

表情を処理する神経ネットワークの時空間ダイナミクスを解明

表情は、ヒトのコミュニケーションの主要メディアです。ヒトの心は、他者の表情の動きを見ると、すばやく自動的に多様な情報処理（表情につられて表情模倣するなど）を遂行します。

脳画像研究は、表情を処理する神経メカニズムの解明に取り組んできました。しかし、これまでの脳画像研究では脳血流という秒単位の指標が計測されており、ミリ秒単位で起こる実際の神経活動の時間変化は不明でした。さらに、複数の脳部位がすばやく情報をやりとりする神経ネットワークの構造も不明でした。神経活動の時間や神経ネットワーク構造の情報は、脳のしくみの理解に欠かせません。

この問題を検討するため、京都大学大学院医学研究科の佐藤 弥 特定准教授、ATR 脳活動イメージングセンターの河内山 隆紀 研究員、京都大学大学院医学研究科の魚野 翔太 特定助教のグループは、健常者を対象として、動的表情を見ている間の脳磁図（MEG）を計測しました。MEG は、脳の電磁気信号を計測することで、神経活動をミリ秒単位で明らかにできる計測装置です。この MEG 信号を最新の方法で解析することにより、神経活動をミリ秒・ミリメートルという高い時空間分解能で同定し、さらにミリ秒単位で変化する神経ネットワークを調べました。

その結果、動的表情を見たときに動的モザイクの場合よりも強く、視覚野の複数の領域（形態や動きの視覚分析に関わる）が150～200ミリ秒というすばやい段階で一斉に活動する様子が捉えられました。動的表情は、300～350ミリ秒の段階で、下前頭回の活動も引き起こしました。下前頭回は、他者の運動を自分の運動に結び付ける「ミラーニューロン」があるといわれている部位です。さらに神経ネットワーク解析から、まず視覚野の活動が下前頭回の活動を引き起こすという順方向のネットワークが形成され、200ミリ秒以後に下前頭回の活動が視覚野の活動を調整するという逆方向のネットワークが形成されることが解明されました。これらの知見は、動的表情を見たときに、顔の形態や動きなど多様な視覚情報を分析し、表情に共鳴して自分の運動を起こし、自分の運動情報を使って視覚処理を調整する、という心のはたらきが、どのような神経ネットワークの時空間ダイナミクスで実現されるかを世界で初めて明らかにするものです。

表情コミュニケーションは対人関係に不可欠であり、自閉症スペクトラム障害や統合失調症では表情コミュニケーションに障害が生じて生活上の困難がもたらされます。今後、今回の研究成果をもとにして、精神疾患において表情コミュニケーション障害の基盤となる神経ネットワークを解明し、さらに脳活動を調整することで障害を改善する、といった展開が期待されます。

この成果は、2015年7月24日に英科学誌 **Scientific Reports**（サイエンティフィックリポーツ）誌のウェブサイトにて速報版として掲載されます。後日、正式版が掲載されます。

【研究の背景】

表情は、ヒトのコミュニケーションの主要メディアです。ヒトの心は、他者の表情の動きを見ると、すばや

く自動的に多様な情報処理を遂行します。例えば、表情の形や動きを的確に視覚分析して感情を理解し、相手の表情につられて模倣的に表情を表出します。表情がつけられると感情理解しやすくなることも示されています。

これまでの機能的磁気共鳴画像法（fMRI）を用いた脳画像研究は、表情を処理する神経メカニズムの解明に取り組んできました。こうした研究から、いくつかの脳部位が、表情処理に関与することが明らかにされてきました。しかし、fMRI は脳血流という秒単位の間接的な神経活動の指標を計測するため、ミリ秒単位で起こる実際の神経活動の時間変化は不明でした。さらに、表情を処理するために複数の脳部位が情報をやりとりする神経ネットワークの構造も不明でした。

【研究内容と成果】

そこで我々は、健常者を対象として、動的表情（図 1）を見ている間の脳磁図（MEG）で計測することで、この問題を検討しました。MEG は、脳の電磁気信号を計測することで、神経活動をミリ秒単位で明らかにできる計測装置です。この MEG 信号の時間情報を、fMRI 信号の空間情報と統合する最新の電流源再構成法で解析することで、神経活動をミリ秒・ミリメートルという高い時空間分解能で同定しました。さらに、最新の神経ネットワーク解析法である動的因果モデリング法で、ミリ秒単位で変化する神経ネットワークの構造を検討しました。

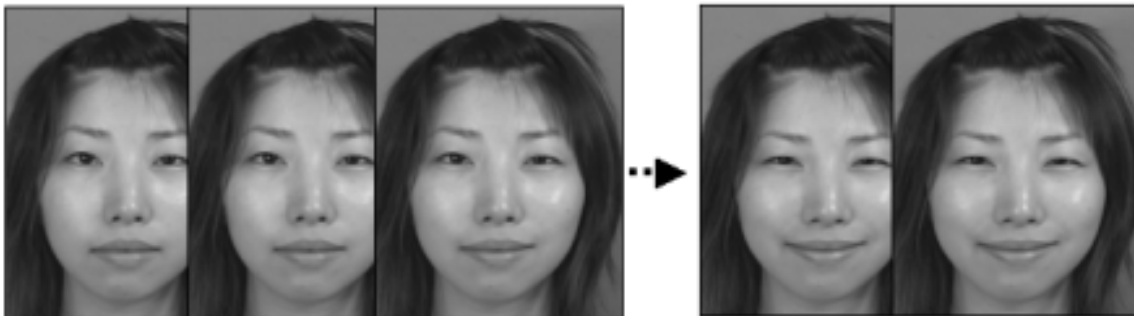


図 1. 動的表情の説明。無表情から感情を表す表情に変化。

その結果、動的表情を見たときに動的モザイクの場合よりも強く、視覚野の複数の領域（形態や動きの視覚分析に関わる）が 150～200 ミリ秒というすばやい段階で一斉に活動する様子が捉えられました（図 2）。動的表情は、300～350 ミリ秒の段階で、下前頭回の活動も引き起こしました。下前頭回は、他者の運動を自分の運動に結び付ける「ミラーニューロン」があるといわれている部位です。さらに神経ネットワーク解析から、まず視覚野の活動が下前頭回の活動を引き起こすという順方向のネットワークが形成され、200 ミリ秒以後に下前頭回の活動が視覚野の活動を調整するという逆方向のネットワークが形成されることが解明されました（図 3）。これらの知見は、動的表情を見たときに、顔の形態や動きなど多様な視覚情報を分析し、表情に共鳴して自分の運動を起こし、自分の運動情報を使って視覚処理を調整する、という心のはたらきが、どのような神経ネットワークの時空間ダイナミクスで実現されるかを世界で初めて明らかにするものです。

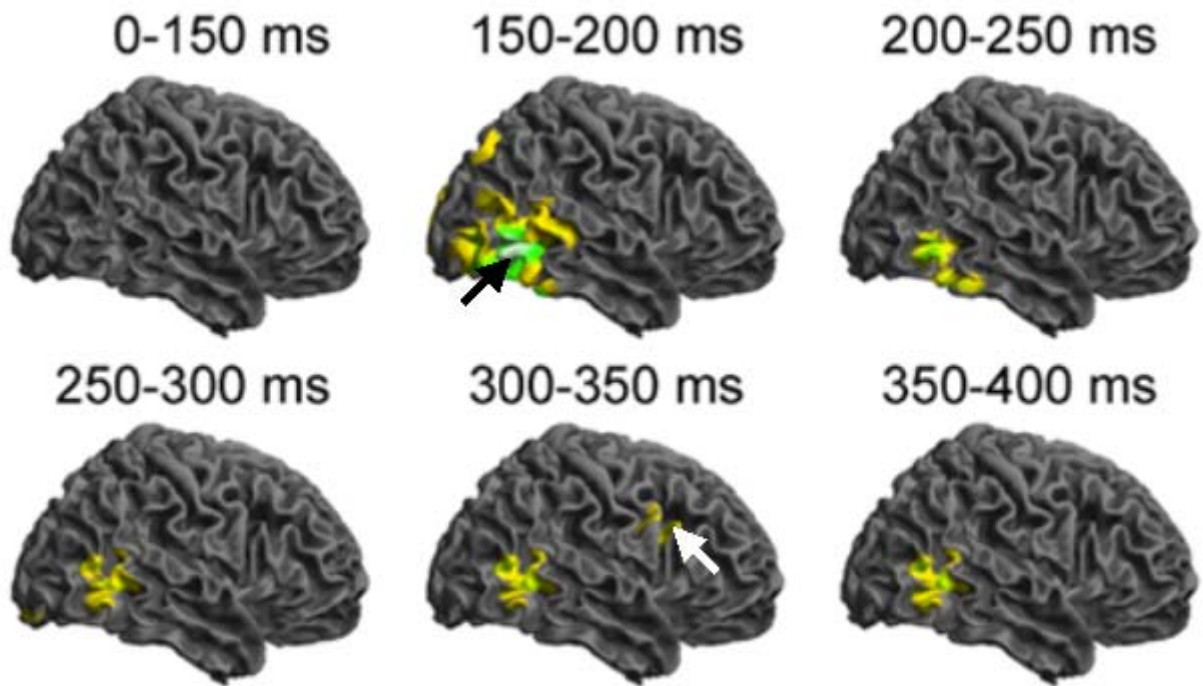


図 2. 動的表情を見たときに起こる脳活動の時間変化. 150~200 ミリ秒で多様な視覚分析に関わる視覚野の領域が活動し (黒矢印), 300~350 ミリ秒に運動実行に関わる下前頭回が活動した (白矢印).

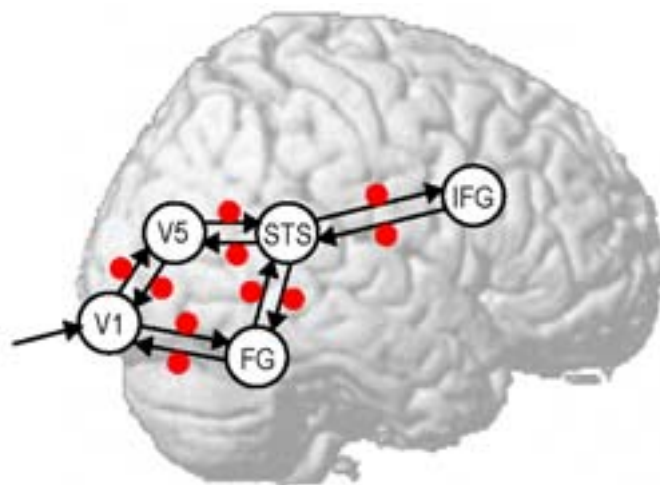


図 3. 動的表情を見たときの神経ネットワーク. まず視覚野の活動が下前頭回の活動を引き起こし, 200 ミリ秒から下前頭回の活動が視覚野の活動を調整するという神経ネットワークが示された.

【今後の展開】

今回の研究成果に基づく今後の展開が期待されます. 表情コミュニケーションは対人関係に不可欠であり, 自閉症スペクトラム障害や統合失調症では表情コミュニケーションに障害が生じて生活上の困難がもたらされます. 欧米では, 脳を電気刺激することで, こうした症状を改善する試みが始まっています. しかし, 脳活動の時空間ダイナミクスおよび神経ネットワークの情報が不足しているため, 探索的に刺激の部位・時間を設定せざるを得ませんでした. 今回の研究成果をもとにして, 精神疾患において表情コミュニケーション障害の基盤となる神経ネットワークを解明し, さらに脳活動の調整によって表情コミュニケーションを改善する, といった展開が期待されます.

【謝辞】

この研究には、最先端・次世代研究開発支援プログラム、ベネッセコーポレーションの支援を受けました。

【書誌情報】

著者：Sato, W.*, Kochiyama, T. *, & Uono, S. (* equal contributors)

タイトル：Spatiotemporal neural network dynamics for the processing of dynamic facial expressions.

掲載誌：Scientific Reports (<http://www.natureasia.com/ja-jp/srep/>)