

# 脳機能計測を活用した交通行動分析の展開

室町 泰徳<sup>1</sup>・市井 健吾<sup>2</sup>

<sup>1</sup>正会員 東京工業大学環境・社会理工学院 (〒226-8502 横浜市緑区長津田町4259)

E-mail: muromachi.y.aa@m.titech.ac.jp

<sup>2</sup>非会員 東京工業大学人間環境システム専攻 (〒226-8502 横浜市緑区長津田町4259)

E-mail: ichii.k.aa@m.titech.ac.jp

本研究では、交通行動分析と関連が深いと考えられる既存の研究を示した上で、脳機能計測を活用した交通行動分析の概念を検討した。また、fMRIを用いて実際に行った脳機能計測の研究例を示し、その有効性に関して議論した。社会的ジレンマ状況の意思決定においては、「前帯状皮質」、「前頭極」、「前頭前野背外側部」の賦活が確認された。実験結果に基づく消費者行動モデルの改善や新たなモデル構築の困難など、消費者ニューロサイエンスに関する限界は交通行動分析にも当てはまると考えられる。一方、行動モデルの構造が脳機能計測と一貫性があることを確認するだけでも、脳機能計測の活用の意義が見出せるのではないかと考えられる。

**Key Words :** Human Brain Function, fMRI, Travel Behavior Analysis

## 1. はじめに

人々の交通行動を研究する交通行動分析は、土木工学分野における社会インフラや公共政策の影響を検討する上で重要な知見を提供することから、土木工学分野の重要なテーマの1つとして進展してきた<sup>1)</sup>。新たに開発された分析手法の中には、経済学における非集計モデルや社会心理学など、他分野との連携により進展したものも多い<sup>2)</sup>。一方、生理心理学では1990年以降、機能的磁気共鳴画像 (functional Magnetic Resonance Imaging: fMRI) などの技術の発展を背景として、脳機能計測結果を活用する試みが進められている<sup>3)</sup>。fMRIを利用した道德意識に関する研究は著名なもの1つである<sup>4)</sup>。また、ニューロマーケティングに代表されるように、脳機能計測結果を基に消費者行動の変容を促す試みも進められている<sup>5)</sup>。脳が人々の行動をコントロールしているという前提に立てば、脳機能計測に基づく研究分野との連携は交通行動分析や土木工学分野に少なからず有用な知見をもたらすと期待できる。延いては、実社会における社会インフラや公共政策が人々の行動に与える影響に関して、脳機能計測を基にした行動分析理論の体系を構築できる可能性がある。本研究では、交通行動分析と関連が深いと考えられる既存の研究を示した上で、脳機能計測を活用した交通行動分析の概念を検討する。また、fMRIを用いて実際に行った脳機能計測の研究例を示し、その有効性に関して議論することを目的としている。

## 2. 脳機能計測を活用した既存の研究

実社会における交通行動分析に対して脳機能計測を活用した研究例は、朴他による一連の研究<sup>6)11)</sup>の他、金森他<sup>12)</sup>、井ノ口他<sup>13)</sup>など、非常に数が限られている。朴他は、voxel-based morphometry (VBM) 法を応用した脳領域容積測定法を用いて、高齢ドライバーの脳容積の個人差と危険運転行動との相関性を解析している<sup>10)</sup>。金森他は、近赤外光脳内血流計測 (Near InfraRed Spectroscopy: NIRS) 等を活用して、従来の心拍だけでなく発汗や脳血流など複数の生体データを計測し、実走行時のドライバーの運転ストレスについて分析している<sup>12)</sup>。井ノ口他は、社会的ジレンマを「私的利益」と「公共的利益」の対立状態として定義付けたうえで、fMRI実験を数名の被験者に実施し、「私的利益」と「公共的利益」の対立状態における道德意識と対応する脳部位の抽出を試みている<sup>13)</sup>。

生理心理学等の分野においては、fMRIを用いた脳機能計測に関する研究は近年盛んに行われており、その中には、道德意識等、被験者に対する通常のアンケート調査では回答値にバイアスが含まれる恐れのある対象を扱った研究が見られる。例えば、fMRIを用いて道德的判断と感情プロセスの関連性を示したGreeneらの研究<sup>6)</sup>や、無意識下の道德的判断についてfMRIを用いて分析したMollらの研究<sup>7)</sup>等がある。

ニューロマーケティング (neuromarketing) 分野においても、脳機能計測結果を基に消費者行動やマーケティング

グを分析した研究例の蓄積が進んでいる。ニューロマーケティングとは、「マーケティング、心理学、神経科学を統合しようとする研究領域であり、種々の理論的アプローチや実験的方法を用いて消費者の選択や意思決定のモデルとしてどれがふさわしいかを特定したり、消費者の意思決定現象の神経科学的基盤を明らかにして、マーケティング研究や実務に役立てようとする研究分野」と定義されている<sup>8)</sup>。ニューロマーケティングに対する関心の高まりは、fMRIによる脳機能計測を用いたコーラの選好に関する実験結果が報告されたことが発端の1つとなっている<sup>14)</sup>。

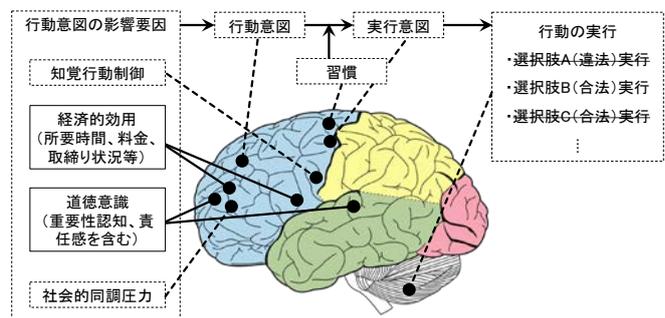
Solnaisらは、表-1のように消費者ニューロサイエンスにおいて関心のある主要な脳部位の概要をまとめた上で、2001年から2012年に発表されたニューロマーケティングに関する34の研究をレビューし、消費者意思決定と選好の形成、消費者の脳内においてマーケティングが報酬システムに影響するタイミング、消費者の動機的傾向と感情反応、消費者の注意と記憶に関する神経科学的な基礎という4つの主要な課題に関する知見を整理している<sup>15)</sup>。それによれば、前頭前皮質内側部が製品やブランド選好の形成に関係する意思決定過程に役割を果たしている点についての知見は蓄積されており、帯状皮質が感情と暗黙のブランド情報を統合して意思決定過程に影響している可能性もある。線条体を通じてマーケティング刺激が脳内報酬システムと関係付けられるという知見にも一貫性がある。ブランド経験の記憶における海馬と左前頭葉の役割に関するさらなる研究蓄積が望まれる、とされている。

しかしながら、Solnaisらは同時に消費者ニューロサイエンスに関する限界についても指摘しており、神経活動に影響する要因全てをコントロールできないことによる実験ごとの異質性、実験結果に基づく消費者行動モデルの改善や新たなモデル構築の困難などが挙げられている。消費者行動に関する理解は進展するものの、このことが

マーケティングの実務で用いられている既存の消費者行動モデルを大きく修正するまでには至らないという見解である。

もともと消費者行動にしても交通行動にしても、脳が行動をコントロールしているという前提に立てば、行動モデルの構造が脳機能計測と一貫性があることを確認するだけでも、脳機能計測の活用の意義が見出せるのではないかと考えられる。図-1は、藤井による協利行動への行動変容プロセスモデル<sup>4)</sup>を参考に、脳機能計測を活用した交通行動分析をイメージで示したものである。脳機能に関しては不明な点も多いことから、図中の脳部位を指し示す丸印の位置はあくまでもイメージであり、既存の研究に基づく知見を表しているわけではない。経済的効用に基づく効用最大化理論や道徳意識、行動意図といった行動変容プロセスモデルの要素もいずれかの脳部位、あるいは複数の脳部位のネットワークが対応していると想定される。そして、最終的な行動の実行に至るまでには、これらの脳部位に何らかの反応があり、これを総合的に脳機能計測によって捕捉することができるのではないかと考えられる。

図-1 脳機能計測を活用した交通行動分析のイメージ



注：図中の脳部位を指し示す丸印の位置はあくまでもイメージであり、既存の研究に基づく知見を表しているわけではない。

表-1 消費者ニューロサイエンスにおいて関心のある主要な脳部位の概要<sup>15)</sup>

脳領域	主要な関心対象となる機能
扁桃体 (Amygdala)	-感情、特に否定的な感情の処理。不平等に対する嫌悪。 -記憶システムの調整。
前帯状皮質 (Anterior cingulate cortex)	-意思決定過程における感情と動機情報の統合。 -代替案の間での内的葛藤。
前頭前皮質背外側部 (DLPFC)	-認知的コントロール、社会的規範遵守に向けた衝動に対するものを含む。
海馬 (Hippocampus)	-記憶の形成と統合整理 (長期的記憶)。 -叙述的記憶の獲得と想起。
島皮質 (Insula)	-リスクの知覚と期待 (例えば、財政的、社会的リスク)。 -不公平な経済状況に対する怒りと嫌悪。
後頭葉 (Occipital lobe)	-視覚刺激の処理。
眼窩前頭皮質 (OFC)	-人の必要性を満足する成果の大きさの評価。 -成果が期待と異なる場合の後悔の感情の経験と予想。
線条体 (Striatum)	-期待に対する現実の報酬の評価。
前頭前皮質腹外側部 (VLPFC)	-社会規範への違反に対する罰の脅威の表現。
前頭前皮質腹内側部 (VMPFC)	-異なる代替案とそれらの知覚された価値の処理。

3. 脳機能計測の研究例

脳機能計測の研究例として、東京工業大学fMRI実験室のfMRIスキャナーを用いて行った社会的ジレンマに関するfMRI実験概要を示す。なお、実験の詳細は参考文献に委ねることとする<sup>10</sup>。fMRIスキャナーは非常に強力な磁石により、周囲に磁場（3テスラ）を発生させる。被験者はこの装置の中に仰向けの状態で入り、スクリーンに映った質問形式の文章を専用のゴーグルを介して読む。被験者は質問に対し、レスポンスパッドのボタンを押すことで返答し、その際の脳の働きを撮影する。撮影した画像は、隣室にあるコンピューターにより記録される。被験者は20～22才で右利きの日本人男性計20名であり、予め大学内における合法駐輪、違法駐輪行動により分類がされている。

実験で用いる質問形式の文章、すなわち、視覚刺激文は40アイテムあり、これらは、(o)一般、(a)社会的ジレンマ、(b)非人身的道徳ジレンマ、(c)人身的道徳ジレンマの4条件に分類され、1条件あたり10アイテムとしている。解析では、「条件oに比べて条件aではどこが賦活（活性化）しているか」というように、任意の2条件を比較する。(a)の内容は、各社会的ジレンマの「非協力行動」を行った際に発生する「私的利益」と「公共的損失」に関するものである。視覚刺激文の例を表-2に示す。なお本論文では、(a)と(o)の比較について示すこととする。

各視覚刺激文は、「背景」、「選択」、「行動」の3つの段落に分かれており、順に呈示される。被験者には、「行動」画面が表示されている間に質問に対する回答をしてもらう。文の呈示が終わると、画面上には「+」のマークが表示され、被験者には、これを何も考えないで見てもらう。以上を1試行とし、これを40回繰り返す。なお、10回の試行毎に休憩を挟む。

表-2 社会的ジレンマ視覚刺激文の例

<背景>  
 ニックは、買物をするため、雨の中、徒歩で5分の距離にあるスーパーに行くことにしました。ニックは、医師から健康のために、なるべく歩くように勧められており、スーパーまで徒歩で行くか車で行くか考えています。ニックの車は非常に燃費が良く、二酸化炭素もほとんど排出しません。

<選択>  
 ニックが、徒歩でスーパーまで行けば、雨に濡れ、時間もかかりますが、身体活動量が増えて健康状態が良くなり、国の医療費を節約できます。車でスーパーまで行けば、雨に濡れず、時間も節約できますが、健康状態は悪くなり、国の医療費が増えます。

<行動>  
 ニックは、雨に濡れず、時間を節約できるので、車でスーパーまで行くことにしました。  
 ニックの行動は正しいと思いますか？  
 正しいと思ったら人差し指のボタンを、正しくないと思ったら中指のボタンを、15秒以内に押してください。

表-3は、賦活部位をまとめたものであり、賦活部位名、t値を示している。被験者全体で見たときに「前帯状皮質」、「前頭極」、「前頭前野背外側部」が他の部位に比べ多くの人数が賦活している。また、合法駐輪、違法駐輪行動でこれらの賦活部位に関する内訳を見てみると、「前帯状皮質」、「前頭極」の賦活に関しては合法、違法両グループにおいてほぼ均等に確認され、「前頭前野背外側部」の賦活に関してはほとんどが合法駐輪者によるものであることが確認できた。

これらの賦活部位の分布に関しては、ある程度表-1に示した消費者ニューロサイエンスにおいて関心のある主要な脳部位との関係性が見られ、仮想的とはいえ、社会

表-3 抽出された賦活部位

賦活部位	島皮質(とうひしつ)	楔前部(けつぜんぶ)	下前頭回(かぜんとうかい)	帯状回(たいじょうかい)	側頭極(そくとうきょく)	前帯状皮質(ぜんたいじょうひしつ)	上側頭回(じょうそくとうかい)	中側頭回(ちゅうそくとうかい)	上前頭回(じょうぜんとうかい)	中前頭回(ちゅうぜんとうかい)	眼窩前頭野(がんかぜんとうや)	前頭極(ぜんとうきょく)	尾状核(びじょうかく)	前頭前野背外側部(ぜんとうぜんやはいがいそくぶ)	扁桃体(へんとうたい)	海馬(かいば)
#1	-	-	2.94	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.62	-	-	2.7
#2	-	-	-	-	-	4.62	-	-	-	-	-	3.06	2.84	-	-	-
#3	-	-	-	-	-	4.03	-	-	-	-	-	-	-	2.41	-	-
#4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
#5	2.78	-	2.95	-	-	2.36	-	-	-	-	2.36	2.67	-	-	-	-
#6	-	-	-	-	-	-	-	5.37	-	3.02	4.97	3.65	-	3.27	-	-
#7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.43	-	-	-
#8	2.31	-	-	-	-	-	4.95	-	-	-	-	5.17	-	2.79	3.02	2.7
#9	2.56	-	-	-	-	2.43	-	-	4.15	-	-	-	-	4.11	-	-
#10	-	-	3.59	-	4.05	2.5	-	3.63	2.92	-	-	2.54	-	-	-	-
#11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
#12	3.15	-	3.81	-	-	4.46	-	-	-	3.59	-	-	-	3.05	-	-
#13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
#14	3.13	-	-	-	-	4.76	3.55	2.76	-	-	2.68	-	-	-	-	-
#15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.61	3.11	-	2.57	-	-
#16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
#17	-	-	-	-	2.79	3.04	-	-	-	-	-	4.67	-	-	-	-
#18	-	-	2.4	-	-	-	-	-	-	-	-	2.88	-	3.07	-	-
#19	2.61	-	-	2.82	-	-	-	-	-	-	2.85	-	-	-	-	-
#20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3.61	5.61	-	3.61	-	-
賦活人数	6	0	5	1	2	8	2	3	2	2	6	9	3	8	1	2

ジレンマ状況における意思決定においてもマーケティングにおける意思決定と類似した脳部位に着目する必要があると考えられる。

#### 4. 終わりに

本研究では、交通行動分析と関連が深いと考えられる既存の研究を示した上で、脳機能計測を活用した交通行動分析の概念を検討した。また、fMRIを用いて実際に行った脳機能計測の研究例を示し、その有効性に関して議論した。実験結果に基づく消費者行動モデルの改善や新たなモデル構築の困難など、消費者ニューロサイエンスに関する限界は交通行動分析にも当てはまると考えられる。一方、行動モデルの構造が脳機能計測と一貫性があることを確認するだけでも、脳機能計測の活用の意義が見出せるのではないかと考えられる。

なお、本研究は科学研究費基盤研究 (A) 「健康に配慮した交通行動誘発のための学際的研究」 (研究課題 26249073) の補助を得ている。関係者に謹んで謝意を表したい。

#### 参考文献

- 1) 交通工学研究会：やさしい非集計分析，交通工学研究会，1993.
- 2) 北村隆一他：交通行動分析とモデリング，技報堂出版，2002.
- 3) Train, K.: *Fiscrete Choice Methods with Simulation*, Cambridge, 2003.
- 4) 藤井聡：社会的ジレンマの処方箋，pp.11-157, ナカニシヤ出版，2003.
- 5) 宮内哲：脳を測る一ヒトの脳機能の非侵襲的測定—心理学評論，56 卷 3 号，pp.414-454，2013.
- 6) Greene, J. D., Greene, J. D., Sommerville, R. B., Nystrom, L. E., Darley, J. M., and Cohen, J. D.: An fMRI Investigation of Emotional Engagement in Moral Judgment, *Science* 14 September 2001, Vol. 293 no. 5537, pp. 2105-2108, 2001
- 7) Moll, J., de Oliveira-Souza, R., Bramati, I. E., and Grafman, J.: Functional Networks in Emotional Moral and Nonmoral Social Judgments, *NeuroImage*, 16, pp.696-703, 2002.
- 8) 守口剛，竹村和久：消費者行動論，八千代出版，2012.
- 9) 朴啓彰他：大脳白質病変と警察庁方式 CRT 運転適性検査との関連性について，第 10 回 ITS シンポジウム，CD，2011.
- 10) 朴啓彰他：脳構造計測による高齢ドライバーの運転特性分析，土木計画学研究・講演集，Vol.49，CD，2014.
- 11) 朴啓彰他：脳部位容積クラスタリングによる交通事故特性分析，土木計画学研究・講演集，Vol.51，CD，2015.
- 12) 金森亮他：複数生体データ計測による運転ストレスに関する基礎的分析，土木計画学研究・講演集，Vol.51，CD，2015.
- 13) 井ノ口大地他：fMRI を利用した社会的ジレンマ状況における道德意識に関する研究，土木計画学研究・講演集，Vol.51，CD，2015.
- 14) McClure, S. M., Li, J., Tomlin, D., Cypert, K. S., Montague, L. M., and Montague, P. R.: Neural Correlates of Behavioral Preference for Culturally Familiar Drinks, *Neuron*, Vol.44, pp.379-387, 2004.
- 15) Solnais, C., Andreu-Perez, J., Sanchez-Fernandez, J., and Andreu-Abela, J.: The contribution of neuroscience to consumer research: A conceptual framework and empirical review, *Journal of Economic Psychology*, Vol.36, pp.68-81, 2013.
- 16) 市井健吾：脳機能計測データを利用した道德意識と行動との関係性に関する研究，東京工業大学修士論文，2017.

## DEVELOPMENT OF TRAVEL BEHAVIOR ANALYSIS BY MEASURING HUMAN BRAIN FUNCTION

Yasunori MUROMACHI and Kengo ICHII

In this research, we indicated existing studies of human brain function which are related to travel behavior analysis, and examined the concept of travel behavior analysis using brain function measurement. In addition, we showed an example of actual brain function measurement using fMRI and discussed its effectiveness. Limits on consumer neuroscience, such as improvement of consumer behavior model based on experimental results and difficulty in constructing new models, are also applicable to travel behavior analysis. On the other hand, the significance of utilization of brain function measurement can be found by confirming that the structure of behavior model is consistent with brain function measurement.