

論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称	博 士 （ 理 学 ）	氏名	古仲 裕貴
学位授与の要件	学位規則第4条第①・2項該当		
論文題目 意思決定における報酬と好奇心との葛藤の行動データ駆動的解読 (Behavioral data-driven decoding of the mental conflict between reward and curiosity in decision making)			
論文審査担当者 主 査 教 授 本 田 直 樹 審査委員 教 授 栗 田 多喜夫 審査委員 教 授 眞 溪 歩 審査委員 教 授 藤 本 仰 一 審査委員 特任准教授 中 江 健 (自然科学研究機構 生命創成探求センター)			
〔論文審査の要旨〕 2023年8月9日、古仲氏に研究発表をしてもらい、博士論文に値するかの審査を行った。古仲氏は心の葛藤を伴う意思決定を記述する ReCU モデルおよび行動データから解読する逆自由エネルギー原理法について、理路整然と説明し、その内容はオリジナリティや新規性ともに高いレベルにあると評価された。また、予備検討時に、数式を用いてより詳細な手法の議論を行う必要がある点や、先行モデルである強化学習との比較を明確に説明する必要がある点が指摘されたことを踏まえ、発表ではこれらの点について詳細に説明がなされていた。 質疑応答では栗田教授から、本研究ではラットの好奇心は時間的に変動するという仮定のもと推定が行われたが、好奇心が常に一定であるという仮定のもと推定を行い、モデル比較を実施することはなかったのかという質問があった。古仲氏は、好奇心を固定して推定した場合と変動させた場合のモデル比較は行わなかったが、むしろ実際の動物は状況依存的に好奇心が変動していると考えの方が生物学的に自然であることを説明し、モデルの妥当性を強調した。眞溪教授は動物の行動データに逆自由エネルギー原理法を適用したところ好奇心は負であると推定されたとあるが、好奇心が正になる行動データについて推定しなかったのかと質問した。これに対し、古仲氏はデータ制約から好奇心が正に推定されるような場合について推定を実施することができなかったが、好奇心が正の場合であっても推定が可能であることは人工データを用いた推定結果から確認済みであると結果と共に示し説明した。また眞溪教授は逆自由エネルギー原理法における好奇心の推定結果は正の方向にバイアスがかかるにも関わらず、人工データを用いた推定結果には、このようなバイアスが生じていない理由を尋ねた。古仲氏は、スライドで示した人工データの推定結果は一例に過ぎないことから、試行回数を増やせば正のバイアスが見られる可能性があると回答した。藤本教授は、本研究で提案された逆自由エネルギー原理法は具体的にどのような機械学習手法が実装されているのか、また同手法は本研究で提案された ReCU モデルとは異なるモデルであっても適用することが出来るのかと質問した。古仲氏は、逆自由エネルギー			

原理法は粒子フィルターとカルマンバックワードアルゴリズムを組み合わせて実装されていると回答した。その上で、同手法は **ReCU** モデル以外のモデルでも実装可能であることを、強化学習モデルに適用した結果を用いて説明した。中江准教授からは、推定した好奇心の時間微分と推定した期待情報量との間にある正の相関の妥当性について質問した。古仲氏は、この妥当性を強化するための新たな解析方法の可能性について論理的に提案する形で解答した。また、中江准教授からは、神経科学および自由エネルギー原理の研究の文脈において、行動データ駆動的に意思決定における心の揺れを解読した本研究は重要であると評価された。

この研究は **Nature** 姉妹誌である **Nature Computational Science** 誌に掲載されており、また掲載号において自由エネルギー原理の創始者である **Karl Friston** 教授も高く評価するコメントを寄せており、十分に高いレベルの研究であるといえる。

以上、審査の結果、本論文は統合生命科学研究科学位論文評価基準を満たし、著者は博士（理学）の学位を授与される十分な資格があるものと認められる。