

[研究助成 (C)]

社会的注意の神経基盤の究明とその知見の バーチャルリアリティ技術への応用

Exploring Neural Substrate of the Social Attention and its Application in Virtual Reality

2177001



| | | | |
|-------|--------------------|--------|-------------|
| 研究代表者 | 大阪大学大学院 生命機能研究科 | 博士後期課程 | Wu Hui-Ning |
| 共同代表者 | 大阪大学大学院 生命機能研究科 | 招へい准教授 | 番 浩 志 |

[研究の目的]

昨今の映像呈示技術と情報通信技術の発展により、バーチャルリアリティ (VR) 空間上でコンピュータ・グラフィックス (CG) で生成された人物と生身の人とのコミュニケーションが現実になりつつある。VR や CG では、人の容姿や動きのリアルさの追求が主な研究テーマとなっているが、VR 上で人の視線の方位についての研究は少ない。一方、ヒトは他者の視線の変化を敏感に検知し、その視線方位へ自ずと注意を向けることが知られている (社会的注意と呼ぶ)。よって、CG 人物の視線をうまく制御しなければ、ヒトの注意が思わぬ方向へ逸れ、甚大な事故に繋がる可能性がある。そこで本研究では、社会的注意の神経基盤を解明し、その知見の VR 技術への応用を目指した研究を実施した。

[研究手法]

脳活動計測手法と実験の概要：本研究は、上記の目的で fMRI (functional Magnetic Resonance Imaging; 磁気共鳴映像法、空間解像度に優れ、脳活動の詳細な活動マップの可視化に有効) と MEG (Magnetoencephalography; 脳磁図、時間解像度に優れ、脳活動の時系列変化を詳細に可視化する際に有効) 技術を用いたヒ

ト脳機能イメージング実験を行い、ヒトが単純に注意を向ける場合と、バーチャルリアリティ技術で生成された複数の他者 (顔の CG 画像) の様々な視線方向の変化に応じて社会的注意を向ける場合 (他者の意図をくみ取り、その意図に応じて注意を向ける) との脳活動の相違と類似点を調べた。

被験者と実験条件：fMRI 実験では 12 名、MEG 実験では 11 名の協力者の脳活動を計測した。

実験開始後、まず画面の左右に CG で作成した 2 人の人物の顔、あるいは 2 つの矢印型の物体 (それぞれ「刺激」と呼ぶ) が呈示された (図 1 参照)。その後、2 つの刺激はゆっくりと回転し、「向き」を変えた。「一致」条件では、視線あるいは矢印の方位が空間上のある 1 点を向くような回転が加えられた。一方で、「不一致」条件では、2 人の視線がバラバラになるように (一致条件の左右刺激が入れ替わった) 回転が加えられた。一致条件では、視線が一点を向くことから、(もし 2 人の CG 人物の動きの意図を読み取ることができれば) 不一致条件と比べてより強く 1 点に注意を促すような効果が生まれる (これを本研究では社会的注意の効果と定義している)。これら 2 条件に対する脳活動を比較することで社会的注意に関わる脳内情報処理経路の同定を試みた。

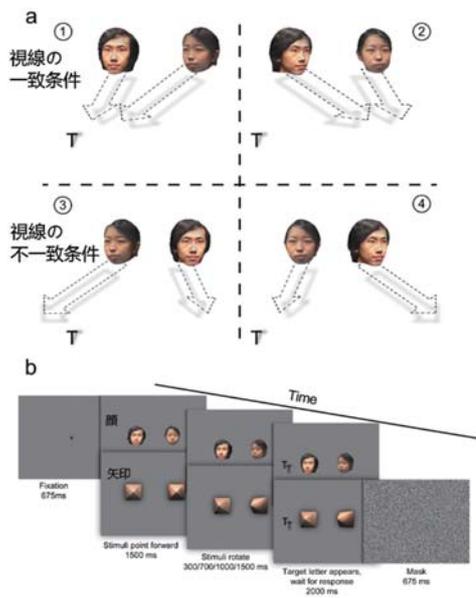


図1 実験に用いた刺激

[研究の内容, 成果]

研究1: 顔と矢印の比較——手掛かりの効果

まず予備実験として、一致条件において、本当に不一致条件よりも強く、視線（あるいは矢印が指す）方位への注意が誘発されているのかを調べる心理行動実験を行った。具体的には、一致条件あるいは不一致条件の刺激を先行手掛かりとし、その手掛かり呈示後、先行手掛かりが指す場所にターゲット文字が呈示された場合、異なる場所にターゲットが呈示された場合と比べて、一致条件において（不一致条件では方位が一意に決められない）、ターゲット文字音検出は速くなるのかを調べることによって、社会的注意の効果を定量的に評価した（ポズナー課題）。もし社会的注意が誘発されているのなら、その方位に呈示されたターゲット文字にはより速く反応できるはずである。

実験の結果、刺激が顔の場合も矢印の場合も、一致条件において先行手掛かりの呈示の効果が観察された。すなわち、ターゲット文字への反応速度が促進された。一方、不一致条件では、ターゲット検出の促進効果は観察されなかった。これはすなわち、本研究で用いた一致条件刺激

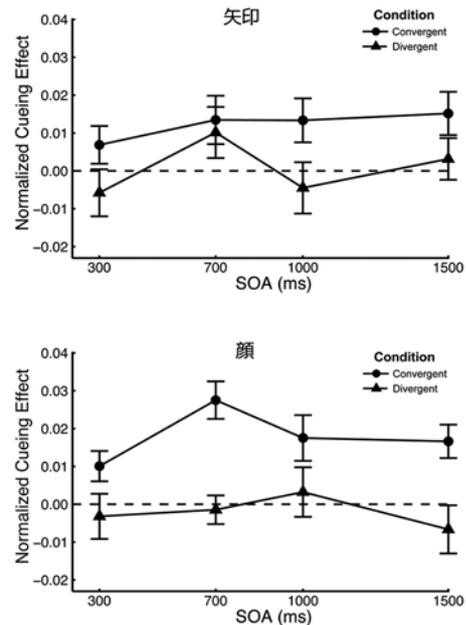


図2 一致条件における先行手掛かりの効果

は確かにその刺激が指す方位に強く注意を誘発していることを意味する（図2参照）。

研究2: 社会的注意に関わる脳部位を同定する
fMRI 実験

前項の心理行動実験より、一致条件における注意の誘発が示された。では、一般的な注意（矢印の方位によって誘発される注意）を司る脳の部位と社会的注意（視線の意図する方位をくみ取ることが必要）は、同じ脳の部位で処理されているのだろうか。それとも、社会的注意に特化した特別な情報処理機構が存在するのだろうか。これを調べる目的でfMRIによる脳活動計測を行い、得られたデータに機械学習法を応用したサーチライト解析と呼ばれる解析手法を適用した結果、刺激のコントラストなど低次の特徴を処理する後頭葉視覚野に加え、従来より明らかになっている帯状回-楔前部の注意処理ネットワークにおいて、一致条件と不一致条件が区別されていることが明らかになった（図3）。帯状回-楔前部の損傷は、成人における後天的なADHD障害を引き起こすことが知られている（Castellanos et al., 2008）。

しかしながら、これらの領域において、矢印

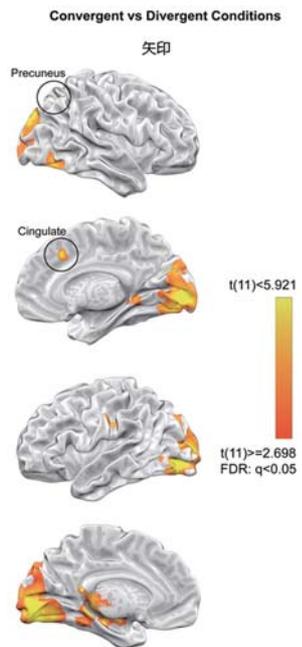


図3 全脳サーチライト解析の結果
矢印刺激の一致 vs 不一致

刺激（一般的注意）と顔刺激（社会的注意）の区別は出来なかった。1つの可能性として、fMRIでは十分な解像度が得られず、両刺激の細かな差異が抽出出来なかった可能性が考えられる。あるいは、一般的注意と社会的注意は区別なく処理されている可能性も考えられる。今後のさらなる検証が必要である。

一方で、より重要なことには、前頭前野、特に上前頭回の活動からは、顔刺激の視線の向きに対して、一致条件と不一致条件を区別することが可能であった（図4）。すなわち、社会的注意は従来より注意との関連が示唆されている帯状回-楔前部ネットワークではなく、前頭前野で特異的な処理がされている可能性が明らかになった。

先行研究では、上前頭回は社会性に関わる様々なタスクの処理に関わることが示唆されてきた。例えば、視線方位の検出や他者の意図の推定にはこの領域が関わると報告されている（Numenmaa & Calder, 2009; Williams et al., 2005 など）。今回の研究は、これらの先行研究に加え、上前頭回が複数の人の視線が一致することの社会的な重要性や社会的注意の調整にも

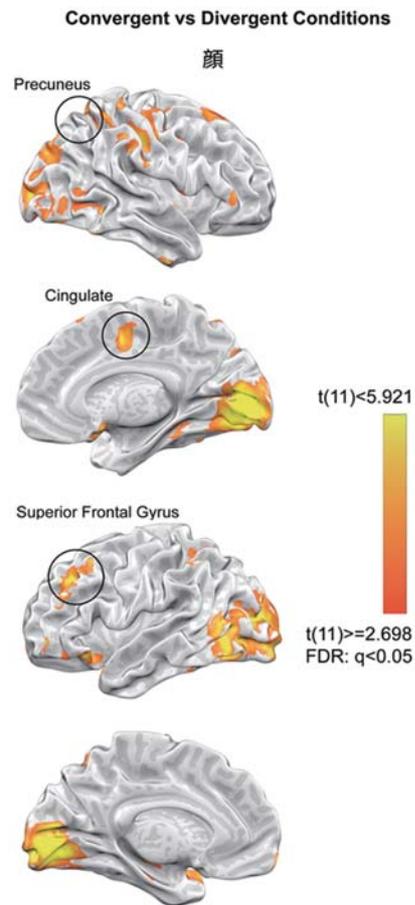


図4 全脳サーチライト解析の結果
人の視線の一致 vs 不一致

重要な役割を果たしていることを示唆している。

研究3：社会的注意に関わる脳領域の時間的な活動変化を同定する MEG 実験

これまでの先行研究および今回の研究を通じて、複数の人物の視線が一致してある一点に集まると、帯状回-楔前部ネットワークおよび上前頭回の働きによって、注視部分に注意が誘発されることが明らかになった。特に上前頭回は社会的注意に特異的な処理を担っていることが示唆された。

では、どのような情報の「流れ」によって社会的注意が生まれるのだろうか？その脳内情報処理のダイナミクスを調べる目的で、高時間解像度（1000 Hz）で脳活動を計測できる MEG を用いた脳機能イメージング実験を行った。特に本実験では、後頭葉視覚野と上前頭回の活動

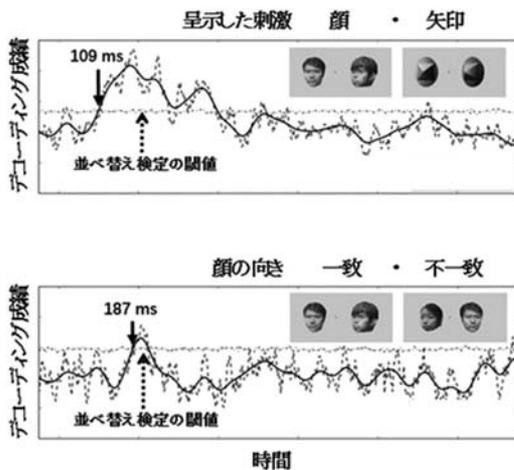


図5 刺激呈示後からの時系列に沿った 矢印 vs 顔 および 一致 vs 不一致条件のデコーディング成績

に注目し、どのタイミングでどのようにこれらの領域が社会的注意に関与するのかを調べた。

実験の結果、次のことが明らかになった。まず、後頭葉視覚野では、刺激の呈示後 109 ms 後に刺激が顔であったか矢印であったかを区別できるような応答が生じていた。さらに、上前頭回では、刺激の呈示後 187 ms 後に 2 人の人物の視線が一致しているか否かを区別できるような応答が生じていた (図 5 参照)。これらの結果は、社会的注意が 2 段階のプロセスを経て処理されている可能性を示唆している。第 1 段階の処理では、脳の初期視覚情報処理システムが視覚特徴を抽出し、社会性を有する手掛かりが含まれているかを分析する。第 2 段階の処理では、上前頭回が複数の社会的な手掛かりの関係性を解釈し、社会的に重要な場所・位置へより強く注意を促すような命令を下す。これら 2 つの処理を経て、社会的注意が生じているのではないだろうか。

[研究のまとめ]

本研究は、複数の CG 人物の視線方向の一致・不一致を操作し、社会的注意の強弱を変化させることで、従来の研究では明確ではなかった単純な視線方向の変化 (刺激の運動) と社会的注意そのものを反映する脳活動とを区別した

点で新規性の高い成果をあげることができた。具体的には、帯状回-楔前部の注意処理ネットワークに加え、上前頭回が社会的注意に特に重要な領域であることを明らかにした。

また、同じ刺激に対して fMRI と MEG の両イメージング手法を組み合わせることで、社会的注意の脳内処理機構の時空間的・空間的な処理の流れの 2 つの理解を試みた点で独創的な研究プロジェクトとなった。

[今後の研究の方向、課題]

今回の研究では、実施可能な実験に落とし込めるよう、比較条件をシンプルにし、複数の人物の視線のまとまり具合 (一致/不一致) のみで社会的な重要性を定義した。しかしながら、実際の社会性手掛かりは今回の実験よりもはるかに複雑で、視線以外の様々な手掛かりを同時かつ並列に処理する必要がある。例えば、実際のコミュニケーションではジェスチャ、ボディランゲージや表情、対話する人物同士の関係性も重要な手掛かりとなってくる。では、これらの手掛かりは視線と比較して、どのように注意を誘発するのだろうか。また、これらの手掛かりは今回の研究で同定した脳領域と同じ部位で処理されるのだろうか。それとも、それぞれの手掛かりに対応した特別な神経回路が存在するのだろうか。今後の研究では、こうした問題を明らかにしていかななくてはならない。

また、本研究で得られた知見をバーチャルリアリティ技術を発展させる技術として社会実装するなど、応用研究を進めることも重要だろう。最近、実際の俳優ではなく、バーチャルリアリティ技術で製作された仮想の CG アバターを用いたドラマやライブが若者の間で人気になりつつある。ここで、CG アバターの表情をどのように変化させれば、感情の機微を豊かに表現できるのか、複雑な感情のどこまでを鑑賞者に伝えることができるのか、といった問いは解かなければならない重要な問題であり、そのカギは

今回の研究テーマ，社会的注意のメカニズムと深く関わると考えられる。また，本研究の知見は，カウンセリングなどの特定の状況で自己表現をより豊かにしたり，より深い信頼感を醸成するために何が必要かといった研究へと発展させていけるかもしれない。今後はそうした応用を視野に入れた研究も進めていきたい。

最後に，本研究プロジェクト遂行の機会を与えてくださった立石科学技術振興財団のご関係者のみなさまに心より感謝を申し上げて結語と

したい。

[成果の発表，論文等]

1. Wu, H. N., Kuai, S., Ban, H. (2017). Significance of face for social attention revealed by MEG neuroimaging. IEICE Technical Report, 116(513), 93-98.
2. Zhou, C, Wu, H. N., Gao, MY., Yu, LK., Liang, Q., Ban., H., Kuai, S. (in revision) More than average : convergent gaze of a crowd evokes stronger spatial attention. European Journal of Neuroscience.