



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	Nonequilibrium Dynamics in Sparse Neural Activity : Insights from State-Space Kinetic Ising Model
Author(s)	石原, 憲
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(生命科学)
Dissertation Number	甲第16780号
Issue Date	2026-03-25
DOI	https://doi.org/10.14943/doctoral.k16780
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/99625
Type	doctoral thesis
File Information	Ken_Ishihara_review.pdf, 審査の要旨 https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/



学 位 論 文 審 査 の 要 旨

博士の専攻分野の名称 博士（生命科学） 氏 名 石原 憲

審査担当者	主査	教 授	中 岡 慎 治
	副査	教 授	中 垣 俊 之
	副査	助 教	山 口 諒
	副査	准教授	島 崎 秀 昭（京都大学大学院情報学研究科）
	副査	准教授	寺 前 順之介（京都大学大学院情報学研究科）

学 位 論 文 題 名

Nonequilibrium Dynamics in Sparse Neural Activity:
Insights from State-Space Kinetic Ising Model

（スパースな神経活動における非平衡ダイナミクス：状態空間キネティック・イジングモデルに基づく知見）

博士学位論文審査等の結果について（報告）

本研究の目的は、非定常かつ非平衡な神経ダイナミクスを推定するため、逐次ベイズ推定に基づく新しい「状態空間動的イジングモデル」を開発することである。さらに、このモデルと平均場法を用いてエントロピー流（時間非対称的な因果活動）を推定し、マウスの一次視覚野（V1）ニューロンの活動解析を通じて、行動課題中の回路特性の変化がどのように課題成績と関連するかを解明することを目指した。

本研究の顕著な新規性は、時変する結合パラメータを不確実性と共に推定可能な動的イジングモデルの推論手法を、逐次ベイズの枠組みで世界で初めて提案した点にある。従来法が固定結合や点推定、均一なスケールリングを仮定していたのに対し、本手法は不均一なパラメータ変動を捉え、非定常なスパイクデータから直接エントロピー流を定量化できる点に独自性がある。

本研究は、開発した手法を用い、マウスが課題遂行中に示す一次視覚野 V1 の疎な集団活動がエントロピー流の増大と関連し、これが行動成績と関連することを見出した。これは、スパイク活動という微視的データと、fMRI 等で研究されてきた意識や認知状態に関連する巨視的なエントロピー指標とを橋渡しする成果である。本研究は「神経計算の熱力学的基盤」の理解を深めるとともに、注意や学習といった高次脳機能の多階層解析の発展に大きく貢献するものであり、博士号の授与に値すると判断する。

よって著者は、北海道大学博士（生命科学）の学位を授与される資格あるものと認める。