

表情認知の心理・神経メカニズム

Psychological and neural mechanisms underpinning processing of emotional facial expressions

佐藤 弥 (京都大学こころの未来研究センター)

Wataru Sato (Kokoro Research Center, Kyoto University)

日本語抄録

表情は感情コミュニケーションの主要メディアである。しかし、表情処理がどのような心理・神経メカニズムにより実現されるかは明らかではない。本稿では、この問題を調べた我々の一連の心理学・神経科学研究の知見を紹介する。心理学研究および神経科学研究から、以下のような知見が示された：(1)表情の感情情報は無意識の段階で処理されており、こうした表情への感情処理に関して扁桃体が約 100 ミリ秒の段階で活動する、(2)感情表情は中性表情よりもすばやく検出されており、その検出パフォーマンスに視覚野における約 200 ミリ秒からの強い活動が関係している、(3)表情に対しては自動的な表情模倣が喚起され、これにはミラーニューロンシステムを構成するとされる下前頭回の約 300 ミリ秒の段階の活動が関係する。こうした知見から、表情に対して、感じる・見る・まねるという一連の心理的情報処理が、扁桃体・視覚野・下前頭回から構成される神経ネットワークにより数百ミリ秒のうちに実現されることが示唆される。

キーワード

下前頭回・感情・表情・扁桃体・無意識

英語抄録

Emotional facial expressions are primary media for human emotional communication. However, the psychological and neural mechanisms underpinning the processing of such facial expressions remain unclear. This article reviews the findings of our psychological and neuroscientific studies, which demonstrated the following: (1) that the emotional processing of facial expressions is accomplished unconsciously and is associated with amygdala activity at about 100 ms; (2) that the perception of emotional facial expressions is more rapid than that of neutral expressions and is associated with enhanced activity in the visual cortices at about 200 ms; and (3) that facial expressions automatically elicit facial mimicry and that this motor processing is related to activity in the inferior frontal gyrus at

approximately 300 ms. These data suggest that few hundred ms needed to process processing of emotional facial expressions involve multiple psychological dimensions, including feeling, seeing, and mimicking, as well as widespread neural activities in the amygdala, visual cortices, and inferior frontal gyrus.

英語キーワード

amygdala; emotion; emotional facial expression; inferior frontal gyrus; unconscious

はじめに

表情は、感情コミュニケーションのための重要なメディアである。表情の重要性は、多くの研究から示されている。例えば、自閉スペクトラム症では表情認識の問題が示されるが、これにより生活の質が低下することが報告されている(Baghdadli et al. 2013)。

しかし、表情コミュニケーションを実現する心理・神経メカニズムは、いまだに明らかではない。1980年代までの実験心理学・神経心理学研究から、表情の認知が人物の同定とは独立に処理されることが示された(cf. Bruce & Young, 1986)。その後の実験心理学および認知神経科学の発展により、表情処理が、多段階で複数の脳領域ネットワークが関与する処理過程であることが示唆され(cf. Haxby et al., 2000)、現在もその解明が進められている。

本稿では、表情処理について調べた我々の心理学・神経科学研究の知見を紹介する。我々の知見は、表情処理が、感じる・見る・まねるという一連の過程を含み、扁桃体など複数の脳領域のすばやい活動により実現されることを示す。

1. 表情への無意識の感情反応と扁桃体

1.1. 心理実験

哲学や精神医学において長く、表情からは感情が直感的・無意識的に伝わると議論されてきた。

実験心理実験は、表情が無意識で感情処理されることを、閾下感情プライミングという手続きを開発して実証した(e.g., Murphy & Zajonc, 1993)。この手続きでは通常、不快あるいは快の感情を表す表情写真が、意思的には知覚できないほど短時間だけ呈示（すなわち閾下呈示）され、続いて感情的に中性のターゲット刺激が呈示され、被験者はターゲット刺激への感情評定（例えばどのくらい好きか）が求められる。先行研究は、不快表情の後は快表情の場合に比べ、ターゲット刺激への感情評定が不快になることを示し、無意識のう

ちに喚起された感情の影響と解釈している。

しかし、先行研究の知見は、必ずしも一致していない。不一致の理由として、表情刺激の効果が弱い可能性が指摘されている。我々は、表情を動的呈示すると静的呈示の場合よりも強い感情反応を喚起することから(e.g., Sato & Yoshikawa, 2007b), 無意識段階においても、動的表情刺激により明確な無意識の感情処理の証拠が示されるかもしれないと仮説を立てた。

これを調べるため本研究では、動的表情を刺激として、閾下感情プライミング実験を実施した(Sato et al., 2014)。

方法

22名の健常被験者を対象とした。

刺激として、恐怖・幸福の動的表情を呈示した。表情刺激の材料は標準写真セット(Ekman & Friesen, 1976)から選択した。モーフィングにより中性表情と感情表情の中間画像を作成し、34・66・100%強度の表情画像を1枚10ミリ秒(全体で30ミリ秒)呈示して動的表情刺激とした。知覚を困難にするマスク刺激として、モザイク画像を動的表情刺激の直後に呈示した。ターゲット画像は、感情的に中性なハングルの画像であった。

課題として、閾下呈示された表情に続くターゲット刺激について、5段階でどの程度好きかを評定した(図1)。評定課題後に再認課題を実施し、表情刺激を呈示して2つの選択肢で再認を求めたところ、正答率はチャンスレベルを有意に超えない(閾下呈示されている)ことを確認した。

結果

恐怖と幸福の条件での選好反応(図1)について比較したところ、恐怖表情の後のターゲットの評定が、幸福表情の場合よりも有意に低いことが示された。

まとめ

動的表情を刺激とすることで、表情の感情処理が無意識のレベルで(刺激の意識的な知覚前に)実現されることが確認できた。

1.2. 深部脳波計測

感情の神経基盤として、動物・ヒトを対象とした多くの損傷研究から、扁桃体が重要な役割を果たすことが示されている。例えば、扁桃体を損傷するサルでは、健常なサルであれば怖がって逃げ出す蛇を平気で掴むようになる(Amaral, 2003)。脳画像研究は、健常なヒ

トにおいて、表情などの感情刺激に対して扁桃体が活動し(e.g., Breiter et al., 1996), その活動は表情の感情的意義に対応することを示している (Sato et al., 2004b).

しかし、扁桃体の表情処理の時間情報は明らかではない。解剖学的研究から、扁桃体が新皮質をバイパスして皮質下のルート（上丘と視床丘を介する）で視覚入力を受けることが示されている (Day-Brown et al., 2010). 脳画像研究からも、閾下呈示された表情の処理において、扁桃体が皮質下ルートの部位と機能的に結合することが示されている (Morris et al., 1999). こうした知見から、扁桃体での表情の感情処理は、すばやい段階で実現されると仮説を立てた。

この仮説を調べるため、表情を観察中の扁桃体の活動を、深部脳波で計測した(Sato et al., 2011).

方法

難治性てんかんの検査として深部脳波検査を受けている 6 名を対象とした。最終的に扁桃体に発作焦点はなかった。電極は定位脳手術にて挿入されており、扁桃体に電極が位置することは、術後の構造的脳画像で確認された (図 1)。

刺激として、恐怖・幸福・中性の表情写真を呈示した。表情写真は上述の標準写真セットから選択された。

課題は、刺激についての性別判断であった。意図的に感情を扱わず、自動的な感情反応を調べた。

結果

扁桃体の活動について時間周波数解析を実施したところ、恐怖表情に対して中性表情の場合よりも強い活動が、50～150 ミリ秒の間のガンマ波で示された (図 2)。活動は 100 ミリ秒より前に開始されていた。

まとめ

扁桃体が、恐怖表情に対して約 100 ミリ秒で活動することが示された。脳画像研究の知見(Sato et al., 2004b)と合わせ、扁桃体がすばやく表情の感情処理を実現すると考えられる。

この時間帯での活動を解釈する手がかりとして、脳波や頭蓋内脳波の研究は、新皮質における最初の顔関連の視覚情報処理が、100 ミリ秒より後の段階で起こることを報告している(e.g., Bentin et al., 1996; Sato et al., 2014). 扁桃体のすばやい感情処理は、新皮質での視覚処理とは独立に、皮質下の視覚入力経路(Morris et al., 1999)により実現されることが示唆される。また脳波研究は、新皮質における約 200 ミリ秒以後の活動が、刺激の意識的知覚

に対応と報告している(Koivisto & Revonsuo, 2010). 表情に対する約 100 ミリ秒の扁桃体の活動は、無意識の感情処理に関与していると考えられる。

2. 表情のすばやい検出と視覚野活動促進

2.1. 心理実験

先行の心理実験は、感情的な表情が中性表情よりもすばやく知覚されると報告している(Hansen & Hansen, 1988). この研究では、視覚探索課題（複数のディストラクタ刺激の中から 1 つのターゲット刺激を見つける）を用いて、怒り・幸福・中性の表情写真の検出を調べている。実験の結果、中性表情の中から怒りや幸福の表情を見つける反応時間は、怒りや幸福の表情の中から中性表情を見つける場合よりも短いことが示された。その後の複数の後続研究が同様に、感情表情のすばやい知覚を報告している。

しかし、感情表情の中性表情よりも優先的な検出が、その視覚特性によるのか、感情的意義によるのかは、不明であった。感情表情は独特の相貌特徴（例えば怒り表情の寄せ下げられた眉）を持つので、こうした視覚特性がすばやい検出をもたらす可能性がある。

本研究(Sato & Yoshikawa, 2010)ではこの問題を、表情と逆表情を刺激とする視覚探索課題で検討した（図 3）。逆表情とはモーフィングで作成した人工的表情で、全ての相貌特徴を中性表情を基準として感情表情とは逆方向に同量だけ変異させており、感情的には中性表情とラベリングされる (Sato and Yoshikawa 2009). 被験者は、複数の中性表情の中から、怒りあるいは幸福の通常表情あるいは逆表情を検出した。

方法

対象は、17 名の健常被験者であった。

刺激として、怒りあるいは幸福の通常表情あるいは逆表情をターゲット刺激として、中性表情をディストラクタとして用いた（図 3）。刺激の素材は、上述の標準写真セットから選択された。逆表情は、モーフィング技術を用いて、感情（怒り・幸福）表情と中性表情の相貌特徴の 100%および 0%として、-100%の表情画像として形成された。全ての表情は髪や輪郭を除いた楕円形で呈示された。

視覚探索課題の各試行では、円状の 8 つの位置のどこかに 4 つの顔刺激が呈示された（図 3）。被験者は、1 つ違うものがあるか全て同じかをボタン押しで回答した。全試行の半分にターゲット刺激が含まれ、残り半分は全刺激が中性表情であった。視覚探索課題の終了後に、刺激を 1 つずつ呈示して、感情価（不快～快）と活性度（低活性～高活性）につい

て9段階での感情評定を求めた。

結果

反応時間について刺激タイプ（通常・逆）×感情（怒り・幸福）の2要因分散分析したところ、有意な交互作用および刺激タイプの主効果が示された（図3）。交互作用についての下位検定から、怒りでも幸福でも、通常表情の検出における反応時間は、逆表情の場合より短いことが示された。

反応時間と評定の関係を回帰分析で調べたところ、活性度との間に有意な負の関係が示された（図3）。活性度の高いターゲット刺激ほど、検出の反応時間が短いことが示された。

まとめ

感情表情は、同レベルの視覚的変異を持つ中性表情である逆表情と比較しても、すばやく検出された。また表情の検出は、主観的に感じる感情活性度と対応していた。こうした知見から、表情がその感情的意義によりすばやく知覚されることが示唆される。

2.2. 脳波計測

感情的な刺激の優先的知覚の神経基盤の候補として、いくつかの脳画像研究は、感情刺激に対する視覚野の活動促進を報告している。例えば Lang et al. (1998)は、感情場面に対して中性場面に比べて、扁桃体とともに視覚野の広範な領域が強く活動したことを報告している。

しかし、脳画像研究で示される感情刺激に対する視覚野の活動促進が、すばやく生じるという証拠はなかった。また、すばやい検出と対応するという証拠もなかった。

この問題を調べるため本研究では、怒り・幸福の通常表情・逆表情を検出する視覚探索課題を遂行中の脳波を計測した(Sawada et al., 2014)。

方法

20名の健常被験者を対象とした。

刺激と課題は、上述の心理実験と同様であった。ターゲット刺激として怒り・幸福の通常・逆表情を用い、ディストラクタ刺激として中性表情を用いた。課題は、1つ違うものがあるか全て同じかのボタン押しであった。なお、視覚探索課題の画面は微修正され、各試行では常に正形状の位置で4つの顔刺激が呈示された。この課題を遂行中、脳波が計測された。視覚探索課題終了後に、感情評定が求められた。

結果

反応時間の分析では、上述の心理実験と同様、怒りでも幸福でも、通常表情の検出が逆表情の場合より早いことが示された。

脳波について、通常表情＞逆表情の対比を調べたところ、約 200～400 ミリ秒の脳後方における陰性変動が有意に示された（図 4）。

脳波と反応時間の関係を回帰分析で調べたところ、約 200～400 ミリ秒の後方の陰性変動と反応時間の間に有意な関係が示された（図 4）。検出が早いほど、この変動の振幅が大きかった。また脳波と感情評定の関係を回帰分析で調べたところ、約 200～400 ミリ秒の後方の陰性変動と活性度の間に有意な関係が示された（図 4）。刺激を見たとき感じる感情活性度が高いほど、この変動の振幅が大きかった。

まとめ

通常表情は逆表情よりも、脳後方における 200～400 ミリ秒の強い活動を引き起こし、この活動はすばやい検出および高い活性度と関係していた。感情刺激に対する視覚野の活動促進を報告する脳画像研究の知見(e.g., Lang et al., 1998)と合わせると、視覚野での約 200 ミリ秒からの活動が、表情に対する優先的な知覚を生み出すことが示唆される。

表情を観察中の脳画像および脳磁図データについて動的因果分析した研究から、表情に対する視覚野での約 200 ミリ秒からの活動は、扁桃体からの影響によるものであることが示されている(Sato et al., 2017)。扁桃体の無意識段階でのすばやい感情処理の結果により、視覚野の活動および主観的知覚が調整されることが示唆される。

3. 表情への自動的な模倣と下前頭回

3.1. 心理実験

先行研究は、乳児において、大人の表情に対応した表情を表出する表情模倣という現象を報告している(e.g., Meltzoff & Moore, 1977)。こうした運動共鳴により、乳児と養育者の間に感情的な絆が形成されるといった提案がなされている。

しかし、成人において、同様に表情模倣が起こるかどうかは不明であった。我々は、成人においても、感情コミュニケーションのために表情模倣は起こるであろう、特に静的表情よりも強く様々な心的反応を引き起こす動的表情(e.g., Sato & Yoshikawa, 2007b)に対して起こるであろう、と仮説を立てた。

これを検証するため本研究では、動的・静的表情を観察中の被験者の表情反応をビデオ録画して調べた(Sato & Yoshikawa, 2007a)。

方法

対象は、18名の健常被験者であった。

刺激として、怒り・幸福の動的・静的表情を呈示した。刺激は、日本人の表情データベース(Sato et al., 2019)から選択された。

各試行では表情刺激が呈示され、被験者は受動的注視した。この間の表情反応を、プロンプタ装置を用いて正面からビデオ録画した。

結果

怒り表情に典型的な眉を寄せ下げる動きおよび幸福表情に典型的な口角を広げ上げる動きを符号化し、生起頻度を算出した(図5)。これらについて刺激タイプ(動的・静的)×感情(怒り・幸福)の2要因分散分析したところ、どちらの動きでも有意な交互作用が示された(図3)。下位検定から、眉を寄せ下げる動きは動的怒り表情で特に強く引き起こされ、口角を広げ上げる動きは動的幸福表情で特に強く引き起こされることが示された。反応潜時を分析すると、どちらの動きも1秒以内には起こることが示された。

まとめ

動的表情に対して、成人でも表情模倣反応が起こることが示された。反応は、自動的ですばやいものであった。こうした表情模倣は、表情を表出する相手に共鳴的な信号をフィードバックし、相互的な感情コミュニケーションを成立させるであろう。また類似の手法で表情筋筋電図を計測し、自分の感情経験および相手の表情認識の評定値との関係を調べた研究から、表情筋→感情経験→感情認識という関係があることが示されている(Sato et al. 2013)。表情模倣反応は、感情を喚起し、その情報で相手の感情を認識する過程にも関わっていることが示唆される。

3.2. 脳磁図計測

表情模倣の神経基盤として、先行の神経科学研究は、ミラーニューロンの関与を示唆している。ミラーニューロンは、サルの腹側運動前野で見つかった、自分の運動の実行と他者の運動の観察のどちらにも活動するニューロンである(Rizzolatti et al., 2001)。こうした特性から、他者の運動に共鳴して自分の運動を引き起こす可能性が指摘されている。

脳画像研究は、動的表情を観察すると、ヒトのミラーニューロン領域に当たる下前頭回が活動することを報告している。例えばSato et al. (2004a)は、恐怖と幸福の動的表情を観察すると、静的表情あるいは動的モザイクの場合に比べて、下前頭回が強く活動することを

報告している。また表情を観察中の下前頭回の活動と表情筋筋電図活動との対応を報告する研究もある(Likowski et al. 2012)。

しかし、動的表情に対する下前頭回の活動の時間特性は、不明であった。表情模倣に関係するほどすばやいだろうか？

本研究はこの問題を、脳磁図を計測して検討した(Sato et al., 2015)。

方法

15名の健常被験者を対象とした。

刺激として、恐怖と幸福の動的表情および動的モザイクを呈示した。表情刺激の材料は標準写真セット(Ekman & Friesen, 1976)から選択した。モーフィングにより中性表情と感情表情の中間画像を作成し、動的表情刺激とした。動的モザイクは動的表情の各コマを分解再構成して作成された。

ダミー課題として、低頻度で呈示されるターゲット刺激（赤いプラスマーク）の検出を求め、動的表情・動的モザイク刺激を受動的に注視中の脳磁図を計測した。

結果

全脳で動的表情＞動的モザイクの対比を、50 ミリ秒ごとの時間窓で調べた。その結果、まず 150～200 ミリ秒（および以後のいくつかの時間帯）で、上側頭溝をはじめとする視覚野の活動が示された（図 6）。続いて 300～350 ミリ秒の段階で、下前頭回の活動が示された（図 6）。

まとめ

動的表情に対して、下前頭回が約 300 ミリ秒の段階で強く活動した。この領域にはミラーニューロンが存在するという知見(Rizzolatti et al., 2001)や、この領域の活動と表情模倣との対応を示す脳画像研究の知見(Likowski et al., 2012)と合わせ、下前頭回における約 300 ミリ秒での活動が、表情模倣に関係することが示唆される。

おわりに

我々の一連の研究から、表情の処理について、その心的情報処理、対応する脳部位、脳活動の時間特性の理解が深められた（図 7）。我々の結果は、(1)表情についての感情処理が無意識で遂行され、この感情処理の基盤が約 100 ミリ秒の扁桃体の活動である、(2)表情は優先的に知覚されており、この神経相関が約 200 ミリ秒の視覚野の活動である、(3)表情に対しては表情模倣反応が起こり、これには約 300 ミリ秒の下前頭回の活動が関係する、こ

とを示した。まとめると、表情を認知するとは、感じる・見る・まねるという過程が遂行されていく心的情報処理であり、これは扁桃体・視覚野・下前頭回から成る神経ネットワークの数百ミリ秒内での活動で実現されることが示唆される。

謝辞

本研究の一部は科学技術振興機構のリサーチコンプレックス推進プログラムおよびCRESTの支援によって行われた。

文献

- 1) Amaral, D. G. : The amygdala, social behavior, and danger detection. *Ann. N. Y. Acad. Sci.*, 1000 : 337–347, 2003.
- 2) Baghdadli, A., Brisot, J., Henry, V. et al. : Social skills improvement in children with high-functioning autism: a pilot randomized controlled trial. *Eur. Child. Adolesc. Psychiatry*, 22 : 433–442, 2013.
- 3) Bentin, S., Allison, T., Puce, A., et al. : Electrophysiological studies of face perception in humans. *J. Cogn. Neurosci.*, 8 : 551–565, 1996.
- 4) Breiter, H. C., Etcoff, N. L., Whalen, P. J., et al. : Response and habituation of the human amygdala during visual processing of facial expression. *Neuron*, 17 : 875–887, 1996.
- 5) Bruce, V., & Young, A. W. : Understanding face recognition. *Br. J. Psychol.*, 77: 305–327, 1986.
- 6) Day-Brown, J. D., Wei, H., Chomsung, R. D., et al. : Pulvinar projections to the striatum and amygdala in the tree shrew. *Front. Neuroanat.*, 4 : 143, 2010.
- 7) Ekman, P., & Friesen, W. V. : *Pictures of Facial Affect*. Consulting Psychologist, Palo Alto, 1976.
- 8) Hansen, C. H., & Hansen, R. D. : Finding the face in the crowd: An anger superiority effect. *J. Pers. Soc. Psychol.*, 54 : 917–924, 1988.
- 9) Haxby, J. V., Hoffman, E. A., & Gobbini, M. I. : The distributed human neural system for face perception. *Trends Cogn. Sci.*, 4 : 223–233, 2000.
- 10) Koivisto, M., & Revonsuo, A. : Event-related brain potential correlates of visual awareness. *Neurosci. Biobehav. Rev.*, 34 : 922–934, 2010.
- 11) Lang, P. J., Bradley, M. M., Fitzsimmons, J. R., et al. : Emotional arousal and activation of the visual cortex: An fMRI analysis. *Psychophysiology*, 35 : 199–210, 1998.

- 12) Likowski, K. U., Muhlberger, A., Gerdes, A. B., et al. : Facial mimicry and the mirror neuron system: Simultaneous acquisition of facial electromyography and functional magnetic resonance imaging. *Front. Hum. Neurosci.*, 6 : 214, 2012.
- 13) Meltzoff, A. N., & Moore, M. K. : Imitation of facial and manual gestures by human neonates. *Science*, 198 : 75–78, 1977.
- 14) Morris, J. S., Öhman, A., & Dolan, R. J. : A subcortical pathway to the right amygdala mediating "unseen" fear. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.*, 96 : 1680–1685, 1999.
- 15) Murphy, S. T., & Zajonc, R. B. : Affect, cognition, and awareness: Affective priming with optimal and suboptimal stimulus exposures. *J. Pers. Soc. Psychol.*, 64 : 723–739, 1993.
- 16) Rizzolatti, G., Fogassi, L., & Gallese, V. : Neurophysiological mechanisms underlying the understanding and imitation of action. *Nat. Rev. Neurosci.*, 2 : 661–670, 2001.
- 17) Sato, W., Fujimura, T., Kochiyama, T., et al. : Relationships among facial mimicry, emotional experience, and emotion recognition. *PLoS One*, 8 : e57889, 2013.
- 18) Sato, W., Hyniewska, S., Minemoto, K., et al. : Facial expressions of basic emotions in Japanese laypeople. *Front. Psychol.* 10 : 259, 2019.
- 19) Sato, W., Kochiyama, T., & Uono, S. : Spatiotemporal neural network dynamics for the processing of dynamic facial expressions. *Sci. Rep.*, 5 : 12432, 2015.
- 20) Sato, W., Kochiyama, T., Uono, S., et al. : Rapid amygdala gamma oscillations in response to fearful facial expressions. *Neuropsychologia*, 49 : 612–617, 2011.
- 21) Sato, W., Kochiyama, T., Uono, S., et al. : Rapid, high-frequency, and theta-coupled gamma oscillations in the inferior occipital gyrus during face processing. *Cortex*, 60 : 52–68, 2014.
- 22) Sato, W., Kochiyama, T., Uono, S., et al. : Direction of amygdala–neocortex interaction during dynamic facial expression processing. *Cereb. Cortex*, 27 : 1878–1890, 2017.
- 23) Sato, W., Kochiyama, T., Yoshikawa, S., et al. : Enhanced neural activity in response to dynamic facial expressions of emotion: an fMRI study. *Brain Res. Cogn. Brain Res.*, 20 : 81–91, 2004a.
- 24) Sato, W., Kubota, T., & Toichi, M. : Enhanced subliminal emotional responses to dynamic facial expressions. *Front. Psychol.*, 5 : 994, 2014.
- 25) Sato, W., & Yoshikawa, S. : Spontaneous facial mimicry in response to dynamic facial expressions. *Cognition*, 104 : 1–18, 2007a.
- 26) Sato, W., & Yoshikawa, S. : Enhanced experience of emotional arousal in response to dynamic

- facial expressions. *J. Nonverb. Behav.*, 31 : 119–135, 2007b.
- 27) Sato, W., & Yoshikawa, S. : Anti-expressions: Artificial control stimuli for emotional facial expressions regarding visual properties. *Soc. Behav. Pers.*, 37 : 491–502, 2009.
- 38) Sato, W., & Yoshikawa, S. : Detection of emotional facial expressions and anti-expressions. *Vis. Cogn.*, 18 : 369–388, 2010.
- 29) Sato, W., Yoshikawa, S., Kochiyama, T., et al. : The amygdala processes the emotional significance of facial expressions: An fMRI investigation using the interaction between expression and face direction. *Neuroimage*, 22 : 1006–1013, 2004b.
- 30) Sawada, R., Sato, W., Uono, S., et al. : Electrophysiological correlates of detecting emotional facial expressions. *Brain Res.*, 1560 : 60–72, 2014.

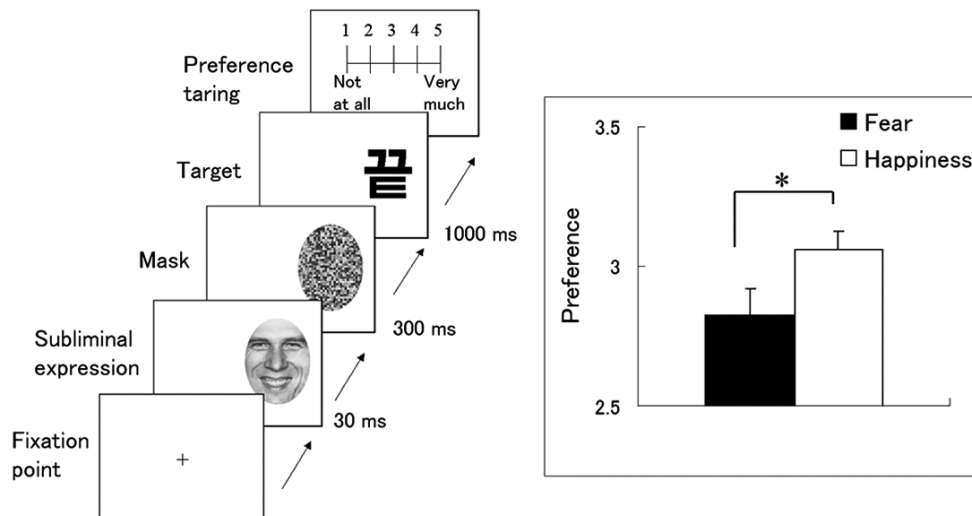


図 1. Sato et al. (2014)の心理学研究の説明.

左：試行例. 恐怖か幸福の表情プライム刺激が閾下で呈示され，後続の中性刺激への感情
 評価への影響が調べられた.

右：平均 (±標準誤差) 選好評価. 幸福条件に対して恐怖条件よりも高い評価が示された.

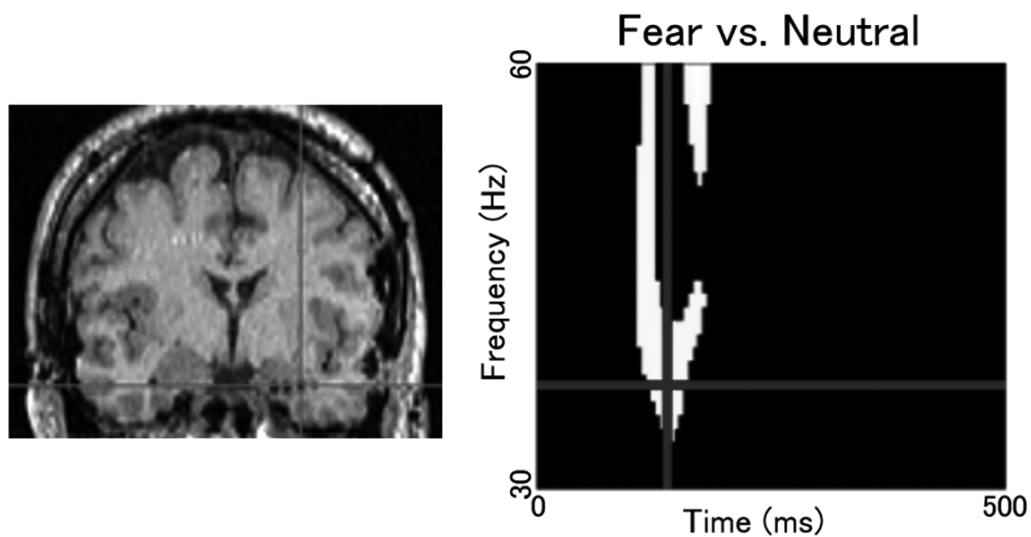


図 2. Sato et al. (2011)の深部脳波研究の説明.

左：被験者の MRI 例. 十字の箇所が扁桃体電極を指す.

右：恐怖表情に対して中性表情よりも強い扁桃体の活動の時間周波数マップ. 十字の箇所
 がピークを指す. 活動は 100 ミリ秒より前に開始されている.

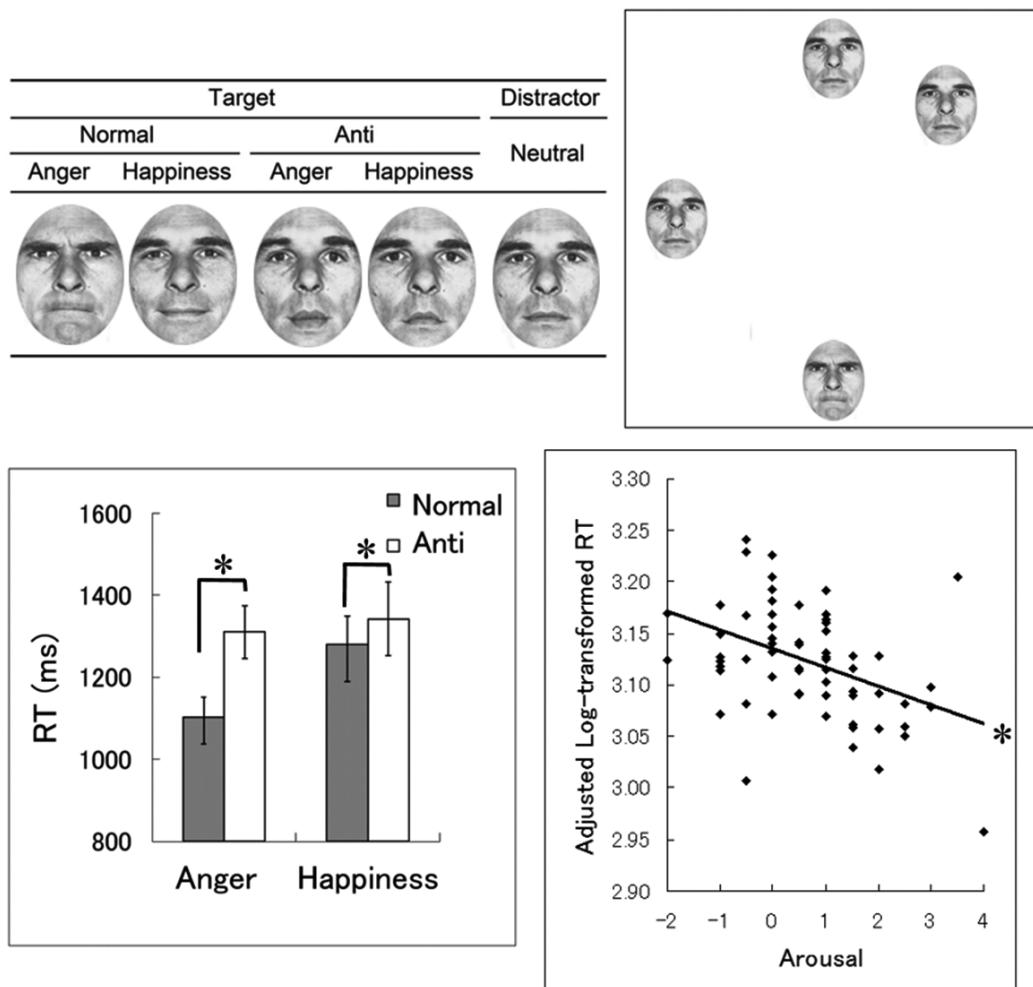


図3. Sato and Yoshikawa (2010)の心理学研究の説明.

上段：刺激の例（左）と画面の例（右）. 怒りと幸福の通常表情および逆表情をターゲットとして、複数の中性表情のディストラクタの中に呈示した.

下段左：ターゲット検出の平均（±標準誤差）反応時間. 通常表情は逆表情より早く検出された.

下段右：検出反応時間と活性度評定の関係. 活性度の高い表情はよりすばやく検出された.

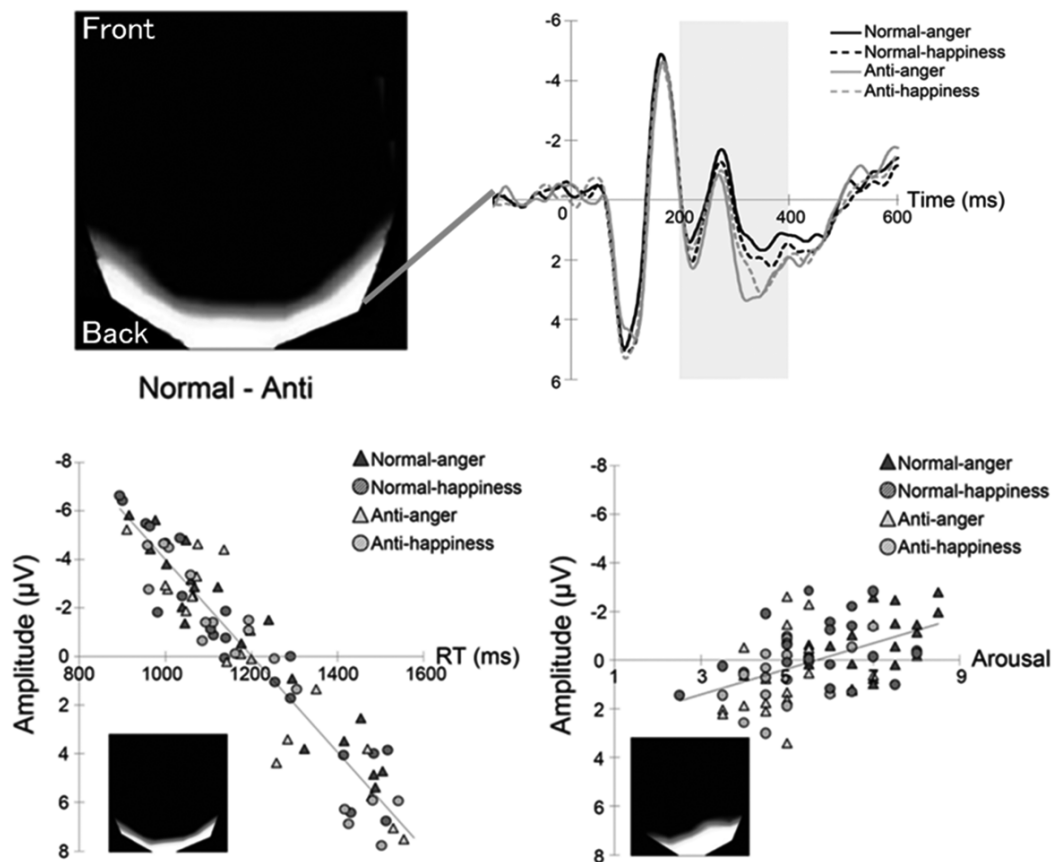


図4. Sawada et al. (2014)の脳波研究の説明.

上段：200～400 ミリ秒において見られた脳後方における通常表情に対する逆表情よりも強い活動のマップ（左）および右側頭葉の電極での波形（右）.

下段左：ターゲット検出の平均（±標準誤差）反応時間. 通常表情は逆表情より早く検出された.

下段右：200～400 ミリ秒における脳後方の活動と検出反応時間の関係（左）および活性度評定の関係（右）. この活動が強いほど、ターゲット表情の検出はすばやく、活性度は高かった.

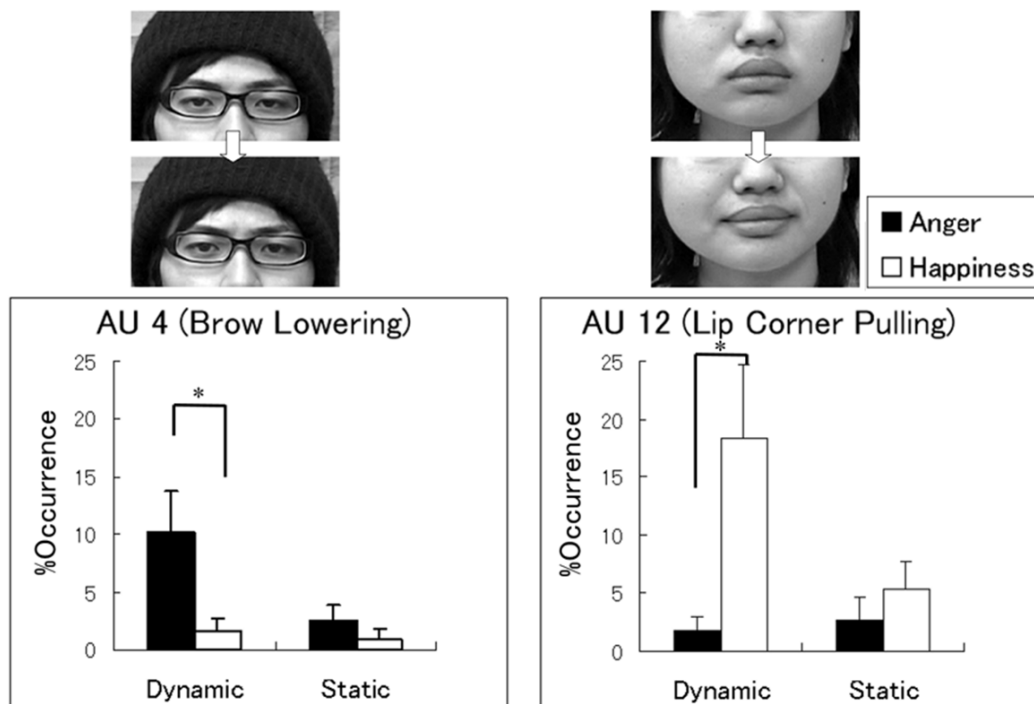


図5. Sato and Yoshikawa (2007a)の心理学研究の説明。

眉および頬の平均（±標準誤差）生起率（%）。動的呈示条件において、怒り表情に対しては眉で、幸福表情に対しては頬で、表情模倣と解釈できる動きが示された。

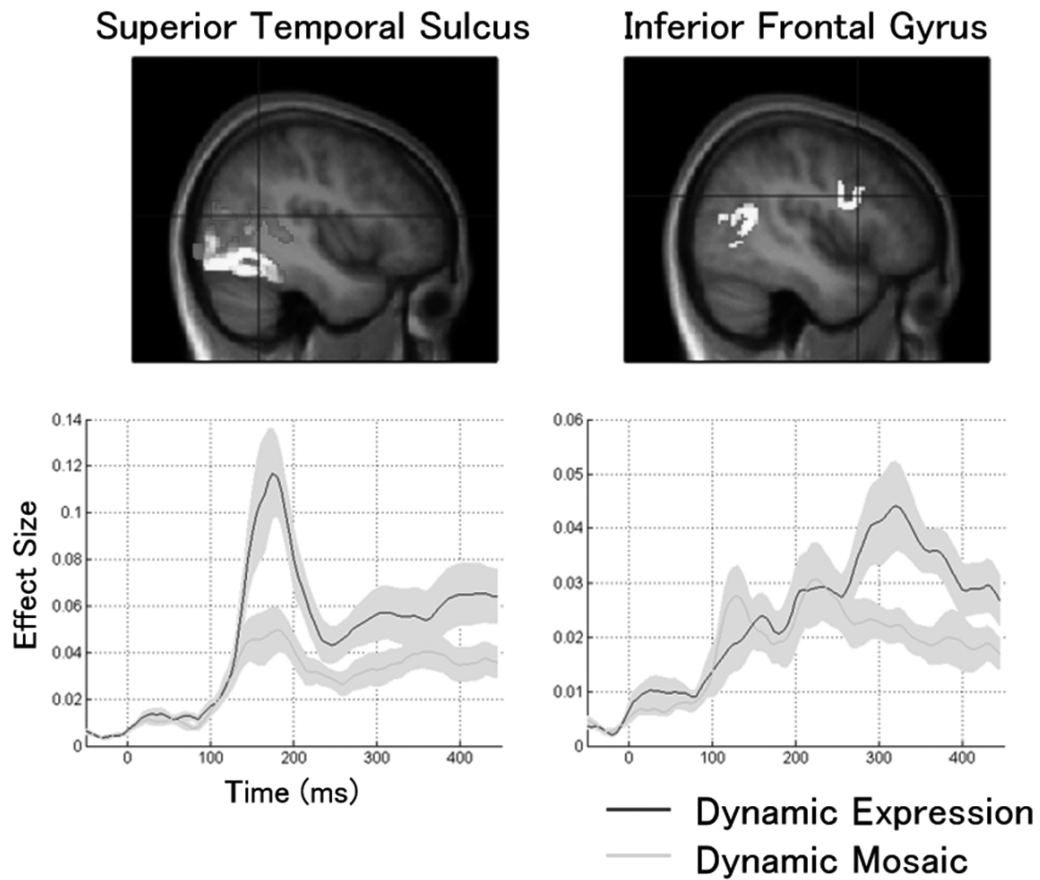


図 6. Sato et al. (2015)の脳磁図研究の説明.

上側頭溝および下前頭回の平均活動量の時間パターン (灰色の箇所は標準誤差). 動的表情に対して動的モザイクよりも強い活動が, 上側頭溝では約 150 ミリ秒以後, 下前頭回では約 300 ミリ秒以後で示された.

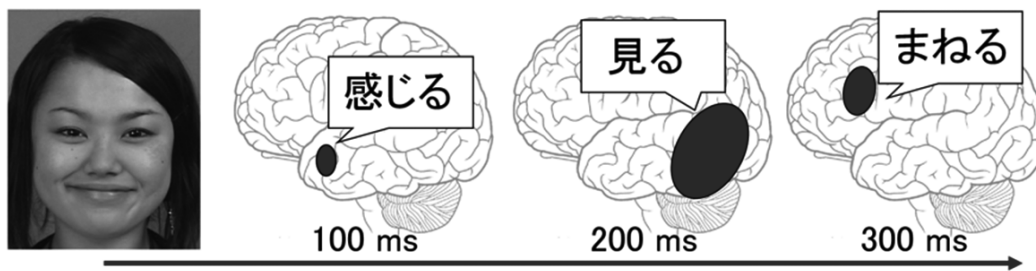


図7. 表情を処理する心理・神経メカニズムのモデル. 我々の知見の示唆をまとめたもの. 表情に対して, 約 100 ミリ秒の扁桃体の活動で, 無意識の感情処理が実現される. 約 200 ミリ秒の視覚野の活動で, 表情は優先的に知覚される. 約 300 ミリ秒の下前頭回の活動で, 自動的な表情模倣が起こる.