HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	Development of Spatial Cognition through Visuomotor Integration in Hierarchical Recurrent Neural Networks [an abstract of dissertation and a summary of dissertation review]
Author(s)	野口, 渉
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(情報科学)
Dissertation Number	甲第13727号
Issue Date	2019-09-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/75954
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Type	doctoral thesis
File Information	Wataru_Noguchi_review.pdf, 審査の要旨

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

学位論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称　博士 (情報科学)　氏名　野口　渉

審査担当者　主　査　教　授　山本 雅人
副　査　特任教授　栗原 正仁
副　査　教　授　川村 秀憲
副　査　教　授　小野 哲雄
副　査　准教授　飯塚 博幸

学位論文題名

Development of Spatial Cognition through Visuomotor Integration in Hierarchical Recurrent Neural Networks

（階層型リカレントニューラルネットワークを用いた視覚・運動統合による空間認知の発達）

空間位置を認識し目的の場所までナビゲーションする空間認知能力は生物の生存にとって必要な能力であり, その空間認知能力の発達の仕組みを解明することは, 生物の高度な空間認知能力を理解するために必要である. 空間認知能力の発達に関して, 脳神経科学的・認知科学的など様々なアプローチによる研究が行われてきた. 本学位論文では, 情報科学的な手法を用いることにより, 生物と同じように経験を通して空間認知能力を発達可能なシミュレーションモデルの構築を試みている.

情報科学的アプローチとして, コンピュータシミュレーション上に生物の空間認知能力の発達をモデル化することで, 空間認知の発達メカニズムを明らかにしようとする研究が行われている. しかし, 既存研究においては, 空間的位置関係を直接教示するなど, 空間に関する知識をモデルに前提として組み込んでしまっている場合がほとんどであり, 生物が事前知識なく経験を通して空間認知の発達するシミュレーションは実現されていない. 空間に関する知識を前提とせず, 一人称的な視覚経験を通して場所の認識を発達するモデルも提案されているが, 空間構造・空間的位置関係の認識の発達は実現されていない. これらの先行研究に対し, 本学位論文では, 空間構造に関する知識を前提とせず視覚・運動経験の学習のみを通して認知地図的な空間構造認識の発達シミュレーションを試みている. 特に, 時系列情報を認識する Recurrent Neural Network(RNN) が階層的に結合した階層型 RNN モデルを用いた視覚・運動統合学習を提案している.

本学位論文は, 全 4 章で構成されている. 第 1 章では, 研究背景と目的を述べている. 特に, 空間認知の発達モデルに関する先行研究の問題点を述べ, 本学位論文で提案される視覚・運動経験からの空間認知発達のシミュレーションの必要性を述べている.

第 2 章では, 空間認知を発達するモデルとして, 上位・下位二つの RNN をもつ階層型 RNN,Hierarchical Recurrent Neural Network (HRNN) を導入している. HRNN は, 上位・下位の RNN のうち, 上位 RNN に視覚・運動系列に含まれる大域的な情報を認識することが可能なモデルである. この HRNN を用いて, シミュレーション上の移動ロボットの視覚・運動経験が学習される. 結果として,HRNN は視覚・運動の予測学習を通して, 内部状態に認知地図的な空間的構造の表現が発達することが示される. 特に, 運動感覚のみから視覚を長期的に予測する視覚・運動の統合学習が空間構造の認識の発達には必要であることが示されてる. また, 移動ロボットの行動のランダムさを

様々に変えてシミュレーションした実験により, 空間構造の認識の発達における適度な行動のランダムさの必要性が示されている. また, 視覚的特徴が異なる複数の環境間においても複数の環境間で共通する空間構造の認識の発達が可能なモデルが提案されている. さらに, 実世界で取得したヒトの視覚・運動系列を用いたシミュレーションによって,HRNN によるシミュレーションが実世界における空間構造の認識の発達モデルとして適用可能であることが示される.

第 3 章では, ナビゲーションをコントロールするための Navigational HRNN (NHRNN) モデルが提案され, 視覚・運動の経験からの空間ナビゲーション能力の発達をシミュレーションしている.NHRNN は第 2 章で用いた HRNN モデルに上位レベル RNN を追加した構造をもち, 目的地を示す視覚画像を元に, 教師として与えられるナビゲーション行動に伴う視覚・運動系列を模倣して生成するように学習する.NHRNN のナビゲーション学習は, 障害物が存在しないオープンスペースな環境と, 障害物の配置が変化することで構造が変化する環境の 2 つの場合において行われる. 特に, 構造が変化する環境においては, 目的地の空間的位置の表現が内部状態に獲得され, 通ったことのない場所を通ってナビゲーションするショートカット行動をとることが確認されている. つまり, 目的地の空間的位置を考慮する空間ナビゲーション能力が発達したことを示している. この結果をもって, 空間的位置を考慮したナビゲーション能力は, 様々な構造の環境において効率的なナビゲーションを行うために発達することが示されている.

第 4 章においては, シミュレーション結果のまとめと結果から示唆される空間認知能力の発達の仕組みについて考察している. さらに, 今後の研究の方向などを示している.

これを要するに, 著者は, 一部の生物がもつような空間認知能力の発達シミュレーションを可能とする階層型 RNN モデルの構築を行った. 特に, 空間構造に関する知識を前提とせず, 視覚・運動という感覚の経験のみから, 空間構造の認識と空間的位置を考慮したナビゲーション能力の発達をシミュレーションしている. これらの成果は, 自律ロボットなどの空間認知やナビゲーションなどの工学的応用のみならず, 生物の示す高度な空間認知能力の発達の仕組みに関しても有益な知見を得たものであり, 情報科学, および認知科学の分野に対して貢献するところ大なるものがある. よって著者は, 北海道大学博士 (情報科学) の学位を授与される資格あるものと認める.