

# 博士学位論文

自閉スペクトラムの多様性の背景にある  
感覚処理特性に関する実験心理学的検討

矢口彩子

# 目次

論文要旨 .....	1
<b>第一章 序論 .....</b>	<b>4</b>
1.1 ASD 特性 .....	4
1.1.1 ASD とは .....	4
1.1.2 ASD 特性の個人差 .....	5
1.2 ASD の中核症状の生起モデル .....	5
1.2.1 感覚過敏性・鈍麻性と中核症状の関係性 .....	6
1.2.2 ASD 者の知覚特徴 .....	7
1.2.3 既存の ASD 生起モデル .....	8
1.3 本論文の目的 .....	8
1.3.1 先行研究の未解決点 .....	8
1.3.2 本論文の目的・検討点 .....	10
<b>第二章 ASD 者の感覚過敏性・鈍麻性と中核症状の個人差の検討（研究 1） .....</b>	<b>11</b>
2.1 目的 .....	11
2.2 方法 .....	13
2.3 結果：ASD 被診断者の分類 .....	15
2.4 考察 .....	19
<b>第三章 ASD 者の示す単感覚刺激への感度と時間処理の検討（研究 2） .....</b>	<b>22</b>
3.1 目的 .....	22
3.2 ASD 者の触覚刺激への検出感度と感覚過敏性・鈍麻性の関係性（実験 I） ...	23
3.3 ASD 者の時間順序判断における時間情報処理と感覚過敏性・鈍麻性の関係性 （実験 II） .....	30
3.4 時間的加重による知覚印象の増加と時間分解能、感覚過敏性・鈍麻性との関係 性の検討（実験 III） .....	37
3.5 考察 .....	44
<b>第四章 定型発達者の ASD 傾向と多感覚刺激への感度・時間処理との関係性の検討 （研究 3） .....</b>	<b>46</b>

4.1	目的	46
4.2	定型発達者の ASD 傾向と視・聴・触覚刺激への検出・弁別感度との関係性の検討 (実験Ⅳ)	49
4.3	定型発達者の ASD 傾向とダブルフラッシュ錯視との関係性の検討 (実験Ⅴ)	64
4.4	定型発達者の ASD 傾向とストリームバウンス効果との関係性の検討 (実験Ⅵ)	73
4.5	考察	82
<b>第五章 総合考察</b>		<b>83</b>
5.1	ASD 特性の個人差の生起モデルの検討	83
5.1.1	ASD 特性間の関係性	83
5.1.2	ASD 特性と知覚特性間の関係性	84
5.1.3	ASD 特性生起モデルの提案	85
5.2	今後の課題・応用可能性	88
5.2.1	今後の課題	88
5.2.2	今後の発展可能性	90
5.3	まとめ	90
	謝辞	91
	引用文献	92

## 論文要旨

本論文では神経発達障害のひとつである自閉スペクトラム症（Autism Spectrum Disorder：ASD）に注目した。ASD 者は様々な症状を示し、その症状やまたその基盤になると考えられている知覚特性について、大きな個人差を示すことが知られている。しかし、その個人差に関する検討が十分になされていない。本論文では、知覚特性が ASD の症状に与える影響について、個人差の観点から新たなモデルの提案を目的とし、ASD 者の多様な個性の理解を深めることを目指した。

第一章「序論」では、ASD 者の持つ特性の個人差や ASD 特性の生起モデルについて議論した。ASD は社会コミュニケーションの困難さと反復的・限局的な興味・行動といった中核症状に加えて、日常生活場面での感覚刺激に対する反応や行動の特徴（感覚過敏性・鈍麻性）を示すことが知られている(DSM-5, 2013)。これらの ASD 特性に関して、ASD の被診断者であっても持ち合わせる特性の個人差が大きいことが知られている。例えば、ASD の中核症状のうちどれを主訴とするかは人によって異なる(Barnhill, 2013)。

また感覚過敏性・鈍麻性に注目しても、ASD 者内では感覚過敏性・鈍麻性を強く示す者もいれば、逆にそれらをあまり示さない者もあり、また特定の感覚モダリティにのみ特徴を強く示す者もいる(Andersen, Tiippana, & Sams, 2004; Lane, Dennis, & Geraghty, 2011; Lane, Molloy, & Bishop, 2014; Lane, Young, Baker, & Angley, 2010)。さらに、感覚に対する処理特性が中核症状に与える影響について議論がなされており、感覚過敏性・鈍麻性が中核症状と関連することが報告されている(例えば、Boyd et al., 2010; Ashburner, Ziviani, & Rodger, 2008)。また、刺激への感度や時間処理特性といった知覚特性についても、中核症状との関連性の観点から、ASD 者に特有の知覚処理様式の解明が進められている(Marco, Hinkley, Hill, & Nagarajan, 2011; Wallace & Stevenson, 2014)。既存の ASD 特性の生起モデルでは ASD 者は感覚刺激に対する知覚特性に特徴を持ち、それによって日常生活においても刺激への反応性の特異性が生じ、さらにそのことが ASD の中核症状を生じさせると提案されている(熊谷, 2017; Cascio et al., 2016)。

しかし、このようなモデルで想定されているような知覚特性、感覚過敏性・鈍麻性、中核症状のつながりに関して体系的な検討は十分でない。まず感覚過敏性・鈍麻性と中核症状との間の関係性の個人差を、両特性の表れ方のパターンから明らかにした研究はない。さらに、知覚特性の個人差が感覚過敏性・鈍麻性と中核症状に与える影響についても、その全貌は明らかにされていない。知覚特性と感覚過敏性・鈍麻性、そして中核症状の結びつきに関して、新たに個人差に注目した ASD 特性の生起モデルの提起を目的とした。

第二章「ASD 者の感覚過敏性・鈍麻性と中核症状の個人差の検討」では、ASD の中核症状と感覚過敏性・鈍麻性との間の関係性の個人差について議論した。社会コミュニケーションやこだわり行動といった中核症状と日常生活で現れる感覚過敏性・鈍麻性に関して

質問紙調査を実施し、ASD 者のサブグループへの分類を行った。先行研究では感覚過敏性・鈍麻性の特徴の分類が行われてきていたが、本研究では新たに中核症状の特徴を加えて検討した。その結果、両特性の重症度が一致するグループが見られたことから、感覚過敏性・鈍麻性の特徴が中核症状の生起に関係することが示唆された。さらに本研究で新たに両特性の重症度が一致しないグループが確認された。これらのことから、ASD 者の中でも ASD 特性間の関係性の表れ方に個人差があることが示唆された。

第三章「ASD 者の示す単感覚刺激への感度と時間処理特性の検討」では、ASD の知覚特性に関する先行研究で特に注目されている刺激への感度と時間処理特性の個人差に関して、ASD の中核症状や感覚過敏性・鈍麻性との関係性を検討した。従来、感覚過敏性・鈍麻性の背景には刺激への感度の特異性があるという視点から ASD 者の持つ刺激の検出感度の測定が行われてきた。一方で、時間処理もまた ASD 者における特異性が観察されており、時間的な要素も感覚過敏性・鈍麻性に影響を与えていると考えられる。本研究では特に研究がさかんにおこなわれている触覚刺激に注目し(Puts et al., 2014; Tommerdahl et al., 2008; Wada et al., 2014)、刺激の検出感度・時間処理精度を測定した。またそれらと感覚過敏性・鈍麻性、中核症状との関連性を検討した。その結果、感覚過敏性には高い時間処理精度が関わることを示唆された。また刺激への感度は感覚過敏性・鈍麻性には関連しないが、感度の鈍さがより重度の中核症状と関連することが示唆された。

第四章「定型発達者の ASD 傾向と多感覚刺激への感度・時間処理特性との関係性の検討」では、複数の感覚モダリティにおける知覚特性と ASD 特性との関係性を検討した。多くの課題を含む実験バッテリーや多くの試行数を含む精緻な測定を行うために、比較的大人数を実験対象とすることができる定型発達者を対象とし、その ASD 傾向に着目した。まず、視覚・聴覚・触覚刺激への検出・弁別の感度を測定し、ASD 傾向との関係性を検討したところ、触覚と視覚の検出・弁別閾がコミュニケーションやこだわり行動に関連することが示された。さらに、先行研究で ASD 特性との関係性が繰り返し指摘されている視聴覚統合における時間処理特性に注目した。その結果、視聴覚統合の生じる時間的処理特性が社会性やコミュニケーション特性、ならびに想像力特性と関連することが示唆された。これらのことから、複数の感覚モダリティが ASD の中核症状と関わっていることが示唆された。

第五章「総合考察」では、以上の研究を踏まえて、ASD 特性の個人差とその知覚的な基盤について議論した。第二章では ASD 特性の個人差の表れ方を明らかにするために、ASD 者を持ち合わせる特性によってグループ分けした。本研究では新たに感覚過敏性・鈍麻性だけでなく中核症状に関する質問紙得点に基づくクラスター分析を実施し、その結果 5 つのグループに分類されたことを報告した。ASD 者の中でも感覚過敏性・鈍麻性と中核

症状が共起する人々だけでなく、本研究で新たに両特性が共起しない人々が観察され、ASD 症状の表れ方には多様性があることが示唆された。さらに第三章、第四章では感覚過敏性・鈍麻性や中核症状と知覚特性との関係性を検討したが、両章に共通して、知覚特性の個人差に伴って感覚過敏性・鈍麻性や中核症状の重症度が変化することが示された。一方で、いずれの知覚特性も ASD 症状全般に影響を与えるのではなく、それぞれが異なる症状の重症度と関連することが示唆された。すなわち、感覚過敏性には触覚刺激に対する時間処理精度の高まりが、こだわり行動には触覚や視覚刺激に対する検出・弁別感度が、社会コミュニケーションには触覚や視覚刺激に対する検出・弁別感度ならびに視聴覚統合における時間処理特性の特異性が関わることを示された。

このように各知覚特性と ASD の症状の間の関係性に個別性があることが、ASD の症状の表れ方の多様性を生じさせている可能性が考えられる。それぞれの知覚特性が ASD の症状を生じさせるメカニズムを考えると、触覚刺激に対する高い時間処理精度によって感覚過敏性が高まり、感覚過敏性による刺激への回避傾向や嫌悪反応がこだわりの行動として現れ、結果的に社会場面への参加を妨げてしまうと考えられる(熊谷, 2017)。一方で、刺激への感度は感覚過敏性と関連せず、直接こだわり行動や社会コミュニケーションと関連したことから、上記とは異なるメカニズムで中核症状に影響を与えていると考えられる。さらに、視聴覚統合における時間処理特性と社会コミュニケーションとの関係性が見られたことに関しては、このような視聴覚統合処理の特異性によって言語理解に歪みが生じることで社会コミュニケーションに影響を与えられていると考えられており(Stevenson et al., 2018)、上で述べたメカニズムとは独立に社会コミュニケーションの困難さを生じさせていると言えるだろう。このように知覚特性はそれぞれ独自のメカニズムによって ASD の症状の重症度に影響を与えていると考えられる。

今後の課題として、本研究では知覚特性と ASD 特性の個人差を取り扱ってきたが、生育歴や知能などといった個人要因を検討する必要があると考えた。さらに、今後の展開として、ASD 特性の個人差を生じさせるメカニズムを解明することで、知覚特性を変化させることによる介入方法を用いた支援応用可能性につながることを議論した。

## 第一章 序論

本論文の主要な目的は、自閉スペクトラム症（Autism Spectrum Disorder：ASD）者の示す知覚の特異性と感覚過敏性・鈍麻性、中核的な症状の繋がりにおいて、個人差がどのような影響を与えているか明らかにすることである。

第一章では ASD 者の持つ特性の個人差や ASD 特性の生起モデルについて議論する。先行研究の未解決点として、ASD 者内の個人差の検討が十分でないことを指摘し、本論文で行う調査・実験の概要を提示する。

### 1.1 ASD 特性

#### 1.1.1 ASD とは

ASD は神経発達障害のひとつであり、2013 年に制定された診断基準（DSM-5, 2013）によれば、以前の診断基準では別個の障害として扱われていた自閉性障害・アスペルガー障害・特定不能の広汎性発達障害・小児性崩壊障害が現実的に区別不可能であることなどから（Lord et al., 2012）、単一の診断基準にまとめ、ASD と定義された。ASD の主な症状として社会性やコミュニケーションの困難さ、および限局的で反復的な行動や興味を表す。社会性やコミュニケーションの困難さは、具体的には 3 つの基準があり、会話などといった社会的やりとりの難しさや、表情・身振り手振りなどの非言語的なやりとりの難しさ、自らの行動を調整することで対人関係を築く能力の発達や維持の難しさが挙げられる。また、こだわりの強い行動・興味に関しては 4 つの基準があり、反復行動などの常同性・限局的な興味・変化への不安や「同じ」ことへのこだわり・感覚の入力に対する反応の過敏性/鈍麻性が挙げられる。社会性やコミュニケーションに関する基準は 3 つすべて、こだわりの強い行動・興味に関しては 4 つの基準のうち 2 つに該当する場合に、それぞれの症状が現れていると見なされる。また、これらの特徴が幼少期から現れているかどうかといった生育歴も診断の重要な要素である。このように、ASD の診断基準は多岐に渡り、症状や発達段階、年齢によって障害の現れが大きく異なるため、スペクトラムという単語で表現され（DSM-5, 2013）、被診断者内でも個人の示す困り感や症状の重症度の個人差が大きいと考えられている。

また、ASD の特徴は診断を受けた人だけでなく、診断を受けていない定型発達者も示すことが知られており、定型発達者内でも ASD の傾向の強さに個人差があり、連続的に変化すると考えられている（Baron-Cohen, Wheelwright, Skinner, Martin, & Clubley, 2001; Wheelwright, Auyeung, Allison, & Baron-Cohen, 2010; Woodbury-Smith, Robinson, Wheelwright, & Baron-Cohen, 2005）。このことから、ASD がスペクトラム特性をもつといえる。診断の有無に関わらず個人の持つ ASD 特性の強さを簡便に測定するアセスメントツール（自閉スペクトラム指数, Autism-Spectrum Quotient: AQ）の開発もなされており、ASD の中核症状である社会性の困難さやこだわり行動の傾向の強さを推定することができる（Baron-Cohen et al., 2001）。この AQ を使用した研究では、定型発達者の中でも、社会性の得点は高いがこだわり行動に関する得点は低い群と、逆に社会性の得点は低いこだわり行動に関する得点

は高い群の2つのサブグループに分類されることが報告されている (Palmer, Paton, Enticott, & Hohwy, 2015)。このように定型発達者においても個人の示す ASD 的な特徴には個人差が存在すると考えられる。

### 1.1.2 ASD 特性の個人差

ASD 特性の個人差として中核症状に注目すると、ASD の診断を受けた人の中でも、ASD による困難さの主訴として、学校で対人関係を上手く築くことができないというように社会コミュニケーションの困難さを訴える人もいれば、特定の物に対する強い興味や急な予定の変更に対する対応力の低さのようにこだわりの強さを訴える人もいる (Barnhill, 2013)。もちろん、社会コミュニケーションの困難さとこだわりの強さはどちらも診断要件ではあるが (例えば前者の友人ができないことで悩む患者も車などの乗り物に強い関心を持っていた)、それらが日常生活で困り感として現れる度合いとしては、個人差が大きいと言える。

ASD 者の個人差の大きさについて、実証研究がさかんに行われているのが、診断基準のひとつである感覚過敏性・鈍麻性の表れ方についてである。Dunn (1997) の理論によれば、感覚過敏性は感覚刺激に対する感度の高さを表しており、刺激入力に対して過剰に反応することや (感覚過敏)、刺激を避けるような行動をとること (感覚回避) が挙げられる。感覚鈍麻は感覚刺激に対する感度の低さを表しており、刺激の入力に気がつかないことや (低反応)、感覚刺激を自ら欲しがるといった行動をとること (感覚探究) が特徴である。感覚過敏性・鈍麻性の特徴は特定の感覚モダリティにのみ現れるのではなく、あらゆる感覚刺激に対して生じることが知られており、主要な感覚モダリティ (視覚, 聴覚, 触覚, 口腔感覚) において感覚過敏性・鈍麻性の影響が見られるとする報告がなされている (Kern et al., 2007)。このような感覚過敏性・鈍麻性の生じるパターン of の解明が試みられている。感覚過敏性・鈍麻性に関するアセスメント得点をもとに ASD 者を分類した研究では、ASD 者の中でも感覚過敏性・鈍麻性を強く示す者もいれば、逆にそれらをあまり示さない者もあり、また聴覚からの情報の取捨選択や感覚鈍麻性、あるいは味・嗅覚の過敏性や疲れやすさといった特定の感覚モダリティや反応スタイルに症状を示す者が観察された (Andersen, Tiippana, & Sams, 2004; Lane, Dennis, & Geraghty, 2011; Lane, Molloy, & Bishop, 2014; Lane, Young, Baker, & Angley, 2010)。

## 1.2 ASD の中核症状の生起モデル

近年では ASD 者のもつ“感覚処理”の特徴が注目されており、それがより高次な機能、すなわち ASD の中核症状の基盤となっている可能性が議論されている (Mikkelsen, Wodka, Mostofsky, & Puts, 2018)。ここで注意したいことが研究領域によって“感覚処理”という用語の指す意味が異なることである。例えば、“多感覚統合”という用語は、作業療法などの臨床場面では日常生活での活動 (一例として、書く、食べる、人と交流するなど) を円滑に行うために様々な種類の感覚を組織化することを意味し (Ayres, 1972)、神経科学者など基礎研究



分野ではある感覚モダリティシステムが他の感覚モダリティの影響を受け、その結果行動や知覚が変化すること（例えば、視覚的な口の動きの情報が発話された音節の知覚に影響を与える）を指す(Cascio, Woynaroski, Baranek, & Wallace, 2016)。本研究では、このような“感覚”に関する用語の混乱を防ぐために、日常場面で観察される感覚入力に対する過剰な、または鈍感な反応や行動の特徴を感覚過敏性・鈍麻性と呼び、心理物理的手法によって測定される感覚刺激の見え・感じ方の特徴を知覚特性と呼ぶこととする。

### 1.2.1 感覚過敏性・鈍麻性と中核症状の関係性

感覚過敏性・鈍麻性の重症度が中核症状（社会コミュニケーションの困難さと限局的・反復的なこだわり行動）に影響を与えている可能性が議論されている。例えば、Gabriels et al. (2008)は ASD 者の中でも感覚過敏性・鈍麻性を強く示す人ほど、限局的・反復的行動を示しやすいことを報告した。別の研究では、感覚過敏性は同様に限局的・反復的行動と共起するが、感覚鈍麻性ではそのような関係性は見られなかった(Boyd et al., 2010)。また、社会コミュニケーションとの関係性に関して、あらゆる感覚モダリティにおいて感覚過敏性・鈍麻性が強いほど社会性の困難さが強く現れることが報告されているが(Hilton et al., 2010)、そのような関係性は聴覚刺激に対する過敏性と感覚全般に対する鈍麻性に限って見られるとする研究もある(Ashburner, Ziviani, & Rodger, 2008)。さらに感覚過敏性・鈍麻性を強く示す ASD 者は社会場面での不適応行動を取りやすいことが報告されている(Baker, Lane, Angley, & Young, 2008; Lane et al., 2010)。一方で、感覚過敏性と鈍麻性とで異なる社会性への影響を示すことを報告した研究もあり、感覚鈍麻性の強さと社会参加の度合いの低下との関係性が見られたが、感覚過敏性の強い者ほど社会参加の度合いが高まることが示された(Hochhauser & Engel-Yeger, 2010)。このように、多くの研究で感覚過敏性・鈍麻性と中核症状との関係性が報告されているが、感覚過敏性と鈍麻性のどちらが中核症状の重症度と関連するのか、あるいはどの感覚モダリティがより中核症状と関連するのかという点については、知見が一貫しておらず、ASD 者内でも個人差が存在すると推測される。

感覚過敏性・鈍麻性の個人差を考慮するために、ASD 者を感覚過敏性・鈍麻性のパターンによって分類し、その分類に基づいて中核症状の重症度との関係性が検討されている。それらの研究では、ASD 者は3~4の感覚過敏性・鈍麻性のパターンに分類され、感覚過敏性・鈍麻性を強く示す ASD 者ほど中核症状も重度に示すことが報告されている(Ausderau et al., 2014; Lane et al., 2014; Lane et al., 2010)。一方で、感覚過敏性・鈍麻性と社会適応や、言語能力、運動能力といった発達スキルに基づく分類を行った研究では、感覚過敏性・鈍麻性の強さと発達スキルの遅れとが必ずしも共起しないことが報告されている(Tomchek, Little, Myers, & Dunn, 2018)。このため、感覚過敏性・鈍麻性だけでなく中核症状の表れ方のパターンに基づく分類を行えば、より詳細に個人差を確認できると考えられるが、そのような検討は行われていない。

### 1.2.2 ASD 者の知覚特徴

ASD 者の示す症状の背景として、知覚の特異性を検討する試みが行われている。例えば、多くの研究者が ASD 者の示す刺激への感度に着目した研究を行なっている (Marco, Hinkley, Hill, & Nagarajan, 2011)。なぜなら、感覚過敏性・鈍麻性は刺激への感度の上昇または低下から生じるのではないかと考えられているためである (Mikkelsen et al., 2018)。視覚刺激に関して、Bertone, Mottron, Jelenic, and Faubert (2005) は格子模様の視覚刺激を用いて格子の傾きの向き（左か右か）を判断させる課題を実施した。その結果、ASD 群は診断を受けていない群（定型発達群）と比較して、格子模様の明るさのコントラストがより小さくても正確に傾きの判断を行うことができ、コントラストに対する感度が高いことが示唆された。同様の方法でコントラストの弁別閾を測定したが、両群に差がないとする研究も存在する (Rivest, Jemel, Bertone, McKerral, & Mottron, 2013)。聴覚についても同様に、弁別能力の検討がなされており、ASD 群は定型発達群に比べ音圧の弁別閾が高いことが報告されている (Kargas, Lopez, Reddy, & Morris, 2015)。一方、Jones et al. (2009) は ASD 群と定型発達群間に音圧の弁別閾の差は無いとした。また、触覚では検出の感度に関する検討がさかんに行われており、Blakemore et al. (2006) は指先に提示した振動刺激を提示し、その検出閾を測定した。その結果、ASD 群は定型発達群と比べ、200 Hz の振動刺激に対する閾値が低く、感度が高いことが示された。一方、Puts, Wodka, Tommerdahl, Mostofsky, and Edden (2014) は 25 Hz の刺激を提示した場合に ASD 者は定型発達者よりも高い閾値を示し、感度が低いことを報告した。33, 40, 250 Hz の刺激を指先や手のひらに提示した場合には、ASD 群と定型発達群とで閾値の違いは無いとする研究もある (Cascio et al., 2008; Güçlü, Tanidir, Mukaddes, & Ünal, 2007)。

さらに、社会コミュニケーションの困難さに関連して、時間処理特性についても検討がさかんに行われている。出来事に対して時間的なコーディングをしたり出来事の連続性を正しく捉えることが、言語処理 (Tallal, Miller, & Fitch, 1993) や社会的相互作用 (Trevorthen & Daniel, 2005) に重要な要素であると考えられているためである。Falter, Braeutigam, Nathan, Carrington, and Bailey (2013) は 2 つの視覚刺激を短い時間差をつけて提示し、その刺激が同時であったか非同時であったか判断させる課題（同時性判断課題）を行い、ASD 群は定型発達群よりも時間処理精度が高く、より短い時間差の刺激でも区別することができたことを報告した。さらに、触覚刺激を用いて 2 つの刺激の提示順序を判断させる課題（時間順序判断課題, temporal order judgement : TOJ）においては、ASD 者は低い時間処理精度を示すことが報告された (Tommerdahl, Tannan, Holden, & Baranek, 2008)。一方、触覚刺激に対する時間処理精度には群差はないとする研究もある (Isaksson et al., 2018)。また、視聴覚刺激間の時間処理特性についても、視聴覚刺激に対する処理は対人コミュニケーションで使用する人の表情や声といった情報の処理に直結するであろうという視点からさかんに研究が行われている (Wallace & Stevenson, 2014)。単純な光の点滅（視覚刺激）とビーブ音（聴覚刺激）を統合させる場面で、ASD 者は定型発達者よりも視聴覚刺激間の時間差が長い場合でもそれらを統合させる傾向が報告されている (Foss-Feig et al., 2010; Kwakye, Foss-Feig, Cascio, Stone,

& Wallace, 2011)。ただし、そのようなグループ間の違いはないとする報告も見られる(Keane, Rosenthal, Chun, & Shams, 2010; van der Smagt, van Engeland, & Kemner, 2007)。

以上のように、ASD 者の示す刺激への感度や時間処理に関して、様々な感覚モダリティにおける検討が行われている。研究間で知見の一貫性が低いことから、ASD 者の示す知覚特性には、特定の傾向があるというよりも、大きな個人差が存在すると推測できる。

### 1.2.3 既存の ASD 生起モデル

熊谷(2017)は ASD の生成モデルとして図 1-1A を提案した。このモデルによれば、まず生物学的な原因(遺伝要因や環境要因)により感覚過敏性・鈍麻性が生じる。感覚過敏性・鈍麻性は刺激に対する回避や没入、無視などの反応として現れるが、それは外部の事物や人に対する関わり方の特異性となり、他者からはこだわり行動と捉えられる。そのようなこだわりにより、特定の事物を取り込み、他を排除する傾向が生じ、共同注意に基づくコミュニケーションの成立に支障をきたすようになると主張されている。また、Cascio et al. (2016)は ASD 者の感覚に関するモデルを提案した。このモデルでは、知覚特性や感覚過敏性・鈍麻性が高次機能に影響を与えていること、また ASD 者の示す知覚特性や感覚過敏性・鈍麻性の特徴は変化させることができ、それによって高次機能である ASD の中核症状(社会コミュニケーションや適応行動の困難さ、こだわりの強さ)が改善されることが主張されている。このため本論文では、知覚特性や感覚過敏性・鈍麻性に関して ASD 者に見られる特徴が中核症状を生じさせることを提案していると解釈した(図 1-1B)。このように、熊谷(2017)のモデルから感覚過敏性がこだわりや社会コミュニケーションといった ASD の中核症状を強め、また Cascio et al. (2016)のモデルから知覚特性もまた中核症状に影響を与えていることが示された。

## 1.3 本論文の目的

### 1.3.1 先行研究の未解決点

以上の様に、先行研究では ASD 者は多様な症状・特性を持ち、各特性に関して個人により示す特徴が大きく異なると示唆されている。また、それらの特性のベースには知覚的な刺激処理の特異性が存在すると考えられている。ただし感覚過敏性・鈍麻性と中核症状の関係性に関する先行研究や、ASD 者の知覚特性の特異性に関する先行研究では知見の不一致が多く見られる。このような一貫性の低さは ASD 者の持つ大きな個人差を反映していると考えられる。このため ASD 者に共通の特徴を見出そうとするだけでなく、個人の持つ特徴に注目することが重要だろう。しかし、ASD 生起モデルで想定されているような知覚特性・感覚過敏・中核症状の繋がりの中で個人差がどのように作用しているのか、その全貌については解明されていない。具体的には、まず感覚過敏性・鈍麻性が中核症状を強めるというように、両特性が共起するパターンのみ注目されており、症状の表れ方の個人差は明らかになっていない。さらに、知覚特性の個人差がそれらの症状の重症度を与える影響に関して体

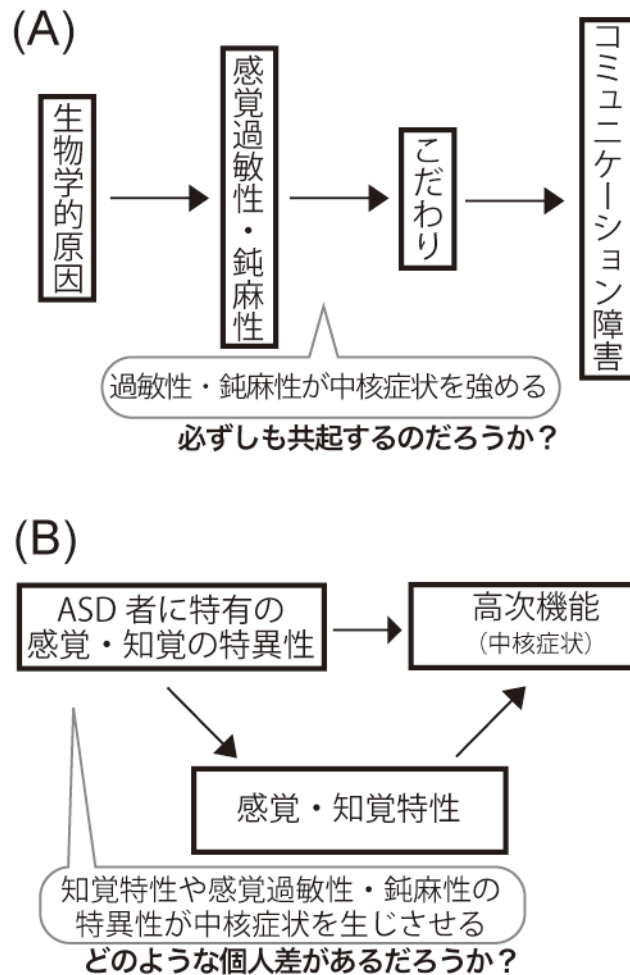


図 1-1 (A) 熊谷(2017)の ASD 生起モデル (一部改変) とその未解決点。感覚過敏性・鈍麻性がこだわり行動やコミュニケーションの困難さといった ASD 中核症状を生じさせることが提案されている。一方で、感覚過敏性・鈍麻性と中核症状が共起するパターンのみ注目されており、症状の表れ方の個人差は明らかになっていない。(B) Cascio et al. (2016) の ASD の感覚機能モデル (一部改変) とその未解決点。ASD 者に特有の知覚特性や感覚過敏性・鈍麻性の特徴が中核症状を生じさせると提案されていると解釈できる。ただし、知覚特性が感覚過敏性・鈍麻性が中核症状の重症度に与える影響の個人差に関して体系的な説明はなされていない。

系的な解明はなされていない。

### 1.3.2 本論文の目的・検討点

本論文では ASD 特性の個人差の基盤の解明を目指す。そのために、まず感覚過敏性・鈍麻性と中核症状間の影響関係における個人差を検討する。さらに、様々な知覚特性の個人差と ASD 特性間の関係性を検討する。そして、それらの知見から新たに個人差の視点を取り入れた ASD 生起モデルを検討する。

第二章では ASD 者が日常生活を送る上で抱える中核的な症状に関わる困難さと感覚過敏性・鈍麻性に関わる困難さの個人差のパターンの解明を目的とした。第三章では ASD の被診断者を対象に、ASD の知覚特性に関する先行研究で特に注目されている刺激への感度および時間処理特性に着目し、それらと ASD 特性との関連性の解明を目的とした。ASD 者内に見られる個人差を扱うために、知覚特性を測定する実験課題成績を ASD 群と定型発達群間で比較するだけでなく、個人の実験課題成績と症状の程度との間の関係性を検討した。第四章では定型発達者の ASD 傾向を対象に、多感覚モダリティにおける刺激への感度や時間処理特性と ASD の中核症状との関連性を明らかにすることを目的とした。このため、視覚・聴覚・触覚刺激に対する検出・弁別の感度と視覚・聴覚刺激に対する時間処理を測定し、個人の示す ASD 傾向との関係性を検討した。第五章では、第二章・第三章・第四章で得られた知見に基づき、知覚特性が感覚過敏性・鈍麻性、そして中核症状に与える影響に関して、新たに個人差に注目したモデルの可能性を議論した。

## 第二章 ASD 者の感覚過敏性・鈍麻性と中核症状の個人差の検討（研究 1）

### 2.1 目的

2013 年に改定された ASD の診断基準に感覚に関する症状が含まれたことに象徴されるように (DSM-5, 2013), ASD 者の示す感覚の特徴に注目が集まっている。日常場面で生じる感覚の問題は感覚鈍麻性を表す低登録, 感覚探求と感覚過敏性を表す感覚過敏, 感覚回避に分類されることが知られている (Dunn, 1997)。これらの特徴の測定には質問紙によるアセスメントが行われており, 例えば感覚プロファイル (Sensory profile : SP; Dunn, 1997) を使用した研究では, ASD 者の約 95 % が何らかの感覚過敏性・鈍麻性に関する困り感を示すことが報告された (Tomchek & Dunn, 2007)。さらに, 感覚過敏性・鈍麻性と ASD の中核症状との関係性が示唆されており, ASD 者は感覚過敏性・鈍麻性の症状を強く示すほど, こだわり行動・興味を強く示すことが報告されている (Boyd et al., 2010; Gabriels et al., 2008)。さらに, 重度な感覚過敏性・鈍麻性が社会コミュニケーションの困難さや社会的な活動への参加頻度の低下と関連することが報告されている (Ashburner et al., 2008; Baker et al., 2008; Hilton et al., 2010; Hochhauser & Engel-Yeger, 2010; Lane et al., 2010)。

多岐にわたる感覚過敏性・鈍麻性の特徴やその表れ方を理解するために, 個人の示す感覚過敏性・鈍麻性の症状をもとに ASD 者をサブグループに分類することが試みられてきた。例えば, Lane et al. (2011) は短縮版感覚プロファイル (SSP) に基づき分類を行い, 5 つのサブグループを作成した (グループ 1 : Severe difference in taste/smell and low energy/weak, moderate differences in underresponsive/seeks, グループ 2 : Low differences, グループ 3 : High underresponsivity and sensory seeking, グループ 4 : Severe difference in taste/smell, グループ 5 : Moderate to severe differences in all domains)。Lane et al. (2010) も同様に SSP 得点から ASD 者を 3 つのサブグループに分類した (グループ 1 : Sensory-based inattentive seeking, グループ 2 : Sensory modulation with movement sensitivity, グループ 3 : Sensory modulation with taste/smell sensitivity)。またこのサブグループ間で適応行動に関するアセスメント (Vineland 適応行動尺度; Sparrow, Cicchetti, & Balla, 1984) 得点を比較し, 感覚過敏性・鈍麻性を最も弱く示す人 (グループ 1) は他に比べて, 不適応行動に関する困難さも少ないと報告した。Lane et al. (2014) も SSP 得点に基づき 4 つのサブグループを作成し (グループ 1 : Sensory adaptive, グループ 2 : Taste/Smell sensitive, グループ 3 : Postural inattentive, グループ 4 : Generalized sensory difference), Autism Diagnosis Observation Schedule (ADOS; Lord et al., 2000) で測定した ASD の症状の重症度をグループ間で比較したが有意な違いは見られなかった。また, Ausderau et al. (2014) は Sensory Experience Questionnaire (SEQ; Baranek, David, Poe, Stone, & Watson, 2006) で測定した感覚過敏性・鈍麻性の特徴に基づく分類を行い, 4 つのサブグループを作成した (グループ 1 : Mild, グループ 2 : Sensitive-distressed, グループ 3 : Attenuated-preoccupied, グループ 4 : Extreme-mixed)。作成されたグループに関して, ASD の重症度を対人応答性尺度幼児版 (Social Responsiveness Scale-Preschool Version : SRS-P; Pine, Luby, Abbacchi, & Constantino, 2006) で測定したが, 感覚過敏性・鈍麻性を全般に強く示すグルー

ブは中核症状も強く、逆に感覚過敏性・鈍麻性が全般に弱いグループは中核症状も弱い程度に示すことが報告された。このように、個人の示す感覚過敏性・鈍麻性に基づいたサブグループへの分類が可能であり、またそのグループによる ASD の症状の違いについても検討がされている。

しかし、サブグループへの分類段階において、感覚過敏性・鈍麻性だけでなく、その他の ASD 特性も考慮した検討はほとんど行われていない。Tomchek et al. (2018)は SSP で測定した感覚過敏性・鈍麻性に関する得点だけでなく、発達スキルの得点の両方を投入した分類を行なった。発達スキルは複数のアセスメントを使用し、適応行動や社会的スキル、言語理解や言語表現の能力、粗大運動や微細運動といった複数の発達に伴うスキルを獲得しているか測定した。その結果、4つのサブグループに分類された（グループ1：Sensorimotor, グループ2：Selective-Complex, グループ3：Perceptive-Adaptable, グループ4：Vigilant-Engaged）。興味深いことに、感覚過敏性・鈍麻性の重症度と発達スキルの低さが関連することだけでなく、感覚過敏性・鈍麻性が弱いグループよりも、過敏性や感覚探求の特徴を示すグループの方が、発達スキルが高く、より適応的な行動を示すことが報告された。このように、感覚過敏性・鈍麻性だけでなく他の特性を含む複数の側面から ASD 者を分類することで、より ASD 者の示す個人差を見出すことができると考えられる。しかしながら、感覚過敏性・鈍麻性と ASD の中核症状である社会コミュニケーション能力や限局的・反復的行動の両方を考慮した検討は行われていない。特に限局的・反復的行動の診断基準に感覚過敏性・鈍麻性があるように(DSM-5, 2013), 感覚過敏性・鈍麻性の症状がこだわり行動の一部と捉えられることがある。例えば、感覚過敏性によって特定の刺激を避ける傾向はこだわりの強さと見なされる場合があり、また感覚鈍麻性によって生じる感覚探究行動（手をひらひらさせるなど）は反復的行動と見なされる場合もある。このように両特性にオーバーラップがあるため、中核症状の程度を考慮することが、ASD 者内の個人差の解明に重要であると考えられる。さらに、感覚過敏性・鈍麻性と中核症状は相互に影響し合う関係にあると仮定できる。例えば、触覚刺激に対する過敏性として列に並んだり人に接近するのが苦手だったり、触られることに感情的、攻撃的に反応したりすることが挙げられる(Brown et al., 2001)。このような特徴のために、社会場面で適応的にふるまったり、他者とコミュニケーションをとることが難しくなることが考えられるが、一方で、逆に対人場面における不適応的な振る舞いが感覚過敏性の症状に見えたり、社会的な状況に対する不安や苦手意識から、それに関連する刺激を避けようとして、上記のような行動が現れたりすることも考えられる。このように感覚過敏性・鈍麻性が中核症状を生じさせるだけでなく、両特性間には双方向の関係性がある可能性がある。したがって、本研究では感覚過敏性・鈍麻性のみに基づく分類から中核症状の違いを推定するのではなく、両特性を含めることで、ASD 者の示す症状全体を捉えることができ、その表れ方の個人差を検討することができると考えた。

本研究では幅広い年齢の ASD 者を対象として、感覚過敏・鈍麻性ならびに ASD 中核症状の重症度に基づいたサブグループへの分類を試みる。感覚過敏性・鈍麻性の測定には日本

語版感覚プロファイル短縮版 (SSP; Hagiwara, Iwanaga, Itou, & Tani, 2015), 中核症状の測定には日本語版対人感覚応答性尺度 (SRS-2; Kamio et al., 2013) を使用した。いずれも保護者・支援者記入式の質問紙であるが, これらを使用することで自己記入式とは異なり, 自身の内観が難しい若年者や ASD の重症者, 知的な遅れのある者に対しても特性の測定ができ, 幅広い人々を対象とすることが可能となる。本研究の目的は多様な ASD 特性の個人差を感覚過敏・鈍麻性と ASD 中核症状の相互作用の関連から明らかにすることであった。

## 2.2 方法

### 調査参加者

ASD の被診断者 83 名 (男性 63 名, 女性 20 名) であった。DSM-IV-TR または DSM-5 に基づき医師の診断を受けた者を対象とした。平均年齢は 17.68 歳 (5~40 歳) であった。手続きは立教大学現代心理学部心理学研究倫理審査委員会の承認を得た (承認番号: 19-02)。調査実施前に各調査参加者からインフォームドコンセントを得た。

### 装置

#### 感覚過敏性・鈍麻性の測定

日本語版感覚プロファイル短縮版 (Short Sensory Profile: SSP) を使用した (Hagiwara et al., 2015)。SSP は 38 項目から構成される保護者記入式の質問紙であり, 各項目に記載されている行動の頻度を 5 件法 (1.しない~5.いつも) で回答する。7 つの下位尺度 (触覚過敏性, 味覚・嗅覚過敏性, 動きへの過敏性, 低反応・感覚探求, 聴覚フィルタリング, 低活動・弱さ, 視覚・聴覚過敏性) に分類され, 得点が高いほど各下位尺度に表される特徴を高い頻度で示すことを表す。各下位尺度の項目例を表 2-1 に示した。

#### ASD の中核症状の測定

日本語版対人性応答尺度 (Japanese version of the Social Responsiveness Scale-Second Edition : SRS-2) を使用した (Kamio et al., 2013)。SRS-2 は 65 項目からなる保護者記入式の質問紙であり, 日常生活場面での社会コミュニケーションや反復的/限局的行動に関する難しさに関して, 4 件法 (1.あてはまらない~4.ほとんどいつもあてはまる) で回答する。5 つの下位尺度 (社会的気づき, 社会的認知, 社会的コミュニケーション, 社会的動機づけ, 興味の限局と反復行動) に分類され, 得点が高いほど各下位尺度に表される特徴をより重度に示すことを表す。各下位尺度の項目例を表 2-2 に示した。

### 手続き

所沢・発達障害児者を支援する会よつばくらぶ, 長崎大学にて調査参加者の募集を行なった。調査対象者の保護者に SSP および SRS-2 への回答を求めた。



表 2-1 日本語版感覚プロフィール短縮版（SSP）の項目例

下位尺度	項目例
触覚過敏性 (7 項目)	さわられることに感情的に反応する
味覚・嗅覚過敏性 (4 項目)	特定の味のものやにおいを嫌う
動きへの過敏性 (3 項目)	頭が下になる運動・遊びが嫌い
低反応・感覚探求 (7 項目)	顔や手が汚れていても気づかない
聴覚フィルタリング (5 項目)	集中するのが苦手/名前を呼んでも反応しない
低活動・弱さ (6 項目)	耐久力が弱い、疲れやすい
視覚・聴覚過敏性 (6 項目)	音を避けるために両手で耳を覆う/明るい光に悩まされる
全 38 項目	

表 2-2 日本語版対人性応答性尺度（SRS-2）の項目例

下位尺度	項目例
社会的気づき (8 項目)	他の人が見たり聞いたりしている方に自分の注意を向ける（逆転項目）
社会的認知 (12 項目)	人の声の調子や表情の意味が理解できる（逆転項目）
社会的コミュニケーション (22 項目)	自分の考えをうまく伝えられずいらいらする
社会的動機づけ (11 項目)	人前では、過度に緊張している
興味の限局と反復行動 (12 項目)	興味の範囲が著しく狭い
全 65 項目	

## 分析

調査参加者のサブグループ化には、先行研究に倣い(Lane et al., 2014; Tomchek et al., 2018), 潜在プロファイル分析を実施した。潜在プロファイル分析には R (v 1.2.1335, Vienna, Austria) の `mclust` パッケージ(Zhong & Ghosh, 2003)を使用した。この分析では、ベイズ情報量基準 (Bayesian Information Criteria : BIC) および統合完備化尤度 (Integrated Complete Likelihood : ICL) に基づき適合モデルの比較を行った。なお本研究で使用した分析パッケージで算出される BIC, ICL は値が大きいほど良い適合を示す。さらに、グループ数の決定に際し、ブートストラップ尤度比検定 (bootstrap likelihood ratio test : BLRT) を実施した(Nylund, Asparouhov, & Muthén, 2007)。SSP と SRS-2 の各下位尺度の粗点を調査対象者内で平均 0, 標準偏差 1 になるように標準化を行い、それらをすべて投入したサブグループ化を行った。サブグループ化後には、グループ間の尺度得点の差の有無・年齢・男女比を分散分析を行なって確認した。

### 2.3 結果 : ASD 被診断者の分類

3 クラスタから 6 クラスタ分類のモデル比較を行った (表 2-3)。BIC および ICL は 4 クラスタモデルで当てはまりが最も良く (BIC : -2577.490, ICL : -2585.635), ついで 5 クラスタモデルの当てはまりが良く (BIC : -2582.445, ICL : -2588.766), 4 クラスタと 5 クラスタモデルで差は小さかった。さらに 4 クラスタ, 5 クラスタ間の比較について, BLRT では 5 クラスタモデルが提案された。BLRT はモデル間でクラスタ数の比較を行う際の最も良い指標だと主張されており(Nylund et al., 2007), またこの値をより重視した分類研究も行われている(Tomchek et al., 2018)。これらのことから, 5 クラスタ分類が妥当だと判断した。各グループにおける SSP, SRS-2 得点を図 2-1, 図 2-2, 表 2-4 に示した。また, 各クラスタ間で平均年齢に差があるか確認したが, 有意な差は認められなかった( $F(4, 78) = 2.27, p = 0.07, \text{partial } \eta^2 = 0.03$ )。またクラスタに含まれる男女比率についても, クラスタ間で有意な差は見られなかった( $\chi^2(4) = 5.15, p = 0.27, \text{Cramer's } V = 0.25$ )。

グループ 1 (17 名[男性 15 名, 女性 2 名]・平均 15.35 歳) は SSP 下位尺度得点すべてが調査参加者内では低い値を取っており, SRS-2 下位尺度得点も同様にすべてが低い値を示した。感覚過敏性・鈍麻性と中核症状が全般的に弱いグループだと言える。したがって, ASD 特性低群と命名した。

グループ 2 (25 名[男性 21 名, 女性 4 名]・平均 17.56 歳) は SSP 下位尺度得点と SRS-2 下位尺度得点が共に全て高い得点を取った。このグループは感覚過敏性・鈍麻性と中核症状を全般的に強く示すと言える。このため, このグループは ASD 特性高群と名付けた。

グループ 3 (11 名[男性 8 名, 女性 3 名]・平均 18.82 歳) は SSP 下位尺度得点で低い値を示した。一方, SRS-2 下位尺度得点は全般に中程度であった。このため, 感覚過敏性・鈍麻性と中核症状の程度が一致していないグループだと言える。このグループは中核特性中程度/感覚適応群とした。

グループ 4 (7 名[男性 4 名, 女性 3 名]・平均 24.43 歳) は SSP では下位尺度間の得点差

が大きく、低反応・感覚探求と聴覚フィルタリングが高い値、低活動・弱さは中程度の得点を示したものの、その他の4つの下位尺度は低い得点を示した。SRS-2では全ての下位尺度得点で高い得点を示した。このグループは感覚過敏性・鈍麻性と中核症状の程度が一致していないグループだと言える。したがって、中核特性高/低反応・感覚探求群と名付けた。

グループ5(23名[男性15名,女性8名]・平均16.91歳)はSSP下位尺度を概ね中程度の得点であったが、低反応・感覚探求と聴覚フィルタリングは低い得点を示し、その他の下位尺度は高い得点を示した。SRS-2ではほとんどの下位尺度が低い得点を示したが、社会的動機づけは中程度の得点を示した。このグループは感覚過敏性・鈍麻性と中核症状が複雑な関係性を持っていると言える。このため、社会的動機づけ/感覚中群と命名した。

グループ間の尺度得点の差について2要因(グループ×下位尺度得点)分散分析を各質問紙について実施した。SSPに関して、グループの主効果が認められ( $F(4, 78) = 31.64, p < .001$ ,  $\text{partial } \eta^2 = 0.29$ )、多重比較の結果、グループ1とグループ3の間( $t(78) = 1.23, p = 0.22$ )、グループ4とグループ5の間( $t(78) = 1.46, p = 0.15$ )では有意な差が認められなかったが、その他のグループ間には有意なSSP得点の差( $t(78) > 3.19, p < 0.002$ )、または差の有意傾向が見られた(グループ3とグループ4間: $t(78) = 1.93, p = 0.051$ )。このことから、SSP得点ではグループ1と3はどちらも同程度に感覚過敏性・鈍麻性の傾向が弱く、グループ4とグループ5は得点のプロファイルに違いがあるものの共に中程度に傾向を示し、グループ2は他のグループよりも高い傾向を持つことが示された。

さらにSRS-2下位尺度得点に関しても、グループの主効果が認められ( $F(4, 78) = 56.80, p < .001$ ,  $\text{partial } \eta^2 = 0.42$ )、グループ2とグループ4の間( $t(78) = 0.17, p = 0.86$ )を除く全てのグループ間で得点の差が認められた( $t(78) > 3.37, p < 0.001$ )。したがって、グループ2グループ4は共に中核症状を強く、グループ1は弱く、グループ3は中程度に、グループ5は低度～中程度に持つことが示された。

以上の分析から、グループ1とグループ3はSSPの得点に差がなく、どちらも感覚過敏性・鈍麻性の傾向は弱かった。しかしSRS-2得点には有意な差が見られ、グループ1では中核症状の重症度が低かったことに対して、グループ3は中程度に示した。すなわち、グループ3は感覚過敏性・鈍麻性と中核症状の重症度が一致しないグループであることが統計的にも示されたと考えられる。同様にグループ2とグループ4のようにSSP得点には差が見られるがSRS-2得点は同程度であったペアも見られた。グループ2が両症状を高く示している一方で、グループ4はおおむね感覚過敏性・鈍麻性は中程度に示すが中核症状を強く示しており、重症度の一致しないグループであることが示唆された。

表 2-3 3 から 6 クラスタモデルの統計量

クラスタ数	BIC	ICL	BLRT	
			BLRT	p
3	-2604.148	-2606.736	77.338	0.001
4	-2577.490	-2583.635	88.522	0.001
5	-2582.445	-2588.766	56.909	0.002
6	-2624.888	-2630.401	19.421	0.705

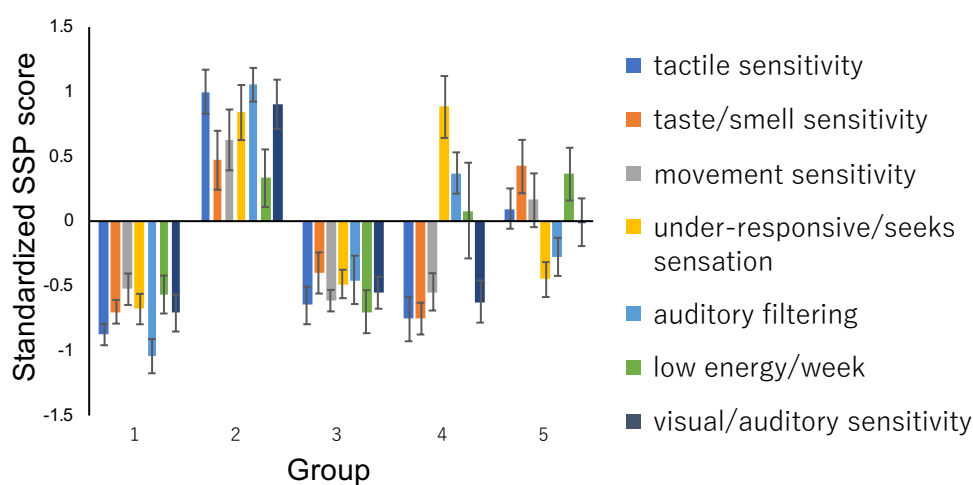


図 2-1 各グループの感覚プロフィール短縮版 (SSP) 下位尺度平均得点 (エラーバーは標準誤差)

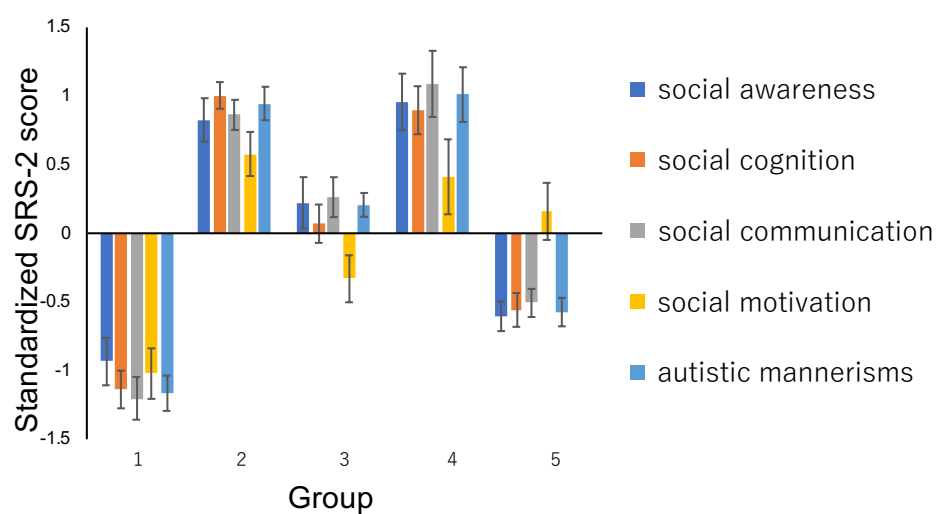


図 2-2 各グループの対人性応答尺度 (SRS-2) 下位尺度平均得点 (エラーバーは標準誤差)

表 2-4 各グループの属性および平均標準化尺度得点

		グループ 1	グループ 2	グループ 3	グループ 4	グループ 5
	年齢 (範囲)	15.35(7-23)	15.35(5-39)	15.35(8-26)	15.35(16-39)	15.35(8-40)
	人数 (男:女)	15:2	21:4	8:3	4:3	15:8
SRS-2 得点 (標準誤差)	社会的気づき	-0.93 (0.17)	0.83 (0.16)	0.22 (0.19)	0.96 (0.21)	-0.60 (0.11)
	社会的認知	-1.14 (0.14)	1.00 (0.10)	0.07 (0.14)	0.90 (0.17)	-0.56 (0.12)
	社会的コミュニケーション	-1.20 (0.16)	0.86 (0.11)	0.26 (0.15)	1.09 (0.24)	-0.51 (0.10)
	社会的動機づけ	-1.02 (0.18)	0.58 (0.16)	-0.33 (0.17)	0.41 (0.27)	0.16 (0.21)
	興味の限局と 反復行動	-1.16 (0.13)	0.95 (0.12)	0.21 (0.09)	1.01 (0.20)	-0.57 (0.10)
SSP 得点 (標準誤差)	触覚過敏性	-0.87 (0.08)	1.00 (0.17)	-0.65 (0.14)	-0.75 (0.17)	0.10 (0.16)
	味覚・嗅覚過敏性	-0.70 (0.09)	0.47 (0.23)	-0.40 (0.16)	-0.75 (0.12)	0.42 (0.21)
	動きへの過敏性	-0.52 (0.12)	0.63 (0.23)	-0.61 (0.08)	-0.54 (0.14)	0.16 (0.21)
	低反応・感覚探求	-0.68 (0.12)	0.84 (0.21)	-0.48 (0.11)	0.88 (0.24)	-0.45 (0.13)
	聴覚フィルタリング	-1.04 (0.13)	1.05 (0.13)	-0.45 (0.19)	0.37 (0.16)	-0.27 (0.15)
	低活動・弱さ	-0.57 (0.15)	0.33 (0.22)	-0.70 (0.17)	0.08 (0.37)	0.36 (0.20)
	視覚・聴覚過敏性	-0.71 (0.14)	0.90 (0.19)	-0.55 (0.12)	-0.62 (0.16)	-0.01 (0.18)

## 2.4 考察

本研究では ASD 者の示す特性の個人差を明らかにするため、感覚過敏性・鈍麻性だけでなく中核症状を含む特性に関して、分類とサブグループの作成を行った。その結果、5つのグループに分類がなされた（ASD 特性低群、ASD 特性高群、中核特性中程度/感覚適応群、中核特性高/低反応・感覚探求群、社会的動機づけ/感覚中程度群）。

感覚過敏性・鈍麻性のみ注目して、SSP を用いて分類を行った先行研究が存在するが (Lane et al., 2010; Lane et al., 2014; Lane et al., 2011), それらを一部支持する結果が見られた。まず、ASD 特性低群、ASD 特性高群、中核特性中程度/感覚適応群のように過敏性・鈍麻性に関わる特性をすべてを強く（または弱く）示すグループが見られた。SSP 得点を基に ASD 者を分類した研究では 3 グループ (Lane et al., 2010), 4 グループ (Lane et al., 2014), 5 グループ (Lane et al., 2011) に分類したが、いずれの研究でもそのうちのひとつのグループはすべての尺度得点について症状の程度が重度の範囲を、あるいは重度から中程度の範囲を示した。また Sensory Experience Questionnaire (SEQ) をもとに ASD 者を 4 グループに分類した研究では、過敏性や鈍麻性、感覚探求、感覚刺激に対する正確さといった特徴を全て高く示すグループと逆に全て低く示すグループが見られた (Ausderau et al., 2014)。本研究でも、過敏性と鈍麻性の両特性を感覚モダリティをまたいで示す人がおり、一方で ASD 者であっても感覚に関する困難さを示さない人がいることが示唆された。

また本研究では中核特性高/低反応・感覚探求群は、SSP 下位尺度のうち特に低登録・感覚探求と聴覚フィルタリングの得点を他の尺度に比べて高く示した。先行研究でも同様に、低登録・感覚探求と聴覚フィルタリングのみが他の尺度に比べて強い傾向を示すことが繰り返し報告されている (Lane et al., 2014; Lane et al., 2010)。さらに、社会的動機づけ/感覚中程度群では逆に低登録・感覚探求と聴覚フィルタリング得点が比較的他の尺度に比べて低い傾向が見られた。Lane et al. (2014)によれば、SSP 下位尺度のうち感覚鈍麻性に関する項目が含まれるのは低登録・感覚探求および聴覚フィルタリングであるため、両下位尺度で高い得点を示すことは感覚鈍麻性を表すと考えられる。したがって、日本人を対象とした研究でも先行研究と同じように、感覚鈍麻性の特徴から分類されるグループが存在することが示唆された。

さらに SSP 得点と SRS-2 得点を付き合わせて見てみると、両得点を同程度に示すグループが見られた。すなわち、ASD 特性低群は SSP, SRS-2 とともに調査参加者の中でも低い得点を取り、感覚過敏性・鈍麻性と中核症状のどちらも低い傾向であった。一方、ASD 特性高群では SSP, SRS-2 とともに調査参加者の中で高い得点を示し、感覚過敏性・鈍麻性と中核症状をどちらも強く示しているグループだと言える。Ausderau et al. (2014)は感覚過敏性・鈍麻性に基づいて ASD 者を 4 グループに分類したのちに、各グループのもつ中核特性の比較を行った。その結果、感覚過敏性・鈍麻性を全般に強く示すグループは中核症状も強く、逆に感覚過敏性・鈍麻性を全般に弱く示すグループは中核症状も弱い程度に示した。さらに Lane et al. (2010)は感覚過敏性・鈍麻性について 3つのグループに分類したが、そのうち感覚過敏

性・鈍麻性を全般に弱く示すグループは他のグループに比べて、不適応行動に関する困難さが少なかったことを報告し、感覚過敏性・鈍麻性の困難さが不適応行動の現れを予測すると結論づけた。このように、本研究でも感覚過敏性・鈍麻性の重症度が中核症状の重症度を予測できるタイプの ASD 者がいることが示唆された。

一方で、本研究で新たに SSP と SRS-2 間で示す得点の程度に差があるグループも作成された。中核特性中程度/感覚適応群では、SSP 得点が ASD 特性低群と同様に低い得点を示しており、感覚過敏性・鈍麻性の特徴は弱い程度を示した一方で、SRS-2 から測定した中核症状の程度は中程度であった。さらに中核特性高/低反応・感覚探求群は、感覚過敏性・鈍麻性に関して一部の低位尺度を除きおおむね症状は弱いですが、中核症状は強く示すグループであると考えられる。Tomchek et al. (2018)は 3 歳から 6 歳の ASD 児を対象に SSP 得点と様々な発達にともなう能力の獲得に関するアセスメント得点に基づき分類を行なった。感覚過敏性・鈍麻性を弱い程度しか示さないグループよりも、過敏性や感覚探求の特徴を示すグループの方が、発達スキルが高くより適応的な行動を示すことが報告された。つまり感覚過敏性・鈍麻性の重症度と発達スキルの獲得の遅れの程度は一致しない場合があると考えられる。本研究でも同様に、感覚過敏性・鈍麻性と中核症状の重症度は必ずしも一致しない場合があることが示唆された。

このような重症度の一致しないグループにおける ASD 特性間の関係性について、2つの可能性が考えられる。ひとつは感覚過敏性・鈍麻性と中核症状は互いに独立している可能性がある。もちろん、感覚過敏性・鈍麻性は診断基準のひとつであり、大多数の ASD 者が何かしらの感覚過敏性・鈍麻性の症状を示すという報告があることから(Tomchek & Dunn, 2007)、感覚過敏性・鈍麻性と中核症状は共起すると考えられている。現に多くの研究で感覚過敏性・鈍麻性と中核症状との関係性が報告されている(Hazen, Stornelli, O'Rourke, Koesterer, & McDougle, 2014)。本研究でも約半数の参加者(83名中42名)がこのような両特性が共起しているように見えるグループに分類された。しかしながら、重症度が一致しないグループに分類された参加者も少ない割合であるものが見られた(83名中18名)。このことから、これまで先行研究で報告されてきたような両特性に関連の見られる人だけでなく、関連のない人々が少数派ながら存在することが新たに示唆された。両特性の重症度が一致したグループ1と、一致しなかったグループ3を比較すると、どちらのグループも感覚過敏性・鈍麻性の得点は同程度に低いですが、中核症状の程度は異なっていた。このことから、感覚過敏性・鈍麻性の症状の有無にかかわらず、中核症状は現れると解釈できる。すなわち、それぞれの症状は異なるメカニズムによって生じている可能性が考えられる。

また別の可能性として、感覚過敏性・鈍麻性と中核症状には関連があるものの、グループによってその関連の方向が異なっていたことが考えられる。Tomchek et al. (2018)は感覚過敏性を持っている児童は感覚鈍麻性を持っている児童よりも、周囲の環境に自身をチューニングし、発達スキルを向上させるような機会を得やすくなる可能性があり、臨床症状の生じる潜在的な要因(例えば、治療的介入、親のサポート)を考慮する必要があると考察してい

る。さらに、双生児を対象に感覚過敏性や ASD の中核症状と、遺伝的要因や環境要因との関係性を検討した研究では、感覚過敏性の強さと中核症状の強さが関連するが、それぞれの症状の程度は遺伝的な要因のみで説明できるのではなく、環境要因の影響を受けていることが報告されている(Taylor et al., 2018)。このように、感覚過敏性・鈍麻性から中核症状に与える影響を考える上で、その人の生育環境から影響を無視することはできないかもしれない。この点は今後の検討を重ねて解明すべきだろう。

本研究では、ASD 者の示す特性の個人差を明らかにするため、新たに感覚過敏性・鈍麻性だけでなく中核症状についても考慮し、グループへの分類を行った。その結果、両特性の重症度が一致するグループが見られたことから、感覚過敏性・鈍麻性の特徴が社会性などの認知的過程と関係することが示唆された。さらに新たに両特性の重症度が一致しないグループが確認され、ASD 者の中でも ASD 特性間の関係性の表れ方に個人差があることが示唆された。また、SSP で中程度の得点を示す ASD 者に関して、日本人を対象とした場合でも海外の先行研究と同様に、低登録・感覚探求と聴覚フィルタリングによって群分けされることが示された。このような知見が得られたことから、複数の質問紙得点から多面的に分類することは多様な ASD の特性を表すのに有効であると考えられる。



### 第三章 ASD 者の示す単感覚刺激への感度と時間処理の検討（研究 2）

#### 3.1 目的

第二章では ASD 者の示す症状の個人差を明らかにするため、感覚過敏性・鈍麻性と中核症状を含む特性に基づく分類を行い、ASD 者の中でも多様な症状の表れ方が見られることを明らかにした。第三章では ASD 者の示す症状の多様性のメカニズムを明らかにするために、感覚過敏性・鈍麻性および中核症状と知覚特性との関係性を検討する。

多くの ASD 者に見られる感覚過敏性の症状について、先行研究では提示刺激に対する検出感度が高いために生じるだろうと仮説が立てられているため、ASD 者の示す刺激の検出感度の特異性が検討されてきた。Blakemore et al. (2006)は ASD 者は定型発達者に比べてより小さな振幅の振動の触覚刺激を検出することができると報告しており、その傾向は高い周波数の振動刺激（200 Hz）を用いた場合にのみ見られた。Cascio et al. (2008)と Puts et al. (2014)は低い周波数の振動刺激（33 Hz と 25 Hz）に対して、ASD 者は低い検出閾を示すことを報告した。一方で、周波数にかかわらず（40 Hz と 250 Hz）ASD 児と定型発達児に検出閾の差は見られないとする研究もある(Güçlü et al., 2007)。このような先行研究間の知見の不一致は ASD 者の知覚特性の多様性を反映していると考えられる(Simon & Wallace, 2016)。したがって、知覚特性と ASD の症状との関連を検討するためには、知覚特性の個人差を考慮すべきだと考えられる。

また感覚過敏性は刺激入力に対する時間処理の特異性から生じるという仮説も考えられる。ASD 者では蛍光灯のフリッカーに関する訴えが多く、それが反復行動を引き起こしているという見方がある(Colman, Frankel, Ritvo, & Freeman, 1976)。このことから ASD 者の中には非常に高い時間処理（60 Hz のフリッカーよりも高い時間処理）を示す者がいることが考えられる。特定の生地を避けるなどの感覚過敏性による典型的な症状はテクスチャーの時間処理の特異性によるものである可能性が考えられる(Green & Ben-Sasson, 2010)。また、視覚刺激に対する時間処理について ASD 者が高い課題パフォーマンスを持つことを示した研究がある(Falter et al., 2013)。この研究では、画面上の注視点に対して左右に縦線が、様々な時間差（8.3 ms から 99.6 ms）を持って提示された。実験参加者はそれらが同時に提示されたか否かを回答するように求められた。その結果、ASD 者は全体として同時だと回答する割合が低く、すなわちより高い時間分解能を示すことが報告された。一方で、ASD 者は触覚刺激において時間分解能が低いことが報告されている。例えば、Tommerdahl et al. (2008)は、左右の手の指に触覚刺激を提示しその提示順序を判断させる課題（時間順序判断課題）では時間分解能に群差は見られなかったものの、片手の人差し指と中指に刺激を提示して同様の課題を行なった場合には、ASD 者は定型発達者と比較して低い時間分解能を示すことを報告した。また、Wada et al. (2014)は両手に触覚刺激を提示して時間順序判断課題を行なった場合に、ASD 者は定型発達者よりもわずかに時間分解能が低い傾向を報告した。

このような刺激への検出感度や時間処理に関する知見の一貫性の低さは ASD 者の知覚処理の多様性を示唆していると考えられ、さらにその多様な知覚特性は日常における症状の

重症度と関連するだろうと予想される。しかし、どのような知覚特性の個人差が感覚過敏性や中核症状の発生の基盤となっているかは実証されていない。本研究では、特に研究がさかんにおこなわれている触覚に注目して(Puts et al., 2014; Tommerdahl et al., 2008; Wada et al., 2014), まず刺激への検出感度や時間処理特性の個人差と感覚過敏性の重症度との関係性を調べた。さらに、それらの知覚特性の個人差が ASD の中核症状の重症度と関連するかを検討した。

### 3.2 ASD 者の触覚刺激への検出感度と感覚過敏性・鈍麻性の関係性（実験 I）

#### 目的

先行研究では ASD 者は触覚刺激に対する検出感度が高いこと(Blakemore et al., 2006), 低いこと(Cascio et al., 2008; Puts et al., 2014), 定型発達者と違いがないこと(Güçlü et al., 2007)が報告されており、個人差が大きいことが示唆されている。このような刺激への検出感度の個人差と感覚過敏性・鈍麻性ならびに ASD 中核症状との関係性を明らかにするために、ASD 者を対象に触覚の振動刺激に対する検出閾と日常生活で示される感覚過敏性・鈍麻性の程度を測定し、両者の関係性を検討した。

#### 方法

##### 実験参加者

実験参加者の属性を表 3-1 に示した。ASD の被診断者 11 名（男性 10 名，女性 1 名），定型発達者 12 名（男性 9 名，女性 3 名）を対象とした。平均年齢は ASD 群が 19.6 歳（17～27 歳），定型発達群が 21.4 歳（18～32 歳）であった。実験参加者の知能指数（Intelligence Quotients: IQ）をウェクスラー成人知能検査（Wechsler Adult Intelligence Scale-Third Edition: WAIS-III）により推定し、両群ともに差がないことを確認した（言語性 IQ:  $t(21) = -1.87, p = 0.08$ , Cohen's  $d = 0.78$ , 動作性 IQ:  $t(21) = -1.44, p = 0.17$ , Cohen's  $d = 0.6$ , 全検査 IQ:  $t(21) = -1.2, p = 0.24$ , Cohen's  $d = 0.5$ ）。また、ASD 群に関して、作業療法士が Autism Diagnostic Observation Schedule Second Edition（ADOS-2; Lord et al., 2000）を用いて ASD の症状の程度を確認した。なお実験手続きは国立障害者リハビリテーションセンター倫理審査委員会の承認を受けた（29-145）。すべての実験参加者には、十分に研究手続きについて説明したのちに、インフォームドコンセントを得た。

##### 装置

触覚刺激の提示には piezo 振動子（FPZT-2015-1, Uchida Denshi）を用い、振動の振幅の測定にはレーザー変位計（LKG15, KEYENCE）を使用した。ヘッドホン（HD380PRO, SENNHEISER）を通してホワイトノイズを提示した。実験参加者はキーボードのキー押しによって課題に回答した。また、感覚過敏性・鈍麻性の測定のために、青年・成人感覚プロ

表 3-1 実験 I の実験参加者の属性

	ASD	定型発達
性別（男：女）	10：1	9：3
年齢（範囲）	19.6 (17-27)	21.4 (18-32)
言語性 IQ（範囲）	109.6 (85-127)	119.7 (102-147)
動作性 IQ（範囲）	102.9 (87-120)	109.3 (102-147)
全検査 IQ（範囲）	106.3 (85-127)	116.3 (103-134)

ファイル (Adolescent/Adult Sensory Profile: AASP; Brown, Tollefson, Dunn, Cromwell, & Filion, 2001)を使用した。

### 刺激

触覚刺激として、振動を 500 ms 提示した。先行研究で周波数による実験参加者の反応の違いが報告されているため(Blakemore et al., 2006), 200 Hz と 40 Hz の振動刺激を用いた。振動の変位量は 0, 1, 3, 6, 9, 12, 15, 18, 21, 24, 27, 30 $\mu$ m の 12 段階に設定した。

### 手続き

実験課題：左手の人差し指の腹側に触覚刺激を提示した。各変位量の刺激は 12 回繰り返し提示され、周波数条件につき 144 試行 (合計 288 試行) 行われた。実験参加者には、合図のビーブ音 (500 Hz の純音) が提示された後なるべく早く、触覚刺激が提示されたか否かをキー押しで回答するように教示した (図 3-1A)。

感覚過敏性・鈍麻性の測定：AASP 質問紙を用いて測定を行なった。これは自己記入式の質問紙であり、反応の鈍さを表す低登録・感覚探求および、過剰な反応性を表す感覚過敏・感覚回避の 4 つの下位尺度から構成されている。また感覚過敏得点と感覚回避得点の合計点を合計過敏性得点として算出した(Cascio et al., 2008)。

### データ分析

各実験参加者の回答曲線をガウス累積密度関数にフィッティングした(Yamamoto & Kitazawa, 2001)。フィッティングには MATLAB(MathWorks Inc.)上の optimization toolbox を使用した。50 %の割合で刺激を検出できる値を検出閾とした。また関数の傾きを検出率を変化させる振動刺激の変位量の大きさの指標 (鋭敏性) とした。

### 結果・考察

検出閾に周波数条件間 (40 Hz か 200 Hz) または群間の差が見られるか検討した。40 Hz 条件と 200 Hz 条件間に有意な差が見られた ( $F(1, 21) = 6.34, p = 0.02, \text{partial}\eta^2 = 0.23$ )。この差は 40 Hz の刺激の受容体と考えられるマイスナー小体よりも 200 Hz の刺激の受容体と考えられるパチニ小体の方が感度が高いために生じたと推測できる(Bolanowski Jr, Gescheider, Verrillo, & Checkosky, 1988)。また検出閾に ASD 群と定型発達群間の違いが見られるか検討したが (図 3-1B), 有意な群の主効果 ( $F(1, 21) = 0.28, p = 0.60, \text{partial}\eta^2 = 0.13$ ), および群と周波数の交互作用 ( $F(1, 21) = 0.99, p = 0.33, \text{partial}\eta^2 = 0.05$ ) は見られなかった。鋭敏性にも同様に群による違いは見られなかった (群の主効果:  $F(1, 21) = 0.62, p = 0.44, \text{partial}\eta^2 = 0.02$ ; 周波数の主効果:  $F(1, 21) = 0.19, p = 0.67, \text{partial}\eta^2 = 0.01$ ; 群と周波数の交互作用:  $F(1, 21) = 0.17, p = 0.69, \text{partial}\eta^2 = 1.42$ )。したがって、刺激の検出の特徴には群によって差がないことが示された。

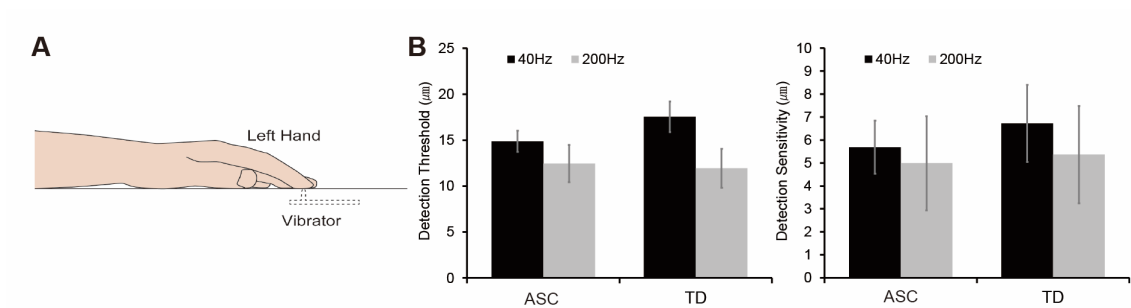


図 3-1 (A) 検出課題の模式図 (B) 各群の平均検出閾と鋭敏性。エラーバーは標準誤差を表す (Ide et al., 2019 より転載)

さらに、検出閾および鋭敏性と AASP 得点間の関係性について、各群に対して相関分析を行ったが、ASD 群における 40 Hz 刺激への検出閾と AASP のうち感覚回避との相関 ( $r = -0.61, p = 0.04, \text{power}(1-\beta) = 0.56$ ) が見られた他は有意な相関は見られなかった (表 3-2)。

また、検出閾および鋭敏性と ADOS 得点間の関係性について、相関分析を行った (図 3-2)。ASD 群において、200 Hz 刺激の検出閾と常同的行動と限局的興味得点との正の相関 ( $r = 0.66, p = 0.04, \text{power}(1-\beta) = 0.66$ )、相互的対人関係得点との正の相関の有意傾向 ( $r = 0.54, p = 0.08, \text{power}(1-\beta) = 0.43$ ) が見られた。さらに、200 Hz 刺激に対する鋭敏性と常同的行動と限局的興味得点 ( $r = 0.82, p = 0.001, \text{power}(1-\beta) = 0.94$ ) および相互的対人関係得点 ( $r = 0.64, p = 0.02, \text{power}(1-\beta) = 0.71$ ) との正の相関が見られた。40 Hz 刺激に対しては、いずれの相関も見られなかった (表 3-3)。

先行研究では、ASD 者のなかでも振動刺激に対する検出閾の個人差が大きいことが報告されている。本実験では、検出閾や鋭敏性と感覚過敏性・鈍麻性との関係性はごく一部を除き有意な相関は見られなかったが、常同的行動と限局的興味や相互的対人関係との有意な関係性が見られた。したがって、刺激の検出閾や鋭敏性の個人差は ASD 中核症状の基盤となっている可能性が示唆された。

200Hz の振動刺激に対する検出閾・鋭敏性が ADOS-2 下位尺度の相互的対人関係や常同的行動と限局的興味と正の相関を示した。Güçlü et al. (2007)は触覚刺激への感度の高さが日常生活での社会的情緒に関する問題の経験と関連することを示唆した。さらに、ASD 者は定型発達者と比較して、高い周波数の振動刺激に対する低い検出閾もつことが報告されている一方で(Blakemore et al., 2006)、他の ASD サンプルではその結果は再現されなかった (Güçlü et al., 2007)。このため、高い周波数の振動刺激に対する触覚検出閾・感度が ASD 的な常同的行動や限局的興味、社会性の特性と関連すると考えられるが、本実験の標本サイズは小さいため、ASD 特性と刺激の検出パフォーマンス間の関係性を検討するためには更なる研究を行う必要があるだろう。

表 3-2 検出閾および鋭敏性と青年成人感覚プロファイルの下位尺度得点間の相関

		低登録	感覚探求	感覚過敏	感覚回避	合計過敏性
検出閾						
ASD	40 Hz	R = -0.47 P = 0.14 Power (1-β) = 0.32	R = 0.25 P = 0.46 Power (1-β) = 0.11	R = -0.36 P = 0.27 Power (1-β) = 0.19	R = -0.61 P = 0.04 Power (1-β) = 0.56	R = -0.44 P = 0.18 Power (1-β) = 0.28
	200 Hz	R = -0.18 P = 0.14 Power (1-β) = 0.08	R = 0.37 P = 0.29 Power (1-β) = 0.02	R = -0.31 P = 0.38 Power (1-β) = 0.15	R = -0.42 P = 0.22 Power (1-β) = 0.26	R = -0.49 P = 0.14 Power (1-β) = 0.36
定型 発達	40 Hz	R = -0.003 P = 0.99 Power (1-β) = 0.05	R = 0.59 P = 0.05 Power (1-β) = 0.52	R = 0.08 P = 0.82 Power (1-β) = 0.06	R = -0.03 P = 0.92 Power (1-β) = 0.05	R = 0.02 P = 0.96 Power (1-β) = 0.05
	200 Hz	R = -0.06 P = 0.71 Power (1-β) = 0.05	R = 0.48 P = 0.12 Power (1-β) = 0.35	R = -0.06 P = 0.85 Power (1-β) = 0.05	R = -0.06 P = 0.87 Power (1-β) = 0.05	R = -0.07 P = 0.85 Power (1-β) = 0.05
鋭敏性						
ASD	40 Hz	R = 0.3 P = 0.37 Power (1-β) = 0.15	R = -0.27 P = 0.43 Power (1-β) = 0.12	R = -0.09 P = 0.79 Power (1-β) = 0.06	R = 0.29 P = 0.38 Power (1-β) = 0.14	R = 0.2 P = 0.56 Power (1-β) = 0.09
	200 Hz	R = -0.04 P = 0.91 Power (1-β) = 0.05	R = 0.003 P = 0.99 Power (1-β) = 0.05	R = -0.52 P = 0.12 Power (1-β) = 0.39	R = -0.4 P = 0.25 Power (1-β) = 0.24	R = -0.49 P = 0.15 Power (1-β) = 0.35
定型 発達	40 Hz	R = 0.3 P = 0.37 Power (1-β) = 0.15	R = -0.27 P = 0.43 Power (1-β) = 0.12	R = 0.09 P = 0.79 Power (1-β) = 0.06	R = 0.29 P = 0.38 Power (1-β) = 0.14	R = 0.2 P = 0.56 Power (1-β) = 0.09
	200 Hz	R = 0.28 P = 0.13 Power (1-β) = 0.71	R = 0.29 P = 0.38 Power (1-β) = 0.14	R = -0.09 P = 0.8 Power (1-β) = 0.06	R = -0.2 P = 0.56 Power (1-β) = 0.09	R = 0.08 P = 0.81 Power (1-β) = 0.06

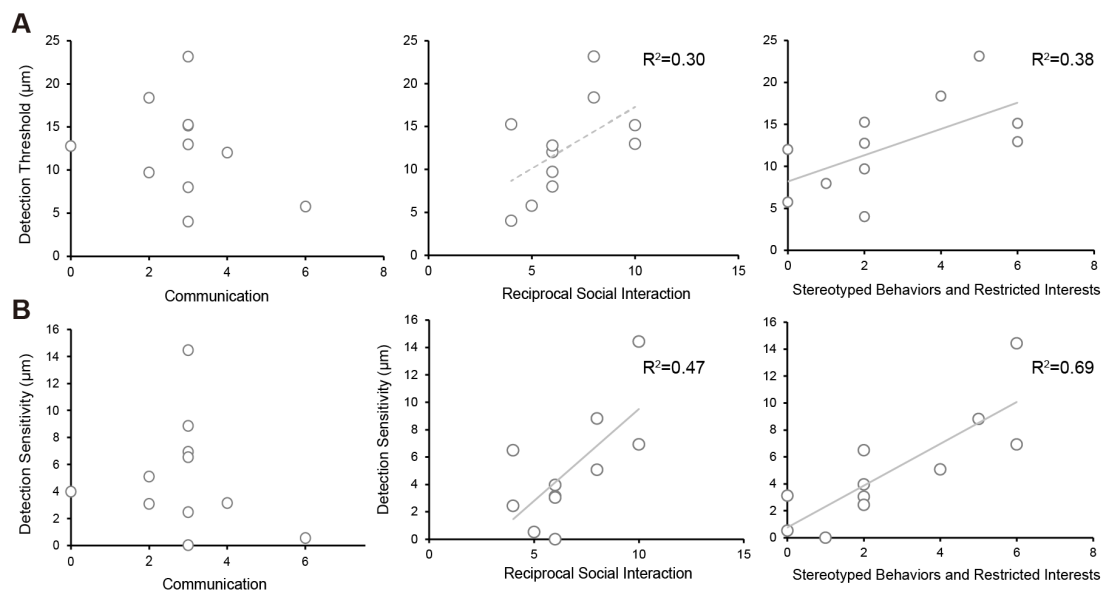


図 3-2 ASD 群における Autism Diagnostic Observation Schedule Second Edition (ADOS-2) の下位尺度得点と 200 Hz 刺激に対する検出閾（上）および鋭敏性間の散布図（下）。実線は有意な相関を，破線は有意傾向のある相関を表す（Ide et al., 2019 より転載）

表 3-3 ASD 群における検出閾および鋭敏性と Autism Diagnostic Observation Schedule, Second Edition (ADOS-2) 得点間の相関

	言語と意思伝達	相互的対人関係	常同的行動と限局的興味
<b>検出閾</b>			
40 Hz	R = -0.25 P = 0.40 Power (1-β) = 0.12	R = 0.45 P = 0.44 Power (1-β) = 0.11	R = -0.35 P = 0.24 Power (1-β) = 0.18
200 Hz	R = -0.31 P = 0.30 Power (1-β) = 0.15	R = 0.54 P = 0.08 Power (1-β) = 0.43	R = 0.66 P = 0.04 Power (1-β) = 0.66
<b>鋭敏性</b>			
40 Hz	R = -0.17 P = 0.62 Power (1-β) = 0.08	R = 0.05 P = 0.9 Power (1-β) = 0.52	R = 0.27 P = 0.42 Power (1-β) = 0.12
200 Hz	R = -0.17 P = 0.61 Power (1-β) = 0.08	R = 0.64 P = 0.02 Power (1-β) = 0.71	R = 0.82 P = 0.001 Power (1-β) = 0.94



### 3.3 ASD 者の時間順序判断における時間情報処理と感覚過敏性・鈍麻性の関係性（実験Ⅱ）

#### 目的

ASD 者は、感覚過敏性の代表的な症状である蛍光灯のフリッカーの知覚が報告されているように時間処理精度の特異性が知られているものの(Falter et al., 2013; Tommerdahl et al., 2008), 感覚過敏性・鈍麻性との関係性は検討されてこなかった。本実験では触覚の振動刺激を用いた時間順序判断課題を用いて、ASD 者の示す時間分解能を測定し、感覚過敏性・鈍麻性との関係性を明らかにすることを目的とした。

#### 方法

##### 実験参加者

実験参加者の属性を表 3-4 に示した。ASD の被診断者 13 名（男性 11 名，女性 2 名），定型発達者 13 名（男性 9 名，女性 4 名）を対象とした。平均年齢は ASD 群が 19.1 歳（14～27 歳），定型発達群が 21.2 歳（16～32 歳）であった。実験参加者の IQ を WAIS-III により推定した（ひとりの実験参加者は児童向けウェクスラー式知能検査（Wechsler Intelligence Scale for Children-Fourth Edition: WISC-IV）により測定）。言語性 IQ および動作性 IQ には両群に差がないことを確認したが（言語性 IQ:  $t(23) = -1.89, p = 0.07$ , Cohen's  $d = 0.75$ , 動作性 IQ:  $t(23) = -1.09, p = 0.29$ , Cohen's  $d = 0.43$ ），全検査 IQ では有意な差が認められた（ $t(23) = 2.07, p = 0.02$ , Cohen's  $d = 0.95$ ）。また，ASD 群に関して，作業療法士が ADOS-2 (Lord et al., 2012) を用いて ASD の症状の程度を確認した。実験手続きは国立障害者リハビリテーションセンター倫理審査委員会の承認を受けて実施した (29-145)。すべての実験参加者には，十分に研究手続きについて説明したのちに，インフォームドコンセントを得た。

##### 装置

触覚刺激の提示にはソレノイド振動子を用いた (FR-2007-2 $\alpha$ , Uchida Denshi)。ヘッドホン (HD380PRO, SENNHEISER) を通してホワイトノイズを提示した。実験参加者はキーボードのキー押しによって課題に回答した。また，感覚過敏性・鈍麻性の測定のために，AASP(Brown et al., 2001)を使用した。触覚刺激の振幅の変位量の測定にはレーザー変位計を用いた (LKG15, KEYENCE)。

##### 刺激

両手人差し指の腹側に，触覚刺激として変位量 2  $\mu\text{m}$  の振動刺激を 50 ms 提示した。左右に提示する振動の刺激間の時間間隔 (stimulus onset asynchronies: SOA) は  $\pm 15, 30, 60, 120, 240$  ms とした（負の値は右手に先に振動が提示され，正の値は右手に後に振動

表 3-4 実験Ⅱの実験参加者の属性

	ASD	定型発達
性別（男：女）	11：2	9：4
年齢（範囲）	19.1 (14-27)	21.2 (16-31)
言語性 IQ（範囲）	109.8 (76-134)	120.7 (91-147)
動作性 IQ（範囲）	101.5 (87-120)	107.5 (82-129)
全検査 IQ（範囲）	103.5 (85-127)	118.3 (95-134)

が提示されたことを表す)。先行研究で周波数による実験参加者の反応の違いが報告されているため(Blakemore et al., 2006), 200 Hz と 40 Hz の振動刺激を用いた。

#### 手続き

実験課題：実験参加者には左右の手の人差し指を振動子の上に置き、中指でキー押しをするよう教示した。各 SOA 条件は 12 回繰り返され、周波数ごとに 120 試行（合計 240 試行）を行った。試行間の間隔は 1.5 s～2.5 s の間でランダムに割り当てられた。実験参加者はどちら側の刺激が後に提示されたかを、なるべく早く回答するように求められた（図 3-3A）。回答までの反応時間が 5000 ms を超えた場合および、2 番目の刺激が提示される前に反応した場合には、その反応は分析から除外され、同一条件の試行を追加した。

感覚過敏性・鈍麻性の測定：AASP 質問紙を用いて測定を行なった。なお、ASD 群と定型発達群間の得点の違いはいずれの下位尺度と合計過敏性（感覚過敏と感覚回避得点の合；Cascio et al., 2008）においてともに見られなかった（低登録： $t(24) = 1.55, p = 0.13$ , Cohen's  $d = 0.61$ ；感覚探求： $t(24) = -0.18, p = 0.86$ , Cohen's  $d = 0.07$ ；感覚過敏： $t(24) = -0.43, p = 0.67$ , Cohen's  $d = 0.17$ ；感覚回避： $t(24) = 0.32, p = 0.75$ , Cohen's  $d = 0.13$ ；合計過敏性： $t(24) = -0.07, p = 0.94$ , Cohen's  $d = 0.03$ ）。

#### データ分析

各実験参加者について、反応を SOA ごとに並びかえ、各 SOA における右側が後だと回答した割合を算出した。この回答曲線をガウス累積密度関数(Yamamoto & Kitazawa, 2001) にフィッティングした。フィッティングには MATLAB 上の optimization toolbox を使用した。84 %の割合で正しく回答できた SOA の値を時間分解能とした。

#### 結果・考察

時間分解能に ASD 群と定型発達群間の違いが見られるかどうか確認したところ、有意な群差は見られなかった( $F(1, 24) = -0.32, p = 0.57$ , partial  $\eta^2 = 0.01$ ；図 3-3B)。したがって、先行研究と同様に(Puts et al., 2014), 平均して時間分解能には ASD の特異性はないと示唆された。また、有意な周波数の主効果( $F(1, 24) = -0.04, p = 0.85$ , partial  $\eta^2 = 0.002$ ) ならびに群と周波数の交互作用( $F(1, 24) = -0.03, p = 0.87$ , partial  $\eta^2 = 0.001$ ) は見られなかった。

時間分解能と AASP 得点間の相関分析を行った（図 3-4）。ASD 群において、時間分解能と AASP 下位尺度のうち、感覚過敏性を表す下位尺度得点との負の相関が 40 Hz 条件（感覚過敏得点： $r = -0.68, p = 0.01$ , power  $(1-\beta) = 0.97$ ；感覚回避得点： $r = -0.81, p = 0.001$ , power  $(1-\beta) = 0.997$ ；合計過敏性得点： $r = -0.77, p = 0.002$ , power  $(1-\beta) = 0.92$ ）および 200 Hz 条件（感覚過敏得点： $r = -0.63, p = 0.02$ , power  $(1-\beta) = 0.95$ ；感覚回避得点： $r = -0.75, p = 0.003$ , power  $(1-\beta) = 0.99$ ；合計過敏性得点： $r = -0.72, p = 0.01$ , power  $(1-\beta) = 0.85$ ）で見ら

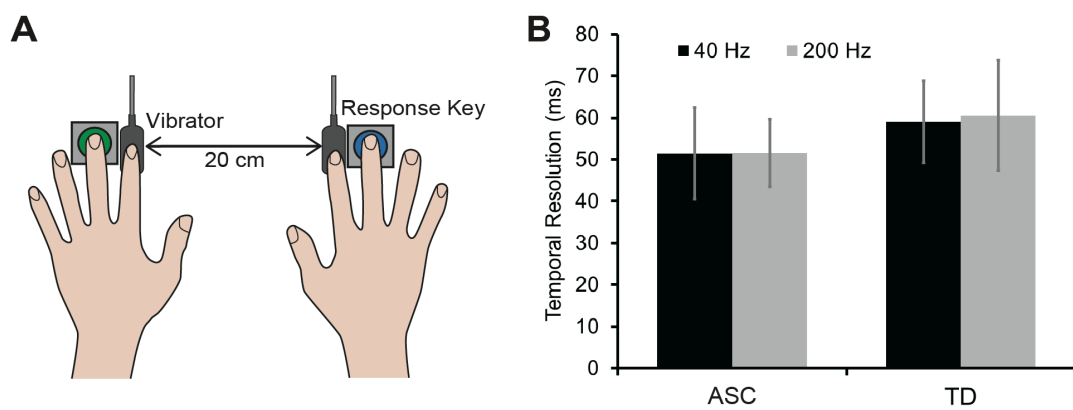


図 3-3 (A) 時間順序判断課題の模式図 (B) 各群の平均時間分解能。エラーバーは標準誤差を表す (Ide et al., 2019 より転載)。

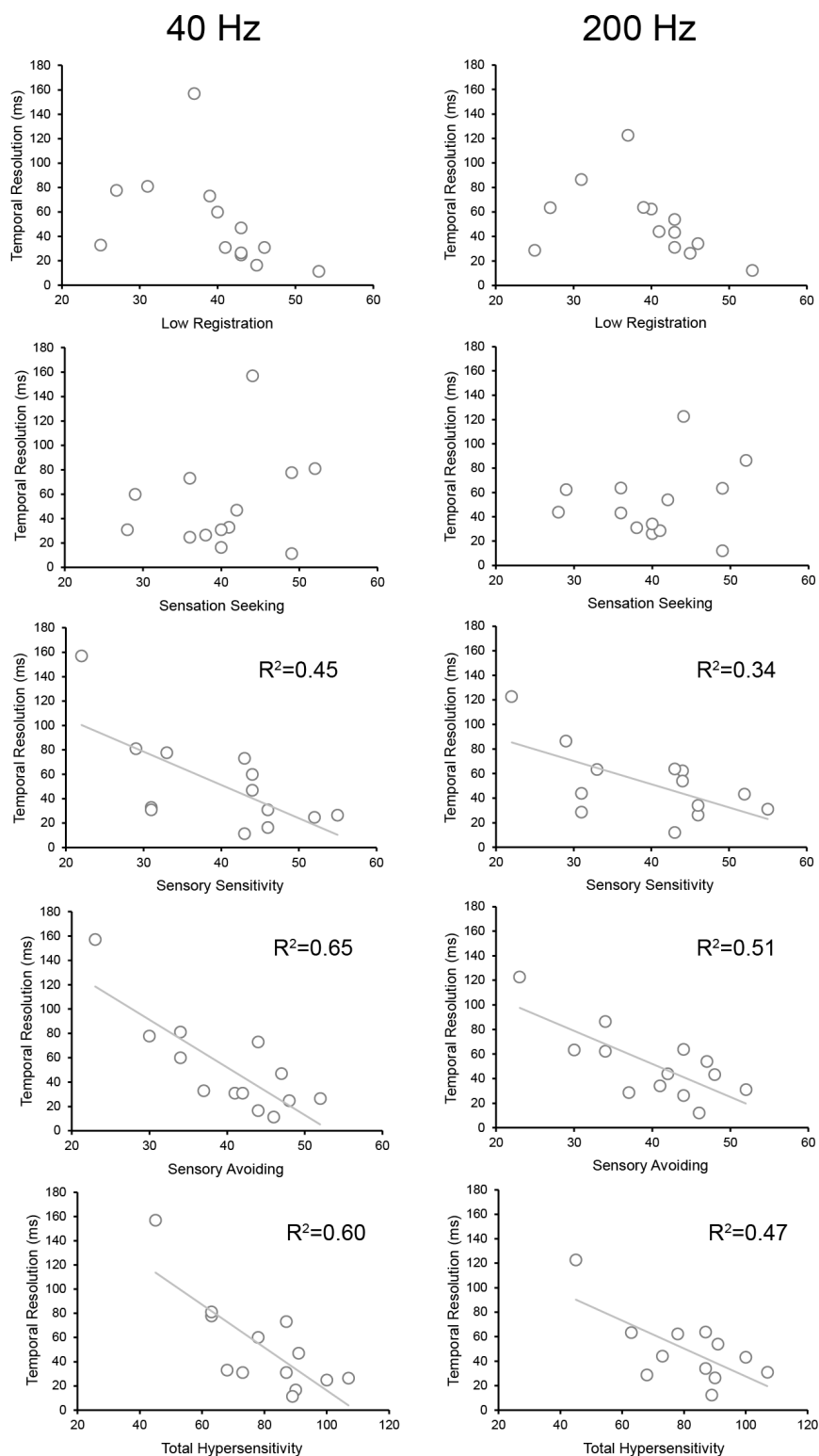


図 3-4 ASD 群における時間分解能と青年・成人感覚プロフィール (AASP) 得点間の散布図。左側が 40 Hz, 右側が 200 Hz 条件を表す。実線は有意な相関を表す (Ide et al., 2019 より転載)。

れた。一方、AASP 下位尺度のうち、感覚鈍麻性に関する下位尺度得点との有意な相関は見られなかった（低登録：40 Hz： $r = -0.45$ ,  $p = 0.12$ ,  $\text{power}(1-\beta) = 0.67$ ；200 Hz： $r = -0.43$ ,  $p = 1.57$ ,  $\text{power}(1-\beta) = 0.73$ ；感覚探求：40 Hz： $r = 0.24$ ,  $p = 0.41$ ,  $\text{power}(1-\beta) = 0.43$ ；200 Hz： $r = 0.17$ ,  $p = 0.58$ ,  $\text{power}(1-\beta) = 0.089$ ）。また、定型発達群では時間分解能と AASP 得点間のいかなる有意な相関も見られなかった（表 3-5）。さらに、ASD 群において、時間分解能と ADOS-2 得点間の相関は見られなかった（表 3-6）。

先行研究では、ASD 者の示す触覚刺激に対する時間処理特性に関して、個人差が大きいことが示されてきた。時間処理が感覚過敏性・鈍麻性に結びつくと考えられることから、ASD の個人の持つ時間分解能と感覚過敏性・鈍麻性の重症度との関係性を検討した。その結果、ASD 群内で、高い時間分解能を持つほど様々な刺激に対して過敏性を強く示すことが見出された。一定の知覚周期内で提示された刺激はひとまとまりの刺激として知覚されることが知られている(Samaha & Postle, 2015)。ASD 者では抑制性の神経活動が減少していることから(Cellot & Cherubini, 2014; Pizzarelli & Cherubini, 2011)、この知覚周期が上昇している可能性がある。これにより、短い時間差で提示された刺激であっても、それらを区別することができ、高い時間分解能を示すと仮定できる。このような知覚的な処理周期の上昇が ASD 者の示す感覚過敏性の基盤である可能性が示唆された。

本実験のデータは刺激に対する時間処理特性が自己評定した感覚過敏性・鈍麻性の程度と関連することを示した最初のデータである。このような知覚パフォーマンスの個人差が感覚過敏性の重症度の連続性を表すと考えられる。定型発達者では児童期から青年期にかけて時間分解能の向上が見られることから(Stevenson, Baum, Krueger, Newhouse, & Wallace, 2017)、ASD 者においても青年期までに時間分解能の過剰な上昇が見られる可能性がある。ASD 児（平均 10.08 歳）を対象とした研究では ASD 児と定型発達児の時間分解能に差が無いことが報告されているが(Puts et al., 2014)、他の研究では ASD 児（平均 11.8 歳）は定型発達児よりも時間分解能が低下していることが報告されている(Wada et al., 2014)。本実験では青年から成人の ASD 者（平均 19.1 歳）を対象としたが、発達に伴う時間分解能の変化が生じるか否かの違いが、実験参加者群内の個人差に寄与した可能性が考えられる。

本実験では時間分解能と AASP のうち感覚過敏性に関わる下位尺度（感覚鈍麻性に関わる下位尺度ではなく）との関係性を発見した。これらのことから、日常生活上で AASP に含まれるような視覚、聴覚、体性感覚、嗅覚、味覚からの感覚情報が与えられた時に、触覚の時間処理特性がそれらの刺激に対する感覚過敏性と関連することが示唆された。

表 3-5 時間分解能と青年・成人感覚プロフィールの下位尺度得点間の相関

		低登録	感覚探求	感覚過敏	感覚回避	合計過敏性
ASD	40 Hz	R = -0.45 P = 0.12 Power (1-β) = 0.35	R = 0.25 P = 0.41 Power (1-β) = 0.13	R = -0.68 P = 0.01 Power (1-β) = 0.77	R = -0.81 P = 0.00006 Power (1-β) = 0.96	R = -0.77 P = 0.002 Power (1-β) = 0.92
	200 Hz	R = -0.43 P = 0.14 Power (1-β) = 0.32	R = 0.17 P = 0.02 Power (1-β) = 0.09	R = -0.63 P = 0.02 Power (1-β) = 0.69	R = -0.75 P = 0.003 Power (1-β) = 0.9	R = -0.72 P = 0.005 Power (1-β) = 0.85
定型 発達	40 Hz	R = 0.35 P = 0.24 Power (1-β) = 0.22	R = -0.25 P = 0.41 Power (1-β) = 0.13	R = 0.2 P = 0.52 Power (1-β) = 0.1	R = -0.005 P = 0.99 Power (1-β) = 0.05	R = 0.28 P = 0.34 Power (1-β) = 0.16
	200 Hz	R = 0.28 P = 0.36 Power (1-β) = 0.15	R = 0.48 P = 0.1 Power (1-β) = 0.39	R = 0.35 P = 0.23 Power (1-β) = 0.22	R = -0.23 P = 0.45 Power (1-β) = 0.12	R = -0.06 P = 0.85 Power (1-β) = 0.05

表 3-6 ASD 群における時間分解能と Autism Diagnostic Observation Schedule, Second Edition (ADOS-2) 得点間の相関

	言語と意思伝達	相互的対人関係	常同的行動と限局的興味
40 Hz	R = -0.25 P = 0.4 Power (1-β) = 0.13	R = 0.25 P = 0.44 Power (1-β) = 0.13	R = 0.35 P = 0.24 Power (1-β) = 0.22
200 Hz	R = -0.31 P = 0.3 Power (1-β) = 0.18	R = 0.15 P = 0.64 Power (1-β) = 0.08	R = 0.22 P = 0.47 Power (1-β) = 0.11

### 3.4 時間的加重による知覚印象の増加と時間分解能、感覚過敏性・鈍麻性との関係性の検討（実験Ⅲ）

#### 目的

これまで感覚過敏性・鈍麻性の個人差には刺激提示に対する高い（低い）感度が関わっていると慣習的に考えられてきた。しかし、ASD 者の検出感度に関する研究では結果の一貫性が低いことに加えて(Blakemore et al., 2006; Cascio et al., 2008; Güçlü et al., 2007; Puts et al., 2014), 本研究の実験 I では AASP 質問紙で測定した感覚過敏性・鈍麻性の特徴と触覚刺激に対する検出閾との関係性は見られず、また同様に視覚刺激に対する検出閾との関係性が見られないとする報告もある(Schulz & Stevenson, 2019)。

刺激に対する知覚印象を増加させるメカニズムとして、時間処理もまた重要な要因となるだろう。実験Ⅱでは ASD 群内において TOJ を用いて測定した時間分解能が感覚過敏性の重症度と関連することが示されたことから、高い時間分解能を持つ人ほど、感覚過敏性が強く生じやすいという仮説を立てることができた。

しかしながら、時間分解能が感覚過敏性と関連するメカニズムに関する詳細な説明はまだなされていない。ASD に関連する感覚・運動の障害の根幹には脳内の抑制機能の特異性があると考えられており(Foss-Feig et al., 2017; Gaetz et al., 2014; Sapey - Triomphe, Lambertson, Sonié, Mattout, & Schmitz, 2019; Umesawa et al., 2020), またそのような抑制機能の低下が見られる ASD モデルマウスを対象とした研究では、神経の発火頻度の上昇が安静時(Peixoto et al., 2016)や、触覚刺激(Zhang et al., 2014), 聴覚刺激(Rotschafer & Razak, 2013)を提示した際に生じることが知られている。これらのことから、ASD 者では刺激入力に対する神経の発火頻度が上昇しており、高い発火頻度が主観的な刺激強度の増加させることが推測できる（時間的加重; Barlow, 1972）。このような刺激の強度印象の強まりの背景として、神経の発火頻度の上昇に伴い、刺激に対する処理頻度が高まることが仮定でき、それが高い時間分解能を生じさせているのではないだろうか。この仮説が正しければ、時間分解能が高い人は短い提示時間の刺激であっても、その刺激を高い頻度で処理し、その分だけ刺激強度を強く感じるだろう。

本実験では3つの疑問を検証することを目的とした。まず、第一の疑問は高い時間分解能を持つ ASD 者はより短い提示時間で提示された閾値付近の強度の刺激であっても検出できるだろうか、第二の疑問はそのような短い提示時間の刺激に対する検出感度の高さが AASP で測定した日常における感覚過敏性と関連するだろうか、第三の疑問は実験Ⅱで示された時間分解能と感覚過敏性との関係性が再現されるだろうか、である。この目的のために、2つの実験課題（検出可能な刺激の提示時間の測定と時間分解能の測定）を含む検証を実施した。

#### 方法

##### 実験参加者



表 3-7 実験Ⅲの実験参加者の属性

	ASD	定型発達
性別（男：女）	12：4	5：10
年齢（範囲）	20.87 (16-25)	19.40 (16-25)
言語性 IQ（範囲）	107.63 (70-134)	113.38 (94-136)
動作性 IQ（範囲）	96.50 (74-120)	107.38 (78-129)
全検査 IQ（範囲）	103.06 (76-132)	111.93 (85-130)

一人の定型発達の実験参加者の IQ は未取得である。

実験参加者の属性は表 3-7 に示した。ASD の被診断者 16 名（男性 12 名，女性 4 名），定型発達者 15 名（男性 5 名，女性 10 名）を対象とした。平均年齢は ASD 群が 20.87 歳（16～25 歳），定型発達群が 19.40 歳（16～25 歳）であった。実験参加者の IQ を WAIS-III または WISC-IV により評定し，言語性 IQ と全検査 IQ には両群ともに差がなかったが（言語性 IQ： $t(28) = -0.98, p = 0.34$ , Cohen's  $d = -0.36$ ，全検査 IQ： $t(28) = -1.62, p = 0.12$ , Cohen's  $d = -0.59$ ），動作性 IQ は ASD 群の方が有意に低いことが示された( $t(28) = -2.12, p = 0.04$ , Cohen's  $d = -0.78$ )。なお実験手続きは国立障害者リハビリテーションセンター倫理審査委員会の承認を受けて実施した（29-145）。すべての実験参加者には，十分に研究手続きについて説明したのちに，インフォームドコンセントを得た。

### 装置

左手の人差し指の腹側にピエゾ振動子（S-16023a，竹井機器工業）を通して振動刺激を提示した。振動の振幅の測定にはレーザー変位計（LKG15, KEYENCE）を使用した。ヘッドホン（QuietComfort 25, BOSE）を通してホワイトノイズを提示した。実験参加者はキーボードのキー押しによって課題に回答した。また，感覚過敏性・鈍麻性の測定のために，AASP(Brown et al., 2001)を使用した。

### 刺激

時間的加重による強度印象の変化の測定：触覚刺激として 50 Hz の振動刺激を用いた。刺激の強度を操作する課題の際には 500 ms の提示時間の刺激を 0, 1, 5, 9, 13, 17, 21  $\mu\text{m}$  の振幅で提示した。刺激の提示時間を操作する課題では 50, 100, 200, 400, 600, 800, 1000 ms の刺激を用いて，刺激の振幅は実験参加者ごとに前述の課題で算出した検出閾の値を採用した。またキャッチトライアルとして，刺激を提示しない条件を設け，実験参加者に対する回答の合図となる音が提示されるまでの時間的な間を刺激の提示時間と同様に操作した（50, 100, 200, 400, 600, 800, 1000 ms）。

時間分解能の測定（ギャップ検出課題）：左手の人差し指の腹側に 50 Hz の振動刺激を 2 回続けて提示した。2 振動間の刺激間隔（inter-stimulus interval：ISI）は 10, 40, 70, 100, 130, 160 ms とした。各条件において，一回目の振動の提示始めから，二回目の振動の提示終わりまでの時間を 400 ms にそろえた。またキャッチトライアルとして，400 ms の振動を一度提示する条件を設けた。

### 手続き

時間的加重による刺激の強度印象の測定：左手人差し指に振動刺激を提示し，刺激の検出課題を行った。まず，刺激の強度を操作する課題を実施し，その回答をシグモイド関数に当てはめ 75% の割合で刺激を検出できる振幅の値を，刺激強度に対する検出閾とした。各条件は 12 回繰り返され（0  $\mu\text{m}$  条件のみ 28 回），合計 112 試行を行った。試行間の間隔は 1.5

s~2.5 s の間でランダムに割り当てられた。次に、刺激の提示時間を操作した刺激の検出課題を行った。刺激の強度は各実験参加者について算出した検出閾の値とした。実験参加者は合図の音が提示されたら、振動が提示されたかどうかをキー押しにて回答した。各条件は 12 回繰り返され、合計 196 試行を行った。試行間の間隔は 1.5 s~2.5 s の間でランダムに割り当てられた。

時間分解能の測定（ギャップ検出課題）：ギャップ検出課題を実施した(Humes, Busey, Craig, & Kewley-Port, 2009)。実験参加者には振動が提示された回数（一回または二回）をキー押しにて回答するように教示した。各 ISI 条件は 14 回繰り返され、合わせて 84 試行行われた。加えてキャッチトライアルを 84 試行行なったため、合計 168 試行行われた。試行間の間隔は 1.5 s~2.5 s の間でランダムに割り当てられた。

感覚過敏性・鈍麻性の測定：AASP 質問紙を用いて測定を行なった。低登録、感覚過敏、感覚回避得点において ASD 群は定型発達群よりも高い得点を示した（低登録： $F(1, 27) = 6.57, p = 0.01, \text{partial } \eta^2 = 0.20$ ；感覚探求  $F(1, 27) = 0.05, p = 0.82, \text{partial } \eta^2 = 0.002$ ；感覚過敏： $F(1, 27) = 6.95, p = 0.01, \text{partial } \eta^2 = 0.20$ ；感覚回避： $F(1, 27) = 14.65, p = 0.0002, \text{partial } \eta^2 = 0.35$ ）。

#### データ分析

時間的加重による刺激の強度印象の測定：刺激の提示時間を操作した検出課題における回答を提示時間ごとに並び替え、指数関数へ当てはめた。75%の割合で刺激を検出できる提示時間の値を提示時間に対する検出閾（可知提示時間）とした。

時間分解能の測定（ギャップ検出課題）：各実験参加者の回答を ISI 条件ごとに並び替え、シグモイド関数にフィッティングした(Wichmann & Hill, 2001)。75%の割合で振動の提示回数を正しく回答できた割合を時間分解能とした。

#### 結果・考察

可知提示時間に ASD 群と定型発達群との群差が見られるか検討したところ、有意な差は見られなかった ( $t(29) = 0.76, p = 0.45, \text{Cohen's } d = 0.11$ )。時間分解能についても ASD 群と定型発達群間の違いが見られるか検討したが、有意な差は確認できなかった ( $t(29) = 0.74, p = 0.47, \text{Cohen's } d = 0.28$ )。

時間分解能と可知提示時間との間の相関分析を実施したが、両群ともに有意な相関は見られなかった (ASD 群,  $r = 0.09, p = 0.73, \text{power } (1 - \beta) = 0.06$ ；定型発達群,  $r = 0.43, p = 0.11, \text{power } (1 - \beta) = 0.40$ )。

可知提示時間と AASP 得点間の相関分析を行ったところ、ASD 群、定型発達群ともに有意な相関は見られなかった (ASD 群, 低登録： $r = 0.02, p = 0.95, \text{power } (1 - \beta) = 0.05$ ；感覚探求： $r = -0.27, p = 0.32, \text{power } (1 - \beta) = 0.17$ ；感覚過敏： $r = 0.26, p = 0.34, \text{power } (1 - \beta) = 0.16$ ；感覚回避： $r = 0.21, p = 0.44, \text{power } (1 - \beta) = 0.12$ ；定型発達群, 低登録： $r = 0.001, p =$

0.997, power  $(1 - \beta) = 0.05$  ; 感覚探求 :  $r = -0.23, p = 0.41, \text{power}(1 - \beta) = 0.13$  ; 感覚過敏 :  $r = 0.09, p = 0.76, \text{power}(1 - \beta) = 0.06$  ; 感覚回避 :  $r = 0.16, p = 0.58, \text{power}(1 - \beta) = 0.09$  )。したがって、短い提示時間の刺激に対する検出感度の高さは感覚過敏性とは関係しないことが示唆された。

時間分解能と AASP 得点との関係性について相関分析を行った (図 3-5)。ASD 群において、AASP のうち感覚過敏性に関する下位尺度得点との有意な負の相関が見られたが (感覚過敏 :  $r = -0.63, p = 0.01, \text{power}(1 - \beta) = 0.79$  ) ; 感覚回避 :  $r = -0.68, p = 0.003, \text{power}(1 - \beta) = 0.88$  )、定型発達群では同様の相関は見られなかった (感覚過敏 :  $r = 0.13, p = 0.65, \text{power}(1 - \beta) = 0.06$  ) ; 感覚回避 :  $r = -0.04, p = 0.90, \text{power}(1 - \beta) = 0.06$  )。また、感覚鈍麻性に関する AASP 下位尺度得点との有意な相関は ASD 群 (低登録 :  $r = -0.52, p = 0.04, \text{power}(1 - \beta) = 0.57$  ; 感覚探求 :  $r = -0.15, p = 0.58, \text{power}(1 - \beta) = 0.08$  ) および定型発達群 (低登録 :  $r = -0.29, p = 0.30, \text{power}(1 - \beta) = 0.12$  ; 感覚探求 :  $r = -0.43, p = 0.11, \text{power}(1 - \beta) = 0.38$  ) において見られなかった。このことから、ASD 者では時間分解能が高い者ほど感覚過敏性を強く示すことが示唆された。

本実験では高い時間分解能が感覚過敏性を生じさせるメカニズムとして、高い時間分解能を持つ者は高頻度で刺激の処理を行うため、刺激入力の時間的加重が生じやすく、刺激の主観的強度を強く感じると仮説を立てた。その仮説を検証するため 3 つの疑問 (1. 高い時間分解能を持つ ASD 者はより短い提示時間で提示された閾値付近の強度の刺激を検出できるか、2. 短い提示時間の刺激に対する検出感度の高さが AASP で測定した日常における感覚過敏性と関連するか、3. 実験 II で示された時間分解能と感覚過敏性との関係性が再現されるか) を設定し、刺激の提示時間に対する検出課題とギャップ検出課題から検討を行った。第 1、第 2 の疑問に関して、可知提示時間は時間分解能や感覚過敏性の度合いと関連しなかった。一方、第 3 の疑問に関しては実験 II と一致して、ギャップ検出課題を用いた場合にも、高い時間分解能を持つ ASD 者ほど感覚過敏性をより重度に持つことが示された。

実験 II では TOJ 課題を使用し時間分解能を測定したが、本実験でも同様の関係性が見られたため、この関係性は時間分解能を測定する実験課題の違いに関係なく生じることが示唆された。人間の時間処理について、知覚/認知段階における異なる処理段階の存在が仮定されており、時間処理の 2 段階モデルが提案されている (Jaśkowski, 1991)。すなわち、第一段階は同時性センターと呼ばれ、感覚刺激が同時か非同時か判断する。第二段階は順序センターと呼ばれ、非同時だと判断された感覚刺激について、その順序を判断する。ギャップ検出課題が第一段階のみを必要とすると推測できることに対して、TOJ 課題では第一段階と第二段階を必要とするだろう。それを裏付けるように、機能的磁気共鳴画像法

(functional magnetic resonance imaging: fMRI) を用いた研究では、第一段階のみを必要とする同時性判断課題中には島皮質や被殻といった比較的低次の処理に関係する脳領域で活動が見られるが (Kimura et al., 2019; Miyazaki et al., 2016)、TOJ 課題中には両側の前頭・頭頂皮

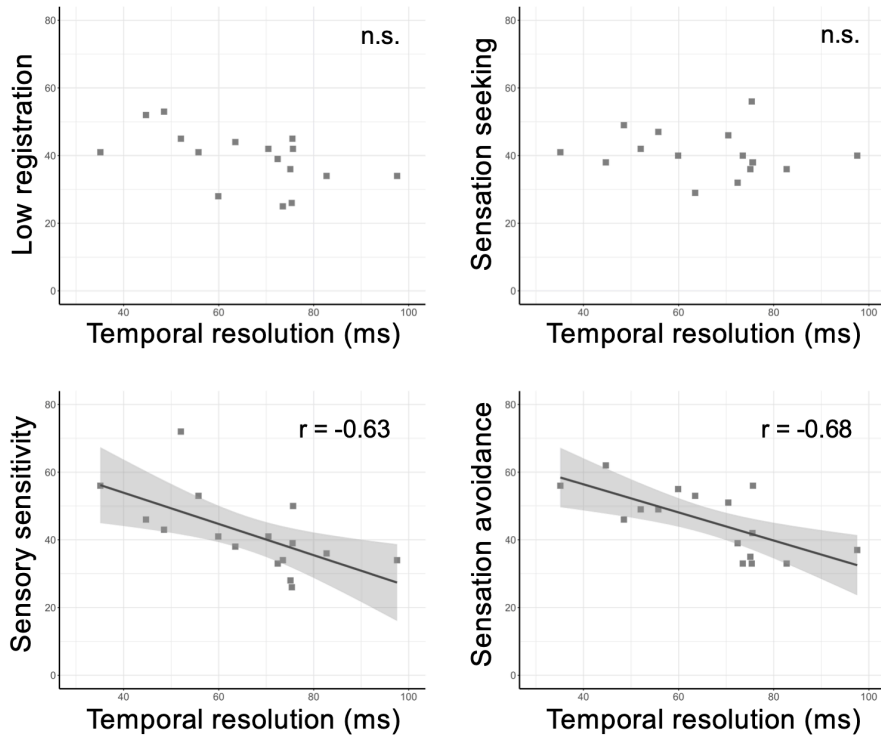


図 3-5 ASD 群における時間分解能と青年・成人感覚プロフィール得点間の散布図。感覚過敏および感覚回避において有意な相関が見られた。

質を含むより高次な脳領域での強い神経活動が観察されている(Binder, 2015; B. Davis, Christie, & Rorden, 2009; Takahashi, Kansaku, Wada, Shibuya, & Kitazawa, 2013)。したがって、実験Ⅱではより高次の時間処理特性が感覚過敏性と関連することが示されたと考えられるが、さらに本実験の知見と合わせて考えると、より低次の時間処理特性とそれを基礎とする高次の処理が、ともに感覚過敏性と関係する可能性が示唆された。

また、可知提示時間と時間分解能との有意な関係性は見られなかった。Puts et al. (2014) は ASD 児を対象に触覚の振動刺激を用いていくつかの実験課題を行なった。その中でも、刺激の強度に対する検出閾は定型発達児に比べて有意に高いが、時間分解能に関しては有意な群間差は見られなかった。このことから、検出閾と時間分解能は一方に特異性があればもう一方にも特異性が現れるといったような関係性があるものではなく、それぞれの特性は独立して現れると推測できる。本実験では刺激の提示時間という時間要素を操作した場合であっても刺激を検出する感度と時間分解能は関連性が薄い可能性が示唆されたと言える。

さらに、可知提示時間と感覚過敏性との関係性も観察されなかった。実験Ⅰでは刺激の強度を操作した場合の刺激の検出感度と感覚過敏性との関連性が見られなかったが、これと一貫した結果を示したと考えられる。近年の研究動向が示すように、刺激の検出の感度と日常における感覚過敏性・鈍麻性は同一のものではなく、両者は独立した概念であると考えられている(Schulz & Stevenson, 2019)。すなわち刺激への感度は刺激提示に気がつくかといった単純でより低次の処理特性を反映しており、感覚過敏性・鈍麻性は感覚刺激に対するより高次の認知側面(例えば、快/不快の感情や反応ストラテジーの決定)を反映しているだろう。このことから、可知提示時間という刺激の検出処理と関連する指標は感覚過敏性とは異なる処理側面を反映しているために、関係性が見られなかったと考えられる。実験Ⅰの知見と合わせて考えると、より小さな強度の刺激あるいは主観的な強度印象の小さな刺激を検出できる感度の高さと感覚過敏性の強さ間の結びつきは弱いことが示唆されたと言える。

本実験では、ギャップ検出課題を用いて測定された時間分解能が感覚過敏性に関連することを見出した一方で、刺激の提示時間を操作した場合でも刺激の検出感度は感覚過敏性と関連することを確認できなかった。したがって、時間分解能の個人差はその人の刺激の検出感度を変化させることはないが、時間分解能は刺激の検出感度よりも、感覚過敏性により重要な要素である可能性が示唆された。

### 3.5 考察

本章では ASD 者を対象に触覚の振動刺激に対する刺激の検出感度と時間分解能に注目した。まず、感覚過敏性・鈍麻性は刺激への検出感度が関連するとされた従来の説に反して、本研究では検出閾と感覚過敏性・鈍麻性との関係性は確認されず、また刺激の提示時間を操作して検出閾を測定した場合にも同様の結果であった。このことから、最近の研究動向と一致して(Schulz & Stevenson, 2019)、提示された刺激への気がつきやすさ(知覚特性)と刺激に対してどのような反応・行動をとるか(感覚過敏性・鈍麻性)は異なる感覚処理の要素であると示唆された。

また本研究で ASD 者の中では高い時間分解能を持つ者ほど感覚過敏性の症状を強く示すことが示され、その関係性は時間分解能を時間順序判断課題で測定した場合にもギャップ検出課題で測定した場合にも共通して確認された。したがって、新たに感覚過敏性は高い時間処理精度を基盤として生じている可能性が示唆された。

このような感覚過敏性と時間処理特性の関係性の背景にある神経メカニズムを考察すると、知覚的な処理を行うサイクルは神経オシレーションの周期によって調整され、それが刺激に対する時間処理の大きな個人差を生じさせていると考えられている。例えば、Samaha and Postle (2015)は刺激提示の直前に記録された  $\alpha$  帯の活動周期が視覚刺激のフリッカーの周波数を知覚する時間分解能を予測したことを報告した。神経の振動活動の周期が知覚的な処理のサイクルを反映していると推測されることから、時間分解能もまた知覚サイクルによって調整されると考えられる。脳磁図を使用した研究では、 $\alpha$  帯の活動周期から楔前部が時間順序判断課題を正確に行うために重要な脳部位だと示された(Takahashi & Kitazawa, 2017)。また時間順序判断には左腹側運動前野が重要な役割を持っているとされるが(Miyazaki et al., 2016)、ASD 者では左腹側運動前野でのガンマ-アミノ酪酸 (gamma-aminobutyric acid : GABA) 濃度が低下しているほど感覚過敏性をより重度に示すことが報告されている(Umesawa et al., 2020)。これらのことから、ASD 者では GABA の低下による抑制性の神経活動の減少(Cellot & Cherubini, 2014; Pizzarelli & Cherubini, 2011)が時間分解能に関わる脳領域でも生じており、それが知覚的な処理サイクルを上昇させ、その結果として、感覚過敏性の訴えにつながる可能性が考えられる。本研究では、感覚過敏性をより重度に示す ASD 者は高い時間分解能を持つことを明らかにし、時間処理を行う知覚的なサイクルが感覚過敏性の基盤となる神経メカニズムに関与している新たな証拠を提示することができた。

また実験 I では刺激への検出感度の鈍さが社会性やこだわり行動に関する中核症状の重症度と関連することが示された。刺激の検出感度の特異性は ASD 群内でも個人差が大きいと考えられる(Marco et al., 2011)。本実験のサンプルサイズは小さいため (ASD 者 11 名を対象)、特定の者にのみ見られる傾向を反映した結果である可能性が捨てきれない。異なる実験参加者を対象にしたり、多くの実験参加者を対象とした測定を行ったりなど、今後の追試・再検討の必要があるだろう。

本章では ASD 者の示す触覚刺激への検出感度と時間処理精度に関する検討から、感覚過敏性の症状の個人差の背景には、従来言われていた刺激への検出感度ではなく、高い時間処理精度が存在することを新たに示唆した。感覚過敏性の症状はその個人が刺激に対して抱く感情（例えば、快か不快か）やそれに基づく反応であるため、他者から理解されづらいという問題がある。そのメカニズムを解明することで、感覚過敏性への理解や支援方法への貢献が期待できる。



## 第四章 定型発達者の ASD 傾向と多感覚刺激への感度・時間処理との関係性の検討（研究 3）

### 4.1 目的

第三章では触覚刺激に着目し、感覚過敏性・鈍麻性や中核症状との関係性を検討し、触覚刺激に対する刺激の検出が鈍いほど社会性の困難さやこだわり行動といった中核症状の重症度と関連することが示された。ただし、この知見は限られたサンプル数での検討から得られたため、特定の者にのみ見られる個人差を反映した可能性がある。また先行研究では、刺激に対する感度の測定は複数の感覚モダリティに関して行われており、さらに検出閾だけでなく弁別閾についても注目がなされている(Marco et al., 2011)。このため、触覚の検出だけでなく、多面的な測定が必要だろう。また第三章では、時間処理精度と中核症状との関係性は見られなかった。しかし、視聴覚刺激に注目した場合には、その時間処理特性が社会コミュニケーションの困難さと関連すると考えられているため(Wallace, Woynaroski, & Stevenson, 2020)、時間処理の特異性が中核症状と関連しないとは言い切れず、感覚モダリティの違いを検討する必要があるだろう。したがって、第三章では解決されなかった点を解消するためには、大規模なサンプルを対象にすることで個人差の偏りを小さくし、さらに触覚だけでなく視覚や聴覚といった複数の感覚モダリティの知覚処理と ASD 中核症状との関係性を検討することが必要であると考えた。

以上の点を検証するために、定型発達者を対象とした検討が有効であると考えられる。ASD の特徴は診断を受けた人だけでなく、診断を受けていない定型発達者内でも見られ(Baron-Cohen, 1997; Frith, 1991)、定型発達者内でも個人により有する ASD の傾向の強さが連続的に変化すると考えられている(Baron-Cohen et al., 2001; Wheelwright et al., 2010; Woodbury-Smith et al., 2005)。診断の有無に関わらず個人の持つ ASD 特性の強さを簡便に測定するために、AQ が開発された(Baron-Cohen et al., 2001)。AQ は全 50 項目からなる質問紙であるが、その全ての項目の合計得点から総合的な中核症状の強さを測定できるだけでなく、5 つの下位尺度に分類することもできる。下位尺度はそれぞれ、新規な状況や社会的場面で適切な振る舞いをする事の難しさ（社会的スキル）・言語を介した他者とのやりとりの難しさ（コミュニケーション）・想像を働かせて事物や他者の意図を思い浮かべることの難しさ（想像性）・同一であることへのこだわりの強さ（注意の切り替え）・情報の大枠よりも特定の一部分にのみ注目する傾向（細部への注意）を表しており、それぞれの項目例を表 4-1 に示した。Palmer, Paton, Enticott, and Hohwy (2015)は広いサンプルを対象に、AQ の全項目を用いたクラスター分析を行った。その結果、社会性の得点が高いがこだわり行動に関する得点は低い群と、逆に社会性の得点が低いがこだわり行動に関する得点は高い群の 2 つのサブグループに分類されることが報告された。したがって定型発達の人々の中でも示す ASD 傾向の個人差が大きいことが示唆された。

このような定型発達者の ASD 傾向を対象とした研究を行うことで、より厳密で精緻な知覚特性の測定に基づく検討が行えると考えられる。まず、ASD 者の示す刺激への感度や視

聴覚統合に関する先行研究では(例えば Bertone et al., 2005; Blakemore et al., 2006; Foss-Feig et al., 2010; Kargas et al., 2015), ASD の実験参加者は限られた人数 (おおよそ 6 から 30 人) を対象とすることが多いなか, 定型発達者の場合には比較的によくの実験参加者を対象とすることが可能になり, より厳密に知覚特性と ASD 特性間の関係性を分析できると考えられる。また, 多数の試行にわたる実験課題は ASD 者にとって大きな負担となるため, 課題を完遂できなかつたり, 強い疲労が課題成績に影響を与えたりすると考えられるが, 定型発達者を対象とするとそのような疲労の影響を統制することができるだろう。例えば, 一般に ASD 者の低次な知覚特性に関する先行研究では階段法などの比較的負担の小さな課題が採用されることが多い (例えば Blakemore et al., 2006; Kargas et al., 2015; Cascio et al., 2008)。一方で, 定型発達者を対象とすると比較的多数の試行にわたる恒常法などの実験課題を完遂することができる。恒常法は特定の範囲の刺激をランダムな順番で提示することで提示される刺激の予想を立てられるといった順序効果を排除することが可能になる (Pellicano & Burr, 2012)。さらに恒常法を使用すると一つの実験課題から複数の指標を測定することができる。例えば, 刺激の検出課題および弁別課題であれば, 主観的等価点, 丁度可知差異, 切片など, 時間処理特性の測定課題であれば, 主観的同時点など, 実験参加者の知覚特性を複数の側面から観察することができたり, 反応バイアスの特性も推測したりできる。これらのことから恒常法を採用することでより精緻な測定が可能になると考えられる。さらに, 複数の測定を伴うような実験課題も多数の試行を含むため, ASD 者にとって大きな負担となるだろう。刺激への感度に関する先行研究では検出閾か弁別閾という異なる指標や, 視覚・聴覚・触覚という異なる感覚モダリティの特徴をそれぞれで検討している。これらの複数の測定を同時に同一人物に対して実施するような負担の比較的大きな実験課題を行うことも, 定型発達者を対象とすることで可能になる。このように定型発達者を対象とすることで, 複数の感覚モダリティの知覚処理をより精緻に測定し, さらにより個人差の偏りを小さくした上で, それらの知覚特性と ASD 中核症状との関係性を検討することに貢献できると考えた。

本研究では, 定型発達者のもつ ASD 傾向をもとに, 多感覚の刺激感度および時間処理特性と ASD 中核症状との関係性について検討を行った。ASD 傾向の程度は AQ を使用して測定し, 合計 AQ 得点だけでなく下位尺度得点に注目した。実験Ⅳでは視覚 (輝度), 聴覚 (音圧), 触覚 (振動強度) 刺激を操作し, 検出閾と弁別閾を測定した。実験Ⅴと実験Ⅵでは, 視聴覚統合によって生じる錯覚現象に注目し, それぞれで錯視の生起指標を測定した。AQ 得点と実験指標との関係性を検討することで, 特定の ASD 特性と多感覚情報処理特性との関係性を明らかにすることを目的とした。

表 4-1 自閉スペクトラム指数 (AQ) の項目例

下位尺度	項目例
社会的スキル (10 項目)	新しい友人を作ることは、苦手である。
コミュニケーション (10 項目)	会話をどのように続けたらいいのか、わからなくなってしまうことがよくある。
想像性 (10 項目)	何かを想像しようとするとき、その映像(イメージ)を簡単に思い浮かべることができる。(逆転項目)
注意の切り替え (10 項目)	同じことや、同じやりかたを、何度もくりかえすことが好きだ
細部への注意 (10 項目)	車のナンバーや時刻表の数字などといった一連の数字のような特に意味のない情報に注目する(こだわる)ことがよくある。
全 50 項目	

#### 4.2 定型発達者のASD傾向と視・聴・触覚刺激への検出・弁別感度との関係性の検討(実験IV)

##### 目的

ASDの人々が示す視・聴・触覚の処理特性について、ASDの中核症状と関連するという視点のもと様々な検討がなされている。例えば、Kargas et al. (2015) はASD者の中でこだわり行動の傾向が強い者ほど、聴覚刺激の音圧やピッチの弁別が優れていることを報告した。視覚からの情報の手がかりを見つける訓練をすることで、ASD児のコミュニケーション能力が向上することが知られている(Lal & Bali, 2007; Shane, 2006)。触覚に関しても、不快に感じる刺激(プラスチック製のメッシュ生地)が与えられた時の島皮質における脳活動の強さと相互的な対人関係に関する困難さが正の相関関係にあることが報告された(Cascio et al., 2012)。このように様々な感覚モダリティにおける特性がASDの中核症状と関連していると考えられる。

しかし、ASD者の示す刺激への検出・弁別感度の特異性に関して、先行研究間で知見が一貫していない(Marco et al., 2011)。例えば、ASD者は特異的な触覚処理のパターンを示すことが知られている(Cascio, 2010)。Blakemore et al. (2006)は指先に提示した振動刺激を提示し、その検出閾を測定した。その結果、ASD群は定型発達群と比べ、200 Hzの振動刺激に対する閾値が低く、感度が高いことが示された。一方、Puts et al. (2014)は25 Hzの刺激を提示した場合にASD者は定型発達者よりも高い閾値を示し、感度が低いことを報告した。33, 40, 250 Hzの刺激を指先や手のひらに提示した場合には、ASD群と定型発達群とで閾値の違いは無いとする研究もある(Cascio et al., 2008; Güçlü et al., 2007)。聴覚刺激への処理に関しても同様に検討がなされている(Haesen et al., 2011; Kellerman et al., 2005)。ASD群は定型発達群に比べ音圧の弁別閾が高いことが報告されている(Kargas et al., 2015)。一方、Jones et al. (2009)はASD群と定型発達群間に音圧の弁別閾の差は無いとした。視覚刺激に対する感度についてもASDの人々に特有な特徴が報告されており、一例としてBertone et al. (2005)は様々な明るさのコントラストがつけられた格子模様の視覚刺激を用いて、その傾き方向(左か右か)を判断させる課題を実施した。その結果、ASD群は定型発達群と比較して、より小さなコントラストの刺激に対しても正確に傾きの判断を行うことができ、コントラストに対する感度が高いことが示唆された。一方、同様の方法で弁別閾を測定し、両群に差がないとする報告もある(Rivest et al., 2013)。

知見の不一致が生じる一因として、先行研究では個人差についての検討が不十分であることが挙げられる。ASD特性は多様である(Baron-Cohen et al., 2001)。しかし、先行研究では診断群と非診断群の二分法的な比較が主流で、ASD者の示す症状の多様性に関しては考慮されていなかった。近年の研究では、特定のASD特性と視覚処理(Lowe et al., 2018; Stevenson et al., 2018)や視聴覚処理(Donohue et al., 2012; Hidaka & Yaguchi, 2018; Stevenson et al., 2017; Yaguchi & Hidaka, 2018)との関係性が報告されており、各感覚モダリティにおける

より低次な処理段階においても注目する ASD 特性によって異なる関係性が見られると予想できる。

本実験では ASD 特性と様々な感覚モダリティにおける低次な処理特性のパターンとの関係性を明らかにすることを目的とした。本実験では比較的長時間の実験課題を完遂できる定型発達者に注目し、同一の実験セッションにおいて複数の感覚モダリティにおける検出、弁別課題を行うこととした。定型発達者の ASD 傾向は AQ によって測定した。また視覚、聴覚、触覚刺激への検出課題および弁別課題を同一の実験セッションにて実施した。仮説としては、触覚刺激や視覚刺激に対する反応と社会性やコミュニケーション能力との結びつきが報告されていることから(Cascio et al., 2012; Lal & Bali, 2007; Shane, 2006), AQ 下位尺度のうち社会コミュニケーションに関連する下位尺度（社会的スキル, コミュニケーション, 想像性）は触覚と視覚の閾値と関連すると予測できる。さらに、こだわり行動の傾向が強い者ほど聴覚刺激の音圧の弁別感度が高いことが報告されていることから(Kargas et al., 2015), 注意に関連する下位尺度（注意の切り替え, 細部への注意）は聴覚の閾値と関連すると予想した。

## 方法

### 実験参加者

正常な視力と聴力を持つ立教大学の学生 53 名（男性 13 名, 女性 40 名）を対象とした。実験参加者の平均年齢は 19.04 歳（標準偏差 0.85 歳）であった。なお上記に含まない 19 名分のデータは心理物理曲線への当てはまりが十分でなかったため（決定係数  $R^2$  が 0.25 以下）、後の分析から除外した（詳細はデータ分析を参照）。実験手続きは立教大学現代心理学部心理学研究倫理審査委員会の承認を得た（承認番号：16-2）。実験実施前に各実験参加者からインフォームドコンセントを得た。

### 装置

視覚刺激は CRT ディスプレイ（EIZO FlexScan T776, 19-inch, 1280 × 1024 pixels, refresh rate 60 Hz）、聴覚刺激はオーディオインターフェイス（Roland, EDIROL UA-25 EX）およびヘッドホン（Sennheiser, HDA200）を使用して提示した。触覚刺激はアタッチャブルスピーカー（Eishin, M-PZT-02）およびステレオアンプリファイアー（Eishin, ED-PZT01B）を使用して、実験参加者の左手人差し指に提示した。顎台を用いて実験参加者と CRT ディスプレイ間の距離を 57.3 cm に固定した。画面の輝度は輝度計（Cambridge Research Systems; ColorCAL MKII Colorimeter）を用いて測定した。実験を制御するために MATLAB（MathWorks Inc.）と Psychophysics Toolbox（Brainard, 1997; Pelli, 1997）を使用した。実験は暗室で実施され、実験参加者はキーボードのキー押しによって課題に回答した。実験実施後、ASD 特性の測定のために日本語版 AQ(Wakabayashi, Tojo, Baron-Cohen, & Wheelwright, 2004)への回答を求めた。

## 刺激

検出課題：視覚刺激を提示するディスプレイの輝度は黒（グレースケール値 0; 0.08  $\text{cd/m}^2$ ）から白（グレースケール値 255; 71.04  $\text{cd/m}^2$ ）まで線形に変化するようにガンマ補正を行なった。灰色（35.42  $\text{cd/m}^2$ ）の背景上に赤い（14  $\text{cd/m}^2$ ）注視点を表示し、その下方に視角 5 度の距離で白い円（視角にして直径 1 度）を 100 ms 提示した。白い円は 7 段階の明るさに設定し、それぞれグレースケール値 129 (35.98  $\text{cd/m}^2$ ), 130 (36.26  $\text{cd/m}^2$ ), 131 (36.53  $\text{cd/m}^2$ ), 132 (36.81  $\text{cd/m}^2$ ), 133 (37.09  $\text{cd/m}^2$ ), 134 (37.37  $\text{cd/m}^2$ ), 135 (37.65  $\text{cd/m}^2$ ) とした。聴覚刺激にはビープ音（2000 Hz）を用い、その音圧を 7 段階（15, 19, 23, 27, 31, 35, 39 dBA）に変化させ、50 ms 提示した。触覚刺激は 200 Hz の振動刺激とし、7 段階の強度（37, 43, 46, 47, 48, 51, 57 dB）の振動刺激を左手人差し指に 50 ms 提示した。

弁別課題：視覚刺激を用いた課題では、白い円（視角にして直径 1 度）を注視点の下方に視角 5 度の距離で 180 ms 提示した。円は 530 ms の刺激間隔（inter-stimulus interval: ISI）で 2 度、同位置に提示された。一方の円は標準刺激であり、グレースケール値 143 (39.87  $\text{cd/m}^2$ ) とした。もう一方は比較刺激とし、それぞれグレースケール値 143（標準刺激と同一の明るさ）、145 (40.43  $\text{cd/m}^2$ ), 147 (40.99  $\text{cd/m}^2$ ), 149 (41.54  $\text{cd/m}^2$ ), 151 (42.10  $\text{cd/m}^2$ ), 153 (42.66  $\text{cd/m}^2$ ), 155 (43.21  $\text{cd/m}^2$ ) の 7 段階の明るさに設定した。聴覚刺激は 150 ms のビープ音（200 Hz）とし、ISI500 ms で 2 回提示した。標準刺激の音圧は 50 dBA とし、比較刺激の音圧はそれぞれ、50, 53, 56, 59, 62, 65, 68 dBA の 7 段階とした。触覚刺激への弁別課題では、50 ms の振動刺激を 800 ms の ISI で 2 回提示した。標準刺激の振動強度は 65 dB とし、比較刺激の振動強度は、65, 66, 67, 68, 69, 70, 71 dB とした。

なお、これらの刺激の設定値は、それぞれの課題で回答の心理物理曲線が描けるように予備調査に基づいて決定された。

## 手続き

検出課題：課題は感覚モダリティごとに異なるセッションで行われた。7 段階の刺激強度のうち一つの強度の刺激を注視点とともに提示した。実験参加者は注視点が消えた後、刺激が提示されたと感じたか否かを回答した（図 4-1A）。各刺激は 10 回繰り返し提示され、それぞれの感覚モダリティ課題について 70 試行を行った。

弁別課題：2 つの刺激が連続して注視点とともに提示された。一方は標準刺激、もう一方が比較刺激として 7 段階の強度のうち一つの刺激が提示された。実験参加者は注視点が消えた後、どちらの刺激がより強い強度であったか回答した（図 4-1B）。比較刺激は各強度につき 10 回提示されたため、それぞれの感覚モダリティ課題について 70 試行を行った。標準刺激と比較刺激の提示順序は、各比較刺激の強度条件につき半数の試行で、標準刺激が

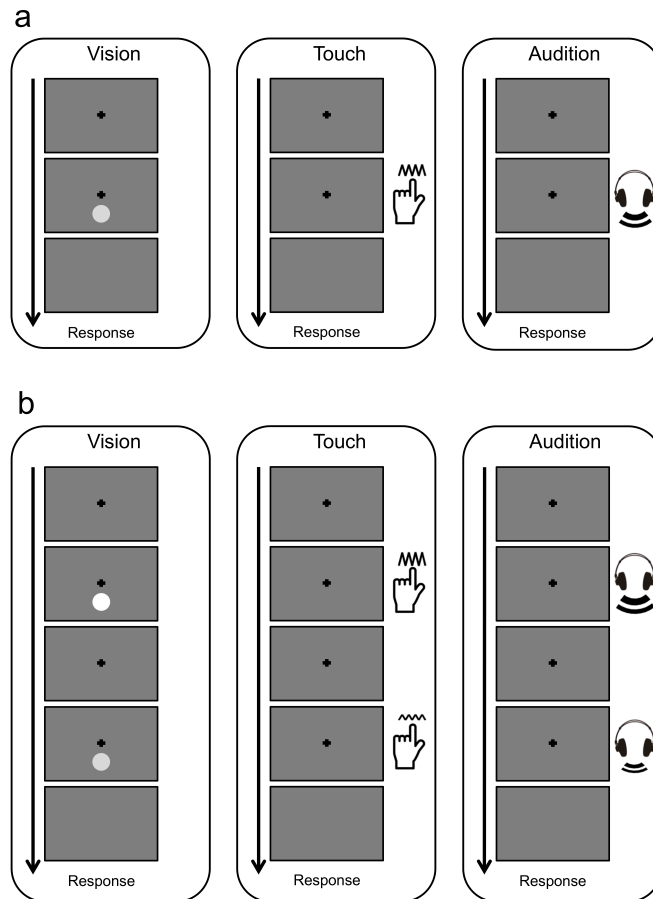


図 4-1 (A) 検出課題の模式図。それぞれの感覚モダリティに関して、7段階の強度のうち一つの刺激が注視点と共に提示された。実験参加者は注視点が消えた後に、刺激が提示されたか否か回答した。(B) 弁別課題の模式図。標準刺激と7段階の強度の比較刺激のうち一つが連続して注視点と共に提示された。実験参加者はより強い刺激がどちらかを回答した (Yaguchi & Hidaka, 2020 より転載)。

先, 比較刺激が後に提示され, 残りの半数の試行ではそれとは逆の順序で提示され, 各提示順条件はランダムに提示された。

それぞれの課題内で刺激の強度はランダムに提示した。それぞれの感覚モダリティにおいて検出課題と弁別課題は続けて実施した。実施する課題の順序（検出課題か弁別課題の順序）と実施する感覚モダリティの順序はランダムにし, 実験参加者間でカウンターバランスをとった。なお, 触覚提示装置から振動を提示する際に音が発生するが, その音が聞こえていなかったことを口頭で確認した。

ASD 特性の測定: 実験実施後, 実験参加者に日本語版 AQ への回答を求めた。AQ は ASD の傾向に関する 50 項目からなる自記式の質問紙である。実験参加者は各項目の記載について自身に当てはまる度合いを 4 件法で回答した。オリジナルの研究(Baron-Cohen et al., 2001)に従い, 1 か 2 と回答した項目（逆転項目の場合には 3 か 4）には 1 点を付与した。その合計得点が高いほど ASD 傾向を強く示すことを表す。また, 5 つの下位尺度（社会的スキル・コミュニケーション・想像性・注意の切り替え・細部への注意）に関してもオリジナルの研究に従い, 同様に得点化したのち, 各下位尺度に含まれる 10 項目の得点の合計値を算出した。

#### データ分析

恒常法を用いて検出課題および弁別課題の成績の心理物理曲線を取得した。MATLAB 上の curve fitting toolbox を使用して, 個人の反応に基づく心理物理曲線をシグモイド関数に当てはめた。ただし, 触覚の弁別課題においてはシグモイド関数よりも当てはまりの良い一次関数に当てはめた。実験参加者は心理物理学的な実験に不慣れであり, 課題の難易度が高かったため, 決定係数  $R^2$  が .25 以上のデータを分析対象とした。各課題に含まれる実験参加者のデータ数を揃えるために, いずれかの課題でこの基準に満たない実験参加者のデータは後の分析からは除外した。検出課題では 50 % の確率で刺激を検出できる強度の値を検出閾とし, 弁別課題では 75 % の確率で弁別できる刺激の強度差を弁別閾とした。また, 反応バイアスの有無を検討するために, 各課題における関数の傾きと切片を算出した (Morgan, Dillenburger, Raphael, & Solomon, 2012)。

各実験指標（閾値, 傾き, 切片）間の相関を確認したところ, 補正された有意水準 ( $p = 0.003$ ; 相関分析を 15 回繰り返したため, 0.05 を 15 で除することで有意水準の調整を行った[ボンフェローニ法]) において, 聴覚の検出閾と触覚の検出閾が有意に相関していたが ( $\rho = 0.42, p = 0.002$ ), その他の有意な相関は見られなかった (閾値:  $\rho_s < \pm 0.28, p_s > 0.04$ ; 傾き:  $\rho_s < \pm 0.26, p_s > 0.03$ ; 切片:  $\rho_s < \pm 0.15, p_s > 0.28$ )。また, AQ 下位尺度得点間についても, 補正された有意水準 ( $p = 0.005$ ;  $0.05/10$ ) においていくつかの有意な相関が見られた (表 4-2)。同一の実験セッションにて測定した各感覚モダリティおよび各実験課題指標のうち, どれがより ASD 特性との強い結びつきを示すか明らかにするため, 実験



表 4-2 AQ 下位尺度間の相関

	社会的スキル		注意の切り替え		コミュニケーション		細部への注意		想像性	
	$\rho$	$p$	$\rho$	$p$	$\rho$	$p$	$\rho$	$p$	$\rho$	$p$
社会的スキル			0.35	0.01	0.52	0.001	-0.14	0.30	0.39	0.004
注意の切り替え					0.37	0.01	0.10	0.49	0.06	0.69
コミュニケーション							-0.03	0.81	0.31	0.02
細部への注意									-0.02	0.87
想像性										

指標を説明変数、合計 AQ 得点または AQ 下位尺度得点を従属変数とした重回帰分析（変数減少法）を用いて分析を行った。なお、各実験指標に対して、同一の説明変数で 6 回の重回帰分析を繰り返し行うため、 $p = 0.008$  を補正された有意水準として採用した。

合計 AQ 得点は正規分布していたが ( $W = 0.98, p = 0.65$ )、下位尺度得点はいずれも正規分布していることが確認できなかった ( $W_s < 0.95, p_s < 0.03$ )。さらに、閾値に関して、聴覚の弁別閾 ( $W = 0.98, p = 0.61$ ) と視覚の弁別閾 ( $W = 0.96, p = 0.68$ ) を除いて正規分布していることが認められなかった ( $W_s < 0.93, p_s < 0.05$ )。傾き・切片に関しても同様に、触覚の弁別課題 (傾き,  $W = 0.97, p = 0.19$ ; 切片,  $W = 0.98, p = 0.42$ ) を除いて正規分布が確認できなかった ( $W_s < 0.93, p_s < 0.05$ )。しかし、Q-Q プロットを参照し、重回帰分析の残差が正規分布していることを確認した。分析には JASP を使用した (JASP-Team, 2019)。

## 結果・考察

実験参加者の合計 AQ 得点の平均値は 22.23 点 (標準偏差 5.83 点, 7~34 点; 図 4-2A) であり、得点が高いほど ASD 傾向を強く示すことを表す。下位尺度の平均値 (標準偏差) は下記の通りである: 社会的スキル 4.45 点 (2.66 点), 注意の切り替え 5.83 点 (1.63 点), 細部への注意 4.49 点 (2.39 点), コミュニケーション 4.51 点 (1.91 点), 想像性 2.94 点 (1.52 点)。

各感覚モダリティについて検出閾および弁別閾を算出し (図 4-2B), 両課題の閾値を説明変数、合計 AQ 得点または各 AQ 下位尺度得点を従属変数とした重回帰分析を実施した (表 4-3)。なお補正された有意水準 ( $p = 0.008$ ) を採用した。検出閾および弁別閾とコミュニケーション得点間の回帰式が有意であり ( $F(2, 50) = 5.88, R^2_{adj} = 0.16, p = 0.005$ )、触覚の検出閾 ( $\beta = 0.33, p = 0.013$ ) と視覚の弁別閾 ( $\beta = 0.30, p = 0.023$ ) との正の関連が見られた (図 4-3A)。すなわち、触覚の検出感度や視覚の弁別感度が低いほど、コミュニケーションの難しさを強く持つことを示した。

また、検出閾および弁別閾と注意の切り替え得点との回帰式が有意であり ( $F(2, 50) = 6.41, R^2_{adj} = 0.17, p = 0.003$ )、触覚の弁別閾との負の関係 ( $\beta = -0.38, p = 0.023$ )、視覚の検出閾との正の関係 ( $\beta = 0.31, p = 0.019$ ) が見られた (図 4-3B)。すなわち、触覚の弁別の感度が高く、また視覚の検出感度が鈍いほど注意の切り替えが難しくなる傾向が示された。その他の AQ 得点との有意な関係は見られなかった。

また、各課題における傾きあるいは切片と AQ 得点との関係性に関する重回帰分析を行い (表 4-3)、レスポンスバイアスの有無を確認した (Morgan et al., 2012)。有意な関係性は見られなかったため、本実験で得られた知見は特定のキー押しの傾向といったレスポンスバイアスからのみで説明できるものではないと考えられる。

さらに、同様の分析をベイズ統計に基づく重回帰分析にて実施した (表 4-4)。上記の結果と同様に、触覚の検出閾・視覚の弁別閾とコミュニケーション得点間の関係性におい

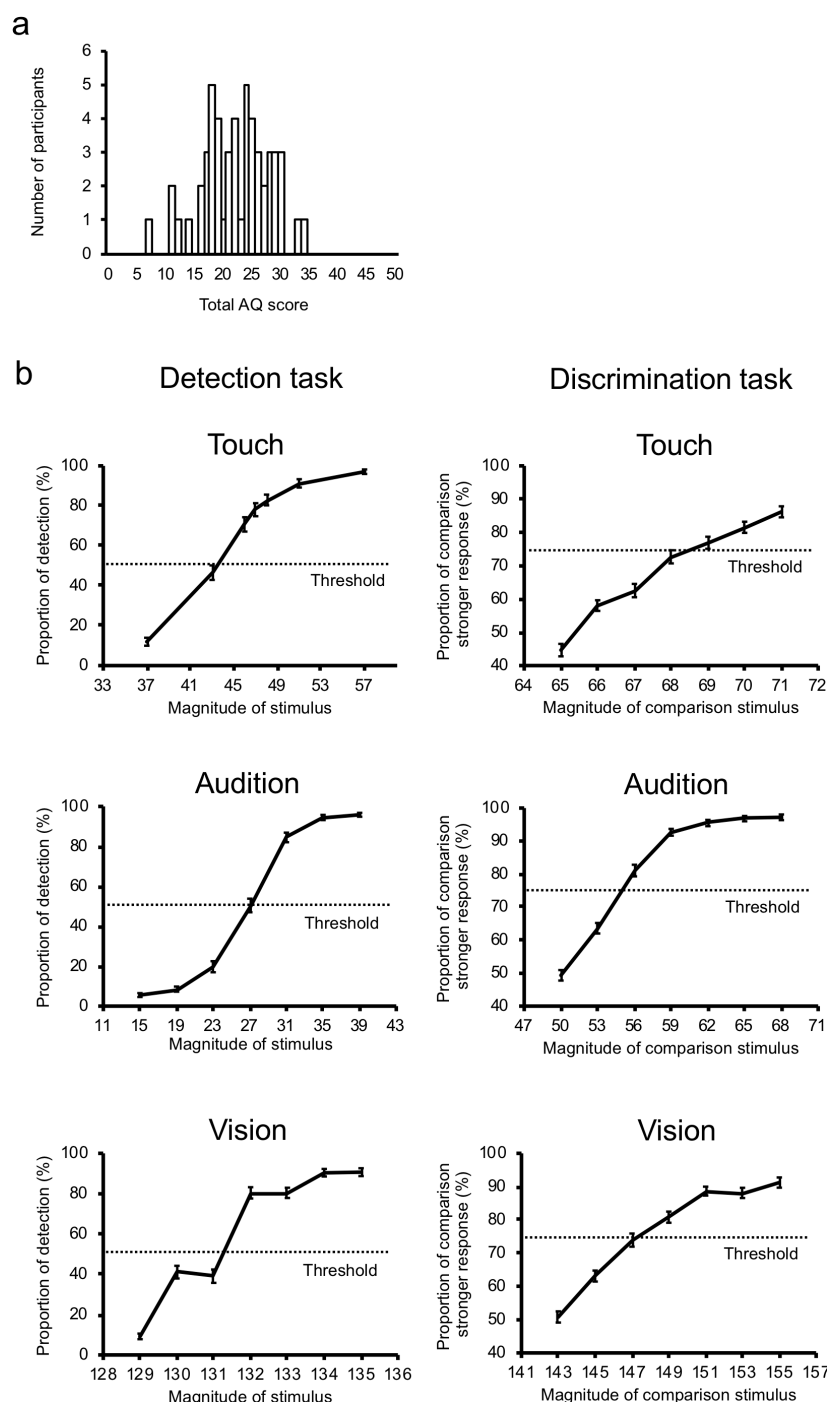


図 4-2 (A) 実験参加者の合計 AQ 得点の度数分布図。横軸は合計 AQ 得点を表し、縦軸は人数を表した (N = 53)。(B) 各課題における平均心理物理曲線。左列のグラフは各感覚モダリティの検出課題の結果である。横軸が刺激の強度を表し、縦軸は刺激を検出できた割合の平均値を表した。右列のグラフは各感覚モダリティの弁別課題の結果である。横軸が比較刺激の強度を表し、縦軸は比較刺激がより強いと回答した割合の平均値を表した。エラーバーは標準誤差を示した (Yaguchi & Hidaka, 2020 より転載)。

表 4-3 重回帰分析の結果

		閾値	傾き	切片
合計 AQ	<i>F</i>	4.04	3.84	1.80
	<i>R</i> <sup>2</sup>	0.06	0.10	0.02
	<i>p</i>	0.05	0.03	0.19
社会的スキル	<i>F</i>	3.01	0.73	2.68
	<i>R</i> <sup>2</sup>	0.04	-0.01	0.03
	<i>p</i>	0.09	0.40	0.11
コミュニケーション	<i>F</i>	5.88	5.22	1.72
	<i>R</i> <sup>2</sup>	0.16	0.08	0.01
	<i>p</i>	0.01	0.03	0.20
想像性	<i>F</i>	4.29	1.62	0.74
	<i>R</i> <sup>2</sup>	0.06	0.10	-0.10
	<i>p</i>	0.04	0.21	0.39
注意の切り替え	<i>F</i>	6.41	1.02	1.48
	<i>R</i> <sup>2</sup>	0.17	0.00	0.01
	<i>p</i>	0.00	0.32	0.23
細部への注意	<i>F</i>	3.13	6.52	0.85
	<i>R</i> <sup>2</sup>	0.04	0.10	0.00
	<i>p</i>	0.08	0.01	0.36

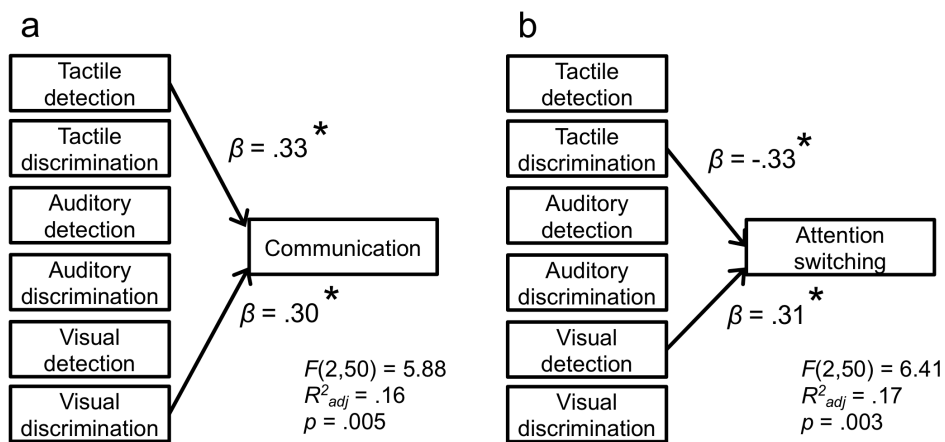


図 4-3 重回帰分析の結果。(A) 触覚の検出閾および視覚の弁別閾とコミュニケーション得点間の有意な関係性。(B) 触覚の弁別閾および触覚の検出閾と注意の切り替え得点間の有意な関係性 (Yaguchi & Hidaka, 2020 より転載)。

表 4-4 ベイズ統計に基づく重回帰分析の結果

		閾値	傾き	切片
合計 AQ 得点	$BF_{10}$	1.42	2.00	0.58
	$R^2$	0.07	0.13	0.03
社会的スキル	$BF_{10}$	0.94	0.37	0.83
	$R^2$	0.06	0.01	0.05
コミュニケーション	$BF_{10}$	3.40	2.26	0.56
	$R^2$	0.19	0.09	0.03
想像性	$BF_{10}$	1.57	0.54	0.38
	$R^2$	0.08	0.30	0.01
注意の切り替え	$BF_{10}$	12.14	0.42	0.51
	$R^2$	0.20	0.02	0.03
細部への注意	$BF_{10}$	0.99	3.75	0.39
	$R^2$	0.06	0.11	0.02

て、帰無仮説よりも対立仮説が支持された ( $BF_{10} = 3.40, R^2 = 0.19$ )。また、触覚の弁別課題・視覚の検出課題と注意の切り替え得点間においても、帰無仮説より対立仮説が支持された ( $BF_{10} = 12.14, R^2 = 0.20$ )。したがって、推測統計に基づく結果と同様の関係性が見られることを確認した。その他の閾値と AQ 得点間では対立仮説が支持される値は見られなかった。傾きまたは切片と AQ 得点間では一部の関係性を除き、対立仮説が積極的に支持される証拠はなかった。傾きと AQ 得点間で一部対立仮説が支持される関係性が見られたものの ( $BF_{10} < 3.75$ )、推測統計に基づく結果とは一致しなかった。このため、本実験の結果がレスポンスバイアスからのみで説明される可能性は低いと考えられる。

各閾値と合計 AQ 得点間の有意な関係性は見られなかった。先行研究では、ASD 者は触覚刺激の検出閾が高いこと (Puts et al., 2014)、低いこと (Blakemore et al., 2006)、定型発達者と違いがないこと (Cascio et al., 2008; Güçlü et al., 2007) が報告されている。視覚刺激の明るさの弁別閾でも同様に、ASD 者は閾値が低いこと (Bertone et al., 2005) や定型発達者と差がないこと (Rivest et al., 2013) が知られている。聴覚刺激の音圧の弁別閾に関しても、ASD 者は閾値が高いとする研究 (Kargas et al., 2015) や定型発達者と差がないとする研究 (Jones et al., 2009) がある。これらの先行研究間の知見の不一致は ASD 特性の個人差が一因となって生じていると考えられる。本実験ではその点にアプローチするために、特定の対象者 (定型発達の人) 内の AQ 得点と ASD 者を対象とした刺激感度に関する先行研究よりも比較的厳密な心理物理学的手法によって測定した知覚パフォーマンス間の関係性を検討した。それにより、検出閾および弁別閾と合計 AQ 得点との関係性は見られなかった一方で、特定の AQ 下位尺度得点との関係性が示されたと考えられる。

まず、視覚刺激の輝度の弁別感度が低い人ほどコミュニケーション得点を高くなる傾向が示された。コミュニケーション得点は言語を介したやりとりに関する困難さを反映していると考えられる (項目例: 会話をどのように続けたらいいのか、わからなくなってしまうことがよくある)。したがって、明るさの違いに対する感度が鈍い人はより言語コミュニケーションの難しさを抱えていることが示された。視界内の明るさの弁別やコントラストの検出は視覚的な物の認識に重要な役割を持っている (Basu, 2002; Marr & Hildreth, 1980)。物の認識は表情の認知の点でコミュニケーション場面の重要な要素であり (Haxby, Hoffman, & Gobbini, 2002; Schultz, 2005)、また適切に視覚情報を使用することで ASD 者のコミュニケーション能力が向上することが報告されている (Lal & Bali, 2007; Shane, 2006)。したがって、明るさの違いやコントラストへの感度の鈍さが ASD 的なコミュニケーションの困難さを生じさせる一つの要因である可能性が示唆された。

触覚の振動刺激への検出感度が低い人ほどコミュニケーション得点を高くなる傾向が示された。触覚からの情報は社会コミュニケーション能力の発達に重要であることが知られている (Harlow & Harlow, 1962)。さらに ASD 者においては、社会コミュニケーションの困難さが日常生活での触覚刺激への反応の特異性と関連したり (Hilton et al., 2010)、触覚刺激に対する脳活動の特徴と関連することが報告されている (Cascio et al., 2008)。これらの知見と

合わせて考えると、本実験の結果は触覚刺激への検出感度の鈍さが ASD 的なコミュニケーションの難しさと関連することを示したと言える。

本論文第三章の研究 2 では、ASD 者を対象とした場合に触覚刺激への検出感度が鈍いほど ADOS の中の相互的対人関係や常同的行動と限局的興味に関する困難さを強く示したが、言語と意思伝達に関する難しさとの関係性は見られなかった。一方、本実験では定型発達者では触覚の検出感度が鈍いほど言語を介したコミュニケーションの困難さを強くなる傾向が示された。このようにどちらも触覚刺激への検出感度の鈍さが社会コミュニケーションの困難さと関連することが共通して示されたものの、結果の傾向に差異が見られた。刺激の感度に関しては、先行研究間で知見の相違が見られ、個人差が大きいことが知られているため(Marco et al., 2011)、特に限られたサンプル数から検討を行った研究 2 では特定の人に現れている個人差を反映した可能性が考えられる。このため、今後の課題として ASD 特性と刺激への感度との関係性を明らかにするためにはより多くのサンプルを対象にし、個人差の偏りを統制することが重要だろう。

さらに、触覚の振動強度の弁別感度が高いほど注意の切り替え得点を高くなる傾向が示された。注意の切り替えは同一であることへの強いこだわりを反映しており、それは ASD 者の持つ限局的で反復的な行動と関連する(項目例: 同じことや、同じやりかたを、何度もくりかえすことが好きだ)。したがって、この結果は振動刺激の強度の違いに鋭敏である人はより同一であることへのこだわりが強いことを示唆した。振動刺激は触覚の基本的な性質のひとつであり、200 Hz 前後の振動刺激は特に細かなテクスチャー情報の知覚に寄与していると考えられている(Lederman & Klatzky, 2009)。ASD 者は服の素材のテクスチャーの違いに対して不快感を示しやすいことが知られているが(Dunn, 1997; Tomchek & Dunn, 2007)、そのような感覚過敏性の強さは反復行動の重症度と関連する(Boyd et al., 2010)。これらのことから、本実験では触覚刺激への高い弁別感度が注意を切り替えることの難しさや同じであることへのこだわりの強さと関連したと推測できる。

視覚刺激の検出感度が低いほど注意の切り替え得点の高くなる傾向が見られた。高い検出閾は刺激の提示に気が付きにくいことを意味するが、刺激に気が付かないことでそれに注意を向けることも困難になることが予想される。例えば、ASD 者では部屋に人が入ってきたことに気がつかなかったり、標識を見落としやすかったりといった、刺激の見落とし行動が観察されているが(Brown et al., 2001)、そのような行動の背景にはそれらの刺激に気がつかず、注意を向けることができない状態があるのではないか。ASD 者では提示された視覚刺激に対する注意の向け方の特異性が報告されており、画面に提示された視覚的なターゲットが何であったかを回答する課題において、ASD 群は定型発達群よりも反応時間が長く、またターゲット周辺に妨害刺激が提示された場合に反応時間が増加しやすいことが報告されている(Burack, 1994)。この結果は、ASD 者は提示された視覚刺激に注意を向けたり、また無関係な刺激から注意を排除したりすることに時間を要することを意味する。また、刺激の見落とし行動は、低登録の状態であるという点で感覚鈍麻性と関連し(Brown et al., 2001)、



また感覚鈍麻性は反復的で固定的な行動を含む繰り返し行動の頻度の高さといった関わる  
ことが報告されている(Di Renzo et al., 2017)。これらのことから、視覚的な刺激に気がつき  
にくい傾向は、それによって提示された刺激へ注意を向けることが難しくなるという点で、  
注意の切り替えの困難さと関連すると推測できる。

本実験の検出課題においてキャッチトライアルを採用しなかったために、上記の結果が  
反応バイアス・決定バイアスを含んでいる可能性がある。もし本実験の結果が刺激への感度  
ではなく反応バイアスに基づいているとしたら、課題の回答に基づく心理物理曲線の傾き  
や切片と AQ 得点との関係性が見られるはずである(Morgan et al., 2012)。しかし、本実験で  
はそのような反応バイアスの指標に関する有意な関係性は見られなかった。さらに、我々は  
閾値に関する結果について、それぞれの課題や感覚モダリティによって異なる AQ 下位尺  
度との関係性を見出した。もし実験参加者が何らかの反応や決定に関する戦略をもって課  
題を行っていたとすれば、感覚モダリティ間で似通った結果が見られると考えられる。これ  
らのことから、本実験の結果は単純に反応バイアスからは説明できないと推測できる。

また、閾値と AQ 下位尺度内の社会的スキル得点、想像力得点、細部への注意得点との関  
係性が見られなかったことについて言及する必要があるだろう。先行研究でも知覚特性と  
特定の AQ 下位尺度得点との関係性が報告されてきており、例えば視聴覚時間処理は社会  
的スキル、コミュニケーション、想像力、注意の切り替えと関係することが報告されている  
(Donohue, Darling, & Mitroff, 2012)。新規な視聴覚刺激ペア(Hidaka & Yaguchi, 2018)や時間差  
のついた視聴覚刺激ペア(Stevenson, Toulmin, et al., 2017) に対する対応づけ学習は細部への  
注意との関係性が見られた。このように、知覚特性はそれぞれ異なる AQ 下位尺度得点と関  
連する。本実験でも、視覚・触覚の検出閾や弁別閾と特定の AQ 下位尺度得点間の特有の関  
係性を示唆したと考えられる。

さらに注目すべき点として、聴覚の検出閾および弁別閾はいずれの AQ 下位尺度得点  
とも関係性を示さなかった。本実験では聴覚刺激への感度として音圧を操作したが、音  
のピッチは言語的なコミュニケーションに重要な役割を持っていると考えられる。例え  
ば、声の周波数は感情表出をする上で重要な要素のひとつである(Shigeno, 2004)。ASD  
の人々は発話のイントネーションに特徴的な傾向を示すと報告されているが(Hubbard  
& Trauner, 2007; McCann & Peppé, 2003)、これがコミュニケーションにおける困難さを  
生じさせていると考えられている(Baltaxe & Simmons III, 1985)。本実験では視覚や触覚  
と刺激の属性を揃えるために音圧を操作したが、今後の研究では音のピッチについて検  
討することが聴覚処理特性と ASD 特性、特にコミュニケーション能力との関係性を明  
らかにするために必要だと考えられる。また、ASD 特性以外の個人要因の影響も考え  
られる。例えば、Kargas et al. (2015)は ASD 者が音圧への弁別の感度が高いほど限局的  
で反復的な行動や興味の傾向を強く示すことが報告したが、彼らは ASD の実験参加者  
の中では非常に高い閾値を示す者がおり、また実験参加者の IQ と弁別閾との相関が見  
られたために、ASD 特性以外の交絡要因が結果に影響を与えていたと主張した。本実

験では個人特性として ASD 特性についての検討を行ったが、今後の研究では IQ のように感覚処理に影響を与えうる個人特性のばらつきを考慮する必要があるだろう。さらに、いくつかの研究では AQ 下位尺度の構成が抽出する標本によって異なることが報告されている (Hoekstra, Bartels, Cath, & Boomsma, 2008; Lau et al., 2013; Lundqvist & Lindner, 2017; Stewart & Austin, 2009)。今後の研究では、大規模標本を対象に AQ の構成に関する検討も含めて、知覚特性と ASD 特性との関係性を解明することが望ましいだろう。

#### 4.3 定型発達者の ASD 傾向とダブルフラッシュ錯視との関係性の検討（実験 V）

##### 目的

我々は複数の感覚モダリティからの刺激を統合させることで安定した知覚を確立することができる (Ernst & Bulthoff, 2004)。多感覚統合が生じるためには提示される刺激間の時間的一致性が必要である (Spence & Squire, 2003)。例えば、人が発話している映像や金槌で釘を打っている映像を提示した時、音と映像が時間的にずれていても、わずかなずれであれば、それらを統合し、一つの映像として認識できる (Dixon & Spitz, 1980)。このような異なる刺激が統合される提示時間の範囲は時間窓と呼ばれる。一般的には、光とビーブ音といった単純な視聴覚刺激の統合が生じる時間窓は 100 ms から 300 ms 程度だと知られている (Donohue et al., 2012; Powers, Hillock, & Wallace, 2009; Shams, Kamitani, & Shimojo, 2002; Stevenson, Siemann, Schneider, et al., 2014)。

ASD の人々は視聴覚統合に関わる時間処理に特異的な傾向を示すことが報告されている (Wallace & Stevenson, 2014)。Foss-Feig et al. (2010) は ASD 者のもつ視聴覚統合パターンの検討のため、ダブルフラッシュ錯視を用いた実験を行った。ダブルフラッシュ錯視とは一度点滅した光が同時にビーブ音を複数回提示することにより、複数回点滅したように感じる錯視であり、定型発達者内では光とビーブ音の提示される時間的な間隔がおおよそ 100 ms 以内であった場合に生じることが知られている (Shams et al., 2002)。この性質からダブルフラッシュ錯視は純粋な知覚的な処理に基づく現象であると考えられている (Calvert & Thesen, 2004)。Foss-Feig et al. (2010) は、定型発達群では視聴覚刺激の間隔がおおよそ 150 ms 以内である場合に錯視が生じるのに対して、ASD 群では錯視が生じやすいことに加え、視聴覚刺激の間隔が 300 ms 以内であれば錯視が生じることを報告した。さらに Kwakye et al. (2011) は視覚刺激の時間順序判断課題中に聴覚刺激も提示することで課題成績が向上する効果を利用して、視聴覚統合の生じる時間特性の検討を行なった。その結果、ASD 者では定型発達者よりも視覚刺激と聴覚刺激の時間差がより大きくても成績向上の効果が生じることを示し、ASD 群はより時間的に広い範囲で提示された視聴覚刺激を結びつける傾向があると報告した。一方で、Stevenson, Siemann, Woynaroski, et al. (2014) では、1 回の光の点滅に対してビーブ音が複数回提示された際に、ASD 者は定型発達者に比べて知覚される光の点滅の回数が少なく、ダブルフラッシュ錯視がより生じにくいことが示された。また、錯視の生じやすさに群差はないとする報告もある (Keane et al., 2010; van der Smagt et al., 2007)。

定型発達者の示す ASD 傾向と知覚特性との関係性の検討が行われてきており、視聴覚の時間特性に関しては、視聴覚刺激の同時性判断課題の成績と AQ によって測定した ASD 傾向との関係性が検討されている (Donohue et al., 2012)。この研究では、ASD 傾向と時間窓との関係性は観察されなかったものの、ASD 傾向が強い人ほど聴覚刺激がより先行した場合に同時だと回答されやすく、またそのような関係性は合計 AQ 得点だけでなく、4 つの下位尺度得点（社会的スキル、コミュニケーション、想像性、注意の切り替え）において示された。この結果について、視聴覚統合処理は社会的相互作用の基盤となるために、特

に同時性判断課題の成績と社会性に関わる AQ 下位尺度（社会的スキル、コミュニケーション）との関係性が観察されたと主張されている。しかしながら、同時性判断課題を除けば、AQ 下位尺度と視聴覚統合の時間窓との関係性を検討した研究は行われていない。

ASD 児はダブルフラッシュ錯視における時間窓が広いと報告されていることから(Foss-Feig et al., 2010), AQ 得点によってもこの錯視の時間窓が変化すると予想できる。定型発達者を対象とすることで、特定の ASD 特性に見られる傾向を明らかにし、ASD 者を対象とした研究で明らかになった結果の理解を深めることに貢献できると考えた。

本実験の目的は、ダブルフラッシュ錯視と定型発達者の ASD 傾向との関係性を明らかにすることであった。ASD 傾向の程度は AQ を使用して測定し、合計 AQ 得点だけでなく下位尺度得点に注目する。ダブルフラッシュ錯視の正規指標として、時間窓の幅と錯視の生起率の最大値を算出した。Foss-Feig et al. (2010)と Stevenson, Siemann, Woynaroski, et al. (2014)の知見から、AQ 得点が高いほど時間窓が広く、また錯視の生起率の最大値は小さくなると仮説を立てた。

## 方法

### 実験参加者

正常な視力と聴力を持つ立教大学の学生 65 名（男性 14 名、女性 51 名）を対象とした。実験参加者の平均年齢は 18.60 歳（標準偏差 0.72 歳）であった。なお上記に含まない 10 名分のデータは心理物理曲線への当てはまりが十分でなかったため（決定係数  $R^2$  が 0.5 以下）、後の分析から除外した。また上記に含まない 1 名のデータは外れ値とみなしたため、後の分析から除外した（時間窓 = 316.67）。実験手続きは立教大学現代心理学部心理学研究倫理審査委員会の承認を得た（承認番号：15-4）。実験実施前に各実験参加者からインフォームドコンセントを得た。

### 装置

視覚刺激は CRT ディスプレイ（EIZO FlexScan T776, 19-inch, 1280 × 1024 pixels, refresh rate 60 Hz）、聴覚刺激はオーディオインターフェイス（Roland, EDIROL UA-25 EX）およびヘッドホン（Sennheiser, HDA200）を使用して提示した。顎台を用いて実験参加者と CRT ディスプレイ間の距離を 57.3 cm に固定した。画面の輝度は輝度計（Cambridge Research Systems; ColorCAL MKII Colorimeter）を用いて測定した。実験を制御するために MATLAB (MathWorks Inc.)と Psychophysics Toolbox (Brainard, 1997; Pelli, 1997)を使用した。実験は暗室で実施され、実験参加者はキーボードのキー押しによって課題に回答した。実験実施後、ASD 特性の測定のために日本語版 AQ(Wakabayashi et al., 2004)への回答を求めた。

## 刺激

白い円（輝度 52.05 cd/m<sup>2</sup>，直径視角 3 度，提示時間 24 ms）を黒い背景上（0.40 cd/m<sup>2</sup>）の白い注視点の下方に視角 5 度の距離で点滅させた。白い円は 1 回または 2 回点滅し，2 回点滅した場合の ISI は 71 ms とした。また条件に応じて，ビープ音（2000 Hz，95 dBA，提示時間 7 ms）を 0 回から 2 回提示した。

錯視条件では 1 回点滅する円に付随して音を 2 回提示させた。一方の音のオンセットと視覚刺激のオンセットを同時にした。ビープ音間の SOA は±25，50，100，150，200，300，400，500 ms とした（図 4-4）。また，5 つの統制条件を設けた：1F/0B 条件（1 回円が点滅する），1F/1B 条件（円が 1 回点滅しビープ音が 1 回提示される），2F/0B 条件（2 回円が点滅する），2F/1B（円が 2 回点滅しビープ音が 1 回提示される），2F/2B 条件（円が 2 回点滅しビープ音が 2 回提示される）。1F/1B 条件では円とビープ音のオンセットは同時とし，また 2F/1B 条件では 1 回目の円とビープ音のオンセットを同時とした。2F/2B 条件では 1 回目の円とビープ音のオンセットを同時にし，ビープ音の SOA は±25，50，100，150，200，300 ms とした。

## 手続き

実験課題：画面上に注視点が表示されてから 1200～1500 ms 後（試行ごとにランダムに割り当てられた），円（1 回または 2 回）とビープ音（0 回，1 回，2 回）が提示された。実験参加者は円の提示回数をキー押しにて回答した（1 回または 2 回）。錯視条件と 2F/2B 条件では各 SOA は 10 回繰り返された。その他 4 条件に関しても 10 回繰り返され，合計で 320 試行を行った。各条件と SOA は実験参加者ごとにランダムに割り当てられ，実験参加者間でカウンターバランスをとった。

ASD 特性の測定：実験実施後，実験参加者に日本語版 AQ への回答を求めた。実験参加者は各項目の記載について自身に当てはまる度合いを 4 件法で回答した。個人差をよく反映させるために，先行研究と同様のリッカート式得点法（3-2-1-0）を採用した（J. Davis et al., 2017; Hoekstra et al., 2008; Palmer et al., 2015）。50 項目の得点の合計値を合計 AQ 得点とした。また Baron-Cohen et al. (2001) にならい，50 項目を 10 項目ずつに分割し，下位尺度得点を算出した。合計 AQ 得点は 0 点～150 点，下位尺度得点は 0 点～30 点を取りうる。得点が高いほど，ASD 傾向を強く示すことを表す。

## データ分析

錯視条件における円の提示回数が 2 回と回答された割合を SOA ごとに並びかえ，心理物理曲線を作成した。各実験参加者の心理物理曲線をガウス関数に当てはめ，その標準偏差（standardized deviation: SD）を時間窓の幅とした。また関数の頂点の回答割合の値（peak）を錯視の起こりやすさとした。

## 結果・考察

実験参加者の合計 AQ 得点の平均値は 67.52 点 (標準偏差 14.12 点, 28~100 点) であり, 得点が高いほど ASD 傾向を強く示すことを表す (図 4-5A)。下位尺度の平均値 (標準偏差) は下記の通りである: 社会的スキル 13.60 点 (5.18 点), 注意の切り替え 15.94 点 (3.81 点), 細部への注意 14.00 点 (4.68 点), コミュニケーション 12.91 点 (4.91 点), 想像性 11.08 点 (3.68 点)。

各実験参加者における錯視条件での時間窓と peak 値を算出した (図 4-5B)。合計 AQ 得点と錯視の指標間の相関分析を行ったが, 有意な相関は見られなかった (時間窓:  $r=0.16$ ,  $p=0.21$ ; peak:  $r=-0.09$ ,  $p=0.47$ )。また AQ 下位尺度得点と錯視の指標間の相関分析を実施したところ, コミュニケーション得点と時間窓間の有意な正の相関が見られたが ( $r=0.29$ ,  $p=0.02$ )。他の下位尺度と時間窓間の相関は見られなかった ( $r_s < \pm 0.24$ ,  $p_s > 0.053$ )。AQ 下位尺度得点と peak との相関も見られなかった ( $r_s < \pm 0.22$ ,  $p_s > 0.08$ )。

さらに, AQ 下位尺度間の相関を統制するために, またどのような ASD 特性の側面が視聴覚統合と関連するか明らかにするために, AQ 下位尺度得点を説明変数, 実験指標を従属変数とした重回帰分析 (強制投入法) を実施した (表 4-5)。AQ 下位尺度得点と時間窓間の回帰式が有意であり ( $F(5, 59)=2.86$ ,  $R^2_{adj}=0.13$ ,  $p=0.02$ )。コミュニケーション得点との正の関係 ( $\beta=0.47$ ,  $p=0.02$ )。社会的スキル得点との負の関係 ( $\beta=-0.40$ ,  $p=0.02$ ) が見られた (図 4-6)。AQ 下位尺度と peak との有意な回帰式は認められなかった ( $F(5, 59)=0.96$ ,  $R^2_{adj}=0.06$ ,  $p=0.45$ )。

5 つの統制条件 (1F/0B, 1F/1B, 2F/0B, 2F/1B, 2F/2B) における円が 2 回点減したと回答された割合を比較するために, 分散分析を行った (図 4-7)。有意な違いが見られ ( $F(4, 26)=235.12$ ,  $p<0.001$ )。多重比較の結果 (ボンフェローニ法,  $p<0.05$ )。1F/0B 条件と 2F/1B 条件間以外の有意な差が認められた。また各統制条件における回答割合と AQ 得点間の相関分析を行ったところ, 合計 AQ 得点との有意な相関は見られなかった ( $r_s < \pm 0.13$ ,  $p_s > 0.32$ )。また AQ 下位尺度との相関について, ほとんどの相関係数は有意ではなかったが ( $r_s < \pm 0.18$ ,  $p_s > 0.16$ )。1F/1B 条件と注意の切り替え得点との有意な相関が見られた ( $r=-0.27$ ,  $p=0.03$ )。しかし, AQ 下位尺度間の相関を統制した重回帰分析を行ったところ, いずれの有意な関係性も見られなかった ( $F_s(5, 59) < 1.71$ ,  $R_s^2_{adj} < 0.05$ ,  $p_s > 0.15$ )。

本実験では ASD 特性と視聴覚統合処理との関連をダブルフラッシュ錯視を使用して検討した。ダブルフラッシュ錯視の生起特性の指標として, 時間窓, 錯覚の生じた割合, および錯視の生起が最大となった SOA を算出した。その結果, 錯視の生起特性と合計 AQ 得点との関連は見られなかったが, AQ 下位尺度得点との関係性が示され, 下位尺度ごとに異なる関係性が見られた。

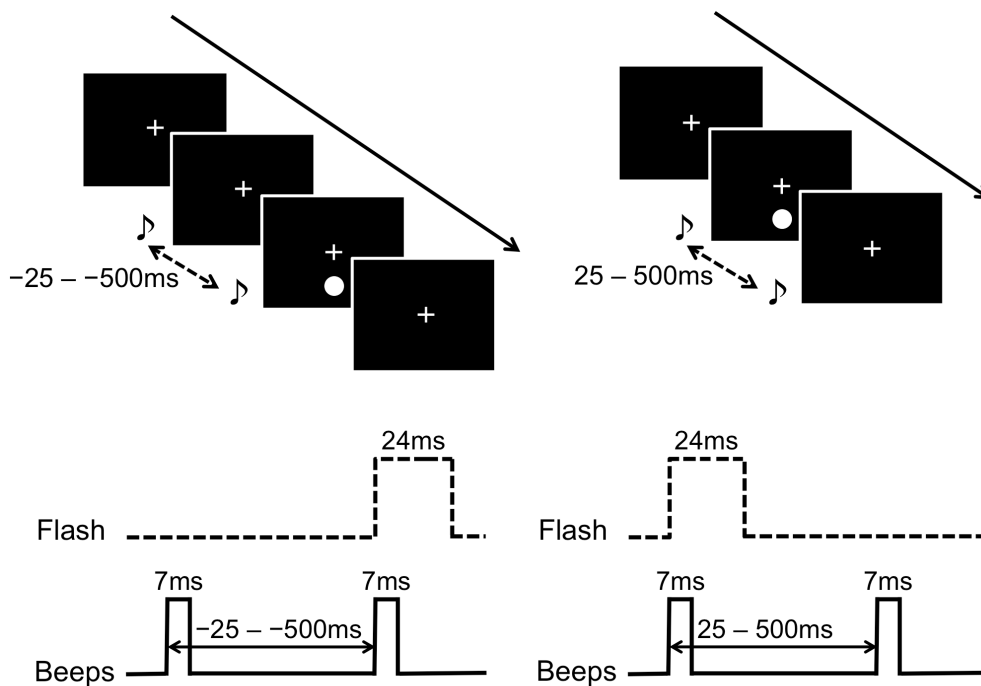


図 4-4 錯視条件の実験模式図。視覚刺激のオンセットはどちらか一方の聴覚刺激のオンセットと同時であった。聴覚刺激間の間隔は±25-500 ms であった。実験参加者は視覚刺激の提示回数を回答した (Yaguchi & Hidaka, 2018 より転載)。

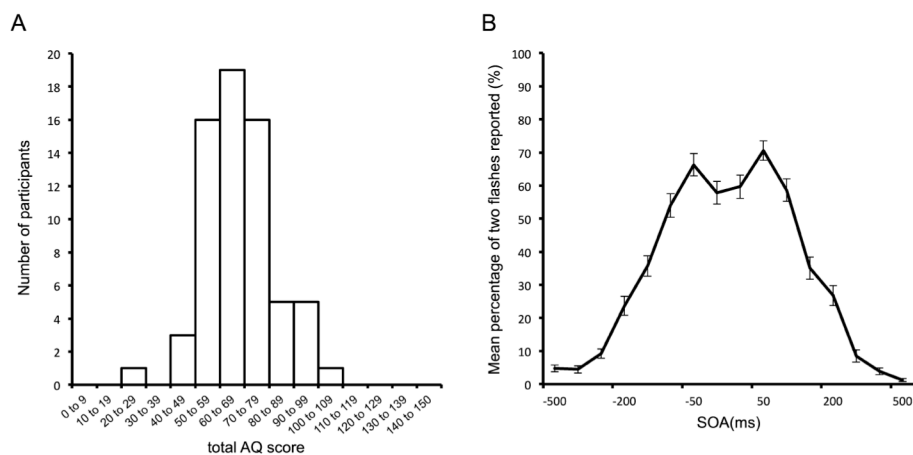


図 4-5 (A) 実験参加者の合計 AQ 得点の度数分布図。横軸は合計 AQ 得点を表し、縦軸は人数を表した (N = 65)。本実験ではリッカート式得点法を採用したため、得点は 0-150 点の範囲をとる。(B) 錯視条件において視覚刺激が 2 回提示されたと回答された割合の心理物理曲線。横軸が刺激間の間隔 (stimulus onset asynchronies: SOA) を表す。負の値は一方の聴覚刺激が視覚刺激よりも先に提示された条件を示す。縦軸が実験参加者の回答の平均を表し、エラーバーは標準誤差を示す。心理物理曲線の 1 標準偏差を時間窓、曲線の頂点を錯視の生じる最大値とした (Yaguchi & Hidaka, 2018 より転載)。

表 4-5 重回帰分析の結果 (A) 時間窓および peak と AQ 得点間の相関係数 (B) 時間窓と AQ 下位尺度得点間の重回帰分析の結果。AQ 下位尺度を説明変数, 時間窓を従属変数とした。  
(C) AQ 下位尺度間の相関係数

A

	合計 AQ	社会的スキル	注意の切り替え	コミュニケーション	細部への注意	想像性
時間窓	0.16	0.02	0.24	0.29 *	-0.15	0.13
peak	-0.09	-0.14	0.02	-0.02	0.06	-0.22

\* $p < .05$

B

	B	SE B	$\beta$	t value	VIF
社会的スキル	-3.03	1.26	-0.4	-2.40 *	1.99
注意の切り替え	0.66	1.56	0.06	0.42	1.64
コミュニケーション	3.82	1.56	0.47	2.46 *	2.70
細部への注意	-2.07	1.04	-0.24	-1.99	1.10
想像性	1.32	1.4	0.12	0.95	1.21

\* $p < .05$

C

	社会的スキル	注意の切り替え	コミュニケーション	細部への注意	想像性
社会的スキル	1	0.33 **	0.66 ***	-0.17	0.34 **
注意の切り替え		1	0.62 ***	0.03	0.19
コミュニケーション			1	0.02	0.35 **
細部への注意				1	0.14
想像性					1

\*\*  $p < .01$ , \*\*\*  $p < .001$



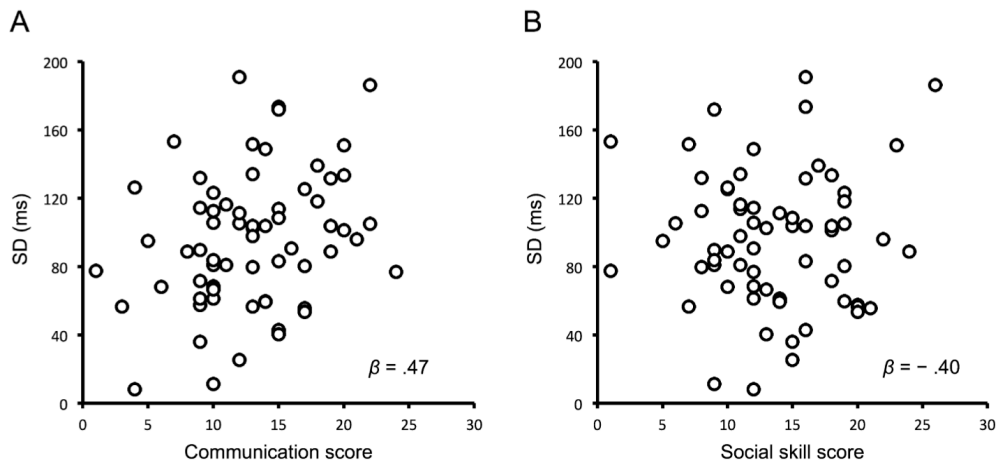


図 4-6 (A) 時間窓とコミュニケーション得点間の散布図( $\beta = 0.44$ )。(B) 時間窓と社会的スキル得点間の散布図( $\beta = -0.40$ )。横軸は AQ 得点, 縦軸は時間窓の幅を表す。重回帰分析の結果, 有意な関係性が示された( $p < 0.05$ ; Yaguchi & Hidaka, 2018 より転載)。

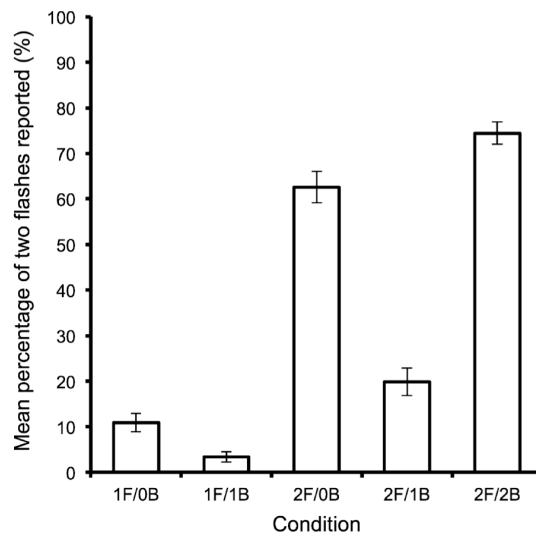


図 4-7 統制条件における実験参加者の平均回答。横軸は 5 つの統制条件 (1F/0B 条件 [1 回円が点減する], 1F/1B 条件 [円が 1 回点減しビープ音が 1 回提示される], 2F/0B 条件 [2 回円が点減する], 2F/1B [円が 2 回点減しビープ音が 1 回提示される], 2F/2B 条件 [円が 2 回点減しビープ音が 2 回提示される]), 縦軸が視覚刺激が 2 回と回答された割合を表す。エラーバーは標準誤差を表す。1F/0B 条件と 2F/1B 条件間を除き, 条件間で回答割合の有意な差が見られた( $p < 0.05$ ; Yaguchi & Hidaka, 2018 より転載)。

AQ 下位尺度については、まずコミュニケーションの得点と時間窓の広さに正の関係が見られ、コミュニケーションの ASD 傾向が高まるにつれて、時間窓が広くなることを示したが、これは Foss-Feig et al. (2010) の知見を支持する結果であった。Stevenson, Siemann, Schneider, et al. (2014) は、ASD 者において時間窓が広いほどマガーク効果が生じにくいことを報告したが、時間窓が広いこと、すなわち時間的な処理の正確さが低いことで、刺激の時間的な同期性からどの刺激を単一の事象として統合すべきかを判断することが難しくなり、結果として視聴覚の情報の結合が弱くなり、マガーク効果が生じにくかったと考察した。またマガーク効果は発話理解の能力を反映すると言われている (Brandwein et al., 2013)。AQ におけるコミュニケーションは主に会話など言語を介したやりとり場面で用いる能力を反映していると考えられる。したがって、本実験でも時間窓の広い実験参加者は視聴覚統合が生じにくいため、人との言語的なやりとりに重要な顔や音声の情報の統合の頑強さが下がり、そのことがコミュニケーションの困難さと関連することが示唆された。

社会的スキルの得点と時間窓の広さに負の関係が見られ、得点が高くなるほど、時間窓が狭くなる傾向が示された。時間窓の広さは複雑な多感覚の刺激をひとつの単位として関連づける能力を反映している (Wallace & Stevenson, 2014)。また、AQ における社会的スキルは、新規な刺激や刺激の変化に対する受容の能力を反映していると考えられる (項目例：新しい友人を作ることは苦手である、初対面の人と会うことは楽しい)。したがって、時間窓が狭く、視聴覚統合における時間処理が過剰に正確になることが、可変的で複雑な刺激や状況に適応することの困難さと関連することが示唆された。

ダブルフラッシュ錯視を利用した先行研究では、ASD 者は広い時間窓を持つことが示された (Foss-Feig et al., 2010)。また、視聴覚刺激を用いた同時性判断課題を行った場合には主観的同時点とコミュニケーション・社会的スキル得点間に負の相関が見られた (Donohue et al., 2012)。コミュニケーション得点と社会的スキル得点間に正の相関があったこと (表 4-5C) と合わせて考えると、両尺度は知覚特性に対して同じような効果を持っていると推測されるだろう。一方で、本実験ではそのような効果は見られず、それぞれが錯視の生起特性と異なる関係性を示した。ただし、重回帰分析における分散拡大係数 (variance inflation factors: VIF) が十分に低い値をとり (およそ 1~2)、多重共線性は統制されていたことを確認した (表 4-5B)。このことから、AQ 下位尺度間の潜在的な相関を適切に統制することで、それぞれの ASD 特性に注目することができ、それによって各 ASD 特性に特有の傾向が見出されたと推測できる。しかし、このような特定の ASD 特性と錯視の生起特性間に見られる関係性や先行研究との知見の不一致に関して、今後のさらなる検討を重ねる必要がある。

錯視の生じた割合と AQ 得点との有意な関係性は見られなかった。ASD 児は定型発達児に比べてダブルフラッシュ錯視が生じやすいことが報告されている (Foss-Feig et al., 2010)。Stevenson, Siemann, Woynaroski, et al. (2014) は同様に ASD 者におけるダブルフラッシュ錯視の生じやすさを検討した。この研究では、反応バイアスに関する要因を統制するため、各実験参加者の錯視条件における光の点滅の見える回数を、聴覚刺激が提示されない条件と聴

覚刺激が1度提示される条件での光の点滅の見える回数を除することで標準化し、その値をASD群と定型発達群で比較した。その結果、ASD者はダブルフラッシュ錯視の生起条件下での光の点滅の見える回数が少なく、錯視が生じにくいことが示唆された。このように、本実験ならびに先行研究間で知見の相違が見られるが、ダブルフラッシュ錯視に関する実験では反応バイアスの影響が見られる可能性がある。本実験における反応バイアスの有無について、まず本実験で得られた時間窓は、反応バイアスではなく知覚段階における錯視を示した先行研究と同様の傾向を示した(Calvert & Thesen, 2004; Shams et al., 2002)。さらに、錯視条件とAQ下位尺度との関係性が見られたが、統制条件とAQ得点との有意な関係性は見られなかった。もし錯視条件において、光の点滅が2回だと報告されたことが視聴覚統合によって生じた効果ではなく、単純に点滅の回数を数える正確さやキー押しの偏りの影響を表しているとすれば、錯視条件だけでなく統制条件においてもAQ得点との関係性が見られるだろう。したがって、錯視条件における実験参加者の反応は視聴覚統合処理に基づくものであり、本実験の知見は純粋な視聴覚統合処理特性とASD傾向との関係性を示したものであると考えられる。しかしながら、統制条件における視覚刺激が2回点滅したと回答された割合について、2F/1B条件でその割合が2F/0B条件と2F/2B条件よりも低く、また2F/1B条件と1F/0B条件でその割合に有意な差がなかった。これらの示唆することとして、聴覚刺激が一度提示された場合には2回点滅した視覚刺激が1回点滅したように見やすい傾向があると考えられる。このような2回点滅した光が一度の音の提示により1回の点滅に見える統合錯視も報告されているものの(Andersen et al., 2004)、本実験では反応バイアスが含まれていた可能性を完全には排除できていないと言える。今後の研究ではより厳密に反応バイアスを統制し、視聴覚統合処理特性とAQ得点との関係性を検討する必要があるだろう。

#### 4.4 定型発達者の ASD 傾向とストリームバウンス効果との関係性の検討（実験VI）

##### 目的

実験VIではダブルフラッシュ錯視を利用して視聴覚統合処理特性を測定し、ASD 傾向との関係性を検討したところ、特に時間処理側面と社会コミュニケーションに関わる特性との関係性が見られた。しかしながら、このような関係性がダブルフラッシュ錯視に特有のものであるか、または視聴覚処理全般に広く見られる傾向なのかは明らかでない。したがって、本実験の目的は視聴覚の時間処理特性と ASD 特性間の関係性が他の視聴覚錯視においても観察されるかどうか明らかにすることであった。そのために、ストリームバウンス効果を採用することとした。ストリームバウンス効果は、画面上で2つの物体が互いに近づくように動き、重なったのちに、また互いに離れていくような刺激を見た際に、(1)物体が互いにすれ違った、(2)物体同士がぶつかって跳ね返ったという2通りの軌道に見える（図4-8）。この刺激の際、2つの物体が重なるタイミングと同時に、または近いタイミングで短い聴覚刺激を提示することで、物体が跳ね返ったように見えやすくなり、この効果は2物体の重なりと同時かそれよりも150 ms 前に音を提示することで強く生じる(Sekuler, Sekuler, & Lau, 1997)。このように、ストリームバウンス効果はダブルフラッシュ錯視と同様に光とビーブ音のような単純な視聴覚刺激から構成されており、視聴覚統合によって視覚刺激の見え方が変化するものである。さらに、視聴覚刺激間の時間的な提示のタイミングを操作することで効果の生じ方に変化が見られる。このため、ダブルフラッシュ錯視から測定した視聴覚統合の時間特性と社会コミュニケーションの困難さとの関係性を追試することに適していると考えた。もし、ダブルフラッシュ錯視を使用した検討で見られた知見が ASD 特有の知覚特性を反映しているとすれば、ストリームバウンス効果を用いた本実験でも同様の結果が得られると予想した。

##### 方法

###### 実験参加者

正常な視力と聴力を持つ立教大学の学生 68 名（男性 12 名，女性 56 名）を対象とした。実験参加者の平均年齢は 19.31 歳（標準偏差 1.01 歳）であった。なお上記に含まない 23 名分のデータは心理物理曲線への当てはまりが十分でなかったか（決定係数  $R^2$  が 0.25 以下）、外れ値とみなされたため、後の分析から除外した（詳細はデータ分析を参照）。実験手続きは立教大学現代心理学部心理学研究倫理審査委員会の承認を得た（承認番号：16-2）。実験実施前に各実験参加者からインフォームドコンセントを得た。

###### 装置

視覚刺激は CRT ディスプレイ（EIZO FlexScan T776, 19-inch, 1280 × 1024 pixels, refresh rate 60 Hz）、聴覚刺激はオーディオインターフェイス（Roland, EDIROL UA-25 EX）およびヘッドホン（Sennheiser, HDA200）を使用して提示した。顎台を用いて実験参加者と CRT

ディスプレイ間の距離を 57.3 cm に固定した。画面の輝度は輝度計 (Cambridge Research Systems; ColorCAL MKII Colorimeter) を用いて測定した。実験を制御するために MATLAB (MathWorks Inc.) と Psychophysics Toolbox (Brainard, 1997; Pelli, 1997) を使用した。実験は暗室で実施され、実験参加者はキーボードのキー押しによって課題に回答した。実験実施後、ASD 特性の測定のために日本語版 AQ (Wakabayashi et al., 2004) への回答を求めた。

### 刺激

赤い注視点 (14 cd/m<sup>2</sup>) を黒い背景上 (0.08 cd/m<sup>2</sup>) に提示した。注視点から視角 5 度上に、2 つの白い円 (視角にして直径 1 度; 71.04 cd/m<sup>2</sup>) を視角 12 度の距離で提示した。白い円を水平に互いに近づくように視角 11.61 度/秒の速度で動かし、中心で接触した後、離れるように動かしした。ビープ音 (1850 Hz; 95 dBA; 4 ms) を白い円が接触した時から SOA±0, 25, 50, 75, 100, 150, 200, 300, 400, 500 ms で提示した。正の値は円が接触した後に、負の値は円が接触する前にビープ音が提示されたことを表す。

### 手続き

実験課題：画面上に注視点が表示されてから 1200~1500 ms 後 (試行ごとにランダムに割り当てられた)、2 つの白い円から構成される視覚的な運動刺激が提示された。運動刺激の提示中に、ビープ音が提示された (図 4-8)。統制条件として、白い円の動きに対してビープ音を提示しない、音無し条件を設けた。運動刺激の提示後に、実験参加者は白い円の動きが、反発したように見えたか通過したように見えたかをキー押しで回答した。各条件 (19 の SOA 条件と統制条件) は 10 回繰り返され、合計 200 試行行なった。各条件はランダムな順番で提示され、実験参加者間でカウンターバランスが取られた。

ASD 特性の測定：実験実施後、実験参加者に日本語版 AQ への回答を求めた。実験参加者は各項目の記載について自身に当てはまる度合いを 4 件法で回答した。個人差をよく反映させるために、先行研究と同様のリッカート式得点法 (3-2-1-0) を採用した (J. Davis et al., 2017; Hoekstra et al., 2008; Palmer et al., 2015)。50 項目の得点の合計値を合計 AQ 得点とした。また Baron-Cohen et al. (2001) にならい、50 項目を 10 項目ずつに分割し、下位尺度得点を算出した。合計 AQ 得点は 0 点~150 点、下位尺度得点は 0 点~30 点を取りうる。得点が高いほど、ASD 傾向を強く示すことを表す。

### データ分析

恒常法を用いて、ビープ音の SOA に対する反発したように見えたと回答された割合の心理物理曲線を取得し、MATLAB 上の curve fitting toolbox を用いてガウス関数に当てはめた。当てはめた関数の SD を時間窓とし、この値が大きいほど広い時間窓を示すことを表した。また、関数の頂点に対する SOA の値 (peak-SOA) を算出し、交差反発知覚の時間的な特徴の指標として用いた。正の値 (負の値) は白い円の接触に対して、ビープ音が後

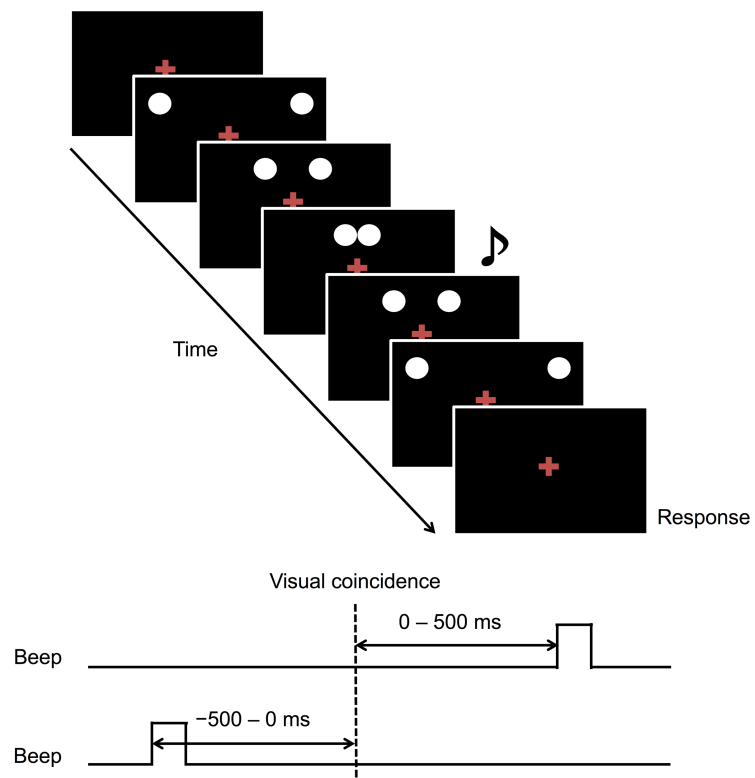


図 4-8 ストリームバウンス効果を利用した実験模式図。画面上で水平に2つ白い円を互いに近づくように移動させ、中心で重なり、その後離れていくように移動させた。2つの円の重なる瞬間から刺激間の時間間隔 (stimulus onset asynchrony: SOA) を± 0-500 ms に設定し、ビープ音を提示した。実験参加者は白い円の見え方を回答した (通過したか反発したか ; Yaguchi & Hidaka, 2020 より転載)。

に（先に）提示された場合に、最も効果が生じたことを表す。また、関数の頂点（peak）を効果の生じやすさの指標とし、値が大きいほど効果が強く生じていたことを表す。統制条件である、音無し条件では白い円が反発したように見えたとは回答された割合を算出した。データ分析から除外した実験参加者のデータのうち、6名のデータはガウス関数への当てはまらなかったために（決定係数 0.25 以下）、12名のデータは算出した指標のいずれかが実験参加者内の平均値から 2SD の範囲を超えた値を示したために、除外することとした。除外された実験参加者の合計 AQ 得点は 67.94 点（標準偏差 14.06 点）、51～98 点の範囲であった。

算出した指標と合計 AQ 得点との相関分析を行った。なお多重比較の補正を行うために、有意水準を  $p=0.017$  ( $0.05/3$ ) とした。AQ 下位尺度間でいくつかの有意な相関が見られた（有意水準  $p=0.005$  [ $0.05/10$ ]; 表 4-6）。AQ 下位尺度間の相関を統制するために、5つの AQ 下位尺度を説明変数、3つの算出した指標のいずれかを従属変数として、重回帰分析（変数減少法）をおこなった。重回帰分析の統計的有意水準は  $p=0.017$  ( $0.05/3$ ) とした。また、同様に音無し条件において反発したとは回答された割合と、合計 AQ 得点・AQ 下位尺度得点間の関係性に関して、相関分析または重回帰分析を行った。

#### 結果・考察

実験参加者の合計 AQ 得点の平均値は 65.42 点（標準偏差 11.33 点、42～91 点）であり、得点が高いほど ASD 傾向を強く示すことを表す（図 4-9A）。下位尺度の平均値（標準偏差）は下記の通りである：社会的スキル 13.52 点（5.36 点）、注意の切り替え 15.87 点（3.83 点）、細部への注意 14.04 点（4.58 点）、コミュニケーション 11.81 点（3.89 点）、想像性 10.18 点（3.98 点）。また、算出した交差反発知覚の指標の平均値（標準偏差）は時間窓が 107.10 ms（73.23）、peak-SOA が 11.22 ms（54.04）、peak が 83.75 %（12.66）であった。

各実験参加者におけるストリームバウンス錯視の生起指標を算出した（図 4-9B）。指標と合計 AQ 得点間の相関分析を行ったが、有意な相関は見られなかった（時間窓： $r(66)=0.13$ ,  $p=0.304$ ； peak-SOA： $r(66)=0.11$ ,  $p=0.392$ ； peak： $r(66)=0.29$ ,  $p=0.017$  [ $0.0169$ ]; 図 4-10）。また、重回帰分析を実施したところ、AQ 下位尺度と peak-SOA との回帰式が有意であり（ $F(3,64)=4.01$ ,  $R^2_{\text{adj}}=0.12$ ,  $p=0.011$ ; 図 4-11）、コミュニケーション得点と peak-SOA との正の関係（ $\beta=0.31$ ,  $p=0.02$ ）、想像性得点と peak-SOA との負の関係が見られた（ $\beta=-0.31$ ,  $p=0.02$ ）。AQ 下位尺度とその他の指標間の回帰式はいずれも有意でなかった（peak： $F(1,66)=4.63$ ,  $R^2_{\text{adj}}=0.05$ ,  $p=0.035$ ；時間窓： $F(1,66)=2.00$ ,  $R^2_{\text{adj}}=0.02$ ,  $p=0.162$ ）。また音無し条件に関して、白い円が反発して見えた割合と AQ 得点との関係性を検討したが、合計 AQ 得点との相関（ $r(71)=-0.05$ ,  $p=0.675$ ）および AQ 下位尺度得点との重回帰式（ $F(1,66)=2.02$ ,  $R^2_{\text{adj}}=0.02$ ,  $p=0.160$ ）は有意でなかった。

以上のように、AQ 下位尺度がストリームバウンス効果の生起指標と関連することを見出したが、一方で統制条件（音無し条件）との有意な関係性は見られなかった。したがって、

表 4-6 AQ 下位尺度間の相関

	社会的スキル		注意の切り替え		コミュニケーション		細部への注意		想像性	
	<i>r</i>	<i>p</i>	<i>r</i>	<i>p</i>	<i>r</i>	<i>p</i>	<i>r</i>	<i>p</i>	<i>r</i>	<i>p</i>
社会的スキル										
注意の切り替え	0.44	< .001								
コミュニケーション	0.44	< .001	0.26	0.030						
細部への注意	0.29	0.019	0.40	< .001	-0.04	0.725				
想像性	-0.30	0.013	-0.27	0.027	-0.02	0.845	-0.26	0.035		

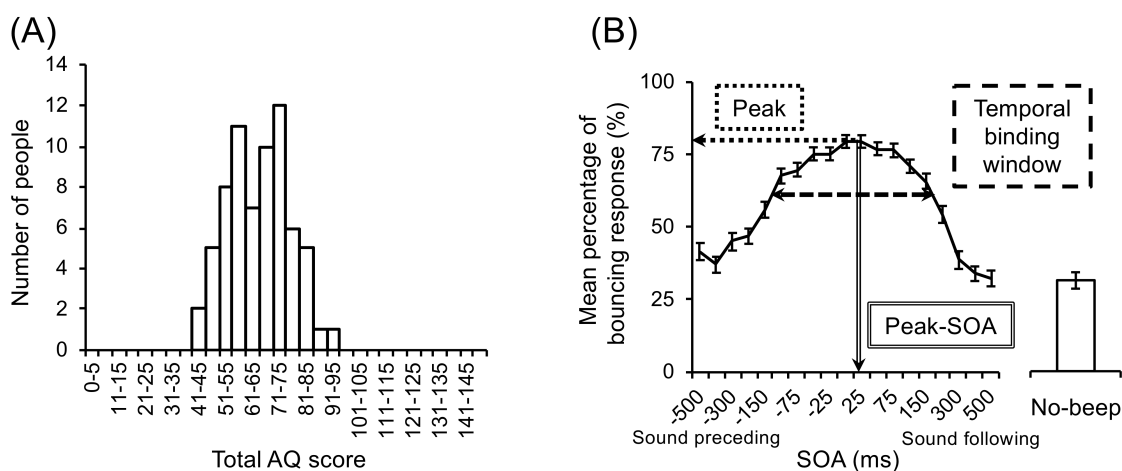


図 4-9 (A) 実験参加者の合計 AQ 得点の度数分布図。横軸は合計 AQ 得点を表し、縦軸は人数を表した (N = 68)。本実験ではリッカート式得点法を採用したため、得点は 0-150 点の範囲をとる。(B) 各条件における実験参加者の平均回答。縦軸は白い円が反発したように見えた割合を示す。エラーバーは標準誤差を表す。白い円の重なる瞬間とビーブ音の時間的な間隔 (stimulus onset asynchrony: SOA) に対する回答割合から得られた心理物理曲線から、時間窓として 1 標準偏差を、ストリームバウンス効果の生じる時間特性の指標として曲線の頂点が位置する SOA の値 (peak-SOA)、ストリームバウンス効果の生じる強さとして、曲線の頂点 (peak) を算出した (Yaguchi & Hidaka, 2020 より転載)。



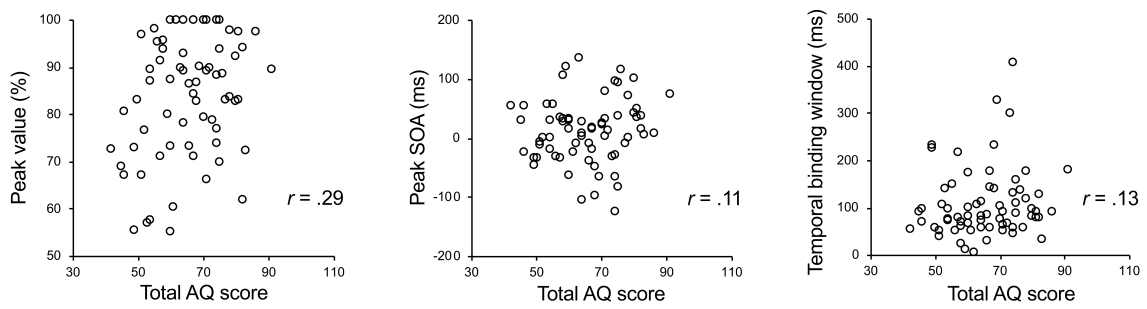


図 4-10 合計 AQ 得点と peak (左), peak-SOA (中央), 時間窓 (右) 間の散布図 (Yaguchi & Hidaka, 2020 より転載)。

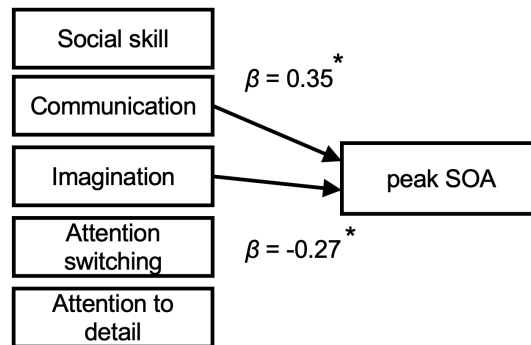


図 4-11 重回帰分析の結果。コミュニケーション得点および想像性得点と Peak-SOA 間の有意な関係性が見られた (Yaguchi & Hidaka, 2020 より転載)。

本実験の結果は反応バイアスではなく、視聴覚統合処理特性を反映したものと考えられる。

コミュニケーション得点と peak-SOA との正の相関が見られ、コミュニケーションへの困難さが高い人ほど、2つの視覚刺激が重なる瞬間に対して聴覚刺激が遅れた場合に最もストリームバウンス効果が生じたことが示された。一般にストリームバウンス効果は視覚刺激の重なりと同時かそれよりも早く聴覚刺激が提示された場合に生じることから(Sekuler et al., 1997), 今回の結果は ASD 特有の視聴覚統合処理の特異性を反映していると解釈できる。ASD 者の視聴覚統合の特徴として発話刺激に関する報告がなされている。例えば、ASD 者は広い時間窓と視聴覚刺激（口の動きと音声）を統合させる傾向と低さが報告されている(Stevenson, Siemann, Schneider, et al., 2014)。さらに ASD 者において、そのような広い時間窓や視聴覚統合の弱さが発話理解に関する課題成績の低さに影響を与えていることが示された(Stevenson et al., 2018)。これらのことから、コミュニケーションの困難さには視聴覚統合における時間処理の特異性が関係していることが示唆された。

また、AQ 下位尺度得点が時間窓ではなく peak-SOA と関連したことについて言及する。これはダブルフラッシュ錯視を使用した先行研究で AQ 得点と時間窓との関係性が報告されていること(Kawakami, Uono, Otsuka, Zhao, & Toichi, 2018; Yaguchi & Hidaka, 2018)と対照的な結果である。この知見の不一致は錯視現象の特徴の違いから説明できるだろう。ストリームバウンス効果は視覚刺激に対して同時または先行して聴覚刺激が提示された場合に生じるのに対し(Sekuler et al., 1997), ダブルフラッシュ錯視は視覚刺激よりも聴覚刺激が早いタイミングで提示された場合だけでなく遅いタイミングで提示された場合にも生じる(Shams et al., 2002)。つまりストリームバウンス効果は聴覚刺激の提示タイミングが重要である一方で、ダブルフラッシュ錯視では視聴覚刺激間の時間的な間隔が錯視の効果を変化させると推測できる。ストリームバウンス効果と同様に聴覚刺激の提示タイミングによって反応が変化することが知られている同時性判断課題においては(Zampini, Guest, Shore, & Spence, 2005), AQ 得点と主観的同时点との関係性が見られ、時間窓との関係性は示されなかった(Donohue et al., 2012)。このように、ASD 特性と視聴覚の時間処理特性との関係性は用いる課題や反応に依存するものだと考えられる。

また、コミュニケーション得点と社会的スキル得点には正の相関が見られるにも関わらず、社会的スキル得点とストリームバウンス効果の生起指標との関係性は見られなかった。これはコミュニケーション得点と社会的スキル得点の共分散によるものである可能性が考えられる。本実験では AQ 下位尺度間の相関を統制するために重回帰分析を採用し、これによりコミュニケーション得点とストリームバウンス効果との間に正の関係性が示された。さらに、AQ 下位尺度のコミュニケーションが言語コミュニケーションの難しさを反映している一方で、社会的スキルは新規な社会的場面への適応の難しさを反映している。このため、両尺度は社会コミュニケーションの異なる側面を測定するものであると考えられる。先の実験でも、ダブルフラッシュ錯視について、社会的スキルとコミュニケーション間で反対の関係性を示した(Yaguchi & Hidaka, 2018)。ダブルフラッシュ錯視は単純なビーブ音と光の

点滅のみを含むので、比較的低次な知覚表象を含むものであると考えられる。そのため、より低次な処理段階における視聴覚相互作用特性は社会的スキルとコミュニケーションの両側面に関連したと推測できる。一方、ストリームバウンス錯視は運動刺激のようなより高次な知覚要素を含んでいるだろう。本実験ではストリームバウンス効果の生起指標である peak-SOA がコミュニケーションに関連したが、それに関連してマガーク効果に注目したい。マガーク効果は不一致な視覚刺激（口の動き）と聴覚刺激（音声）を提示することで異なる音声発話に聞こえる現象であるが(McGurk & MacDonald, 1976)、これは視覚的な運動刺激と聴覚刺激の統合によって生じる。またこの現象は視覚刺激に対して聴覚刺激が遅れて提示された場合にも生じることが繰り返し報告されている(Munhall, Gribble, Sacco, & Ward, 1996; Van Wassenhove, Grant, & Poeppel, 2007)。ストリームバウンス効果もまた視覚刺激に対して聴覚刺激が先行して提示された場合にも生じるため(Sekuler et al., 1997)、視聴覚刺激の時間的な順序がより高次な処理段階における視聴覚統合の重要な要因であると推測される。さらに ASD 者においてマガーク効果の生じにくい人ほど発話知覚能力が低いことが知られている(Stevenson et al., 2018)。本実験のストリームバウンス効果を利用した検討でも、マガーク効果のように運動刺激を含む比較的高次な視聴覚統合処理の時間特性が言語コミュニケーションに関連する可能性が示唆された。この可能性については今後の研究で検証する必要があるだろう。

さらに、想像性得点と peak-SOA との負の関係性が見られ、コミュニケーション得点に関する結果とは逆に、想像を膨らませることが苦手であるほど音が先に提示された場合に効果が最も強く生じたことが示された。想像性は想像を膨らませることの困難さを反映した項目が含まれており、一方でコミュニケーションは言語コミュニケーションの難しさを反映している。さらに想像性得点とコミュニケーション得点の間には有意な相関は見られなかった(表 4-6)。このため、想像性とコミュニケーションは異なる ASD の側面と関連しており、それぞれの側面が視聴覚統合処理と独自の関係性を持っていると考えられる。peak-SOA の値が負の値を取ることは、音と視覚的な運動刺激を統合する際の時間的な処理において、音が視覚刺激の重なる瞬間に対して先行して提示される必要があることを意味する。ストリームバウンス効果は、聴覚刺激が視覚刺激の重なりと同時に提示されるだけでなく、先行して提示された場合にも生じるが(Sekuler et al., 1997)、それは聴覚刺激の提示によって運動する物体が衝突するだろうという予測が働くためだと推測できる。このため本実験の想像性得点の高い実験参加者では、このような予測を働かせるために、より聴覚刺激が先行して提示され、視覚刺激の重なりという事象までの時間がより長く必要だと考えられる。このような知覚的な事象への予想に関する視聴覚処理の特徴が想像を働かせるという認知的な困難さにも影響を与えている可能性が示唆された。

また、ストリームバウンス効果の生起指標と AQ 下位尺度のうち注意に関する尺度（注意の切り替え・細部への注意）との関係性は示されなかった。運動刺激に対する視聴覚の知覚学習の頑強さと高い注意の切り替え得点との関係性や(Hidaka & Yaguchi, 2018)、視聴覚刺激

の時間差に対する順応の起こりにくさと高い細部への注意得点との関係性(Stevenson, Toulmin, et al., 2017)が報告されている。このことから、注意に関する ASD の側面は新規な視聴覚の関係性を獲得することに関係しており、そのためにストリームバウンス効果の生起との関係性は見られなかったと推測される。

合計 AQ 得点とストリームバウンス効果の生起指標間の関係性は有意ではなかったものの、全般的な ASD 傾向が高いほど効果が生起しやすい傾向が示された(ボンフェローニ補正による有意水準  $p = 0.167$  に対して  $p = 0.169$ )。これは ASD 者はダブルフラッシュ錯覚が生起しやすいことを示した先行研究(Foss-Feig et al., 2010)と一致する結果であると考えられる。視聴覚統合について ASD 者と定型発達者の比較検討を行なった研究では結果の不一致が報告されている(Foss-Feig et al., 2010; Keane et al., 2010; Marco et al., 2011; Stevenson, Siemann, Woynaroski, et al., 2014; van der Smagt et al., 2007)。このような知見の一貫性の低さを生じさせる要因のひとつとして、ASD が様々な側面から構成されていることを考慮していないことが挙げられる。実際に、AQ 下位尺度間で視聴覚相互作用との結びつき方が異なることが報告されている(例えば、Donohue et al., 2012; Kawakami et al., 2018; Yaguchi & Hidaka, 2018)。これらのことから、本実験では各 AQ 下位尺度と視聴覚相互作用の指標との間に独自の関係性があるために、合計 AQ 得点と指標との関係性は観察されなかったと考えられる。

#### 4.5 考察

本研究では多感覚モダリティの知覚特性と ASD 特性との関係性を検討するために、定型発達の大学生を対象に研究を行なった。その結果、視覚・触覚刺激に対する検出・弁別閾がコミュニケーションの困難さや注意の切り替えの困難さと関連することが示され、ASD 中核症状である社会コミュニケーションとこだわり行動の両側面に関わることが示唆された。一方、視聴覚統合に関しては特に時間処理側面が社会的スキル・コミュニケーション・想像性といった社会コミュニケーションに関わる中核症状にのみ関連した。このように多感覚の知覚特性と特定の AQ 下位尺度得点間に関係性が存在することが示唆された。

本研究で実施した3つの実験に共通して、AQ 下位尺度得点がそれぞれ知覚特性に対して異なる影響を持つことが示された。すなわち、実験IVではコミュニケーション得点と触覚の検出閾との正の関係が見られたが、注意の切り替え得点と触覚の弁別閾の間には負の関係が見られた。さらに実験Vではダブルフラッシュ錯視を用いた検討から、時間窓とコミュニケーション得点および社会的スキル得点との間に、それぞれ正と負の関係が示された。実験VIでは、ストリームバウンス効果を使用した場合でも同様に、peak-SOA とコミュニケーション得点・想像性得点との間に、それぞれ正と負の関係が示された。多くの先行研究で ASD 群と定型発達群間で知覚パフォーマンスを比較しており、個人の持つ ASD 特性の多様性は考慮されてこなかった。その結果として知見の不一致が大きかったと考えられるが、本研究では全体的な ASD 傾向の高さだけでなく、AQ 下位尺度を利用することで様々な ASD 特性の側面に注目し、その結果、刺激への検出・弁別感度や視聴覚刺激の時間処理特性はそれぞれ異なる ASD 特性と結びつくことを発見することができたと考えられる。

## 第五章 総合考察

本論文の主要な目的は、ASD 特性の個人差の基盤の解明であった。そのために ASD 特性の個人差の表れ方と、その個人差と知覚特性との関係性を検討した。本章では、第 2 章から第 4 章までで得られた知見にもとづき、ASD 特性の生起モデルを知覚特性との関わりから新たに提案する。これにより、ASD 特性には複数の生起要因が関わっていることから豊かな個人差が現れている可能性を議論する。また、研究の応用的展望として、診断や支援方法への活用可能性を議論する。

### 5.1 ASD 特性の個人差の生起モデルの検討

#### 5.1.1 ASD 特性間の関係性

第二章では ASD 特性の個人差の表れ方を明らかにするために、持ち合わせる特性によって ASD 者をグループ分けした。本研究では新たに感覚過敏性・鈍麻性だけでなく中核症状に関する質問紙得点に基づくクラスター分析を実施し、その結果 5 つのグループに分類された。先行研究 (e.g. Lane et al., 2014) で言われていたような感覚過敏性・鈍麻性と中核症状の重症度が一致するグループと、新たに両特性の重症度の一致しないグループが見られた。

重症度が一致するグループとして、感覚過敏性・鈍麻性と中核症状の両方を比較的軽度を示すグループと逆に両方を比較的軽度を示すグループが見られた。感覚過敏性・鈍麻性と中核症状との関係性に関する検討が様々に行われてきており、多くの研究で ASD 者は感覚過敏性・鈍麻性の症状を強く示すほど、こだわり行動・興味を強く示すことや (Boyd et al., 2010; Gabriels et al., 2008)、社会コミュニケーションの困難さを強く持ち合わせていることが報告されており (Ashburner et al., 2008; Baker et al., 2008; Hilton et al., 2010; Hochhauser & Engel-Yeger, 2010; Lane et al., 2010)、定型発達者内でも同様に感覚過敏性・鈍麻性の症状が強いほど ASD 傾向を強く示すことが示されている (Robertson & Simmons, 2013)。さらに、これらの研究では因果関係の直接的な検討はなされていないものの、感覚過敏性・鈍麻性が中核症状を生じさせているという見方もある (Cascio et al., 2016)。これらのことから、本研究で観察された重症度が一致するグループは、感覚過敏性・鈍麻性が中核症状を生じさせる傾向を反映したグループである可能性があると考えられる。

一方で、本研究で新たに重症度の一致しないグループが観察された。Tomchek et al. (2018) は 3 歳から 6 歳の ASD 児を対象に SSP 得点と様々な発達にともなう能力の獲得に関するアセスメント得点に基づき分類を行なった。感覚過敏性・鈍麻性を弱い程度しか示さないグループよりも、過敏性や感覚探求の特徴を示すグループの方が、発達スキルが高く、より適応的な行動を示すことが報告された。つまり感覚過敏性・鈍麻性の重症度と発達スキルの獲得の遅れの程度は一致しない場合があると考えられる。本研究でも同様に、感覚過敏性・鈍麻性と中核症状の重症度は必ずしも一致しない場合があることが示唆された。本研究でも約半数の参加者 (83 名中 42 名) が上記の先行研究で語られているような両特性が共起してい

るグループに分類された。しかしながら、重症度が一致しないグループに分類された参加者も少ない割合であるものが見られた（83名中18名）。このことから、ASD者の中でも両特性が共起する人は多数派であるために先行研究でその関係性がよく報告されてきたが、両特性が共起しない人々も存在することが新たに示唆されたと言えるだろう。

### 5.1.2 ASD特性と知覚特性間の関係性

さらに第三章、第四章では感覚過敏性・鈍麻性や中核症状と知覚特性との関係性を検討した。知覚特性として、刺激への検出・弁別感度と時間処理特性に着目し、また様々な感覚モダリティについて特性の測定を行った。本研究で取り扱った知覚特性に共通して、実験課題成績の個人差と感覚過敏性・鈍麻性や中核症状の重症度とが関連することが示された。一方で、いずれの知覚特性もASDの症状全般に影響を与えているのではなく、それぞれが異なる症状の重症度と関連することが示唆された。

#### 5.1.2.1 感覚過敏性の背景

第三章では感覚過敏性・鈍麻性に関連する知覚特性を検討するため、特にさかんに研究が行われている触覚について(Puts et al. 2014; Tommerdahl et al. 2008; Wada et al. 2014)、刺激への感度と時間処理特性を測定した。従来、感覚過敏性は刺激への検出感度が高まっているために生じると考えられてきたが(Mikkelsen et al., 2018)、本研究ではそのような関係性は確認されなかった。これは、刺激への検出感度と感覚過敏性は同一ではなく別の概念だとする近年と研究動向に一致する結果である(Schulz & Stevenson, 2019)。一方で新たに、時間処理精度の上昇が感覚過敏性と関連することを発見し、その関係性は異なる時間処理精度の測定課題において共通して見られた。

#### 5.1.2.2 こだわり行動の背景

第三章において、ASD者では刺激の検出感度が鈍いほどこだわり行動が強く示されるという関係性が見られた。さらに、第四章においても、定型発達者における視・聴・触覚刺激に対する検出感度および弁別感度を測定し、第三章と同様に視・触覚刺激の検出・弁別感度がこだわり行動を反映するASD傾向と関連することが示された。したがって、刺激への検出・弁別感度はこだわりの強さを生じさせる要因となると考えることができる。

#### 5.1.2.3 社会コミュニケーションの困難さの背景

また刺激への感度は社会コミュニケーションと関連することが示され、触覚や視覚の感度が鈍いほど社会性やコミュニケーションの困難さにつながるものが第三章、第四章に共通して見られた。さらに第四章では社会コミュニケーションと関連が深いと考えられてきた視聴覚統合処理について(Wallace et al., 2020)、定型発達者のASD特性との関係の検討を行った。2つの異なる現象を用いて、視聴覚統合によって生じる刺激の視覚的な見えの変化

特性を測定した。その結果、いずれの現象でも視聴覚統合の生じる時間的な側面が ASD 特性の中でも社会的なスキルやコミュニケーション能力、想像力といった社会コミュニケーションに関わる特性と関連することが示された。同様の結果を示す先行研究も存在することから (Donohue et al., 2012; Kawakami, Uono, Otsuka, Zhao, & Toichi, 2020), 適切でないタイミングで提示された視聴覚刺激を統合してしまうという特性が社会コミュニケーションの難しさに関連することが示唆された。

### 5.1.3 ASD 特性生起モデルの提案

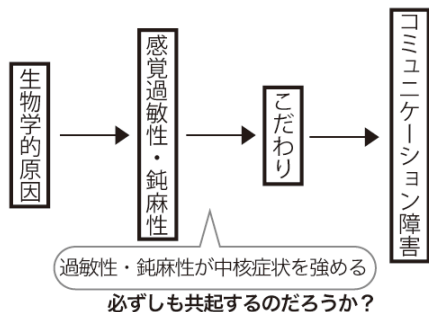
以上のことから、図 5-1 のモデルを提案する。まず感覚過敏性・鈍麻性と中核症状の重症度のつながり方には多様なパターンが存在し、従来考えられてきたような両特性が共起するパターンだけでなく、共起しないパターンもあり、ASD 者の中でも症状の表れ方には個人差が大きいと言える。さらに知覚特性を測定する実験課題パフォーマンスの個人差が ASD の症状の重症度と関連すると言える。また、各 ASD の症状にはそれぞれ異なる知覚の特性が関連すると考えられる。これらのことから、ASD 特性の生起に関して ASD 者全員に共通する知覚メカニズムがあるのではなく、むしろ ASD 者内では知覚特性や ASD 特性について個人差が大きく、また個人の持つ知覚特性によって持ち合わせる ASD 特性が変化することが新たに示唆されたと考えられる。

ASD の症状と知覚特性間に個別の関係性が見られることは、それぞれの知覚特性が異なるメカニズムによって ASD の症状を生じさせていることを表しているかもしれない。例えば、各知覚特性から社会コミュニケーションに影響を与えるフローについて考える。本研究では高い時間処理精度が感覚過敏性を生じさせることが示唆されたが、そのような感覚過敏性による刺激への回避傾向や嫌悪反応が行動を制限し、それがこだわりの行動として捉えられる場合があると考えられる。さらにそのような行動が社会場面への参加を妨げ、コミュニケーション能力の向上を妨げてしまう要因になると考えられる (熊谷, 2017)。触覚や視覚刺激への検出・弁別感度にはこだわり行動と社会コミュニケーションの困難さが関係することが示唆されたが、それは感度の低下や上昇により外界の情報の受け取り方に特異性が生じるためだと推測できる。さらに触覚の検出感度と感覚過敏性・鈍麻性との関係性は見られなかったことから、そのような関係性は刺激に対する情動面や行動面の反応とは異なるメカニズムで発生する可能性が考えられる。視聴覚統合における時間処理特性は社会コミュニケーションの困難さにも関連することが示唆されたが、視聴覚処理と社会コミュニケーションの関係性が生じる理由は、言語理解に関わるためだと考えられている。例えば、マガーク効果と呼ばれる視聴覚統合による錯覚現象では、不一致な視覚刺激 (口の動き) と聴覚刺激 (音声) を提示することで異なる音声発話に聞こえる現象である (McGurk & MacDonald, 1976)。ASD 者ではマガーク効果が生じにくく (Gelder, Vroomen, & Van der Heide, 1991; Irwin, Tornatore, Brancazio, & Whalen, 2011), その傾向は特に時間窓が広いほど顕著で

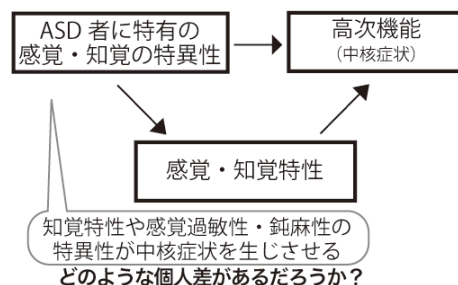


既存モデル

熊谷 (2017) の ASD 特性生起モデル (一部改変)



Cascio(2016) の ASD の感覚モデル (一部改変)



統合・提案モデル

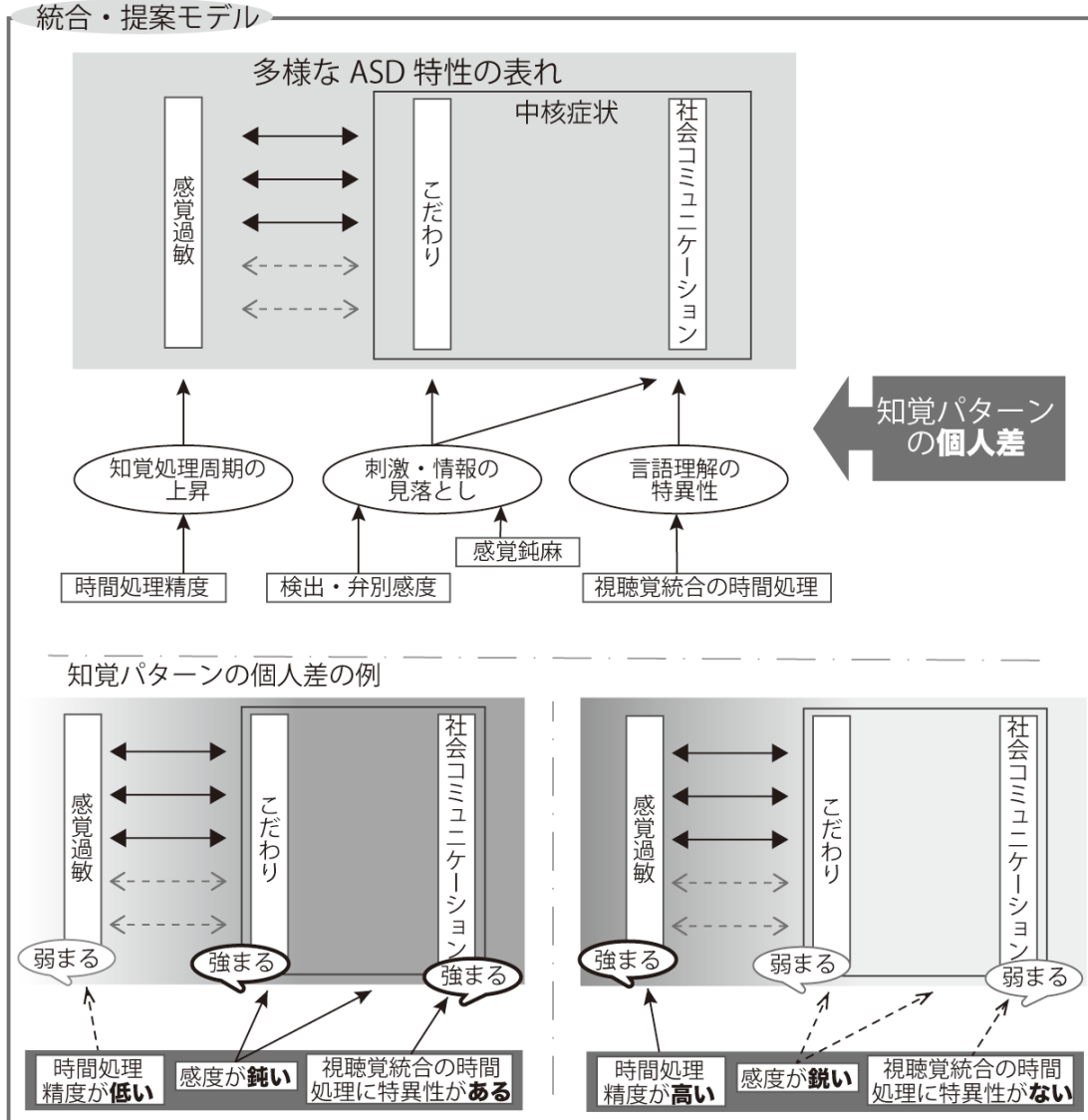


図 5-1 ASD 特性の個人差が生じる知覚メカニズムに基づくモデルの提案

あり、そのことが発話理解の課題成績の低さと関連することが知られている(Stevenson et al., 2018)。したがって、視聴覚統合処理の特異性によって、発話に対する理解に歪みが生じ、それが社会コミュニケーションの困難さにつながっているだろう。このように知覚特性はそれぞれ独自のメカニズムによって ASD 症状の重症度に影響を与えていると考えられる。

また刺激への感度と時間処理特性は互いに独立した知覚処理であると考えられるため(Puts et al., 2014), 個人によって様々な知覚特性のパターンを持ち合わせていると推測できる。そうであれば、知覚特性のパターンの個人差によって ASD 特性全体の表れ方の個人差に影響を与えるだろう。例えば、熊谷(2017)によれば、感覚過敏性がこだわり行動や社会コミュニケーションの難しさを生じさせると考えられている。しかし、触覚の時間処理精度は高くなく、感覚過敏性は示さない人であっても、検出・弁別感度や視聴覚統合の時間処理特性に特異性があれば、社会コミュニケーションやこだわり行動を強く示すかもしれない。逆に、触覚の時間分解能が高く、感覚過敏性の症状が強い場合でも、検出・弁別感度が鋭かったり、視聴覚統合の時間処理特性に特異性を示さなければ、こだわり行動や社会コミュニケーションの困難さは強く表れないかもしれない。このように、ASD 特性の表れ方の個人差はその人がどのような知覚特性を持ち合わせているかといったタイプの違いによって生じる可能性が考えられる。ASD 特性の生じる知覚的なメカニズムを解明するためには、ASD の被診断者か否かという分類を行うだけでなく、個別の ASD 特性に着目し、さらに知覚特性のパターンに見られる個人差に注目することが重要だろう。

本論文では感覚鈍麻性と知覚特性との有意な関係性は見出せなかった。ただし、感覚鈍麻性のひとつの特徴である周囲の刺激や情報に気がつかないという行動は、周囲を無視するようなこだわり行動であるように見えたり、社会的な情報の見落としによるコミュニケーション困難さにつながったりすると推測できる。第三章、第四章に共通して、刺激の検出感度の鈍さとこだわりや社会コミュニケーションとの困難さとの関係性が示されたが、このことは提示された情報の見落としがこれらの中核症状の一因であることを示唆していると考えられる。一方で、第三章で感覚鈍麻性と刺激の検出感度の有意な関係性が示されなかったことは、両者が異なる現象であることを示していると考えられる。すなわち刺激への検出感度は純粋に知覚特性を測定したものであり、一方感覚鈍麻性はそのような知覚特性だけでなく、感覚入力に対する情動的な反応を含む。また、鈍麻性は過敏性があるために、その対処として刺激を無視するようになった結果であるとの見方もあるため(Lane et al., 2014), 感覚に関する経験も鈍麻性の表れに影響を与えていると考えられる。このように、刺激への検出感度の鈍さと感覚鈍麻性は異なる現象であるが、刺激の見落としが中核症状を生じさせるという点では共通したメカニズムを有しているだろう。

## 5.2 今後の課題・応用可能性

### 5.2.1 今後の課題

本研究では、ASD 特性と知覚特性の個人差について取り扱った。しかし、その他の個人要因の個人差の影響が存在した可能性が考えられる。まず、本研究では中核症状と感覚過敏性・鈍麻性の重症度の一致しないグループは両特性が独立していると解釈したが、この点に関する別の解釈も考えられる。例えば、Tomchek et al. (2018)は ASD 児の感覚過敏性・鈍麻性と発達スキルの関係性を検討し、感覚過敏性・鈍麻性を弱い程度しか示さないグループよりも、過敏性や感覚探求の特徴を示すグループの方が、発達スキルが高くより適応的な行動を示すことを示した。彼らはこのような重症度の不一致に関して、本研究の解釈とは異なり、両特性が独立しているのではなく、治療的な介入や親のサポートといった生育歴の違いによって感覚過敏性・鈍麻性の症状から中核症状に与える影響が変わる可能性を提案している。このため、今後は生育歴といった個人要因を考慮する必要があるだろう。

また本研究では刺激の検出感度と感覚過敏性・鈍麻性との関係性は確認できなかったが、これも個人要因の影響を否定できない。刺激の感度に関しては感覚モダリティに共通して、先行研究間で知見の相違が見られ、個人差が大きいことが知られている(Marco et al., 2011)。触覚の検出だけでも、ASD の人々は触覚の検出閾が高いこと(Puts et al., 2014)や低いこと(Blakemore et al., 2006)、また定型発達の人々と変わらない(Cascio et al., 2008; Güçlü et al., 2007)という報告がされている。さらに本論文でも第三章の ASD 者を対象とした場合と第四章で定型発達者の ASD 傾向を対象とした場合に、どちらも刺激への感度が中核症状と関連していることを共通して示されたものの、結果の傾向に差異が生じた部分が見られた。すなわち、ASD 者を対象とした場合には触覚刺激への検出感度が鈍いほど ADOS 中の相互的対人関係や常同的行動と限局的興味に関する困難さを強く示したが、言語と意思伝達に関する難しさとの関係性は見られなかった。一方、定型発達者では触覚の検出感度が鈍いほど言語を介したコミュニケーションの困難さを強く示し、さらに触覚の検出ではなく弁別感度が鋭いほど注意の切り替えに関する難しさを強く示した。このような個人のもつ刺激への感度に関する個人差の大きさによって、異なる結果が現れることが考えられる。この個人差への対応について本論文では ASD 特性の個人差を扱ってきたが、その他の個人要因が影響を与えている可能性がある。例えば、Kargas et al. (2015)の ASD 者を対象に聴覚刺激の音圧の弁別感度を測定した研究では、ASD の実験参加者の中では非常に高い閾値を示す者がおり、また実験参加者の IQ と弁別閾との相関が見られたことを示したため、ASD 特性以外の交絡要因が結果に影響を与えていたと主張した。したがって、今後の検討課題としては、個人の知能レベルの発達段階を考慮することで、刺激への感度と感覚過敏性や ASD 中核症状との関係性を解明することができると考えられる。

さらに、これまで感覚鈍麻性と刺激への感度の鈍さは現れとして一致する部分が多いと考えられており(Mikkelsen et al., 2018)、刺激への感度が鈍いことは感覚鈍麻性の特に低登録(一例として、手や顔が汚れていても気がつかないなど)の状態であるようにも考えられ

る。しかし、第三章ではそのような直接的な関係は確認できず、特に感覚鈍麻性と関連する知覚特性の特定には至らなかった。今後は大人数を対象とするなど検討を重ねて、刺激への感度の鈍さと感覚鈍麻的な外部刺激の見逃し傾向が異なる現象であるのか、さらに感覚鈍麻性の知覚基盤はどのようなものであるのかを明らかにしていく必要があるだろう。

また本研究では直接の測定には至らなかったが、今後検証すべき点が存在する。視聴覚統合処理と感覚過敏性・鈍麻性との関係性に関して、Fuxe et al. (2020)は感覚処理障害(感覚過敏性・鈍麻性)を示す児童を対象に単語の聞き取りに関する実験を実施した。この実験ではある単語を発話している映像と音声(視聴覚刺激)が提示され、さらにそれらの刺激に付随してノイズを提示された。感覚処理障害の診断を受けた児童はそうでない児童と比較して、ノイズ中の視聴覚刺激に対する単語の聞き取りの正確さが低いことが示されたが、ノイズが提示されていない条件では聞き取りの正確さに違いはなかった。したがって、感覚過敏性・鈍麻性を示す児童は視聴覚統合処理そのものに関しては特異性を示さないが、ノイズの影響を受けやすく、それによって聞き取り能力が阻害される可能性が示唆された。さらに感覚過敏性と音の聞き取りに関連する先行研究として、Lawson, Aylward, White, and Rees (2015)は右耳に一定の音圧の純音を提示し、その音の大きさを評定させた。ASD 者は定型発達者に比べて音圧に対する順応が生じにくく、繰り返し刺激が提示されても、音の大きさの印象が低下しにくかった。さらに感覚過敏性に対する対処が苦手である者ほどそのような順応が生じにくかった。これらのことを本研究の知見と合わせて考えると、視聴覚統合処理特性は感覚過敏性・鈍麻性との直接の関連はないものの、感覚過敏性・鈍麻性によって視聴覚統合を妨害するような刺激の影響を受けやすくなるという点で、発話理解の難しさを感覚過敏性・鈍麻性が強めている可能性も考えられる。本論文ではこのような関係性について直接的な測定・検討はできていないため、今後の検討が必要な点である。

感覚過敏性・鈍麻性に関する先行研究では味・嗅覚の特徴から ASD 者が分類されることが報告されている(Lane et al., 2011; Lane et al., 2014; Lane et al., 2010)。本論文では味・嗅覚刺激を実験刺激として用いなかったが、様々な感覚モダリティに共通する知覚メカニズムと ASD 特性間の結びつきを明らかにすることができたと考えられる。例えば、第三章研究2では触覚刺激のみを使用した。触覚刺激に対する時間処理精度と感覚過敏性との関係性においては、触覚に関する感覚過敏性だけでなく全般的な感覚過敏性との相関が見出された。これは時間処理精度と感覚過敏性との関係性が触覚に特有の傾向を示したのではなく、感覚モダリティに共通して見られる傾向であると考えられる。ただし、味・嗅覚は特に情動を司る大脳辺縁系との関わりが強く、情動に影響を与えやすいと考えられている(Sekuler & Blake, 1985; Chen, Gabitto, Peng, Ryba, & Zuker, 2011; Masaoka, Koiwa, & Homma, 2005)。このため感覚入力に対する快・不快感情を含む感覚過敏性・鈍麻性についての研究においては、味・嗅覚に ASD 者の特徴が表れたと考えられる。ASD 者では不安障害といった情動的な問題を併発する割合が高いため(Simonoff et al., 2008; Van Steensel, Bögels, & Perrin, 2011)、味・嗅覚の知覚的な処理を検討することは、情動面の特徴から感覚過敏性・鈍麻性、そして

ASD の中核症状の表れ方を検討する上で重要だろう。

### 5.2.2 今後の発展可能性

ASD 特性と知覚特性との関係性が明らかになることで、新たに知覚特性を利用した支援・介入方法の開発が期待できる。これまで多くの研究で特に注目されてきたことは時間処理特性を訓練によって変化させる試みである。定型発達者を対象とした研究では、視覚刺激と聴覚刺激を用いた検討がさかに行われており、時間差をつけて対提示した視聴覚刺激の同時性判断課題を行なった場合に、回答に対して正解・不正解をフィードバックすることで時間窓を狭めることができると知られている(Powers, Hevey, & Wallace, 2012; Powers et al., 2009; Powers III, Hillock-Dunn, & Wallace, 2016)。さらに単に時間差のついている視聴覚刺激を繰り返し提示されることで、その時間差に順応し、同時だと知覚されるポイントが提示刺激の時間差の方向に移動し、例えば聴覚刺激・視覚刺激の順で提示される刺激に順応していれば、聴覚刺激が先に提示された場合により同時だと感じやすくなることが報告されている(Fujisaki, Shimojo, Kashino, & Nishida, 2004; Vroomen, Keetels, De Gelder, & Bertelson, 2004)。

このように視聴覚刺激の時間処理精度を変化させることで、特に ASD 者の示す社会コミュニケーションの改善につながる可能性が期待されている(Wallace et al., 2020)。しかし、視聴覚の時間処理の変化によって社会コミュニケーションが改善するかは直接的な検討はまだなされていない。その一因として、ASD 者に対する訓練の困難さが挙げられる。上記の定型発達者を対象とした研究と同様に時間差のある刺激に順応させても、ASD 者では時間差への順応が生じにくいことが報告されており(Noel, De Nier, Stevenson, Alais, & Wallace, 2017; Turi, Karaminis, Pellicano, & Burr, 2016)、また定型発達者内でも順応が生じにくい人ほど ASD 特性をより強く示すことが示された(Turi et al., 2016)。さらに、正誤のフィードバックを与えた場合にも、ASD 者では時間窓を狭める効果の個人差があり、効果の生じる人がいる一方で生じない人の方が多いことが報告されている(Feldman et al., 2020)。このことから、ASD 者は訓練によって時間処理特性を変化させにくい傾向があると考えられ、時間処理特性の変化から社会コミュニケーションの改善を目指すためには、まずそのような人に対しても有効な訓練方法について検討する必要があるだろう。

### 5.3 まとめ

本論文では ASD 者の個人差に注目し、ASD の中核症状である社会コミュニケーションの困難さやこだわりの強さ、周辺症状である感覚過敏性・鈍麻性、知覚特性との間の関係性を検討することで、ASD の症状が生じるメカニズムの個人差を明らかにすることを目指した。ASD 者の中でも感覚過敏性・鈍麻性と中核症状の表れ方多様であり、それは個人の示す知覚特性のパターンによって形成される可能性を提供した。ASD 者内のサブグループに着目し、それぞれの知覚特性に注目することで、ASD の特徴の理解を深めるだけでなく、個人に即した支援・介入方法の開発に貢献できることが期待される。

## 謝辞

本論文は多くの方々のご支援により執筆することができました。ここに感謝の意を表します。

指導教員である日高聡太先生には学部生の頃より約 7 年間に渡り指導を賜りました。いつも私が一人前の研究者になれるようにと考えてくださり、多大なるご指導とご支援を頂戴しました。心より感謝いたします。

副指導教員の浅野倫子先生には様々な場面で温かなご指導を賜りました。議論を通して多くの視点や知識を頂戴しました。厚く御礼を申し上げます。

また以前に副指導教員をご担当くださった大石幸二先生、堀耕治先生からは、多大なご支援をいただきました。心理学専攻の先生方からは授業などを通してご助言や叱咤激励をいただき、研究を深めることができたと感じています。深く感謝いたします。

国立障害者リハビリテーションセンター研究所の井手正和先生とはこれまで複数の共同研究を実施し、研究についてはもちろん研究者としての姿勢を学ばせていただきました。心より御礼申し上げます。

杏林大学の渥美剛史先生からは実験プログラムや解析に関して、また目白大学の大嶋玲未先生、長崎大学の岩永竜一郎先生、野田遥さんからは質問紙調査の実施とデータ解析に関して、多大なるご協力とご助言を頂戴しました。深く感謝いたします。

調査や実験に参加してくださる皆様がいなければ研究の実施が不可能でした。協力していただいた皆様に心から感謝の気持ちと御礼を申し上げます。

最後に、私の研究や大学院生活に関わってくださった皆様に、厚く御礼申し上げます。

2020年11月26日

## 引用文献

- 熊谷高幸(2017). 自閉症と感覚過敏 特有な世界はなぜ生まれ、どう支援すべきか？, 新曜社.
- American Psychiatric Association (2013). Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders (DSM-5). American Psychiatric Press, Inc., Washington, DC, USA.
- Andersen, T. S., Tiippana, K., & Sams, M. (2004). Factors influencing audiovisual fission and fusion illusions. *Brain Res Cogn Brain Res*, 21(3), 301-308. doi:10.1016/j.cogbrainres.2004.06.004
- Ashburner, J., Ziviani, J., & Rodger, S. (2008). Sensory processing and classroom emotional, behavioral, and educational outcomes in children with autism spectrum disorder. *American Journal of occupational therapy*, 62(5), 564-573.
- Ausderau, K. K., Furlong, M., Sideris, J., Bulluck, J., Little, L. M., Watson, L. R., . . . Baranek, G. T. (2014). Sensory subtypes in children with autism spectrum disorder: latent profile transition analysis using a national survey of sensory features. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 55(8), 935-944.
- Ayres, A. J. (1972). *Sensory integration and learning disorders*: Western Psychological Services.
- Baker, A. E., Lane, A., Angley, M. T., & Young, R. L. (2008). The relationship between sensory processing patterns and behavioural responsiveness in autistic disorder: A pilot study. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 38(5), 867-875.
- Baltaxe, C. A., & Simmons III, J. Q. (1985). Prosodic development in normal and autistic children. In *Communication problems in autism* (pp. 95-125): Springer.
- Baranek, G. T., David, F. J., Poe, M. D., Stone, W. L., & Watson, L. R. (2006). Sensory Experiences Questionnaire: discriminating sensory features in young children with autism, developmental delays, and typical development. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 47(6), 591-601.
- Barnhill, J. W. (2013). *DSM-5® Clinical Cases*: American Psychiatric Pub.
- Baron-Cohen, S. (1997). *Mindblindness: An essay on autism and theory of mind*: MIT press.
- Baron-Cohen, S., Wheelwright, S., Skinner, R., Martin, J., & Clubley, E. (2001). The autism-spectrum quotient (AQ): Evidence from asperger syndrome/high-functioning autism, males and females, scientists and mathematicians. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 31(1), 5-17.
- Basu, M. (2002). Gaussian-based edge-detection methods-a survey. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C (Applications and Reviews)*, 32(3), 252-260.
- Bertone, A., Mottron, L., Jelenic, P., & Faubert, J. (2005). Enhanced and diminished visuo-spatial information processing in autism depends on stimulus complexity. *Brain*, 128(Pt 10), 2430-2441. doi:10.1093/brain/awh561
- Binder, M. (2015). Neural correlates of audiovisual temporal processing—comparison of temporal

- order and simultaneity judgments. *Neuroscience*, *300*, 432–447.
- Blakemore, S. J., Tavassoli, T., Calo, S., Thomas, R. M., Catmur, C., Frith, U., & Haggard, P. (2006). Tactile sensitivity in Asperger syndrome. *Brain and cognition*, *61*(1), 5–13. doi:10.1016/j.bandc.2005.12.013
- Bolanowski Jr, S. J., Gescheider, G. A., Verrillo, R. T., & Checkosky, C. M. (1988). Four channels mediate the mechanical aspects of touch. *The Journal of the Acoustical Society of America*, *84*(5), 1680-1694.
- Boyd, B. A., Baranek, G. T., Sideris, J., Poe, M. D., Watson, L. R., Patten, E., & Miller, H. (2010). Sensory features and repetitive behaviors in children with autism and developmental delays. *Autism Research*, *3*(2), 78-87.
- Brainard, D. H. (1997). The Psychophysics Toolbox. *Spat. Vis.*, *10*, 433–436.
- Brandwein, A. B., Foxe, J. J., Butler, J. S., Russo, N. N., Altschuler, T. S., Gomes, H., & Molholm, S. (2013). The development of multisensory integration in high-functioning autism: high-density electrical mapping and psychophysical measures reveal impairments in the processing of audiovisual inputs. *Cereb Cortex*, *23*(6), 1329-1341. doi:10.1093/cercor/bhs109
- Brown, C., Tollefson, N., Dunn, W., Cromwell, R., & Filion, D. (2001). The adult sensory profile: Measuring patterns of sensory processing. *The American Journal of Occupational Therapy*, *55*(1), 75–82.
- Burack, J. A. (1994). Selective attention deficits in persons with autism: preliminary evidence of an inefficient attentional lens. *Journal of abnormal psychology*, *103*(3), 535.
- Calvert, G. A., & Thesen, T. (2004). Multisensory integration: methodological approaches and emerging principles in the human brain. *Journal of Physiology-Paris*, *98*(1-3), 191-205. doi:10.1016/j.jphysparis.2004.03.018
- Cascio, C. J. (2010). Somatosensory processing in neurodevelopmental disorders. *J Neurodev Disord*, *2*(2), 62-69. doi:10.1007/s11689-010-9046-3
- Cascio, C. J., McGlone, F., Folger, S., Tannan, V., Baranek, G., Pelphrey, K. A., & Essick, G. (2008). Tactile perception in adults with autism: a multidimensional psychophysical study. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, *38*(1), 127–137.
- Cascio, C. J., Moana-Filho, E. J., Guest, S., Nebel, M. B., Weisner, J., Baranek, G. T., & Essick, G. K. (2012). Perceptual and neural response to affective tactile texture stimulation in adults with autism spectrum disorders. *Autism Res*, *5*(4), 231-244. doi:10.1002/aur.1224
- Cascio, C. J., Woynaroski, T., Baranek, G. T., & Wallace, M. T. (2016). Toward an interdisciplinary approach to understanding sensory function in autism spectrum disorder. *Autism Res*, *9*(9), 920-925. doi:10.1002/aur.1612
- Cellot, G., & Cherubini, E. (2014). GABAergic signaling as therapeutic target for autism spectrum



- disorders. *Frontiers in pediatrics*, 2, 70.
- Chen, X., Gabitto, M., Peng, Y., Ryba, N. J., & Zuker, C. S. (2011). A gustotopic map of taste qualities in the mammalian brain. *Science*, 333(6047), 1262-1266.
- Colman, R. S., Frankel, F., Ritvo, E., & Freeman, B. J. (1976). The effects of fluorescent and incandescent illumination upon repetitive behaviors in autistic children. *Journal of Autism and Childhood Schizophrenia*, 6(2), 157-162.
- Davis, B., Christie, J., & Rorden, C. (2009). Temporal order judgments activate temporal parietal junction. *Journal of Neuroscience*, 29(10), 3182—3188.
- Davis, J., McKone, E., Zirnsak, M., Moore, T., O'Kearney, R., Apthorp, D., & Palermo, R. (2017). Social and attention-to-detail subclusters of autistic traits differentially predict looking at eyes and face identity recognition ability. *British Journal of Psychology*, 108(1), 191-219. doi:10.1111/bjop.12188
- Donohue, S. E., Darling, E. F., & Mitroff, S. R. (2012). Links between multisensory processing and autism. *Exp Brain Res*, 222(4), 377-387. doi:10.1007/s00221-012-3223-4
- Dunn, W. (1997). The impact of sensory processing abilities on the daily lives of young children and their families: A conceptual model. *Infants and young children*, 9, 23-35.
- Ernst, M. O., & Bulthoff, H. H. (2004). Merging the senses into a robust percept. *Trends in Cognitive Sciences*, 8(4), 162-169. doi:10.1016/j.tics.2004.02.002
- Falter, C. M., Braeutigam, S., Nathan, R., Carrington, S., & Bailey, A. J. (2013). Enhanced access to early visual processing of perceptual simultaneity in autism spectrum disorders. *J Autism Dev Disord*, 43(8), 1857-1866. doi:10.1007/s10803-012-1735-1
- Feldman, J. I., Dunham, K., Conrad, J. G., Simon, D. M., Cassidy, M., Liu, Y., . . . Woynaroski, T. G. (2020). Plasticity of temporal binding in children with autism spectrum disorder: A single case experimental design perceptual training study. *Research in Autism Spectrum Disorders*, 74, 101555.
- Foss-Feig, J. H., Adkinson, B. D., Ji, J. L., Yang, G., Srihari, V. H., McPartland, J. C., . . . Anticevic, A. (2017). Searching for cross-diagnostic convergence: neural mechanisms governing excitation and inhibition balance in schizophrenia and autism spectrum disorders. *Biological psychiatry*, 81(10), 848-861.
- Foss-Feig, J. H., Kwakye, L. D., Cascio, C. J., Burnette, C. P., Kadivar, H., Stone, W. L., & Wallace, M. T. (2010). An extended multisensory temporal binding window in autism spectrum disorders. *Exp Brain Res*, 203(2), 381-389. doi:10.1007/s00221-010-2240-4
- Foxe, J. J., Del Bene, V. A., Ross, L. A., Ridgway, E. M., Francisco, A. A., & Molholm, S. (2020). Multisensory Audiovisual Processing in Children With a Sensory Processing Disorder (II): Speech Integration Under Noisy Environmental Conditions. *Frontiers in Integrative Neuroscience*, 14, 39.

- Frith, U. (1991). *Autism and Asperger's syndrome*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Fujisaki, W., Shimojo, S., Kashino, M., & Nishida, S. (2004). Recalibration of audiovisual simultaneity. *Nat Neurosci*, *7*(7), 773-778. doi:10.1038/nn1268
- Gabriels, R. L., Agnew, J. A., Miller, L. J., Gralla, J., Pan, Z., Goldson, E., . . . Hooks, E. (2008). Is there a relationship between restricted, repetitive, stereotyped behaviors and interests and abnormal sensory response in children with autism spectrum disorders? *Research in Autism Spectrum Disorders*, *2*(4), 660-670.
- Gaetz, W., Bloy, L., Wang, D., Port, R. G., Blaskey, L., Levy, S., & Roberts, T. P. (2014). GABA estimation in the brains of children on the autism spectrum: measurement precision and regional cortical variation. *Neuroimage*, *86*, 1-9.
- Gelder, B. d., Vroomen, J., & Van der Heide, L. (1991). Face recognition and lip-reading in autism. *European Journal of Cognitive Psychology*, *3*(1), 69-86.
- Green, S. A., & Ben-Sasson, A. (2010). Anxiety disorders and sensory over-responsivity in children with autism spectrum disorders: is there a causal relationship? *Journal of Autism and Developmental Disorders*, *40*(12), 1495-1504.
- Güçlü, B., Tanidir, C., Mukaddes, N. M., & Ünal, F. (2007). Tactile sensitivity of normal and autistic children. *Somatosensory & motor research*, *24*(1-2), 21-33.
- Hagiwara, T., Iwanaga, R., Itou, H., & Tani, I. (2015). The Japanese version of sensory profile. *Tokyo: Nihon Bunka Kagakusha*.
- Harlow, H. F., & Harlow, M. K. (1962). Social deprivation in monkeys. *Scientific american*, *207*(5), 136-150.
- Haxby, J. V., Hoffman, E. A., & Gobbini, M. I. (2002). Human neural systems for face recognition and social communication. *Biological psychiatry*, *51*(1), 59-67.
- Hazen, E. P., Stornelli, J. L., O'Rourke, J. A., Koesterer, K., & McDougle, C. J. (2014). Sensory symptoms in autism spectrum disorders. *Harvard review of psychiatry*, *22*(2), 112-124.
- Hidaka, S., & Yaguchi, A. (2018). An Investigation of the Relationships Between Autistic Traits and Crossmodal Correspondences in Typically Developing Adults. *Brill*.
- Hilton, C. L., Harper, J. D., Kueker, R. H., Lang, A. R., Abbacchi, A. M., Todorov, A., & LaVesser, P. D. (2010). Sensory responsiveness as a predictor of social severity in children with high functioning autism spectrum disorders. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, *40*(8), 937-945.
- Hochhauser, M., & Engel-Yeger, B. (2010). Sensory processing abilities and their relation to participation in leisure activities among children with high-functioning autism spectrum disorder (HFASD). *Research in Autism Spectrum Disorders*, *4*(4), 746-754.
- Hoekstra, R. A., Bartels, M., Cath, D. C., & Boomsma, D. I. (2008). Factor structure, reliability and criterion validity of the Autism-Spectrum Quotient (AQ): a study in Dutch

- population and patient groups. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, *38*(8), 1555-1566.
- Hubbard, K., & Trauner, D. A. (2007). Intonation and emotion in autistic spectrum disorders. *Journal of psycholinguistic research*, *36*(2), 159-173.
- Humes, L. E., Busey, T. A., Craig, J. C., & Kewley-Port, D. (2009). The effects of age on sensory thresholds and temporal gap detection in hearing, vision, and touch. *Attention, Perception, Psychophysics*, *71*(4), 860–871.
- Irwin, J. R., Tornatore, L. A., Brancazio, L., & Whalen, D. (2011). Can children with autism spectrum disorders “hear” a speaking face? *Child development*, *82*(5), 1397-1403.
- Isaksson, S., Salomäki, S., Tuominen, J., Arstila, V., Falter-Wagner, C. M., & Noreika, V. (2018). Is there a generalized timing impairment in Autism Spectrum Disorders across time scales and paradigms? *Journal of psychiatric research*, *99*, 111-121.
- Jaśkowski, P. (1991). Two-stage model for order discrimination. *Perception & psychophysics*, *50*(1), 76–82.
- JASP-Team. (2019). JASP (Version 0.11.1)[Computer software].
- Jones, C. R., Happé, F., Baird, G., Simonoff, E., Marsden, A. J., Tregay, J., . . . Charman, T. (2009). Auditory discrimination and auditory sensory behaviours in autism spectrum disorders. *Neuropsychologia*, *47*(13), 2850-2858.
- Kamio, Y., Inada, N., Moriwaki, A., Kuroda, M., Koyama, T., Tsujii, H., . . . Uno, Y. (2013). Quantitative autistic traits ascertained in a national survey of 22 529 Japanese schoolchildren. *Acta Psychiatrica Scandinavica*, *128*(1), 45-53.
- Kargas, N., Lopez, B., Reddy, V., & Morris, P. (2015). The relationship between auditory processing and restricted, repetitive behaviors in adults with autism spectrum disorders. *J Autism Dev Disord*, *45*(3), 658-668. doi:10.1007/s10803-014-2219-2
- Kawakami, S., Uono, S., Otsuka, S., Zhao, S., & Toichi, M. (2018). Everything has Its Time: Narrow Temporal Windows are Associated with High Levels of Autistic Traits Via Weaknesses in Multisensory Integration. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 1-11.
- Kawakami, S., Uono, S., Otsuka, S., Zhao, S., & Toichi, M. (2020). Everything has its time: Narrow temporal windows are associated with high levels of autistic traits via weaknesses in multisensory integration. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, *50*(5), 1561-1571.
- Keane, B. P., Rosenthal, O., Chun, N. H., & Shams, L. (2010). Audiovisual integration in high functioning adults with autism. *Research in Autism Spectrum Disorders*, *4*(2), 276-289. doi:10.1016/j.rasd.2009.09.015
- Kern, J. K., Trivedi, M. H., Grannemann, B. D., Garver, C. R., Johnson, D. G., Andrews, A. A., . . .

- Schroeder, J. L. (2007). Sensory correlations in autism. *Autism, 11*(2), 123-134.
- Kimura, T., Kadota, H., Kuroda, T., Funai, T. D., Iwata, M., Kochiyama, T., & Miyazaki, M. (2019). Neural correlates of tactile simultaneity judgement: a functional magnetic resonance imaging study. *Scientific reports, 9*(1), 1-13.
- Kwakye, L. D., Foss-Feig, J. H., Cascio, C. J., Stone, W. L., & Wallace, M. T. (2011). Altered auditory and multisensory temporal processing in autism spectrum disorders. *Front Integr Neurosci, 4*, 129. doi:10.3389/fnint.2010.00129
- Lal, R., & Bali, M. (2007). Effect of visual strategies on development of communication skills in children with autism. *Asia Pacific Disability Rehabilitation Journal, 18*(2), 120-130.
- Lane, A. E., Dennis, S. J., & Geraghty, M. E. (2011). Brief report: further evidence of sensory subtypes in autism. *Journal of Autism and Developmental Disorders, 41*(6), 826-831.
- Lane, A. E., Molloy, C. A., & Bishop, S. L. (2014). Classification of Children With Autism Spectrum Disorder by Sensory Subtype: A Case for Sensory - Based Phenotypes. *Autism Research, 7*(3), 322-333.
- Lane, A. E., Young, R. L., Baker, A. E. Z., & Angley, M. T. (2010). Sensory processing subtypes in autism: association with adaptive behavior. *J Autism Dev Disord, 40*(1), 112-122. doi:10.1007/s10803-009-0840-2
- Lau, W. Y.-P., Gau, S. S.-F., Chiu, Y.-N., Wu, Y.-Y., Chou, W.-J., Liu, S.-K., & Chou, M.-C. (2013). Psychometric properties of the Chinese version of the Autism Spectrum Quotient (AQ). *Research in developmental disabilities, 34*(1), 294-305.
- Lawson, R. P., Aylward, J., White, S., & Rees, G. (2015). A striking reduction of simple loudness adaptation in autism. *Scientific reports, 5*(1), 1-7.
- Lederman, S. J., & Klatzky, R. L. (2009). Haptic perception: A tutorial. *Attention, Perception, & Psychophysics, 71*(7), 1439-1459.
- Lord, C., Petkova, E., Hus, V., Gan, W., Lu, F., Martin, D. M., . . . Gerds, J. (2012). A multisite study of the clinical diagnosis of different autism spectrum disorders. *Archives of general psychiatry, 69*(3), 306-313.
- Lord, C., Risi, S., Lambrecht, L., Cook, E. H., Leventhal, B. L., DiLavore, P. C., . . . Rutter, M. (2000). The Autism Diagnostic Observation Schedule—Generic: A standard measure of social and communication deficits associated with the spectrum of autism. *Journal of Autism and Developmental Disorders, 30*(3), 205-223.
- Lundqvist, L.-O., & Lindner, H. (2017). Is the autism-spectrum quotient a valid measure of traits associated with the autism spectrum? a rasch validation in adults with and without autism spectrum disorders. *Journal of Autism and Developmental Disorders, 47*(7), 2080-2091.
- Marco, E. J., Hinkley, L. B., Hill, S. S., & Nagarajan, S. S. (2011). Sensory processing in autism: a review of neurophysiologic findings. *Pediatric Research, 69*(5 Pt 2), 48R-54R.

- Marr, D., & Hildreth, E. (1980). Theory of edge detection. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B. Biological Sciences*, 207(1167), 187-217.
- Masaoka, Y., Koiwa, N., & Homma, I. (2005). Inspiratory phase - locked alpha oscillation in human olfaction: source generators estimated by a dipole tracing method. *The Journal of physiology*, 566(3), 979-997.
- McCann, J., & Peppé, S. (2003). Prosody in autism spectrum disorders: a critical review. *International Journal of Language & Communication Disorders*, 38(4), 325-350.
- McGurk, H., & MacDonald, J. (1976). Hearing lips and seeing voices. *Nature*, 264(5588), 746-748.
- Mikkelsen, M., Wodka, E. L., Mostofsky, S. H., & Puts, N. A. (2018). Autism spectrum disorder in the scope of tactile processing. *Developmental Cognitive Neuroscience*, 29, 140-150.
- Miyazaki, M., Kadota, H., Matsuzaki, K. S., Takeuchi, S., Sekiguchi, H., Aoyama, T., & Kochiyama, T. (2016). Dissociating the neural correlates of tactile temporal order and simultaneity judgements. *Scientific reports*, 6, 23323. doi:10.1038/srep23323
- Morgan, M., Dillenburger, B., Raphael, S., & Solomon, J. A. (2012). Observers can voluntarily shift their psychometric functions without losing sensitivity. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 74(1), 185-193.
- Munhall, K. G., Gribble, P., Sacco, L., & Ward, M. (1996). Temporal constraints on the McGurk effect. *Perception & psychophysics*, 58(3), 351-362.
- Noel, J. P., De Niar, M. A., Stevenson, R., Alais, D., & Wallace, M. T. (2017). Atypical rapid audio-visual temporal recalibration in autism spectrum disorders. *Autism Res*, 10(1), 121-129. doi:10.1002/aur.1633
- Nylund, K. L., Asparouhov, T., & Muthén, B. O. (2007). Deciding on the number of classes in latent class analysis and growth mixture modeling: A Monte Carlo simulation study. *Structural equation modeling: A multidisciplinary Journal*, 14(4), 535-569.
- Palmer, C. J., Paton, B., Enticott, P. G., & Hohwy, J. (2015). 'Subtypes' in the presentation of autistic traits in the general adult population. *J Autism Dev Disord*, 45(5), 1291-1301. doi:10.1007/s10803-014-2289-1
- Pelli, D. G. (1997). The VideoToolbox software for visual psychophysics: transforming numbers into movies. *Spat. Vis.*, 10, 437-442.
- Pellicano, E., & Burr, D. (2012). When the world becomes 'too real': a Bayesian explanation of autistic perception. *Trends in Cognitive Sciences*, 16(10), 504-510.
- Peixoto, R. T., Wang, W., Croney, D. M., Kozorovitskiy, Y., & Sabatini, B. L. (2016). Early hyperactivity and precocious maturation of corticostriatal circuits in Shank3B<sup>-/-</sup> mice. *Nature neuroscience*, 19(5), 716-724.
- Pine, E., Luby, J., Abbacchi, A., & Constantino, J. N. (2006). Quantitative assessment of autistic

- symptomatology in preschoolers. *Autism*, *10*(4), 344-352.
- Pizzarelli, R., & Cherubini, E. (2011). Alterations of GABAergic signaling in autism spectrum disorders. *Neural Plast*, *2011*, 297153. doi:10.1155/2011/297153
- Powers, A. R., 3rd, Hevey, M. A., & Wallace, M. T. (2012). Neural correlates of multisensory perceptual learning. *J Neurosci*, *32*(18), 6263-6274. doi:10.1523/JNEUROSCI.6138-11.2012
- Powers, A. R., 3rd, Hillock, A. R., & Wallace, M. T. (2009). Perceptual training narrows the temporal window of multisensory binding. *J Neurosci*, *29*(39), 12265-12274. doi:10.1523/JNEUROSCI.3501-09.2009
- Powers III, A. R., Hillock-Dunn, A., & Wallace, M. T. (2016). Generalization of multisensory perceptual learning. *Scientific reports*, *6*, 23374.
- Puts, N. A., Wodka, E. L., Tommerdahl, M., Mostofsky, S. H., & Edden, R. A. (2014). Impaired tactile processing in children with autism spectrum disorder. *J Neurophysiol*, *111*(9), 1803-1811. doi:10.1152/jn.00890.2013
- Rivest, J. B., Jemel, B., Bertone, A., McKerral, M., & Mottron, L. (2013). Luminance- and texture-defined information processing in school-aged children with autism. *PLoS One*, *8*(10), e78978. doi:10.1371/journal.pone.0078978
- Robertson, A. E., & Simmons, D. R. (2013). The relationship between sensory sensitivity and autistic traits in the general population. *J Autism Dev Disord*, *43*(4), 775-784. doi:10.1007/s10803-012-1608-7
- Rotschafer, S., & Razak, K. (2013). Altered auditory processing in a mouse model of fragile X syndrome. *Brain research*, *1506*, 12-24.
- Samaha, J., & Postle, B. R. (2015). The speed of alpha-band oscillations predicts the temporal resolution of visual perception. *Current Biology*, *25*(22), 2985—2990.
- Sapey - Triomphe, L. A., Lambertson, F., Sonié, S., Mattout, J., & Schmitz, C. (2019). Tactile hypersensitivity and GABA concentration in the sensorimotor cortex of adults with autism. *Autism Research*, *12*(4), 562-575.
- Schultz, R. T. (2005). Developmental deficits in social perception in autism: the role of the amygdala and fusiform face area. *Int J Dev Neurosci*, *23*(2-3), 125-141. doi:10.1016/j.ijdevneu.2004.12.012
- Schulz, S. E., & Stevenson, R. A. (2019). Differentiating between sensory sensitivity and sensory reactivity in relation to restricted interests and repetitive behaviours. *Autism*, 1362361319850402. doi:doi.org/10.1177/1362361319850402
- Sekuler, R., & Blake, R. (1985). Perception. McGraw-Hill. New York, USA.
- Sekuler, R., Sekuler, A. B., & Lau, R. (1997). Sound alters visual motion perception. *Nature*, *385*, 308.

- Shams, L., Kamitani, Y., & Shimojo, S. (2002). Visual illusion induced by sound. *Cognitive Brain Research*, *14*(1), 147-152.
- Shane, H. C. (2006). Using visual scene displays to improve communication and communication instruction in persons with autism spectrum disorders. *Augmentative and Alternative Communication*, *15*, 8-13.
- Shigeno, S. (2004). Recognition of vocal expression of emotion and its acoustic attributes. *The Japanese Journal of Psychology*, *74*(6), 540-546.
- Simon, D. M., & Wallace, M. T. (2016). Dysfunction of sensory oscillations in Autism Spectrum Disorder. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, *68*, 848-861.
- Simonoff, E., Pickles, A., Charman, T., Chandler, S., Loucas, T., & Baird, G. (2008). Psychiatric disorders in children with autism spectrum disorders: prevalence, comorbidity, and associated factors in a population-derived sample. *Journal of the American Academy of Child & Adolescent Psychiatry*, *47*(8), 921-929.
- Sparrow, S. S., Cicchetti, D., & Balla, D. A. (1984). Vineland adaptive behavior scales.
- Spence, C., & Squire, S. (2003). Multisensory Integration: Maintaining the Perception of Synchrony. *Current Biology*, *13*(13), R519-R521. doi:10.1016/s0960-9822(03)00445-7
- Stevenson, R. A., Baum, S. H., Krueger, J., Newhouse, P. A., & Wallace, M. T. (2017). Links Between Temporal Acuity and Multisensory Integration Across Life Span. *J Exp Psychol Hum Percept Perform*. doi:10.1037/xhp0000424
- Stevenson, R. A., Segers, M., Ncube, B. L., Black, K. R., Bebkco, J. M., Ferber, S., & Barense, M. D. (2018). The cascading influence of multisensory processing on speech perception in autism. *Autism*, *22*(5), 609-624.
- Stevenson, R. A., Siemann, J. K., Schneider, B. C., Eberly, H. E., Woynaroski, T. G., Camarata, S. M., & Wallace, M. T. (2014). Multisensory temporal integration in autism spectrum disorders. *The Journal of Neuroscience*, *34*(3), 691-697. doi:10.1523/JNEUROSCI.3615-13.2014
- Stevenson, R. A., Siemann, J. K., Woynaroski, T. G., Schneider, B. C., Eberly, H. E., Camarata, S. M., & Wallace, M. T. (2014). Evidence for diminished multisensory integration in autism spectrum disorders. *J Autism Dev Disord*, *44*(12), 3161-3167. doi:10.1007/s10803-014-2179-6
- Stevenson, R. A., Toulmin, J. K., Youm, A., Besney, R. M., Schulz, S. E., Barense, M. D., & Ferber, S. (2017). Increases in the autistic trait of attention to detail are associated with decreased multisensory temporal adaptation. *Scientific reports*, *7*(1), 14354.
- Stewart, M. E., & Austin, E. J. (2009). The structure of the Autism-Spectrum Quotient (AQ): Evidence from a student sample in Scotland. *Personality and Individual Differences*, *47*(3), 224-228.

- Takahashi, T., Kansaku, K., Wada, M., Shibuya, S., & Kitazawa, S. (2013). Neural correlates of tactile temporal-order judgment in humans: an fMRI study. *Cereb Cortex*, *23*(8), 1952–1964. doi:10.1093/cercor/bhs179
- Takahashi, T., & Kitazawa, S. (2017). Modulation of illusory reversal in tactile temporal order by the phase of posterior  $\alpha$  rhythm. *Journal of Neuroscience*, *37*(21), 5298-5308.
- Tallal, P., Miller, S., & Fitch, R. H. (1993). Neurobiological basis of speech: a case for the preeminence of temporal processing. *ANNALS-NEW YORK ACADEMY OF SCIENCES*, *682*, 27-27.
- Taylor, M. J., Gustafsson, P., Larsson, H., Gillberg, C., Lundström, S., & Lichtenstein, P. (2018). Examining the association between autistic traits and atypical sensory reactivity: A twin study. *Journal of the American Academy of Child & Adolescent Psychiatry*, *57*(2), 96-102.
- Tomchek, S. D., & Dunn, W. (2007). Sensory Processing in Children With and Without Autism: A Comparative Study Using the Short Sensory Profile. *American Journal of occupational therapy*, *61*(2), 190-200.
- Tomchek, S. D., Little, L. M., Myers, J., & Dunn, W. (2018). Sensory subtypes in preschool aged children with autism spectrum disorder. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, *48*(6), 2139-2147.
- Tommerdahl, M., Tannan, V., Holden, J. K., & Baranek, G. T. (2008). Absence of stimulus-driven synchronization effects on sensory perception in autism: Evidence for local underconnectivity? *Behavioral and Brain Functions*, *4*(1), 1-9.
- Trevarthen, C., & Daniel, S. (2005). Disorganized rhythm and synchrony: Early signs of autism and Rett syndrome. *Brain and development*, *27*, S25-S34.
- Turi, M., Karaminis, T., Pellicano, E., & Burr, D. (2016). No rapid audiovisual recalibration in adults on the autism spectrum. *Scientific reports*, *6*, 21756.
- Umesawa, Y., Matsushima, K., Atsumi, T., Kato, T., Fukatsu, R., Wada, M., & Ide, M. (2020). Altered GABA concentration in brain motor area is associated with the severity of motor disabilities in individuals with autism spectrum disorder. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 1-13.
- van der Smagt, M. J., van Engeland, H., & Kemner, C. (2007). Brief report: can you see what is not there? low-level auditory-visual integration in autism spectrum disorder. *J Autism Dev Disord*, *37*(10), 2014-2019. doi:10.1007/s10803-006-0346-0
- Van Steensel, F. J., Bögels, S. M., & Perrin, S. (2011). Anxiety disorders in children and adolescents with autistic spectrum disorders: a meta-analysis. *Clinical child and family psychology review*, *14*(3), 302.
- Van Wassenhove, V., Grant, K. W., & Poeppel, D. (2007). Temporal window of integration in auditory-visual speech perception. *Neuropsychologia*, *45*(3), 598-607.



- Vroomen, J., Keetels, M., De Gelder, B., & Bertelson, P. (2004). Recalibration of temporal order perception by exposure to audio-visual asynchrony. *Cognitive Brain Research*, *22*(1), 32-35.
- Wada, M., Suzuki, M., Takaki, A., Miyao, M., Spence, C., & Kansaku, K. (2014). Spatio-temporal processing of tactile stimuli in autistic children. *Sci Rep*, *4*, 5985. doi:10.1038/srep05985
- Wakabayashi, A., Tojo, Y., Baron-Cohen, S., & Wheelwright, S. (2004). The Autism-Spectrum Quotient (AQ) Japanese version: evidence from high-functioning clinical group and normal adults. *The Japanese journal of psychology*, *75*(1), 78–84.
- Wallace, M. T., & Stevenson, R. A. (2014). The construct of the multisensory temporal binding window and its dysregulation in developmental disabilities. *Neuropsychologia*, *64*, 105-123. doi:10.1016/j.neuropsychologia.2014.08.005
- Wallace, M. T., Woynaroski, T. G., & Stevenson, R. A. (2020). Multisensory integration as a window into orderly and disrupted cognition and communication. *Annual review of Psychology*, *71*, 193-219.
- Wheelwright, S., Auyeung, B., Allison, C., & Baron-Cohen, S. (2010). Defining the broader, medium and narrow autism phenotype among parents using the Autism Spectrum Quotient (AQ). *Molecular autism*, *1*(1), 10.
- Wichmann, F. A., & Hill, N. J. (2001). The psychometric function: I. Fitting, sampling, and goodness of fit. *Perception & psychophysics*, *63*(8), 1293–1313.
- Woodbury-Smith, M. R., Robinson, J., Wheelwright, S., & Baron-Cohen, S. (2005). Screening Adults for Asperger Syndrome Using the AQ: A Preliminary Study of its Diagnostic Validity in Clinical Practice. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, *35*(3), 331-335. doi:10.1007/s10803-005-3300-7
- Yaguchi, A., & Hidaka, S. (2018). Distinct autistic traits are differentially associated with the width of the multisensory temporal binding window. *Multisensory Research*, *31*(6), 523-536.
- Yamamoto, S., & Kitazawa, S. (2001). Reversal of subjective temporal order due to arm crossing. *Nature neuroscience*, *4*(7), 759-765.
- Zampini, M., Guest, S., Shore, D. I., & Spence, C. (2005). Audio-visual simultaneity judgments. *Perception & psychophysics*, *67*(3), 531-544.
- Zhang, Y., Bonnan, A., Bony, G., Ferezou, I., Pietropaolo, S., Ginger, M., . . . LeMasson, G. (2014). Dendritic channelopathies contribute to neocortical and sensory hyperexcitability in Fmr1 –/y mice. *Nature neuroscience*, *17*(12), 1701-1709.
- Zhong, S., & Ghosh, J. (2003). A unified framework for model-based clustering. *Journal of machine learning research*, *4*(Nov), 1001-1037.