離と統合が報告されており、視触覚統合に基づく身体近位空間が変容している可能性が考えられる。申請者は、手の線画像を視覚的に提示した条件では、わずかな時間差で連続提示した視覚刺激と触覚刺激の時間順序判断 (Temporal order judgement: TOJ) が困難になることを報告した (Ide & Hidaka, 2013)。これは、手の視覚的提示が視触覚間の統合を促進し、結果として、それらの刺激が同時と知覚されやすくなることを示唆する。本研究では、手の視覚的提示が視触覚間の TOJ の精度を低下させる効果に関して、参加者の自閉症傾向が与える影響を検討する。高い自閉症傾向をもつ定型発達者でも、ラバーハンド錯覚が生じにくいことや (Palmer et al., 2013; Palmer et al., 2015)、視聴覚統合の様式が変容していること (Yaguchi & Hidaka, 2018) が報告されている。したがって、自閉症傾向は視触覚間の統合に基づく身体近位空間の再構築の生じ易さに影響すると考えられる。本研究では、自閉症傾向が、視触覚

間統合に与える影響について、その時間的処理に着目した検討を行う。また、特有の時間に関する感覚をもつ ASD の症例について、複数の感覚にわたる時間分解能を検討し、刺激の時間分解能が、どのように異種感覚間の統合の困難に結びつく可能性があるのかを検討する。

### 3. 研究の方法

右利きの健常大学生 (N = 20 [実験 1], N = 18 [実験 2]) を対象とした。箱の上部にラバーハンドを置き、参加者はその真下に自分の左手が重なるような形で、箱の中に手を入れた (With hand 条件) (図 1)。ラバーハンドを提示しない条件も設けた (Without hand 条件)。触覚刺激は、参加者の左人差し指に振動として提示し、視覚刺激はラバーハンドの対応する指に LED の光として提示した。視触覚刺激の間には -320 ~ +320 ms の時間差 (±40, 80, 160, 320 ms) を設けた。各時間差の条件は、20 回繰り返した (合計 160 試行)。課題は、視触覚刺激のどちらが先に提示されたかを、右手で対応するボタンを押して解答することであった。実験の後に、自閉症傾向に関する質問紙 (AQ スコア) に回答した (実験 1)。また、実験 2 では、透明版を通して自分の手が直接見える条件 (With hand 条件) と、見えない条件 (Without hand 条件) で、実験 1 と同様の課題を行った。その際、視覚刺激は触覚刺激の真上に提示した。AQ スコアへの回答も行った。

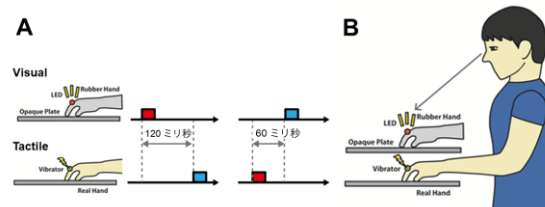


図1. 実験状況 (A. 視触覚刺激感の時間差の例, B. 実験セットアップ)

実験 3 では、1 名の ASD の症例に着目した。本症例 (19 歳男性) は、3 歳の時に広汎性発達障害の診断を受けた。作業療法士による ADOS-2 (Autism Diagnostic Observation Schedule, Second Edition) による検査では、自閉スペクトラムに分類された。時間の感覚に関して特有の所見が見られ、普段、自宅で複数の時計の秒針の動きを比較し、それが同期しているのを観察するのが好きという。また、外出時に時計販売店に立ち寄り、複数の時計の動きを観察していると語った。自閉スペクトラム症者の過剰な時間に関する処理精度について、より詳細に検討する目的で、本症例の触覚、聴覚、視覚、視聴覚の TOJ を行った。比較として、定型発達者 12 名 (触覚)、11 名 (聴覚)、9 名 (視覚)、6 名 (聴触覚) で実験を行った。触覚 TOJ では、左右の人差し指に提示した振動、聴覚 TOJ では、ヘッドホンの左右のホワイトノイズ、視覚 TOJ では左右の人差し指上に取り付けた LED、聴触覚 TOJ では、左人差し指の振動とヘッドホ

ンのホワイトノイズに関して、それぞれ順序をボタン押しで解答した。

#### 4. 研究成果

[実験 1, 2]

ラバーハンドを提示した条件 (実験 1) では、With hand 条件で、視触覚間の TOJ の時間分解能が、Without hand 条件と比べて有意に低下した ( $t(21) = 2.86, p = 0.009$ )。更に、With/Without hand 条件それぞれの時間分解能と AQ スコアとの相関を分析したところ、Without hand 条件でのみ、正の相関が見られた (Without hand 条件:  $r = 0.55, p = 0.008$ , With hand 条件:  $r = 0.06, p = 0.76$ ) (図 2)。

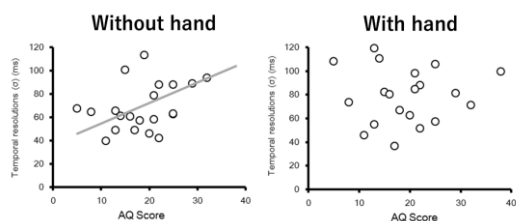


図2. ラバーハンド非提示/提示条件の視触覚の時間分解能

実際の手を提示した条件 (実験 2) でも、With hand 条件は Without hand 条件に比べて、時間分解能が低下した ( $t(17) = 2.27, p = 0.02$ )。また、Without hand 条件でのみ、AQ スコアとの正の相関が見られた (Without hand 条件:  $r = 0.53, p = 0.02$ , With hand 条件:  $r = 0.07, p = 0.77$ )。

With hand 条件で時間分解能が低下した結果は、手画像の提示によって視触覚 TOJ の分解能の低下を報告した先行研究と一致する (Ide & Hidaka, 2013)。手の視覚的提示によって、視触覚の統合が促され、両者を時間的に区別して判断することが困難になった可能性が考えられる (Spence et al., 2003; Vatakis et al., 2007)。ラバーハンドと実際の手、それぞれの視覚提示は、視触覚の時間分解能に同様の影響を与えていた。したがって、ラバーハンドの提示によって注意が奪われたことで、時間分解能が低下したというより、手の視覚提示が、視触覚の時間分解能に媒介的な影響をもつと考えられる。

手の視覚提示が無い条件で、時間分解能が AQ スコアと正の相関を示したのに対し、その視覚提示がある条件では相関が消失した。ASD 者および高自閉傾向者では、視聴覚の時間分解能の低下、それらの統合の促進が報告されているが (Foss-Feig et al., 2010; de Boer-Schellekens et al., 2013, Yaguchi & Hidaka, 2018)、本研究結果は、高い自閉症傾向の参加者では、視触覚間の時間分解能が低下していることを示唆する。手の視覚提示は、自閉症傾向が低い定型発達者に関してのみ、視触覚間の時間分解能を低下させると考えられる。

[実験 3]

時間に関して特有の感覚をもつ 1 名の ASD の症例に関して、視触覚、触覚、聴覚、視覚、

聴触覚の時間分解能を調べた。視触覚の時間分解能は 27.8 ms であり (図 3 に触覚 TOJ の結果を示した)、定型発達者の値 (86.0 ms  $\pm$  43.0 ms [M  $\pm$  SD]) とさほど変わらなかった。触覚と聴覚の時間分解能は、それぞれ 6.5 ms、7.4 ms であり、定型発達者の値 (触覚: 64.6 ms  $\pm$  28.1 ms [M  $\pm$  SD]、聴覚: 48.5 ms  $\pm$  19.3 ms [M  $\pm$  SD]) の 2SD を上回った。視覚の時間分解能は 19.1 ms であり、定型発達者の値 (28.4  $\pm$  7 ms [M  $\pm$  SD]) とさほど変わらなかった。聴触覚の時間分解能は 11.5 ms であり、定型発達者の値 (87.8 ms  $\pm$  34.2 ms [M  $\pm$  SD]) の 2SD を上回った。

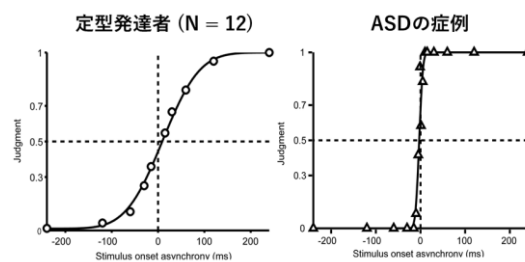


図 3. ASD の症例と定型発達者の時間分解能

ASD の 1 症例の複数の感覚に関する時間分解能の検討から、触覚と聴覚に関して、極めて高い時間分解能を有することが明らかになった。また、高い時間分解能の感覚同士を組み合わせた聴触覚の TOJ でも、高い時間分解能を示した。一方で、比較的平均に近い時間分解能であった視覚に関しては、触覚と組み合わせた視触覚 TOJ に関して、その時間分解能は定型発達者のそれとさほど変わらなかった。この結果は、一方の感覚モダリティの時間分解能が低かった場合、その感覚の時間処理精度がボトルネックになり、他の感覚と組み合わせた時の時間分解能が低下することを示唆する (Fujisaki & Nishida, 2009 を参照)。

実験 1~3 を通して、定型発達者のもつ自閉症傾向、ASD 当事者の時間に関する特有の感覚が、複数の感覚にわたる刺激の時間分解能に影響することが示唆された。高い自閉症傾向の参加者では、手を視覚的に提示することで、視触覚の時間分解能が低下することがなかった。このことは、身体表象が介在するような状況で、視触覚間統合が促進されにくい可能性を示唆し、ASD に関係する身体近位空間の変容を反映している可能性が考えられる。また、ASD の症例では特定の感覚刺激に関する過剰な時間分解能が見られたが、その一方で、低い時間分解能の感覚との組み合わせでは、その感覚の処理がボトルネックになり、異種感覚間の時間分解能が低下することが示唆された。こうした感覚ごとに過剰、もしくは過小な時間分解能が、異種感覚間の統合を困難にさせ、ASD 者の身体近位空間を変容させている可能性が考えられる。

#### 5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 2 件)

井手正和、矢口彩子、渥美剛史、安 啓一、

和田 真 (2017) 時間的に過剰な処理という視点から見た自閉スペクトラム症の感覚過敏. BRAIN and NERVE 増大特集 こころの時間学の未来、69(11).

Ide, M & Wada, M (2017) Salivary oxytocin concentration associates with the subjective feeling of body ownership during the rubber hand illusion. *frontiers in human neuroscience*, 11, 166.

〔学会発表〕(計 16 件)

Ide, M., Atsumi, T., Chakrabarty, M., Yasu, K., Wada, M. Neural basis of a case of autism-spectrum disorders who showed extraordinary higher temporal resolution to stimuli. The 2nd International Symposium on the Science of Mental Time (September, 12-13, 2017, Nara, Japan)

Yaguchi, A., Ide, A., Sano, M., Wada, M. Sensory processing underlying hypersensitivity and repetitive behavior in individuals with autism-spectrum disorders: By focusing on temporal resolution and detection sensitivity. The 2nd International Symposium on the Science of Mental Time (September, 12-13, 2017, Nara, Japan)

Ide, M & Wada, M. Salivary oxytocin concentration is correlated with the subjective feeling of body ownership during the rubber hand illusion. *Neuroscience 2016* (October, 12-16, 2016, San Diego, California)

Yaguchi, A., Ide, M., Wada, M. Tactile temporal resolution might correlate with degree of hypersensitivity in individuals with autism-spectrum disorders. *Neuroscience 2016* (October, 12-16, 2016, San Diego, California)

〔招待講演〕

井手正和. 感覚過敏の神経生理過程が明かす自閉スペクトラム症者の内的世界. 認知科学大会第 35 回大会 (オーガナイズド・セッション: 認知ミラーリングと社会的認知: 気づかれにくい障害の理解と支援) (2018 年 8 月 30 日-9 月 1 日, 立命館大学 大阪いばらきキャンパス)

井手正和. 発達にともなう感覚・運動の障害の神経生理機序. 感覚統合 FD 研修会 (2018 年 4 月 22 日, 心身障害児総合医療療育センター 本館 3 階会議室)

井手正和. 個性的な脳の発達を支える教育. 全国到達度評価研究会第 34 回研究会議 (2018 年 2 月 24 日-25 日, 熱海ホテル大野屋)

井手正和. 自閉スペクトラム症者の体性感覚とその時間処理に関する認知神経科学的研究. 生活行動心理学研究会 (日本心理学会後援) (2017 年 10 月 28 日, 立正大学大崎キャンパス)

〔国内学会〕

Atsumi, T., Ide, M., Umesawa, Y., Chakrabarty, M., Yasu, K., Yaguchi, A., Sano, M., Fukatsu, R., Wada, M., Neural circuit of hypersensitivity derived from high temporal resolution of sensory stimuli: evidence from autism-spectrum disorders. 第 41 回日本神経科学大会 (2018 年 7 月 26-29 日, 神戸コンベンションセンター)

井手正和, 渥美剛史, ムリンモイ・チャクラバティ, 矢口彩子, 安啓一, 佐野美沙子, 深津玲子, 和田真. 過剰な感覚情報処理に基づく自閉スペクトラム症者の感覚過敏の検討. 第 29 回東北神経心理懇話会 (2018 年 2 月 3 日東北大学医学部 良陵会館) 【口頭発表】

井手正和, 渥美剛史, ムリンモイ・チャクラバティ, 安啓一, 和田真. 触覚刺激の時間処理精度の認知神経基盤—自閉スペクトラム症の 1 症例に着目して—. 次世代脳プロジェクト冬のシンポジウム (2017 年 12 月 20 日—22 日—橋大学 一橋講堂)

井手正和. 自閉スペクトラム症の感覚過敏の認知神経基盤. 日本心理学会第 81 回大会 シンポジウム (2017 年 9 月 20 日, 久留米シティプラザ) 【口頭発表】

Ide, M., Atsumi, T., Yasu, K., Wada, M. Extraordinary enhanced temporal resolutions in a person with autism-spectrum disorders: a voxel based morphometry MRI study. 第 40 回日本神経科学大会 (2017 年 7 月 20-23 日, 幕張メッセ)

Ide, M., Yaguchi, A., Wada, M. Extraordinary enhanced temporal resolutions in touch and sound in a person with autism-spectrum disorders: a single-case study. 第 94 回日本生理学会大会 (2017 年 3 月 28-31 日, 浜松アクトシティコンgresセンター)

Yaguchi, A., Ide, M., & Wada, M. Tactile temporal resolution associates with hypersensitivity in persons with autism-spectrum disorders. 第 39 回日本神経科学学会大会 (2016 年 7 月 20-22 日, パシフィコ横浜)

Ide, M., & Wada, M. Associations between salivary oxytocin concentration and subjective feeling during rubber hand illusion. 第 93 回日本生理学会大会 (2016 年 3 月, 札幌コンベンションセンター)

## 6. 研究組織

(1) 研究代表者

井手 正和 (IDE, Masakazu)

国立障害者リハビリテーションセンター研究所・脳機能系障害研究部・発達障害研究室  
研究者番号: 00747991