

# 加害行為に関する脳内表象の復号化: fMRI 研究

## Decoding the neural representation of an offensive action: an fMRI study

宮内 誠 カルロス\*<sup>1</sup> 杉浦 元亮\*<sup>1,2</sup> 蓬田 幸人\*<sup>3,4</sup> 秋元 頼孝\*<sup>1</sup>  
Carlos Makoto Miyauchi Motoaki Sugiura Yukihito Yomogida Yoritaka Akimoto

月浦 崇\*<sup>1</sup> 川島 隆太\*<sup>1</sup>  
Takashi Tsukiura Ryuta Kawashima

\*<sup>1</sup> 東北大学加齢医学研究所

Institute of Development, Aging and Cancer, Tohoku University

\*<sup>2</sup> 東北大学災害科学国際研究所

International Research Institute of Disaster Science, Tohoku University

\*<sup>3</sup> 玉川大学脳科学研究所 \*<sup>4</sup> 日本学術振興会

Tamagawa University Brain Science Institute Japan Society for the Promotion of Science

A past episode of one's executing an offensive action may be represented in the brain separately for the execution of the action per se and for viewing the victim. The four tasks comprised a two-factorial design: the pushpin was stabbed into the eye or outside the face to manipulate the effect of viewing the victim; the participant stabbed the pushpin into the picture or it had already been stabbed by another person to manipulate the effect of action execution. Subsequently, participants' brain activity was measured as they viewed each face picture using magnetic resonance imaging. A significant main effect of Victim was identified in the activation of the left anterior cingulate cortex, and a significant interaction of Victim and Agent was detected in the right insula. The current findings suggest the feasibility of discriminating between offender and witness by exploiting neural activation in forensic investigation.

### 1. まえがき

加害行為は、暴力、犯罪、戦争などに見られるように人類社会においてもっとも悲惨な出来事の生成要因である。加害行為の遂行に伴い、人が一般的に経験する段階的な認知過程が知られている。まず実行をする前の不安、殆ど反射的に行われる実行、実行直後の高揚、加害行為を経験した直後から夢や回想として繰り返し襲ってくる罪悪感を帯びた出来事想起、そして加害行為を合理化し受容しようとする受容過程である[1]。

犯罪が一般的に記憶に痕跡を残すことを利用し、事象関連電位を指標とした犯罪捜査の研究[2-7]が 1980 年代から行われている。それらの研究では、参加者に対して、模擬犯罪を実行させた後、犯罪に関連した刺激と犯罪に無関連な刺激に対する脳の反応を比較することにより、事件事実の認識の有無を検査している。しかしながら、加害者と目撃者双方が犯罪に関連した刺激を事件現場で見ている場合、両者を区別することは困難である。このことから、被害者に対して加害行為を自分で実行すること(加害行為特異的経験)と被害者を目撃すること(被害者目撃)を区別することが、脳活動を指標とした犯罪捜査システムを開発する上で重要である。

本研究では、加害行為特異的経験と被害者目撃が、人の脳にどのような記憶痕跡(脳内表象)をとどめるのかを明らかにする。加害行為に関する脳内表象の復号化による解明は、加害行為の加害者と目撃者を区別する脳科学的犯罪捜査システムの開発に繋がる可能性がある。

### 2. 研究の背景

加害行為の脳内表象を、加害行為を想起している時の脳活動として明らかにした先行研究は存在しない。記録時に行った処理と同じ領域が想起時に再賦活するという考え方[8-10]を前提にした場合でも、先行研究の知見では、加害行為特異的経験と被害者目撃を区別することが出来ない。さらに、King らと Regenbogen らの研究[11,12]では、参加者はビデオ上でボタンを押しながら加害行為を遂行しているため、加害行為を自分の手で直接加えているわけではない。そのため、加害行為を自分で実行する(加害行為特異的経験)という認識が希薄である可能性がある。

### 3. 研究目的





本研究の目的は、加害行為に関する脳内表象を、健常成人の参加者を対象として、fMRI を用いた脳活動部位の測定から復号化することである。特に、加害行為特異的経験の想起時に活動する脳領域と被害者目撃の想起時に活動する脳領域の区別を図った。

本実験では、fMRI 撮像の前に顔の記録セッションを行い、その中でいくつかの顔に対して目に画鋸を刺すという加害行為を参加者に行わせた。その後、顔の再認セッションにおいて脳活動を測定し、加害行為をした対象の顔を見た時に特異的に(単なる行為やネガティブな情動反応でない)活動する脳領域を特定した。画鋸刺し課題(記録セッション)は、次の 4 条件で構成した。画鋸が刺さっていない刺激に対して目に画鋸を刺す条件(加害が含まれる自己の行為: EyeSelf)、画鋸が刺さっていない刺激に対して余白に画鋸を刺す条件(加害が含まれない

自己の行為: OutSelf)、既に目に画鋸が刺さっている顔写真を観察する条件(加害が含まれる他者の行為: EyeOther)、余白に画鋸が刺さっている顔写真を観察する条件(加害が含まれない他者の行為: OutOther)である。被害者を目撃する影響を評価する被害者要因(Eye と Out)と行為の実行が与える影響を評価する行為主要因(Self と Other)からなる 2 要因型実験デザインを築いた(図 1)。すなわち EyeSelf 条件では危害行為特異的経験・被害者目撃・行為の実行が、OutSelf 条件では行為の実行のみが、EyeOther 条件では被害者目撃のみが喚起されると仮定した。

本研究では、顔の再認セッション遂行時、加害行為に関する脳内表象が賦活化するという仮説を検証した。さらに、その領域の機能に関する先行知見と併せて脳内表象の本質について考察した。

図 1. 画鋸刺し課題(記銘セッション)の 2 要因 4 条件の関係

		行為主要因	
		Self	Other
被害者要因	Eye	EyeSelf 	EyeOther 
	Out	OutSelf 	OutOther 

## 4. 研究方法

### 4.1 参加者

精神疾患や頭部外傷の既往のない、右利きの健常日本人 30 名が MRI 実験に参加した。利き手の判定には、エジンバラ式利き手検査[20]を用いた。記銘セッション時の音声指示に従わず実験条件を満たさなかった 2 名、記銘セッション時に、画鋸が刺さっていない側(向かって左側)だけを見て顔を暗記した 4 名、さらに再認セッション時に一つの条件で正答が無かった 2 名、計 8 名を脳機能画像解析対象から除外した。したがって、本研究では、残り 22 名(女性 12 名、男性 10 名、18~26 歳、年齢 21.27± 2.07 歳(平均±標準偏差))の参加者の実験解析結果を報告する。本研究はヘルシンキ宣言に準拠し、また、事前に東北大学大学院医学系研究科倫理委員会の承認を得た。参加者全員に対して研究の目的、方法、危険性等を事前に説明し、書面による同意を得た。

### 4.2 刺激

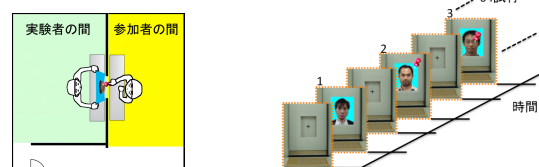
本実験では、参加者と同性の 15 歳~64 歳の幅広い年齢の日本人の無表情のカラー顔写真(顔画像データは、財団法人ソフピアジャパンから月浦が使用許諾を受けた。権利者に無断で複写、利用、配布等を行うことは禁じられている)を 128 枚準備した(男女併せて計 256 枚)。顔の方向は正面向きで、背景は均一な青色、顔写真の大きさは約 592 x 842 ピクセルで統一した。記銘セッションでは、これらの中から 64 枚を選別し A4 サイズの用紙にカラー印刷してコルクボードに貼付けて刺激とした

(記銘セッション用顔写真)。刺激には、目に画鋸が刺さっている顔写真 16 枚、余白に画鋸が刺さっている顔写真 16 枚と画鋸が刺さっていない顔写真 32 枚の 3 種類計 64 枚を用いた。再認セッションでは、記銘セッションで使用した 64 枚へ新たに 64 枚を加えた計 128 枚のデジタル画像(再認セッション用写真)を使用して、MRI 内で眼前のスクリーンに提示した。

### 4.3 画鋸刺し課題(記銘セッション)

仮設壁によって、実験室を 2 つの間に区切り(図 2a)、提示用の穴を開けて視覚刺激提示に用いた。参加者用の間には、参加者が課題を行うために、椅子、画鋸が刺さったコルクボードを置くための小さな机を提示用の穴の下に配置した。提示用の穴の高さは、参加者が画鋸を刺しやすい高さに調節した。実験者用の間は、参加者から見えないようにした。参加者は、音声指示「目」に従って、画鋸が刺さっていない刺激に対して目に画鋸を刺す(EyeSelf)条件、音声指示「余白」に従って、画鋸が刺さっていない刺激に対して余白に画鋸を刺す(OutSelf)条件、音声指示「無し」に従って、目に画鋸が刺さっている顔写真を観察する(EyeOther)条件、音声指示「無し」に従って、余白に画鋸が刺さっている顔写真を観察する(OutOther)条件をそれぞれ実施した。刺激を提示してから 2 秒後に音声指示(「目」、「余白」、「無し」)を与え、10 秒間の内に画鋸刺し課題を実施した。各試行の後、固視点を 3 秒間提示した。各参加者は、各条件 16 試行を無作為な順序で計 64 試行実施した(図 2b)。画鋸刺し課題を始める前に、参加者に、提示された顔を暗記するよう指示をした。

図 2. 記銘セッション用実験室(実験者用の間と参加者用の間)の説明



(a) 記銘セッション用実験室 (b) 記銘セッション刺激提示

### 4.4 顔認知課題(再認セッション)

画鋸刺し課題(記銘セッション)終了の約 10 分後に、参加者は、MRI 装置内に仰臥位で横になった(図 3a)。参加者は、眼前の半透明のスクリーンの中央に提示された視覚刺激を、鏡を通して観察した。MRI 装置からの TTL トリガーパルスによって、刺激提示の時間を制御した。参加者の動作反応を光ファイバー応答スイッチシステム(Current Designs, Inc., Philadelphia, PA)のボタン 2 つを使用することで記録した。

fMRI 撮像中、各参加者に対して、記銘セッションで提示した顔写真 64 枚と新しく加えた 64 枚を無作為に提示した(図 3b)。各参加者は、提示された写真が記銘セッションで見た顔か否かを判断した。参加者は、「見た」には右人差し指、あるいは「見ていない」には右中指でボタンを押して回答をした。参加者には、見た可能性が少しでもある場合は「見た」を選択し、「見てない」は自信がある時のみ選択するよう指示した。各刺激を 1 秒間提示した後、固視点を 6 秒、8 秒、10 秒或は 12 秒間提示した。セッション全体で、128 試行を 1,325 秒で行った。

画鋸刺し課題(記銘セッション)の EyeSelf、OutSelf、EyeOther、OutOther 条件において記銘した顔を顔認知課題(再認セッション)において正しく想起した試行について、それぞ

れ rEyeSelf, rOutSelf, rEyeOther, rOutOther 条件とした。顔写真を再認することによって rEyeSelf 条件では被害者目撃、行為の実行、加害行為特異的経験が、rOutSelf 条件では行為の実行が、rEyeOther 条件では被害者目撃が想起されると仮定した。

図 3. 再認セッション用 fMRI 室と課題デザイン



(a)再認セッション用 MRI 装置 (b) 再認セッション刺激提示

#### 4.5 MRI 撮像

本研究では、東北大学加齢医学研究所の所有する 3 テスラ MRI スキャナー(Philips Achieva Quasar Dual, Philips Medical Systems, Best, The Netherlands)を使用した。fMRI として、gradient-echo echo-planer imaging (GE-EPI)法を用いた。全脳を撮像範囲とし、撮像条件はスライス数 40 枚、スライス厚 2.5 mm、スライス間隔 0.5 mm、横断面撮像、繰り返し時間 (repetition time; TR) 2500 ms、エコー時間 (echo time; TE) 30 ms、フリップ角 80 度、撮像面範囲 (field of view; FoV) 192x192 mm<sup>2</sup>、撮像マトリクス 64x64 とし、総数 265 スキャンの撮像を 10 分間の休憩を挟んで 2 回行った。また、脳形態画像として T1 強調像を MPRAGE 法 (magnetization prepared acquisition by gradient echo)により撮像した。撮像条件は、矢状断面像で、スライス数 162 枚、スライス厚 1.0 mm、スライス間隔 1.0 mm、TR 6.6 ms、TE 3.0 ms、フリップ角 8 度、FoV 240x240 mm<sup>2</sup>、撮像面マトリクス 240x240 とした。

#### 4.6 fMRI 画像の前処理

画像情報の前処理および画像統計処理は、Statistical Parametric Mapping 8 (SPM8; Wellcome Department of Cognitive Neurology, London, UK) と MATLAB R2011b (Mathworks, Natick, MA, USA)にて行った。EPI 画像のデータ処理として、頭部の動き補正(realignment)、撮像タイミング補正 (slice timing adjustment)、T1 強調画像との重ね合わせ (coregistration)、MNI(Montreal Neurological Institute)空間への標準化 (normalization)、そして半値幅 8mm のガウスフィルタを用いて平滑化 (smoothing)を行った。

#### 4.7 fMRI 画像の統計解析

fMRI 画像は、SPM8 を用いて、事象関連デザインにおける標準的な 2 段階解析を行った。第一段階解析(個人解析)として、各参加者の前処理後の時系列画像セットに、ボクセル毎の重回帰分析を適用した。Eye Self、Out Self、Eye Other、Out Other 条件において記録した顔を正しく想起した試行について、rEyeSelf, rOutSelf, rEyeOther, rOutOther 条件をモデル化した。再認セッションにおいて新しく追加した刺激に対して、参加者が新しいと正しく判断した試行を rNew とし、すべての間違っ て判断した試行を rError として分類した。低周波の生理的なアーチファクトを取り除くためにカットオフ周期 128 秒の高域通過フィルタを使用した。

次に、第二段階解析(集団解析)として、変量効果モデルに基づき、参加者間で 2 要因各 2 水準のデザインを用いて統計検定を行った。本実験では、被害者要因の主効果{(rEyeSelf +

rEyeOther) - (rOutSelf + rOutOther)}として、被害者目撃の脳内表象、そして行為主要因{(rEyeSelf + rOutSelf) - (rEyeOther + rOutOther)}として、行為の実行の脳内表象に反応する脳領域をそれぞれ同定した。さらに、被害者要因と行為主要因の交互作用{(rEyeSelf - rEyeOther) - (rOutSelf - rOutOther)}として、加害行為の脳内表象に反応する脳領域を同定した。統計閾値としては全コントラストに対して、全脳を対象にして family wise error (FWE)の危険率(p 値)が 5%未満となるよう多重比較補正を行った。

### 5. 研究結果

#### 5.1 行動データ

顔認知課題(再認セッション)の正答率と反応時間を表 1 に示す。両者を、rNew を除いた 4 条件について 2 要因分散分析で解析した。正答率について、被害者の主効果(F[1, 21] = 1.322, p = 0.263)、行為主の主効果(F[1, 21] = 0.029, p = 0.867)、交互作用(F[1, 21] = 1.103, p = 0.306)、いずれも有意ではなかった。反応時間についても、被害者の主効果(F[1, 21] = 2.264, p = 0.147)、行為主の主効果(F[1, 21] = 1.004, p = 0.328)、交互作用(F[1, 21] = 0.047, p = 0.830)、いずれも有意ではなかった。

表 1. 行動データ

rEyeSelf	rOutSelf	rEyeOther	rOutOther	rNew
正答率の平均 (± 標準偏差)				
66.8 ± 14.6	61.9 ± 20.2	65.1 ± 20.7	64.5 ± 17.8	75.1 ± 20.8
反応時間の平均 (± 標準偏差)				
1.14 ± 0.39	1.18 ± 0.39	1.11 ± 0.30	1.16 ± 0.37	1.22 ± 0.40

#### 5.2 fMRI 画像解析結果

再認セッション遂行時の脳活動に対する、被害者要因の統計的有意な主効果 (Eye > Out)を左前帯状皮質膝下野 (the subgenual part of the left anterior cingulate cortex)に認めた(図 4 と表 2)。

図 4. 被害者目撃の想起に関与する脳領域と各条件別活動

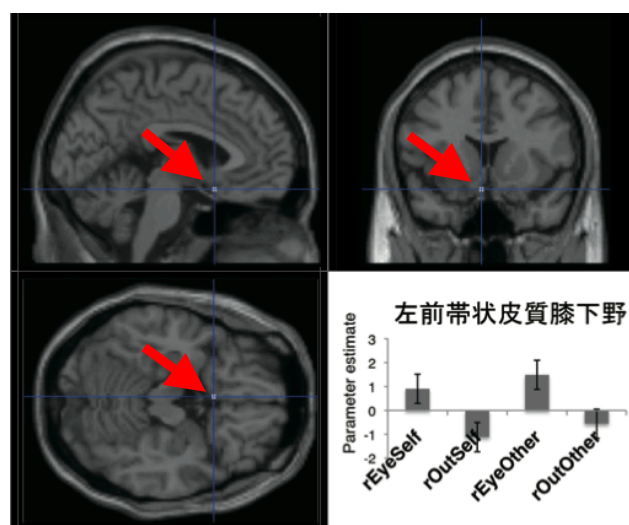
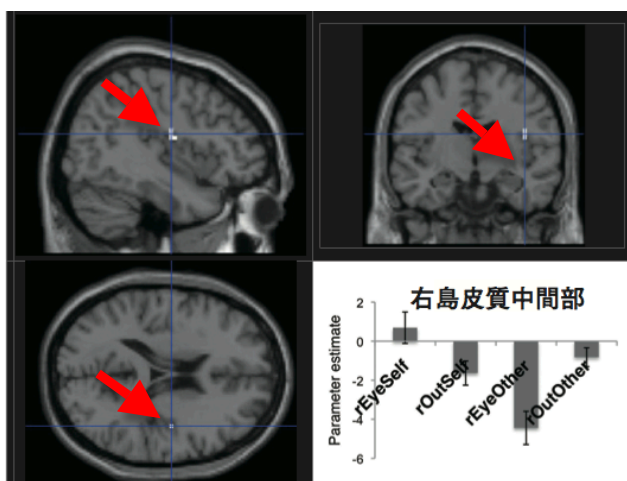


表 2. 被害者目撃と加害行為特異的経験の脳内表象

コントラスト	解剖学的領域名	MNI座標			t 値	p
		x	y	z		
被害者目撃の脳内表象、 $(rEyeSelf - rEyeOther) + (rOutSelf - rOutOther)$						
	左前帯状皮質膝下野	-3	14	-17	4.83	0.032
加害行為特異的経験の脳内表象、 $(rEyeSelf - rOutSelf) - (rEyeOther - rOutOther)$						
	右島皮質中間部	42	-10	19	4.94	0.017

被害者要因と行為主要因の有意な交互作用を右島皮質の中間部 (the middle part of the right insular cortex) に認めた (図 5 と表 2)。

図 5. 加害行為特異的経験の想起に関与する脳領域と各条件別活動



## 6. 考察

本研究は、加害行為の脳内表象を、想起時の脳活動測定によって、また被害者目撃の表象と加害行為特異的経験の表象を区別して復号化した研究である。

加害行為特異的経験と被害者目撃の脳内表象を、それぞれ右島皮質中間部と左前帯状皮質膝下野に同定した。すなわち両表象はこれらの領域の活動として記憶痕跡に残っていると考えられる。これらの領域は加害行為遂行時の脳活動上昇領域として知られている[11,12]ことから、これらの知見は、記録時に行った処理と同じ領域が想起時に再賦活するという考え方[8-10]に一致する。

### 6.1 犯罪の記憶痕跡に関する本研究の社会的意義

本研究の結果は、容疑者に被害者の写真を提示することで、右島皮質中間部の活動を指標として容疑者が被害者の身体に危害を加えた事実を推測できる可能性を示すものである。さらに、左前帯状皮質膝下野の活動は被害者目撃の指標として利用できる可能性を示すものである。もちろん、本研究の成果は集団解析に基づいたものであり、その将来的な実地応用には個人解析に基づいた感度・特異度の検証が前提である。さらに、脳科学的犯罪捜査システムは、本人が他者に知られたいくない情報を明らかにするため、その開発或は応用の前に、悪用を防ぐ手段の確立、倫理的側面も吟味していく必要がある。検査時の偽装や冤罪等の可能性について考慮すると、このようなシステムは、補助的な位置づけで検討を行うのが妥当かもしれない。

## 7. 結論

本研究の結果は、容疑者に被害者の写真を提示することで、右島皮質中間部の活動を指標として容疑者が被害者の身体に危害を加えた事実を推測できる可能性を示すものである。本研究は加害行為想起時の脳活動測定によって、加害行為特異的経験と被害者目撃を区別しながら、加害行為の脳内表象を復号化した。加害行為特異的経験の脳内表象として、右島皮質中間部を同定した。さらに、被害者目撃の脳内表象として、左前帯状皮質膝下野を同定した。右島皮質中間部は加害行為が喚起する情動の経験に、また左前帯状皮質膝下野は加害行為の目撃に伴う情動の抑制に関与すると考えられる。これらの知見は、加害行為の記憶に関する脳内機構の解明を進め、加害行為の加害者と目撃者を区別する脳科学的犯罪捜査システムの開発に貢献する可能性がある。

## 参考文献

- [1] Grossman D: On killing: The psychological cost of learning to kill in war and society. Revised edition, Back Bay Books, 2009;97-106,233-242.
- [2] Rosenfeld JP, Nasman VT, Whalen R, Cantwell B, Mazzeri L: Late vertex positivity in event-related potentials as a guilty knowledge indicator: a new method of life detection. *Int J Neurosci.* 1987;34:125-9.
- [3] Rosenfeld JP, Cantwell B, Nasman VT, Wojdac V, Ivanov S, Mazzeri L: A modified, event-related potential-based guilty knowledge test. *Int J Neurosci.* 1988;42:157-61.
- [4] Rosenfeld JP, Angell A, Johnson M, Qian JH: An ERP-based, control-question lie detector analog: algorithms for discriminating effects within individuals' average waveforms. *Psychophysiology.* 1991;28:319-35.
- [5] Farwell LA, Donchin E: The truth will out: interrogative polygraphy ("lie detection") with event-related brain potentials. *Psychophysiology.* 1991;28:531-47.
- [6] Allen JJ, Iacono WG: A comparison of methods for the analysis of event-related potentials in deception detection. *Psychophysiology.* 1997;34:234-40.
- [7] Farwell LA, Smith SS: Using brain MERMER testing to detect knowledge despite efforts to conceal. *J Forensic Sci.* 2001;46:135-43.
- [8] Nyberg L, Habib R, McIntosh AR, Tulving E: Reactivation of encoding-related brain activity during memory retrieval. *Proc Natl Acad Sci U S A.* 2000;97:11120-4.
- [9] Wheeler ME, Petersen SE, Buckner RL: Memory's echo: vivid remembering reactivates sensory-specific cortex. *Proc Natl Acad Sci U S A.* 2000;97:11125-9.
- [10] Hofstetter C, Achabou A, Vuilleumier P: Reactivation of visual cortex during memory retrieval: content specificity and emotional modulation. *Neuroimage* 2012;60:1734-45.
- [11] King JA, Blair RJ, Mitchell DG, Dolan RJ, Burgess N: Doing the right thing: a common neural circuit for appropriate violent or compassionate behavior. *Neuroimage* 2005;30:1069-76.
- [12] Regenbogen C, Herrmann M, Fehr T: The neural processing of voluntary completed, real and virtual violent and nonviolent computer game scenarios displaying predefined actions in gamers and nongamers. *Soc Neurosci.* 2010;5:221-40.