

自閉スペクトラム症の特異な視覚とその発生過程の計算論的解明： 知覚体験シミュレータへの応用

Computational Analysis of Atypical Visual Perception in Autism Spectrum Disorder: Application to Perception Simulator

長井 志江[†], 秦 世博^{†*}, 熊谷 晋一郎[‡], 綾屋 紗月[‡], 浅田 稔[†]

Yukie Nagai, Shibo Qin, Shinichiro Kumagaya, Satsuki Ayaya, Minoru Asada

[†] 大阪大学大学院工学研究科, [‡] 東京大学先端科学技術研究センター

Osaka University, The University of Tokyo

yukie@ams.eng.osaka-u.ac.jp

Abstract

This paper presents a computational analysis of atypical visual perception in autism spectrum disorder (ASD). Individuals with ASD suffer from hyperesthesia/hypoesthesia as well as difficulties in social interaction. To understand the underlying mechanism for atypical perception and its influence on social deficits, we computationally analyzed the process of how atypical perception is elicited in social contexts. Our experiment employed visual and audio processing techniques to let ASD participants reproduce their experiences, and thus enabled us to objectively and quantitatively evaluate them. Our experimental results revealed several common patterns in their perception: high contrast and intensity associated with brightness, no color and blurring caused by movement, and so on. Potential physiological and neural causes for these symptoms are discussed to understand the underlying mechanism. Moreover, we developed a head-mounted display system reproducing ASD's visual world based on our findings. Our system enables researchers to investigate the impact of atypical perception on social abilities.

Keywords — **Autism Spectrum Disorder, Atypical Perception, Hyperesthesia and Hypoesthesia, Perception Simulator, Head-Mounted Display**

1. はじめに

自閉スペクトラム症 (ASD: autism spectrum disorder) は, 従来, 対人関係や言語コミュニケーションといった社会的能力の障害と捉えられてきた [1-3] が,

近年の認知心理学研究や当事者研究により, その原因が社会性以前の感覚・運動レベルにあることが指摘されている [4-7]. 当事者研究 [6,7] とは, 自閉スペクトラム症などの障害を抱えた当事者による研究で, 自己の体験を主体的に内省し分析することで, 日常生活でのさまざまな困難とその要因を理解し, より良い自助の方法を探ることを目的としている. 一般に, 人間の脳では感覚器から入力された信号を時空間的に統合することで環境認識や行動決定を行うが, 彼らの仮説によると, ASD ではその統合能力が定型発達者と異なることにより, 高次の認知機能である社会的能力に問題を生じたり [4-7], 知覚過敏や知覚鈍麻 [8] などの特異な知覚症状を発現すると考えられている.

特異な知覚体験を定型発達者に共有してもらうことで, ASD の真の困りごとを理解し, 支援に役立てようとする試みが存在する. 当事者が自己の体験を詳細に綴った手記 [6,7,9,10] や, 画像・音声編集ソフトを用いて非定型な視覚・聴覚世界を再現した映像 [11,12], さらに, 仮想世界でエージェントを操作することで, 操作者が ASD の視覚・聴覚過敏を疑似体験できるゲーム [13] などが知られている. これらはいずれも, 定型発達者が ASD の特異な知覚を第一人称視点で体験できるという点で, ASD の真の困りごとの理解に有効であるが, 特異な知覚がどのような環境要因によって誘発されるのか, また, どのような生理学的・神経科学的機構がその背後に存在するのかについては議論がされていない.

そこで本研究では, ASD の特異な知覚の発生過程とそれが与える社会性障害への影響を, 計算論的アプローチから探ることを目的とする. 特異な症状が現れる知覚として視覚に注目し, コントラストの強調や不鮮明化, 砂嵐状のノイズといった視覚過敏・鈍麻が, 環境からのどのような視聴覚刺激によって引き起こさ

*2015年4月よりトヨタ自動車株式会社.



図1 実験に用いた ASD の特異な視覚症状. 全 12 種類の画像フィルタを用いて行った予備実験の結果から, より多くの ASD 者が体験したことのある視覚症状 6 種類を選択した. 画像処理技術を用いて ASD の視覚過敏・鈍麻の症状をあらかじめ再現しておくことで, 内省報告が困難な ASD 者の主観的体験を, 客観的かつ定量的に評価することを可能にする.

れるのかを, 構成的手法を導入した認知心理実験によって明らかにする. 特に, 社会的文脈にリンクした視覚症状という主観的体験を, 客観的かつ定量的に評価するため, 画像・音声処理技術を応用した知覚再現実験システムを提案する. 本システムを用いて, ASD の特異な知覚が社会的文脈といった高次のバイアスだけではなく, 感覚刺激という低次の信号によって引き起こされていることを検証する. さらに, 実験結果をモデル化することで, ASD の視覚世界を再現するヘッドマウントディスプレイ型知覚体験シミュレータを開発する. 本シミュレータを用いることで, 今後, ASD の非定型な知覚が彼らの社会的能力にどのような影響を与えるのかを理解し, 真に役立つ支援技術の設計に貢献することを示す.

2. 非定型な知覚の解析における二つの課題と本研究のアプローチ

ASD の特異な知覚を評価する上で, 大きく二つの課題が挙げられる.

- 主観的体験の客観的評価
- 社会的文脈の定量化

本節ではこれらの課題の詳細と, それを克服するために本研究で考案した, 構成的アプローチによる認知心理実験手法を提案する.

2.1 主観的体験の客観的評価

知覚過敏や知覚鈍麻といった症状は, 当事者のみが見たり, 聞いたり, 感じることでできる主観的体験であり, 症状を持たない定型発達者には, それがどのような状態であるかを推測することは難しい. 従来, 当事者による語りや, 医師や療育者といった第三者による診断を通して, ASD の非定型な知覚が調べられてきたが, ASD 者の中には内省が苦手な人も多く, 自らの体験を適切に表現する言葉を持たない当事者も多いため, 彼らの主観的体験を客観的に評価することは非常に困難であった. また, 統制された認知心理実験を用いて ASD の特異な知覚を定量的に評価することも試みられてきた (例えば, [8,14]) が, そこで計測されるのは主に刺激に対する ASD 者の反応, つまり運動 (出力) であり, 知覚 (入力) を直接に評価することは難しかった.

これに対して本研究では, 画像・音声処理技術を応用することで ASD 者の内省を促し, さらに彼らに過去の体験を「再現」してもらうことで, 主観的体験を客観的に評価する手法を提案する. 具体的には, ASD の特異な知覚症状をあらかじめ画像フィルタや音声フィルタとして用意し, ASD 者に過去の体験に基づいて, 場面に応じたフィルタの選択と強度の調整をってもらうことで, 彼らの体験を具現化する. 今回の実験では視覚に着目し, 図1に示す6種類の画像フィルタを用意した. 図1(a)は無数の小さな点が現れる砂嵐

状のノイズ, (b) はコントラストの強調, (c) は高輝度化, (d) はカラー画像をグレースケールに変換した無彩色化, (e) はぼかしフィルタを施した不鮮明化, そして (f) は物体の輪郭や模様といったエッジを強調したフィルタである. フィルタの設計に際しては, 従来研究で報告されている視覚症状だけではなく, 工学的に画像処理技術を用いて表現しうる多様な画像フィルタ (全 12 種類) も用意し, 予備実験の結果からより多くの ASD 者が体験したことのある 6 種類を採用した. 工学的観点から設計したフィルタには, 一見, 認知科学的・神経科学的根拠は存在しないと思われるが, ASD の知覚過敏や知覚鈍麻の症状とその発生機構には未解明な部分が多く, このようなボトムアップのアプローチによって新しい知見が得られることが期待される. さらに, ASD の特異な視覚症状には, 個人や場面によって強度の違いがあることから, フィルタの強度も調整可能にした. 本手法により, ASD 者は自らの体験を画像フィルタを用いて再現することで, 主観的体験を客観的に評価することが可能となる.

2.2 社会的文脈の定量化

第二の課題として, 特異な知覚を引き起こしていると考えられる, 環境要因を定量化することが挙げられる. 従来研究や著者らの予備実験から, ASD の特異な知覚は屋外や人混み, 学校といった, 社会的文脈とリンクして記憶されていることが明らかになっている. 例えば, 「屋外に出た時に眩しく感じる」や「人混みに行くと視界がぼやける」といった報告が挙げられる. ASD が従来から社会性の問題であると指摘されてきたことを考慮すると, 知覚の問題も, 一見, 社会的な要因が影響しているのではないかと推測されるが, その因果関係は明らかにされていない.

これに対して本研究では, 社会性といったトップダウンのバイアスではなく, 環境からの感覚信号に内在する明るさや動き, 音といった低次特徴が, 特異な知覚を引き起こしているという仮説を立て, それを定量的に評価する手法を提案する (トップダウンのバイアスを否定するものではないことに注意されたい). 社会的文脈を定量化する指標として, 今回は視聴覚信号に着目し, 画像の輝度, 複雑さを示すエッジ量, 動き, 音声の全周波数の強度, 低・中・高周波数ごとの強度の 7 変数に関して, 各変数の平均, 分散, 平均速度の 3 特徴量, 計 21 特徴量を解析する. これらの特徴量は, 従来研究から ASD の特異な知覚に影響を及ぼしていると考えられるものと, 人混みや屋外といった社

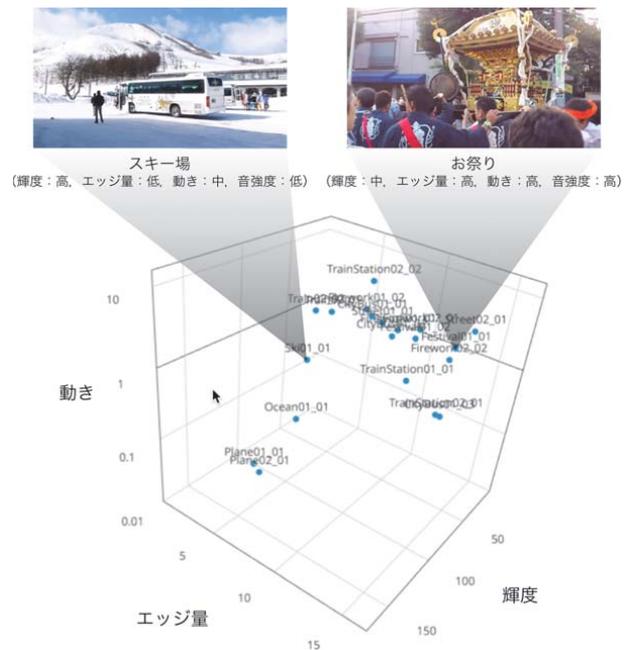


図 2 動画刺激の視聴覚特徴量. 多様な場面で撮影した動画 (29 種類) に対して, 画像の輝度, エッジ量, 動き, 音声の全周波数の強度, 低・中・高周波数ごとの強度の 7 変数を抽出し, 各変数に関して, 平均, 分散, 平均速度の 3 特徴量, 計 21 特徴量を解析する. グラフは, 視覚特徴の 3 次元 (輝度, エッジ量, 動きの平均値) を用いて, 動画の分布を可視化したもの. 「スキー場」は高い輝度, 「お祭り」は高いエッジ量, 動き, 音強度に特徴付けられる.

会的文脈を特徴づける信号として選択した. そして, これらの特徴量空間を網羅するように, 多様な社会的文脈で撮影した動画を実験用刺激として用意する (図 2 参照). 例えば, 輝度の高さに特徴付けられる「スキー場」や, エッジ量や動き, 音の強度に特徴のある「お祭り」の動画がこれに含まれる. これらの動画に内在する視聴覚信号と, ASD 者が再現する視覚過敏・鈍麻の症状の相関を正準相関分析を用いて解析することで, 環境からの低次特徴が特異な知覚を引き起こす過程をモデル化する.

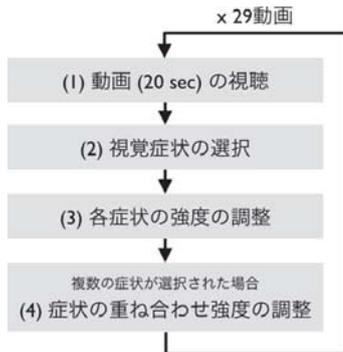
3. 認知心理実験

3.1 知覚過敏・鈍麻再現実験システム

前節で提案したアイデアをもとに開発した, 知覚過敏・鈍麻再現用の実験システムのユーザインターフェースを図 3 (a) に, 実験の流れを (b) に示す. 実験参加者は本ユーザインターフェースに表示される指示に従って, (1) 日常場面で撮影した動画 (20 秒/動



(a) 実験システムのユーザインターフェース



(b) 実験の流れ

図 3 本研究で開発した (a) 実験システムのユーザインターフェースと (b) 実験の流れ。実験参加者は、(1) 多様な場面で撮影した動画刺激を視聴後、(2) 各場面で体験したことのある特異な視覚症状をインターフェース下部の 6 種類から選択し、(3) 次画面で各症状の強度をスライダを用いて調整、さらに (4) 複数の症状が選択された場合はその重ね合わせの強度も同様に調整することで、過去に体験した特異な視覚症状を報告する。症状の強度の調整結果は、インターフェース上部に随時表示され、参加者はそれを見ながらより正確に症状を報告することができる。

画、全画面表示) を視聴し、(2) 各場面で体験したことのある視覚症状を、インターフェース下部に示された 6 種類の中から選択 (複数選択可)、そして (3) 次画面で各症状の強度をスライダを用いて調整し、さらに (4) 複数の症状が選択された場合は、その重ね合わせの強度も調整することで、過去の知覚過敏・鈍麻の体験を報告する。症状の強度を調整する際には、スライダで調整した結果が画面上部の映像にリアルタイムで表示され、実験参加者がそれをもとに自己の体験をより正確に回答できるようにした。動画は図 2 に示したお祭り、スキー場を含む、全部で 29 種類を用意し、それをランダムな順番で呈示した。各場面で特異な視覚を体験したことがない場合は、症状を選択しないこ



図 4 実験の様子。参加者は実験システムが搭載されたコンピュータの前に座り、動画刺激の音声聴取用のヘッドフォンを装着後、画面の指示に従いながら実験を行う。所要時間は 30 分から 60 分。実験終了後は、各参加者の結果がプリンタから印刷され、参加者はそれを持ち帰ることが可能。

とも可能にした。

3.2 実験参加者と実験手順

認知心理実験には、ASD と診断された成人 22 名 (男性 11 名、女性 11 名) が参加した。平均年齢は 38.0 歳 (標準偏差 10.4)、平均 AQ スコアは 37.4 (標準偏差 10.0) であった。ただし、22 名のうち 6 名は、同一動画刺激に対して生成した視覚症状の再現性が低いことから、自己の体験の内省が十分にできていないとして、解析から除外した。

実験環境は図 4 に示す形で、参加者は実験室に入室後、まずインフォームドコンセントを行い、実験システムが搭載されたコンピュータの前に座って実験を開始した。実験の手順は、図 3 (a) に示したユーザインターフェースを通して参加者に伝えられ、参加者は実験者の介入なく一人で実験を遂行した。一人あたりの実験時間は、参加者の知覚過敏・鈍麻体験の想起と再現能力に個人差があることから、30 分から 60 分を要した。また、実験の途中で体調不良が認められた場合は、参加者本人の意思で実験を中断することができた。さらに実験終了後は、各参加者の視覚過敏・鈍麻のパターンを印刷表示し、参加者がそれを持ち帰ることができるようにした。このように、当事者の主観的体験を可視化することで、周囲の支援者との相互理解や、自助の方法の発見に貢献することも期待できる。

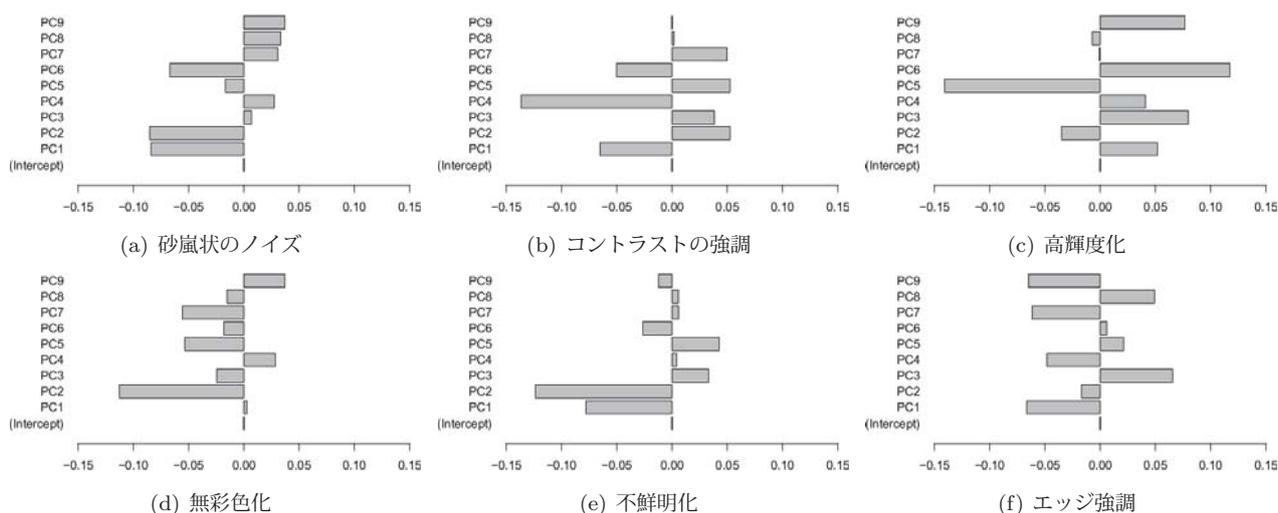


図5 図1に示した6種類の視覚症状に対する、動画刺激の視聴覚特徴量の主成分(PC1~PC9)の相関係数。(a) 砂嵐状のノイズはPC1とPC2, (b) コントラストの強調はPC4, (c) 高輝度化はPC5とPC6, (d) 無彩色化はPC2, (e) 不鮮明化はPC2とPC1, (f) エッジ強調はPC1とPC3が主な発生要因となっていることが分かる。各主成分に対応する主な特徴量は以下のとおり。PC1: 音強度の分散・平均速度, PC2: 動きの平均・分散・平均速度, PC3: 音強度の平均, PC4: 輝度の平均・分散とエッジ量の平均・分散, PC5: 輝度の平均・分散とエッジ量の平均, PC6: 輝度の平均とエッジ量の平均速度。

4. 実験結果と考察

本実験では、実験参加者に共通して見られる視覚症状とその発生過程を明らかにすることを目的として、解析対象である16名のデータ全てに対して正準相関分析を適用した。まず、動画刺激の21特徴量に対して主成分分析を行い、累積寄与率95%に達する第9主成分までと、図1に示した6種類の視覚症状との間の相関係数を求めた。図5に、各視覚症状と主成分PC1~PC9の相関係数を示す。ここで、PC1は音強度の分散・平均速度、PC2は動きの平均・分散・平均速度、PC3は音強度の平均、PC4は輝度の平均・分散とエッジ量の平均・分散、PC5は輝度の平均・分散とエッジ量の平均、PC6は輝度の平均とエッジ量の平均速度、PC7はエッジ量の平均速度、PC8はエッジ量の平均と中周波数の音強度の平均速度、高周波数の音強度分散、PC9はエッジ量の平均・分散と高周波数の音強度分散に主に対応している。以下では、この中で特に強い相関を示した

- 輝度由来するコントラストの強調と高輝度化
 - 大きな動きに誘発される無彩色化と不鮮明化
 - 動きと音量の変化に起因する砂嵐状のノイズ
- の三つの視覚症状について詳しく説明する。

4.1 輝度由来するコントラストの強調と高輝度化

まず図5(b)と(c)から、コントラストの強調と高輝度化が、動画刺激の輝度と高い相関をもつことが明らかになった。これらの二つの症状に対して、PC4, PC5, PC6がそれぞれ高い相関係数を示しており、これらに共通する特徴量である輝度が、二つの症状の大きな要因となっていることが推測できる。実際に、本結果をもとに再現した、ASDの視覚世界を図6(a)に示す。左が実験に用いた動画、右がASDの視覚世界を再現した動画である。スキー場などの高い輝度をもった場面では、その輝度がさらに強調され、画像全体が明るくなっていることが確認できる。また、暗い夜道で明るい看板が映った映像では、道の暗さ(低輝度)と看板の明るさ(高輝度)がそれぞれ誇張された映像が生成された。

では、このような症状はどういった生理学的・神経科学的メカニズムによって起きているのであろうか? 著者らは、ASDの瞳孔調整能力の弱さ[15,16]が、コントラストの強調と高輝度化の主な原因であると考えている。人間の瞳孔は外界からの光の量を調節する役割を担っており、暗所では瞳孔を拡大することでなるべく多くの光を取り入れ、明所では瞳孔を収縮することで光の量を制限している[17]。定型発達者はこのような調節を自動的に行うことで、環境に応じて適切

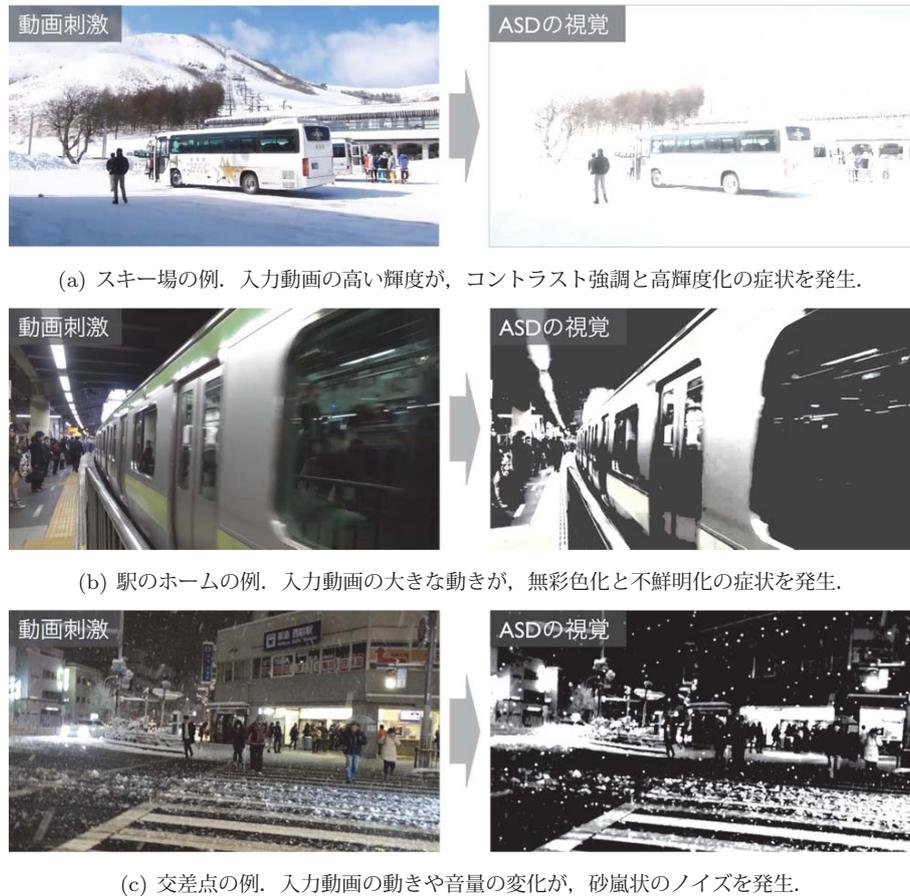


図 6 図 5 で得られた結果を計算論的にモデル化し, それをもとに再現した ASD の視覚症状. 左が入力動画, 右が ASD の視覚を表している.

な量の光を取り入れているが, ASD 者は定型発達者に比べて定常時で約 1.2~1.3 倍の大きさの瞳孔を持ち [15], さらに, 対光反射への応答時間の増大と, 収縮率の低下 [16] という特性をもつことが知られている. 実際に, 予備実験でも多くの参加者から, 屋外に出たときに眩しく感じるとの報告を得た. 以上より本実験結果は, ASD の瞳孔機能の非定型性が, 輝度という低次の視覚刺激に影響を受け, コントラスト強調と高輝度化という視覚過敏・鈍麻の症状を生成したと考えられる.

4.2 大きな動きに誘発される無彩色化と不鮮明化

次に図 5 (d) と (e) から, 無彩色化と不鮮明化が動画刺激の動きと高い相関を持つことが明らかになった. これらの二つの症状に対して, 動きの平均・分散・平均速度に対応する PC2 が高い相関係数を示しており, 環境中の動きが要因となって引き起こされることが推察される. 図 6 (b) に, 本結果をもとに再現

した ASD の視覚症状を示す. これは駅のホームで撮影した動画で, 電車が通過した瞬間に大きな動きが発生し, 無彩色化と不鮮明化の強い症状が現れていることが確認された.

これらの症状を説明する知見として, ASD の周辺視野への高依存性 [18-20] と, 周辺視野がもつ解剖学的特徴が挙げられる. これまでの心理実験によって, ASD 者は物体や他者を観察する際に, 正面で対象を注視するのではなく, 横目で見る人が多いことが指摘されている [18, 19]. また, 周辺視野に呈示された刺激に対する視覚誘発電位を調べたところ, 定型発達者に比べて ASD 者で優位に高い反応を示すことが発見された [20]. これらは, ASD 者が定型発達者に比べて, 周辺視野に強く依存していることを示唆している. 一方で, 人間の網膜は解剖学的特徴から場所に依って異なる信号を受け取っており, 中心窩では高解像度かつ色鮮やかな信号を受けるのに対して, 周辺視野では低解像度かつ無彩色の信号を受けていることが知られている [21]. そして, 動きの検出は主に周辺視野で行われ, それらの情報が脳で統合されることで, あ

たかも視野全体で鮮明かつ動きが存在するような認識を行っていると考えられている。著者らは、こういった生理学的・神経科学的知見から、ASD では環境からの動き信号が引き金となって、それに敏感な周辺視野に含まれる不鮮明・無彩色な信号が顕在化し、その結果として図 6 (b) に示すような症状が現れるのではないかと考えている。これをサポートする知見として、ASD の視覚信号の時空間的統合の困難さ [22, 23], 視覚に限らず多様な感覚信号の統合の困難さ [4-7] が指摘されており、中心窩と周辺視野の統合においても同様の現象が起きているのではないかと推測される。これについては、今後、実験参加者が動画刺激を観察している際の注視点を計測するなどして、仮説を検証することが望まれる。

4.3 動きと音量の変化に起因する砂嵐状のノイズ

三つ目の症状として、動きと音量の変化に起因して、砂嵐状のノイズが発生することも明らかになった。図 5 (a) から、音強度の分散・平均速度に対応する PC1 と、動きの平均・分散・平均速度に対応する PC2 が、砂嵐状のノイズと高い相関を持つことが確認できる。図 6 (c) に、本結果をもとに再現した ASD の視覚症状を示す。これは、雪の降る交差点を歩きながら撮影した動画で、線状に映っている雪に加えて、無数の白い点がノイズとして現れているのが確認できる。雪の上を車が走行する際に生じる動きや音、撮影者自身の歩行による動きや音が、その要因となっていると考えられる。また、4.2 節で説明した無彩色化と不鮮明化の症状も、同時に生じていることに注意されたい。無彩色化と不鮮明化が主に動きの量に比例していたのに対して、砂嵐状のノイズは動きの量の変化（分散・平均速度）とも高い相関を持っており、状況に応じてこれらが独立して現れることも考えられる。

これらの症状の生理学的・神経科学的要因について、前述の二症状と同様に考察したが、ASD の知覚過敏・鈍麻には未解明な部分が多く、直接的な知見を見つけることは困難であった。しかし、visual snow と呼ばれる類似の砂嵐状のノイズが片頭痛患者にも発生していることが見つか [24]、片頭痛を引き起こす特異な脳活動が、ASD にも共通している可能性が示唆される。片頭痛患者には、視覚野における皮質拡張性抑制と呼ばれる非常にゆっくりとした脳活動 [25] や、舌状回周辺での代謝亢進 [24] が観察されており、これらの脳活動と visual snow との間に相関があることも指摘



図 7 ヘッドマウントディスプレイ型 ASD 知覚体験シミュレータ。カメラとマイクロフォンから入力された視聴覚信号を実時間で処理し、ヘッドマウントディスプレイ上に ASD の視覚世界を再現する。本シミュレータを用いることで、ASD の特異な知覚が社会的行動に与える影響や、脳活動に与える影響を調べることが可能となる。

されている。ASD の場合も、砂嵐上のノイズとの関連は未知であるが、特異な脳活動として興奮性/抑制性ニューロンのバランス不全 [26, 27] や、聴覚刺激に対する低次聴覚野の過剰反応 [28, 29] が報告されている。以上のことから、砂嵐上のノイズは非定型な脳活動に起因する可能性が高く、感覚器の特異性に由来するコントラストの強調と高輝度化とは、別のメカニズムが影響している可能性が示唆される。今後、特異な視覚症状を見ているときの脳活動を計測するなどして、そのメカニズムを明らかにすることが期待される。

5. ASD 知覚体験シミュレータ

以上の実験結果に基づき、ASD の知覚過敏・鈍麻の発生過程をモデル化し、それを実装したヘッドマウントディスプレイ型知覚体験シミュレータを開発した(図 7 参照)。本シミュレータは、ヘッドマウントディスプレイ上に取り付けられた USB カメラから、装着者の視野に相当する画像と音声を取得し、有線でつながられたコンピュータで ASD の視覚世界へと変換後、その結果をヘッドマウントディスプレイ上にリアルタイムで投影するという機能を持つ。これを用いることで、シミュレータの装着者は ASD の第一人称視点を見ることができただけではなく、自己の運動が知覚にどのような影響を与えるかも体験することができる。従来の ASD の知覚再現映像やビデオゲームに比べて、自己の運動と知覚の相互作用を様々な社会的文脈において評価することができることから、ASD の社会性の問題の理解に大きく貢献することが期待できる。

6. おわりに

本稿では、ASDの視覚過敏・鈍麻の発生過程を説明する方法として、構成的アプローチを導入した認知心理実験手法を提案した。ASDの特異な知覚を評価する上での課題は、主観的体験をいかにして客観的に評価するか、そして、社会的文脈にリンクした知覚症状をいかにして定量的に評価するか、という問題である。著者らは、画像・音声処理技術を応用して視覚過敏・鈍麻の症状をあらかじめ画像フィルタとして用意しておくことで、ASD者の内省を促し、主観的体験を客観的に再現できる実験システムを提案した。さらに、様々な社会的文脈で撮影された動画刺激を用意し、そこに内在する視聴覚信号とASD者によって再現された視覚症状の相関を解析することで、低次の視聴覚信号が視覚過敏・鈍麻を誘発する過程をモデル化した。実験の結果から、コントラスト強調と高輝度化、無彩色化と不鮮明化、そして砂嵐上のノイズといった症状が、それぞれ動画刺激の輝度、動き、動きと音量の変化に起因して生じることが明らかになり、それを説明する生理学的・神経科学的要因について考察した。

今後の課題としては、第4節で考察した知覚症状の発生メカニズムについて、ASD者の視線計測や脳活動計測を行うことで仮説を検証することが挙げられる。感覚器から脳活動に至る非定型性と、特異な視覚症状の関係を検証することで、ASD者にとって真に役立つ支援技術の設計指針が得られることが期待される。また、今回の実験では参加者に共通して見られる視覚症状に着目したが、ASDの知覚特性や社会性能力には個人差があることが知られており、それらを考慮した解析も望まれる。例えば、砂嵐上のノイズは視聴覚刺激と高い相関を示したが、参加者の中には全く体験したことがない人もおり、彼らの感覚器や脳活動の特性と、症状を体験したことがある参加者の特性を比べることで、さらなるメカニズムの理解につながると期待できる。そして、本稿で提案した手法をさらに他の感覚様式（聴覚や触覚など）にも拡張することで、ASDの非定型な知覚とその発生過程を統合的に理解し、社会性障害への影響を検証することが必要である。

謝辞

本研究は科学研究費補助金新学術領域研究「構成的発達科学」(24119003, 24119006)の助成を受けた。

参考文献

- [1] S. Baron-Cohen: “Mindblindness”, MIT Press (1995).

- [2] P. Mundy, M. Sigman, J. Ungerer and T. Sherman: “Defining the social deficits of autism: the contribution of non-verbal communication measures”, *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, **27**, 5, pp. 657–669 (1986).
- [3] T. Charman, J. Swettenham, S. Baron-Cohen, A. Cox, G. Baird and A. Drew: “Infants with autism: an investigation of empathy, pretend play, joint attention, and imitation”, *Developmental Psychology*, **33**, 5, pp. 781–789 (1997).
- [4] U. Frith and F. Happé: “Autism: beyond “theory of mind””, *Cognition*, **50**, pp. 115–132 (1994).
- [5] F. Happé and U. Frith: “The Weak Coherence Account: Detail-focused Cognitive Style in Autism Spectrum Disorders”, *Journal of Autism and Developmental Disorders*, **36**, 1, pp. 5–25 (2006).
- [6] 綾屋, 熊谷: “発達障害当事者研究—ゆっくりていねいにつながりたい”, 医学書院 (2008).
- [7] 綾屋, 河野, 向谷地, Necco, 石原, 池田, 熊谷: “当事者研究の研究”, 医学書院 (2013).
- [8] M. O’Neill and R. S. P. Jones: “Sensory-Perceptual Abnormalities in Autism: A Case For More Research?”, *Journal of Autism and Developmental Disorders*, **27**, 3, pp. 283–293 (1997).
- [9] A. Fleischmann and C. Fleischmann: “Carly’s Voice: Breaking Through Autism”, Touchstone (2012).
- [10] T. Grandin and R. Panek: “The Autistic Brain: Thinking Across the Spectrum”, Mariner Books (2014).
- [11] “Autism: Sensory overload simulation”, <https://www.youtube.com/watch?v=IcS2VUoe12M> (2012).
- [12] “What it’s like to walk down a street when you have autism or an asd”, <https://www.youtube.com/watch?v=plPNhooUUuc> (2010).
- [13] “Auti-sim”, <http://toughcellgames.com/games/auti-sim/> (2013).
- [14] D. R. Simmons, A. E. Robertson, L. S. McKay, E. Toal, P. McAleer and F. E. Pollick: “Vision in autism spectrum disorders”, *Vision Research*, **49**, 22, pp. 2705–2739 (2009).
- [15] C. J. Anderson and J. Colombo: “Larger Tonic Pupil Size in Young Children With Autism Spectrum Disorder”, *Developmental Psychobiology*, **51**, pp. 207–211 (2009).
- [16] C. Daluwatte, J. H. Miles, S. E. Christ, D. Q. Beversdorf, T. N. Takahashi and G. Yao: “Atypical Pupillary Light Reflex and Heart Rate Variability in Children with Autism Spectrum Disorder”, *Journal of Autism and Developmental Disorders*, **43**, pp. 1910–1925 (2013).
- [17] C. J. K. Ellis: “The pupillary light reflex in normal subjects”, *The British Journal of Ophthalmology*, **65**, 11, pp. 754–759 (1981).
- [18] L. Mottron, S. Mineau, G. Martel, C. S.-C. Bernier, C. Berthiaume, M. Dawson, M. Lemay, S. Palardy, T. Charman and J. Faubert: “Lateral glances toward moving stimuli among young children with autism: Early regulation of locally oriented perception?”, *Development and psychopathology*, **19**, 1, pp. 23–36 (2007).

- [19] B. Noris, J. Nadel, M. Barker, N. Hadjikhani and A. Billard: “Investigating Gaze of Children with ASD in Naturalistic Settings”, *PLoS ONE*, **7**, 9 (2012).
- [20] H.-P. Frey, S. Molholm, E. C. Lalor, N. N. Russo and J. J. Foxe: “Atypical cortical representation of peripheral visual space in children with an autism spectrum disorder”, *The European Journal of Neuroscience*, **38**, 1, pp. 2125–2138 (2013).
- [21] D. Purves, G. J. Augustine, D. Fitzpatrick, W. C. Hall, A.-S. LaMantia, J. O. McNamara and S. M. Williams Eds.: “Neuroscience: Third Edition”, Sinauer Associates, Inc. (2004).
- [22] M. Behrmann, G. Avidan, G. L. Leonard, R. Kimchi, B. Luna, K. Humphreys and N. Minshew: “Configural processing in autism and its relationship to face processing”, *Neuropsychologia*, **44**, 1, pp. 110–129 (2006).
- [23] T. Nakano, H. Ota, N. Kato and S. Kitazawa: “Deficit in visual temporal integration in autism spectrum disorders”, *Proceedings of the Royal Society B*, **277**, 1684, pp. 1027–1030 (2010).
- [24] C. J. Shankin, F. H. Maniyar, T. Sprenger, D. E. Chou, M. Eller and P. J. Goadsby: “The Relation Between Migraine, Typical Migraine Aura and ”Visual Snow””, *Headache*, **54**, 6, pp. 957–966 (2014).
- [25] N. Hadjikhani, M. Sanchez Del Rio, O. Wu, D. Schwartz, D. Bakker, B. Fischl, K. K. Kwong, F. M. Cutrer, B. R. Rosen, R. B. Tootell, a. G. Sorensen and M. a. Moskowitz: “Mechanisms of migraine aura revealed by functional MRI in human visual cortex”, *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, **98**, 8, pp. 4687–4692 (2001).
- [26] O. Yizhar, L. E. Fenno, M. Prigge, F. Schneider, T. J. Davidson, D. J. O’Shea, V. S. Sohal, I. Goshen, J. Finkelstein, J. T. Paz, K. Stehfest, R. Fudim, C. Ramakrishnan, J. R. Huguenard, P. Hegemann and K. Deisseroth: “Neocortical excitation/inhibition balance in information processing and social dysfunction”, *Nature*, **477**, 7363, pp. 171–178 (2011).
- [27] T. M. Snijders, B. Milivojevic and C. Kemner: “Atypical excitation-inhibition balance in autism captured by the gamma response to contextual modulation”, *NeuroImage: Clinical*, **3**, pp. 65–72 (2013).
- [28] J. Matsuzaki, K. Kagitani-Shimono, T. Goto, W. Sanefuji, T. Yamamoto, S. Sakai, H. Uchida, M. Hirata, I. Mohri, S. Yorifuji and M. Taniike: “Differential responses of primary auditory cortex in autistic spectrum disorder with auditory hypersensitivity”, *NeuroReport*, **23**, 2, pp. 113–118 (2012).
- [29] J. Matsuzaki, K. Kagitani-Shimono, H. Sugata, M. Hirata, R. Hanaie, F. Nagatani, M. Tachibana, K. Tominaga, I. Mohri and M. Taniike: “Progressively Increased M50 Responses to Repeated Sounds in Autism Spectrum Disorder with Auditory Hypersensitivity: A Magnetoencephalographic Study”, *PLoS one*, **9**, 7, p. e102599 (2014).