

令和 6 年 5 月 23 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21K03128

研究課題名（和文）社会的文脈における顔記憶の基盤となる脳内機構とその加齢変化

研究課題名（英文）Age-related difference of neural mechanisms underlying face memories in a social context

研究代表者

月浦 崇 (Tsukiura, Takashi)

京都大学・人間・環境学研究科・教授

研究者番号：30344112

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000 円

研究成果の概要（和文）：本研究では、社会的文脈における顔の記憶とその脳内メカニズムが、加齢によってどのような影響を受けるのかについて、健常若年成人と健常高齢者を対象とした機能的磁気共鳴画像（fMRI）研究から検証した。

健常若年成人を対象とした研究では、顔の魅力に関する予測誤差は腹側線条体において表象されており、腹側線条体と海馬が相互作用することによって、顔の魅力の予測誤差による顔記憶への影響が担われていることが明らかにされた。さらに、腹側線条体における予測誤差の表象は加齢によって低下することや、腹側線条体と海馬の相互作用メカニズムは、正の方向の予測誤差が生じた場合にのみ、高齢者において保存されていることが示された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

顔に由来する社会的情報が顔の記憶にどのような影響を与えており、それがどのような脳内メカニズムを基盤としているのかについては、未だに多くの謎が残されている。本研究では、顔に関連する社会的文脈として顔の魅力の予測誤差に着目し、それらが顔の記憶に与える影響の基盤となる脳内メカニズムを、fMRIから検証した。この試みは、国内外にほとんど例のない新しいものであり、学術的意義も高いものであった。さらに、本研究ではこの脳内メカニズムに対する加齢の効果も検証されており、本研究の成果は高齢者の認知機能の維持・改善の基盤の理解へつながる社会的意義も高いものであった。

研究成果の概要（英文）：In the present study, using functional magnetic resonance imaging (fMRI), we investigated the age-related difference in neural mechanisms underlying face memory in a social context.

The first fMRI study for young adults demonstrated that the prediction error related to facial attractiveness was represented by multivariate activity patterns in the ventral striatum, and that the modulatory effect of face memory by the prediction error in facial attractiveness was involved in interacting mechanisms between the ventral striatum and hippocampus. In addition, in the second fMRI study for both young and older adults, we found that the striatum representation related to the processing of face-based prediction errors in a social context was significant only in young adults, and that the ventral striatum-hippocampus interaction, which was active in all conditions of prediction errors in young adults, was preserved only in the positive prediction error condition in older adults.

研究分野：認知神経科学

キーワード：記憶 社会的文脈 加齢 脳 fMRI

## 1. 研究開始当初の背景

ヒトの顔には多くの社会的情報が含まれており、それらの情報は他者との社会的関係の構築において重要な情報として利用されている (Haxby et al., 2000)。しかし、そのような社会的文脈における顔の認知処理は普遍的なものではなく、加齢や神経疾患などの脳の生物学的変化によって影響を受けることが知られている。たとえば、神経変性疾患であるパーキンソン病患者では、顔に由来する社会的情報 (魅力や社会的意味) の処理機能が低下することや (Park et al., 2020)、若年および中年期の成人は若年者の顔を高齢者の顔よりも魅力的であると判断する一方で、高齢者はすべての年代の顔の魅力を同程度に判断する傾向があることが報告されている (Foos and Clark, 2011)。しかし、社会的文脈における顔の記憶とそれに関連する脳内メカニズムが、加齢に由来する脳の器質的变化によってどのように変化するのかについては、これまでに理解が進んでいなかった。

### (1) 顔の記憶における社会的文脈の影響の基盤となる脳内メカニズム

ヒトにおける顔の記憶とその脳内メカニズムは、さまざまな社会的文脈によって影響を受ける。たとえば、顔の記憶は顔の魅力や笑顔の表情によって促進され、その神経基盤として社会的報酬に関連する眼窩前頭皮質と記憶に重要な海馬の間の相互作用メカニズムが重要であることが報告されている (Tsukiura and Cabeza, 2008, 2011)。また、信頼感の印象が低い顔の記憶はそれが高い記憶よりも促進され、その神経基盤として社会的罰に関連する島皮質と海馬の間の相互作用メカニズムが関与することも示されている (Tsukiura et al., 2013)。その他にも、他者との社会的関係性における自己参照効果に関する内側前頭前皮質の重要性や (Yamawaki et al., 2017)、顔に由来する社会的知識に関連する前方側頭葉皮質の関与など (Tsukiura et al., 2002; Tsukiura et al., 2010; Tsukiura et al., 2006; Tsukiura et al., 2008)、多様な社会的文脈の顔記憶への影響を媒介する脳内メカニズムが多くの研究によって報告されている。

### (2) 顔の記憶における加齢や神経疾患が与える影響に関連する脳内メカニズム

顔に関連する記憶とその神経基盤は、加齢や神経疾患などの脳の生物学的変化の要因によって影響を受ける。たとえば、顔と名前の連合記憶や顔の記憶は加齢の効果によって低下し、その神経基盤として海馬と前方側頭葉皮質の間の機能的ネットワークや (Tsukiura et al., 2011)、外側前頭前皮質 - 外側頭頂葉皮質 - 海馬の間の機能的ネットワークが (Tsukiura et al., 2014)、加齢依存的に低下することが示されている。また、顔の魅力や人物の意味情報などの顔に由来する社会的情報による顔の記憶の促進効果は、神経変性疾患であるパーキンソン病患者において有意に低下していることも報告されている (Park et al., 2020)。

## 2. 研究の目的

本研究では、社会的文脈における顔の記憶とその脳内メカニズムが、加齢による脳の生物学的変化によってどのような影響を受けるのかについて、健常若年成人と健常高齢者を対象とした機能的磁気共鳴画像 (fMRI) 研究から解明することを目的とした。

## 3. 研究の方法

### (1) 顔に由来する社会的報酬の予測誤差が顔の記憶に与える影響とその神経基盤

本研究では、顔に由来する社会的報酬の価値として顔の魅力に着目し、顔の魅力の予測誤差が顔の記憶に対して与える影響とその基盤となる神経メカニズムを、健常若年成人を対象とする fMRI 研究によって検証した。

35 名の右利き健常若年成人男性 (平均年齢: 21.14 歳、SD: 1.54) から得られたデータが解析された。実験参加者は、顔の記憶課題と想起課題に参加し、記憶課題中の神経活動が fMRI によって計測された。想起課題は MRI スキャナーの外で実施された。

記憶課題の試行は (図 1) 予測フェーズとアウトカムフェーズの 2 つのフェーズから構成されていた。最初の予測フェーズでは、実験参加者は未知の女性の顔の目以外の部分が覆われた刺激が提示され、提示されている目からその人物の主観的な魅力を予測して、8 段階で評価するように求められた。注視点が提示された後のアウトカムフェーズでは、実

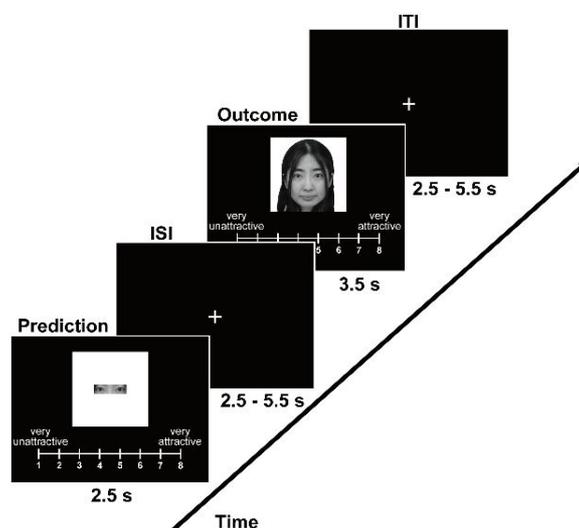


図 1 記憶課題の試行の例

験参加者は予測フェーズで提示された顔と同じ人物の顔全体が提示され、その人物に対して感じる主観的な魅力度を再度 8 段階で評価するように求められた。アウトカムフェーズでの魅力の評価値と予測フェーズでの魅力の評価値の差が顔魅力における報酬予測誤差 (RPE: Reward Prediction Error) と定義され、RPE の値がプラスだった場合 (予測よりも実際の魅力度が高く評価された場合) を RPE+ 条件、RPE の値がマイナスだった場合 (予測よりも実際の魅力度が低く評価された場合) を RPE- 条件、予測フェーズとアウトカムフェーズの魅力度が変化しなかった場合を RPE± 条件として、記録課題の試行が分類された。

記録課題から約 20 分後に実施された想起課題では、記録課題で提示された顔と提示されていない顔がランダムに 1 枚ずつ提示され、実験参加者はそれぞれの顔が記録課題で提示されたものかどうかを判断するように求められた。

行動データの解析では、RPE-、RPE±、RPE+ の 3 条件から得られたヒット率が、条件を参加者内要因とする繰り返しのある分散分析によって検証された。fMRI データの解析には、腹側線条体を中心とする関心領域 (ROI: Region-Of-Interest) に対する単変量解析と多変量パターン解析 (MVPA: Multivariate Pattern Analysis)、腹側線条体の ROI と海馬の ROI との間の機能的結合性解析が用いられた。

## (2) 顔に由来する社会的報酬の予測誤差が顔の記憶に与える影響の基盤となる神経メカニズムの加齢変化

本研究では、(1) で実施した顔の魅力の予測誤差が顔記憶に与える影響とその基盤となる神経メカニズムが、加齢によってどのように変化するかについて、健常若年成人と健常高齢者から得られた fMRI データを比較することによって検証した。本研究では、新たに得られた健常若年成人男性 30 名 (平均年齢: 21.17 歳、SD: 1.18) と健常高齢男性 25 名 (平均年齢: 65.44 歳、SD: 2.87) のデータが解析された。実験には、(1) で用いられたパラダイムと同様の手続きが採用された。ROI には、(1) で採用された腹側線条体を中心とするドパミン関連領域に加えて、顕著性に関連する前部帯状皮質と島皮質が定義された。行動データの解析では、ヒット率 vs. フォールスアラーム率の値に対して、年齢群を参加者間要因、条件を参加者内要因とする 2 要因分散分析が実施された。fMRI データの解析には、各 ROI を対象とする単変量解析と MVPA に加えて、ドパミン関連領域、顕著性関連領域、海馬・紡錘状回の 3 つの ROI の間の機能的結合性解析が実施された。

## 4. 研究成果

### (1) 顔に由来する社会的報酬の予測誤差が顔の記憶に与える影響とその神経基盤

行動データの解析では、ヒット率に対して条件を参加者内要因とする一要因分散分析が実施され、有意な条件の効果が認められた [ $F(2,68) = 6.67, p = .002, \eta^2 = .16$ ]. Bonferroni 法による下位検定の結果では、RPE+ 条件のヒット率は RPE± 条件のヒット率と比較して有意に促進されていた ( $p = .002, d = 0.64$ ).

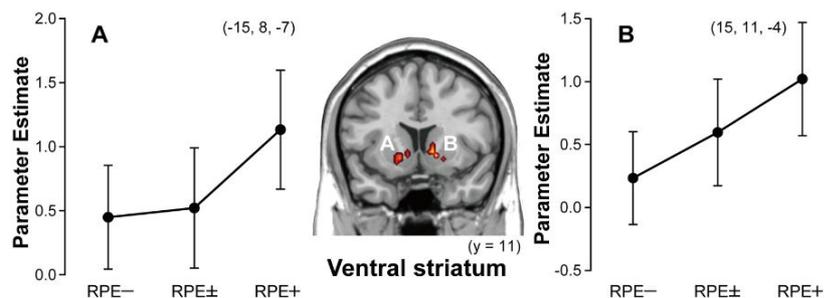


図2 単変量解析の結果

fMRI データに対する単変量解析では、両側の腹側線条体の賦活が RPE-、RPE±、RPE+ の順番で有意に線形に増加することが認められた (図 2)。MVPA の解析では、腹側線条体の ROI における賦活パターンによって、RPE- 条件と RPE± 条件、RPE+ 条件と RPE± 条件が有意に分類されることが示された (図 3)。機能的結合性解析では、腹側線条体と海馬の間の機能的結合性は、RPE+ 条件において最も強かった。

これらの結果から、顔に由来する RPE による顔記憶は RPE がプラスの方向に示された際に促進されており、その基盤となる神経メカニズムとして、RPE の情報を表象している腹側線条体と顔記憶に関連する海馬との間の機能的結合が重要な役割を果たしていることが示唆された。これらの結果は、2023 年度に *Neuroimage* 誌に掲載された (Mihara et al., 2023)。

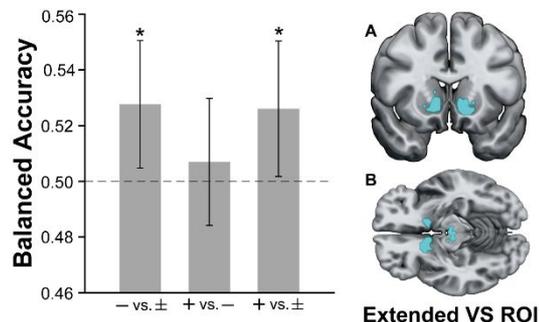


図3 MVPA の結果

## (2) 顔に由来する社会的報酬の予測誤差が顔の記憶に与える影響の基盤となる神経メカニズムの加齢変化

行動データの解析では、条件の主効果のみ有意であり [F(2,106) = 10.59,  $p < .001$ ,  $\eta_p^2 = .17$ ]、Bonferroni 法による下位検定では、RPE + 条件は他の条件よりもヒット率 vs. フォルスアラーム率の値が有意に大きくなっていることが認められた (RPE + vs. RPE ±:  $p = 0.03$ ,  $d = 0.43$ 、RPE + vs. RPE -:  $p < .001$ ,  $d = 0.55$ )。

fMRI データの単変量解析では、若年群と高齢群の両方で、ドパミン関連領域である腹側線条体と顕著性関連領域である島皮質の賦活が、RPE -、RPE ±、RPE + の順番で有意に線形に増加することが認められた。また、若年群でのみ、同様の賦活が顕著性関連領域である前部帯状皮質においても認められた。MVPA 解析では、ドパミン関連領域の ROI における賦活パターンによって、若年群でのみ RPE + 条件と RPE - 条件が有意に区別されることが示された。また、顕著性関連領域の ROI における MVPA において、若年群と高齢群の両方で、RPE + 条件と RPE - 条件、RPE - 条件と RPE ± 条件が有意に区別されることが認められた。さらに、若年群では RPE + 条件と RPE ± 条件の間も、顕著性関連領域の ROI における賦活パターンによって有意に区別されることが示された。若年群を対象とした機能的結合性解析では、ドパミン関連領域と海馬の間の機能的結合は RPE + 条件においてのみ有意であり、ドパミン関連領域と顕著性関連領域の機能的結合性は、すべての条件において有意であった。他方で、高齢群では RPE + 条件でのみこれらの機能的結合性が有意に認められた。

これらの結果から、RPE の情報を表象するドパミン関連領域と顔の記憶に関連する海馬の間の相互作用メカニズムは、顔に由来する社会的文脈における RPE の種類によって影響を受け、その影響は健常若年成人と健常高齢者とで異なることが示唆された。これらの結果は、2023 年度に開催された国際学会 (Society for Neuroscience 等) にてポスター発表され、現在は国際誌へ投稿するために論文を準備中である。

#### < 引用文献 >

- Foos, P.W., Clark, M.C., 2011. Adult age and gender differences in perceptions of facial attractiveness: beauty is in the eye of the older beholder. *J Genet Psychol* 172, 162-175.
- Haxby, J.V., Hoffman, E.A., Gobbini, M.I., 2000. The distributed human neural system for face perception. *Trends Cogn Sci* 4, 223-233.
- Mihara, M., Izumika, R., Tsukiura, T., 2023. Remembering unexpected beauty: Contributions of the ventral striatum to the processing of reward prediction errors regarding the facial attractiveness in face memory. *Neuroimage* 282, 120408.
- Park, P., Yamakado, H., Takahashi, R., Dote, S., Ubukata, S., Murai, T., Tsukiura, T., 2020. Reduced enhancement of memory for faces encoded by semantic and socioemotional processes in patients with Parkinson's disease. *J Int Neuropsychol Soc* 26, 418-429.
- Tsukiura, T., Cabeza, R., 2008. Orbitofrontal and hippocampal contributions to memory for face-name associations: the rewarding power of a smile. *Neuropsychologia* 46, 2310-2319.
- Tsukiura, T., Cabeza, R., 2011. Remembering beauty: roles of orbitofrontal and hippocampal regions in successful memory encoding of attractive faces. *Neuroimage* 54, 653-660.
- Tsukiura, T., Fujii, T., Fukatsu, R., Otsuki, T., Okuda, J., Umetsu, A., Suzuki, K., Tabuchi, M., Yanagawa, I., Nagasaka, T., Kawashima, R., Fukuda, H., Takahashi, S., Yamadori, A., 2002. Neural basis of the retrieval of people's names: evidence from brain-damaged patients and fMRI. *J Cogn Neurosci* 14, 922-937.
- Tsukiura, T., Mano, Y., Sekiguchi, A., Yomogida, Y., Hoshi, K., Kambara, T., Takeuchi, H., Sugiura, M., Kawashima, R., 2010. Dissociable roles of the anterior temporal regions in successful encoding of memory for person identity information. *J Cogn Neurosci* 22, 2226-2237.
- Tsukiura, T., Mochizuki-Kawai, H., Fujii, T., 2006. Dissociable roles of the bilateral anterior temporal lobe in face-name associations: an event-related fMRI study. *Neuroimage* 30, 617-626.
- Tsukiura, T., Sekiguchi, A., Yomogida, Y., Nakagawa, S., Shigemune, Y., Kambara, T., Akitsuki, Y., Taki, Y., Kawashima, R., 2011. Effects of aging on hippocampal and anterior temporal activations during successful retrieval of memory for face-name associations. *J Cogn Neurosci* 23, 200-213.
- Tsukiura, T., Shigemune, Y., Nouchi, R., Kambara, T., Kawashima, R., 2013. Insular and hippocampal contributions to remembering people with an impression of bad personality. *Soc Cogn Affect Neurosci* 8, 515-522.
- Tsukiura, T., Shigemune, Y., Nouchi, R., Kambara, T., Kawashima, R., 2014. Age-related differences in prefrontal, parietal, and hippocampal activations during correct rejections of faces. *Jpn Psychol Res* 56, 2-14.
- Tsukiura, T., Suzuki, C., Shigemune, Y., Mochizuki-Kawai, H., 2008. Differential contributions of the anterior temporal and medial temporal lobe to the retrieval of memory for person identity information. *Hum Brain Mapp* 29, 1343-1354.
- Yamawaki, R., Nakamura, K., Aso, T., Shigemune, Y., Fukuyama, H., Tsukiura, T., 2017. Remembering my friends: Medial prefrontal and hippocampal contributions to the self-reference effect on face memories in a social context. *Hum Brain Mapp* 38, 4256-4269.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Mihara Moe, Izumika Reina, Tsukiura Takashi	4. 巻 282
2. 論文標題 Remembering unexpected beauty: Contributions of the ventral striatum to the processing of reward prediction errors regarding the facial attractiveness in face memory	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 NeuroImage	6. 最初と最後の頁 120408 ~ 120408
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.neuroimage.2023.120408	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 0件／うち国際学会 3件）

1. 発表者名 Mihara Moe, Izumika Reina, Tsukiura Takashi
2. 発表標題 Remembering unexpected beauty: Contributions of the ventral striatum to the effect of reward prediction errors in attractiveness for masked faces on face memories
3. 学会等名 29th Annual Meeting of the Cognitive Neuroscience Society (Online poster), San Francisco, USA (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Mihara Moe, Izumika Reina, Tsukiura Takashi
2. 発表標題 Neural mechanisms underlying the effect of prediction errors in facial attractiveness between masked and unmasked faces on face memories in young and older adults
3. 学会等名 52th annual meeting of the Society for Neuroscience, Washington DC, USA (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Mihara Moe, Kamo Akiho, Tsukiura Takashi
2. 発表標題 Neural mechanisms underlying the effect of prediction errors in facial attractiveness between masked and unmasked faces on face memories in young and older adults
3. 学会等名 Society for Social Neuroscience 2024 Meeting, Tsukuba, Japan (国際学会)
4. 発表年 2024年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

研究室ホームページ

<http://www.memory.jinkan.kyoto-u.ac.jp/index.html>

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------