

fMRIによる違法交通行動を対象とした モビリティマネジメント効果計測に関する研究

舍川 隼人¹・室町 泰徳²

¹学生会員 東京工業大学 環境・社会理工学院 土木・環境工学系
(〒226-8502 神奈川県横浜市緑区長津田町4259 G3-5)
E-mail tonegawa.h.ab@m.titech.ac.jp

²正会員 東京工業大学教授 環境・社会理工学院 土木・環境工学系
(〒226-8502 神奈川県横浜市緑区長津田町4259 G3-5)
E-mail:muromachi.y.aa@m.titech.ac.jp

本研究は、違法交通行動を対象とし、特に他者の協力行動の認知に着目して fMRI によるモビリティマネジメント (MM) 効果計測の可能性を検討することを目的としている。fMRI 実験では、違法駐輪行動の選択肢を含まない SP 調査と含む SP 調査を行い、MM 実施前後で脳の賦活部位を比較検討した。その結果、違法駐輪行動に対しては、他者の協力行動情報の提示を組み込んだ MM が有効であること、また、非協力行動の悪影響を金銭として提示する MM や対象者の都合を考えない fMRI 内の一方的なコミュニケーションによる MM は、協力行動をとる動機を変容させ、さらには不快感を与えてしまう恐れがあることが示唆された。

Key Words: fMRI, Mobility Management (MM), illegal bicycle parking,

1. はじめに

(1) 背景と目的

近年、過度なモータリゼーションの反省や持続可能な開発の観点から、自動車から公共交通、自転車、徒歩での移動へと転換を促進する計画が重要視されている。モビリティマネジメント (以下、MM) とは、まさにこの課題に応える取り組みの1つであり、公共交通利用の促進や渋滞の改善、歩行者空間の快適化など、交通問題の解消を図る上で一定の効果が確認されている¹⁾。ハード整備により交通手段分担を適切な状態に制御する交通施設整備やシステム改善施策に対して、MMはコミュニケーションにより行動変容を図るコミュニケーション施策であり、特に個人の倫理観や他者の行動に対する正しい認知を促して行動変容を図るなど、心理学の知見を援用することが多い。しかしながら、現在までのところ、被験者の心理状態の把握はアンケート調査に頼ることが多く、回答の信頼性が問題となる違法交通行動を対象とした場合には課題が少なくないと考えられる。

この課題を解決し得る手段の1つに磁気共鳴機能画像法 (functional magnetic resonance imaging) (以下、fMRI) による脳機能計測がある。fMRIは水素原子の磁気共鳴

現象を利用する脳機能計測方法で、脳のどの部位が働いているのか、脳に不可逆的な変化を与えずに測定することができる。また、2~3mmほどの細かい空間分解能を持つことが特徴であり、現在、心理学やマーケティングと言った分野で用いられる機会が増えてきている。fMRIを用いることで、従来のアンケート調査では測定が難しかった行動変容の根本にある被験者の心理状態の変化を測定することができる可能性がある。

そこで本研究では、違法交通行動を対象とし、fMRIによるモビリティマネジメント効果計測の可能性を検討することを目的としている。本研究で対象とする違法交通行動は、自転車駐輪における違法駐輪とする。この問題は、目的地の近くの路上など、駐輪場ではない場所に駐輪する違法駐輪 (非協力行動) と、駐輪場に駐輪する合法駐輪 (協力行動) のどちらを行うか選択する社会的ジレンマの構造を有している。

(2) 既往研究レビューと本研究の位置づけ

まず、違法駐輪行動とそのMMに関する研究の一部をレビューする。梶田ら²⁾は自転車利用者の行動を三段階のプロセスに分け、駐輪形態と駐輪場所を選択するNLモデルを推定し、また、自転車の撤去が自転車利用者

与える影響を調査して、保管料と受取率と駐輪行動の関係式を推定している。違法交通行動を対象としたMMに関する研究に関しては、藤井⁷⁾が自転車の違法駐輪に対するMMとして、協力行動を選択するためのアドバイスを行うこと、協力行動のプランを立ててもらうことが有意な効果をもたらすことを示している。

続いて、他者の協力行動の認知に関するMM研究として、藤井⁷⁾は、人々の他者の協力率の認知が実際の協力率を有意に下回ること、その結果非協力行動を選択してしまうことを示している。加えて、藤井⁷⁾は他者の協力行動に関する事実情報を提供することで、人々の協力行動が促進されることも示している。

なお、fMRIによる脳機能計測研究例は近年、多くなってきている。Li⁸⁾は、家族、友人、学生としての役割間でのジレンマにおいて、葛藤の程度ごとの脳賦活部位を明らかにしている。Uchiyama⁹⁾はハンズフリー通話中などの運転時は、物体の相互作用認識力や取得情報を手の動きへ反映させる速度などが低下すること示唆している。北爪⁶⁾はMMの効果をもfMRIを用いて検討する中で、効果がソーシャルキャピタルの蓄積と関連していることを示している。

以上の既往研究レビューから、MMによる行動変容には他者の協力行動の認知が関係しているが、これに関して被験者の心理状態の変化を直接計測した例は限られている。また、fMRIを用いることで被験者の脳機能の変化を計測することが可能であり、心理状態の変化も分析し得ることがわかった。そこで本研究では、違法交通行動を対象とし、モビリティマネジメントを実施し、その効果をfMRIを用いて検討した。さらに、MMにおける他者の協力行動の認知に着目し、他者の協力行動の事実情報を提供するかしないかでMMを2パターン用意し、MM実施前後での脳機能の変化の差異を検討することとした。

2. 実験概要

(1) 被験者の勧誘

被験者は、東京工業大学大岡山キャンパス東地区を中心に、駐輪場外に駐輪した右利きの日本人成人男性に声をかけ勧誘した。各被験者に対しインフォームドコンセントを行い、さらに体内の金属類の有無など fMRI 実験時のリスクについて質問票で確認した。被験者数は 11 名であり、勧誘期間は 2019 年 1 月～2023 年 1 月である。

(2) fMRIによる脳機能計測

実験では被験者に fMRI 装置に入ってもらい、視覚刺激としての質問を与えながら手元のボタンで質問に答えてもらっている際の脳機能を計測した。刺激は図 1～3 に示す通りであり、その提示順は①SP 調査 (タイプ 1)



図 1 SP 調査 (タイプ 1)



図 2 SP 調査 (タイプ 2)

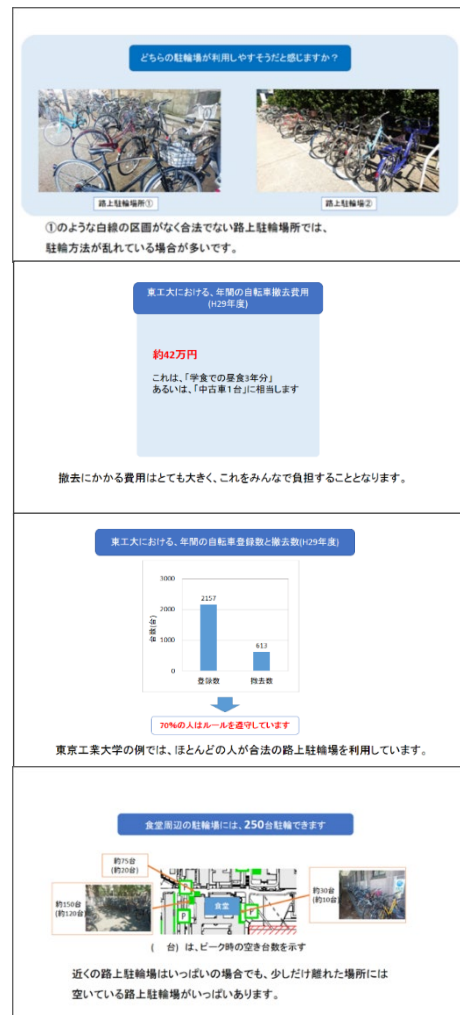


図 3 MM 提示画像

②SP 調査 (タイプ 2) ③MM④SP 調査 (タイプ 1) ⑤SP 調査 (タイプ 2) となっている。SP 調査は家から駅までの交通手段を尋ねるものであり、タイプ 1 は、自転車を

駐輪場に止めて（合法駐輪）、その後徒歩で駅へ向かう選択肢二つと、徒歩のみの選択肢一つから構成され、十問出題した。タイプ 2 は、自転車利用の選択肢のうち 1 つが、途中で自転車を路上に止める（違法駐輪）選択肢となっており、八問出題した。続いて行う MM は事実情報提供法を採用し、動機付け情報を三種（路上駐輪と駐輪場の比較写真、大岡山キャンパスの自転車撤去費用、協力者と非協力者の割合の比較グラフ）、協力行動実施方法の情報を一種（大岡山キャンパス駐輪場情報）提示した。また MM による他者の協力行動の認知の効果を検討するため、一部の被験者（4 人）には協力行動者と非協力行動者の割合の比較グラフを提示していない。以降グラフを提示していない被験者を制御群、グラフを提示した被験者をグラフ提示群と呼ぶ。MM 後、再び SP 調査を行い回答や脳賦活部位の変化を計測する。

3. 分析の概要

(1) SP 調査の集計

SP 調査の回答は制御群とグラフ提示群の二群ごとに集計し、MM 実施前後で各選択肢の回答の変化を確認した。

(2) fMRI データの分析

撮像した脳機能画像はソフトウェア SPM12 を用いて分析を行った。前処理として、画像形式を変換した。その後動きの補正、脳解剖画像の登録と分解、脳機能画像の標準化と平滑化処理を行った。前処理後は全員、二群ごとの集団解析を行い、被験者集団の背後にある母集団について検定を行った。検定では、はじめに MM 実施前のタイプ 1 と MM 実施後のタイプ 1 の SP 調査の計測結果を扱い、違法駐輪選択肢がないタイプ 1 の調査において、MM 前後で賦活部位の有意な変化がないかどうかを検討した（合法条件）。続いて MM 実施前のタイプ 2 と MM 実施後のタイプ 2 の SP 調査の計測結果を扱い、違法駐輪選択肢があるタイプ 2 の調査において、MM 前後で賦活部位に有意な違いが生じていないかどうかを検討し（違法条件）、二つの調査結果を比較、考察した。なお、脳賦活部位は SPM12 に標準搭載されている機能で特定し、その脳賦活部位の機能は Neurosynth のメタ分析マップで特定した。

4. 分析結果と考察

(1) SP 調査の集計結果

タイプ別 SP 調査の回答の変化を図 4～5 に示す。タイプ 1 の SP 調査では、両群とも MM を実施することで徒歩選択の回答数が増加していた。しかし、回答率に有意

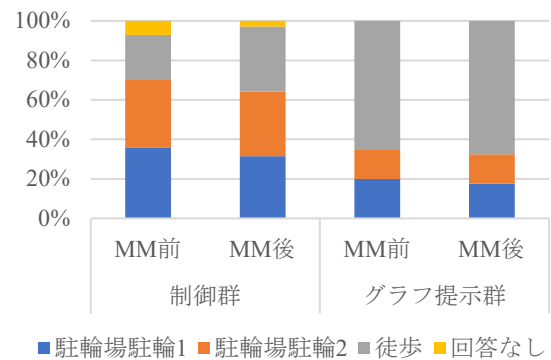


図 4 SP 調査の回答の変化（タイプ 1）

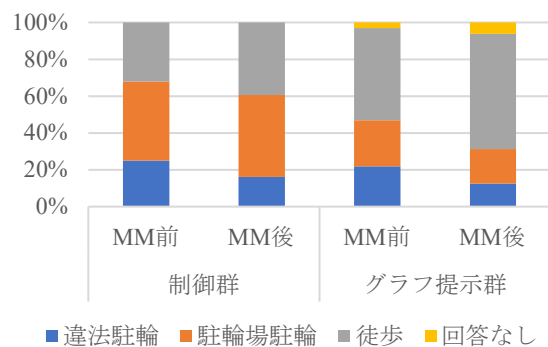


図 5 SP 調査の回答の変化（タイプ 2）

な変化が見られたかどうか、5%有意水準で検定を行ったところ、すべての選択肢において有意な変化が見られなかった。

タイプ 2 の SP 調査では、MM を実施することで両群とも違法駐輪選択の回答数が減少し、徒歩選択の回答数が増加していた。また、タイプ 1 同様、回答率に有意な変化が見られたかどうか、5%有意水準で検定を行ったところ、すべての選択肢において有意な変化が見られなかった。

(2) 脳機能計測の結果

初めに被験者 11 名全員を対象とした合法、違法両条件の結果を図 6～7 に示す。合法条件では楔部、楔前部、カルカリン皮質、舌状回、視床、淡蒼球、視床において賦活が確認できた。脳機能については記憶、視覚、手先の運動が働いていた。一方違法条件では、前頭極、楔前部、島皮質前部、補足運動野、視床、側脳室が賦活していた。これらの部位は記憶、計算、報酬、利得、視覚に関連する機能を司っていた。したがって、MM を実施することで被験者は交通手段選択の際、違法駐輪選択肢がない場合は自身の記憶を、違法駐輪選択肢がある場合は記憶に加え、計算、報酬、利得を選択の手掛かりとするようになったことが分かった。

記憶が MM の内容を指すとすれば MM 後により賦活

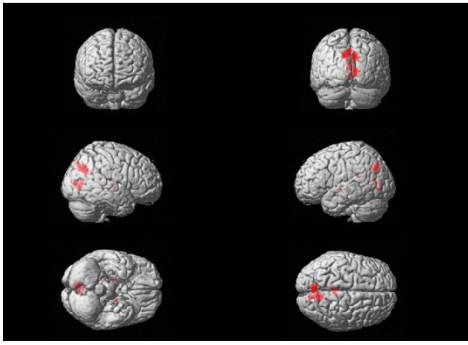


図 6 合法条件での賦活部位 (被験者全員での結果)

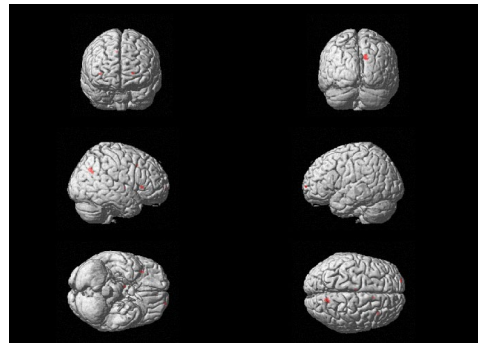


図 7 違法条件での賦活部位 (被験者全員での結果)

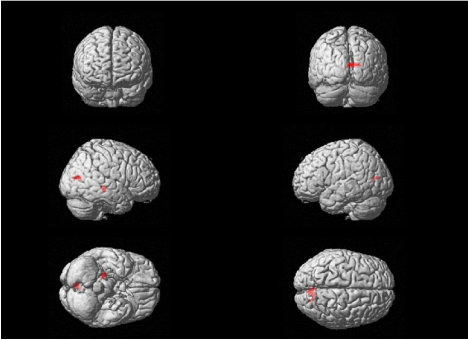


図 8 合法条件での賦活部位 (制御群)

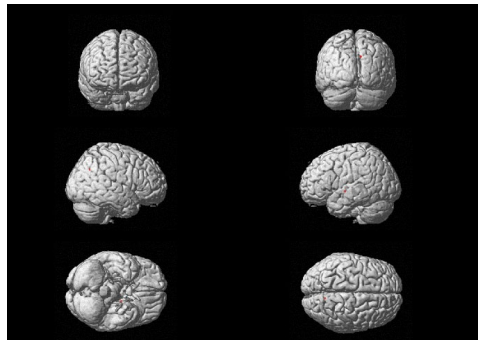


図 9 合法条件での賦活部位 (グラフ提示群)

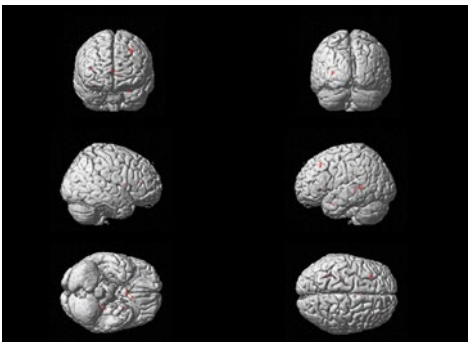


図 10 違法条件での賦活部位 (制御群)

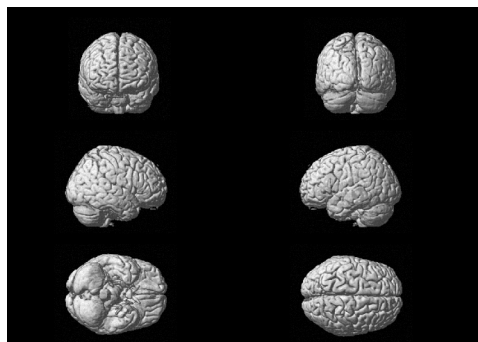


図 11 違法条件での賦活部位 (グラフ提示群)

することは理解できるが、計算、報酬等がより賦活することは直観に反している。

続いて群別の合法条件の結果を図 8~9 に示す。制御群ではMM実施後はヴェントラル間脳、カルカリン皮質、楔部の賦活が確認され、自身の記憶や眼球運動と関連する脳機能が働いていたことが示唆された。一方グラフ提示群では淡蒼球の賦活のみが確認され、有意な脳機能は確認できなかった。

違法駐輪選択肢がない場合、他者の協力行動情報を含まないMMを実施することで、被験者はより自身の記憶を頼りに交通手段選択を行うよう変化したが、他者の協力行動情報を含むMMでは被験者の意思決定時の心理はほとんど変わらない、という結果となった。

最後に群別の違法条件の結果を図 10~11 に示す。制御群ではMM実施後に側脳室、中前頭回、嗅内野、下前頭回三角部の賦活が生じた。脳機能に関しては、記憶に加えて不快感、怒り、嫌悪感、幸せなどの感情や、金

銭に関連する報酬やインセンティブと関連する脳機能が確認された。

一方グラフ提示群では有意な賦活が見られなかった。

違法駐輪選択肢がある場合、他者の協力行動情報を含まないMMを実施することで、被験者は記憶、金銭、さらには快不快といった感情など、個人的な損得を考慮して交通手段を選択する傾向が強まったが、他者の協力行動情報を含むMMでは、そのような被験者の変化は見られなかった。

以上の結果を比較すると、MMにおいて他者の協力行動情報を提示することで、以下のようなMMの抑制効果の可能性が示された。まず、被験者にとってMMが、非協力行動により発生する撤去費用を理由に協力行動を依頼しているように感じられ、協力行動または非協力行動を倫理的な問題ではなく金銭的な問題だと捉えてしまうこと、また、fMRI内のMMが非協力行動者の都合を考えない一方的なコミュニケーションだと受け取られ、そ

の結果、非協力行動者の感情的な反発などを招いてしまうこと、である。

5. 結論と今後の課題

本研究では、違法駐輪行動を対象とし、特に他者の協力行動の認知に着目して fMRI による MM 効果計測の可能性を検討した。

その結果、他者の協力行動情報を提示しなかった群では、MM を実施することで、違法駐輪選択肢がない場合、自身の記憶を頼りに交通手段を選択していたが、違法交通駐輪選択肢がある場合、記憶に加え金銭や感情が判断材料に加わり、個人的な損得が交通手段選択に影響するようになった。このことは、MM により被験者が違法駐輪を道徳やモラルの問題ではなく、金銭の問題と捉えるようになってしまった可能性、MM で違法駐輪の現況や撤去費用などを一方的に提示することで、かえって被験者の反発を招いた恐れがあることを示唆している。

また一方で、他者の協力行動情報を提示した群は、MM 実施後に制御群で見られた脳機能の変化が確認されなかった。他者が協力行動をとるという事実が伝わることで、他者の協力行動に同調し、金銭的な判断や不快感が抑制された可能性がある。

これらの結果から、社会的ジレンマ問題の 1 つである違法交通行動に対しては、他者の協力行動情報の提示を組み込んだ MM が有効であると考えられる。また、非協力行動の悪影響を金銭として提示する MM や対象者の都合を考えない fMRI 内の一方的なコミュニケーションによる MM は、協力行動を取る動機を変容させ、さらには不快感を与えてしまう恐れがあることも示唆された。

しかしながら、これらの点は本研究における少数の被

験者実験に基づいており、被験者数を増やしてさらなる検討を行うことが今後の課題である。また、被験者実験は SP 調査に基づいていることから、実際の行動との関係を調査することも課題の 1 つである。

なお、本研究は東京工業大学人を対象とする研究倫理審査委員会の審査を経ている (No.2022051)。

参考文献

- 1) 藤井聡：社会的ジレンマの処方箋 都市・交通・環境問題のための心理学, pp.120-123,28-30,65-68, ナカニシヤ出版, 2003.
- 2) 梶田佳孝, 外井哲志, 松岡淳: 輪形態および駐輪箇所の選択モデルを用いた都心部での駐輪行動シミュレーションモデルの構築, 土木学会論文集 D Vol.64 No.1, 11-23, 2008.
- 3) 梶田佳孝, 外井哲志, 佐々木友子: 違法駐輪の撤去が駐輪行動の変化に及ぼす影響, 土木学会論文集 D Vol.66, No.2, 137-146, 2010.
- 4) Huixiang Li · Ke Jiang · Mingyan Liu · Juan Yang : The neural basis of decision-making during time-based inter-role conflict, *Biological Psychology*, Vol,165, 2021.
- 5) Yuji Uchiyama, Hiroshi Toyoda, Hiroyuki Sakai, Duk Shin, Kazutoshi Ebe, Norihiro Sadato, : Suppression of brain activity related to a car-following task with an auditory task: An fMRI study, *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, Vol.15, Issue 1, pp.25-37, 2012.
- 6) 北爪皓：ソーシャル・キャピタルの影響を考慮した脳機能計測によるモビリティ・マネジメントの実施効果に関する研究, 令和元年度東京工業大学修士論文, 2020.