

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	ラットにおけるCognitive Map生成およびその適応に関する数理モデル
Title(English)	
著者(和文)	青田佳人
Author(English)	Yoshito Aota
出典(和文)	学位:博士(理学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第9741号, 授与年月日:2015年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:三宅 美博,新田 克己,中村 清彦,小野 功,宮下 英三
Citation(English)	Degree:, Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第9741号, Conferred date:2015/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第	号	学位申請者氏名		青田 佳人	
		氏 名	職 名		氏 名	職 名
論文審査 審査員	主査	三宅 美博	教授	審査員	宮下 英三	准教授
	審査員	新田 克己	教授			
		中村 清彦	教授			
		小野 功	准教授			

論文審査の要旨（2000 字程度）

本論文は、ラットの Cognitive Map において、その神経基盤である Place Cell およびエピソード性に着目し、数理モデル化の観点から、1)「見え」から「空間」の情報である Cognitive Map がいかに生成されるのか（Cognitive Map の生成の問題）、2) 生成された Cognitive Map は多様な環境変動にどのように適応できるのか（Cognitive Map の適応の問題）という2つの問題について研究を行ったものであり、「ラットにおける Cognitive Map 生成およびその適応に関する数理モデル」と題して8章より構成されている。

第1章「序論」では、空間認知とは何か、本研究の背景、解決すべき問題、研究目標、研究方針を述べている。Cognitive Map の生成の問題としては、ラットが「見え」からいかに Place Cell を生成し「空間」情報を獲得するのか、Cognitive Map の適応の問題としては、ラットがエピソードの組み合わせ編集を通じて動的環境にいかに適応するのかが問題であるとしている。

第2章「Place Cell の生成過程」では、「見え」から Place Cell が生成される数理モデルについて述べている。既存モデルでは実質的に位置情報を入力としていたため、「見え」から「空間」情報がいかに生成されるかを考える必要があるとし、海馬を想定した時系列学習則を導入したモデルを構築している。その結果、Place Cell の生成は行動パターンに依存して変化し、「見え」から Place Cell を生成するにはモデルは周囲を見渡しつつ移動する必要があることを示している。さらに Place Cell の安定性と行動の関係も分析し、ラットにおいて見渡し行動が Place Cell の方向依存性や安定性に影響することを示唆している。

第3章「Cognitive Map の機能発現」では、海馬の神経新生によって「見え」と行動を統合することで「空間」情報が生成され、それに基づいてショートカットという機能を発現できる数理モデルを構築している。特に、ラットがなぜ未経験の通路をショートカットとして選べるのかという問題を取り上げ、構築したモデルが新奇な迷路への遭遇前に多くの迷路を学習するほど、新奇な迷路においても未経験の最短経路を選択できるようになったことを示している。また、神経新生は理論的に2種類あり、その生物学的意義を Cognitive Map 生成の観点から述べている。

第4章「エピソードの生成と連結モデル」では、動的環境を3つのクラスに分け、その第1のクラスとしての決定論的に変化する環境に適応する数理モデルを構築している。特に、ラットがエピソードを想起・連結するという知見を踏まえ、エピソードの生成を基盤とし、その組み合わせ編集様式としての連結に基づくモデルを提案している。その結果、モデルはラットと同様に、迷路のゴールの位置の長い時系列変化も学習でき、異なる時系列パターン間でも学習の干渉を示さず、さらに学習したパターンを新しいパターンに適用する累積学習効果も見られたことを示している。

第5章「エピソードの階層化モデル」では、動的環境の第2のクラスとして、確率的に変化する環境に適応する数理モデルを構築している。特に、エピソードの組み合わせ編集様式として、エピソードの階層化モデルを提案している。前章のモデルでは確率的に変化する環境下でエピソードの発散が起きるという問題が残されていたが、エピソードの階層化を行うことで発散が抑えられることを示している。モデルからは確率的に変化する迷路課題を有限個のエピソードに場合分けすることが予想されたため、それをラットにおいて実験的に検証する方法も提案している。

第6章「エピソードの逆順想起モデル」では、動的環境の第3のクラスとして、空間が拡張する環境に適応する数理モデルを構築している。特に、エピソードの組み合わせ編集様式として、エピソードの逆順想起モデルを提案している。空間が拡張する迷路課題において未経験のルートを生成するためには、前のゴールを一時的に保持しつつエピソードの想起条件を緩和することが必要であり、それに基づいて一時的に保持したゴールから現状態までを逆順想起することが有効であることを示している。モデルから得られる予想を実験的に検証する方法についても説明している。

第7章「考察」では、Cognitive Mapの数理モデル化における生成と適応の問題、および今後の課題について述べている。特に、強化学習など他の計算論モデルではラットのCognitive Mapの生成と適応を説明できない点を踏まえつつ、提案モデルの有効性を整理している。さらに適用範囲が限定的であることも指摘し、モデルの行動科学的検証に加えて神経科学的な検証の必要性和、迷路課題以外の課題への適用可能性も検討すべきであると述べている。

第8章「結論」では、提案した数理モデルと結果、その生物学的妥当性と検証についてまとめている。さらに今後の課題として、Cognitive Mapの生成の問題ではモデルが「空間」情報をスケーリングできるようになること、Cognitive Mapの適応の問題では未経験のエピソードの「生成」が実現されることを提起している。

以上を要するに本論文は、これまで残されていたCognitive Mapの生成の問題と適応の問題について数理モデル化を行い、その生物学的妥当性も示しており、理学上貢献するところが極めて大きい。よって、本論文は、博士（理学）の学位論文として十分価値があるものと認められる。

注意：「論文審査の要旨及び審査員」は、東工大リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。