



|              |  |
|--------------|--|
| Title        | Neural Bases for Discriminating the Temporal Direction of Time's Arrow: An Awake Monkey fMRI Study |
| Author(s)    | 田中, 澄士   |
| Citation     | 大阪大学, 2025, 博士論文   |
| Version Type | VoR  |
| URL          | <a href="https://doi.org/10.18910/101886">https://doi.org/10.18910/101886</a>                      |
| rights       |  |
| Note         |  |

*The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA*

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

## 論文内容の要旨

|   |   |
|---|---|
| 氏名 ( 田中 澄士 )  |   |
| 論文題名  | Neural Bases for Discriminating the Temporal Direction of Time's Arrow: An Awake Monkey fMRI Study<br>(時間の矢の方向を識別する神経基盤：覚醒サルfMRI研究) |
| 論文内容の要旨   |   |
| <p>Time flows in one direction, a physical constraint humans recognize, as reflected in proverbs such as “there is no crying over spilt milk”. Recent studies from my laboratory have shown that human participants rely on specific cues to discriminate the direction of time’s arrow, and functional magnetic resonance imaging (fMRI) has suggested the existence of neural networks that show selectivity for temporal directionality. These neural bases are likely shared across species, as the physical constraint is universal, even if other species may not “recognize” it as a law. This dissertation aims to elucidate these neural bases through whole-brain fMRI in awake monkeys, investigating whether and how the non-human primate brain discriminates the direction of time’s arrow.</p> <p>A significant methodological contribution of this paper is the development of a completely non-invasive head restraint method using thermoplastic masks, described in Chapter 2. This method facilitates high-quality fMRI data acquisition while minimizing the effort and cost of experiment preparation, as well as the burden on the monkeys, addressing longstanding challenges in awake monkey fMRI research. The method not only enhances data reliability but also aligns with ethical principles in animal research.</p> <p>In the main experimental study (Chapter 3), monkeys were presented with video clips depicting biological and non-biological motion under three conditions: normal (forward and upright), temporally reversed, and spatially inverted. Whole-brain analyses revealed that the superior temporal sulcus (STS) and related cortical regions preferentially responded to temporally forward and spatially upright biological motion, reflecting sensitivity to naturalistic dynamics in both temporal and spatial domains. Additionally, subcortical structures, including the superior colliculus and pulvinar, were implicated in detecting temporal coherence in biological motion, suggesting their role in a subcortical-cortical network for discriminating the direction of time’s arrow. Conversely, reverse playback of non-biological motion elicited robust activation in the cerebellum and the STS, suggesting involvement in prediction-error processing triggered by unexpected or nonsensical motion. These findings advance our understanding of the neural substrates of time perception by highlighting the distinct contributions of cortical and subcortical regions in discriminating the direction of time’s arrow. The methodological advancements and experimental insights presented in this dissertation lay the groundwork for future research into the neural circuits underlying time perception in primates, with implications for understanding the evolution of temporal cognition and its neural basis.</p> |   |

## 論文審査の結果の要旨及び担当者

|         |                 |       |
|---------|-----------------|-------|
|         | 氏　名　(　田　中　溌　士　) |       |
|         | (職)             | 氏　名   |
| 論文審査担当者 | 主　查　　教授         | 北澤　茂  |
|         | 副　查　　教授         | 西本　伸志 |
|         | 副　查　　教授         | 中野　珠実 |

## 論文審査の結果の要旨

我々は、時間が過去から未来へと一方に向むくという法則を経験的に認識している。たとえ意識的な認識には至らずとも、他種の脳にも時間の方向性に適応した神経基盤が存在する可能性がある。本論文は、非ヒト靈長類の脳が時間の矢の方向を識別する神経基盤を持つかどうかを、全脳fMRIを用いて調べた研究の成果を報告している。論文前半では、非侵襲的な頭部固定方法を開発し、覚醒下の靈長類fMRI研究の効率を大幅に向上させたことを報告している。この手法により、動物への負担を軽減しつつ、高品質なデータの収集が可能となった。この成果はNeuroImage誌に掲載された。後半では、2頭のニホンザルに順方向、時間反転、空間反転の3条件でビデオを提示し、脳活動を解析した結果を報告している。解析の結果、上側頭溝後方に、時間の矢の向きに応じて選択的に応答を変化させる領域が見出された。さらに、上丘や視床枕などの皮質下構造も時間の矢の方向識別に寄与している可能性が示唆された。これらの結果は時間の矢の方向が非ヒト靈長類の皮質および皮質下の神経ネットワークによって識別されていることを示唆している。本論文の成果は、時間認識の進化的な起源とその神経基盤を理解する上で学術的意義が非常に高く、博士の学位を授与するに値するものと認める。また、iThenticate 2.0を用いた検証により、剽窃、引用漏れ、二重投稿などの問題がないことを確認した旨を付記する。