

(続紙 1)

京都大学	博士 (生命科学)	氏名	立木 佑宇人
論文題目	バーンズ迷路における空間スケールがマウスの空間学習に与える影響		
(論文内容の要旨)			
<p>動物は、報酬を目指して最適なルートを構築し行動する能力、すなわちナビゲーション能力を有している。この能力は環境のスケールを問わず発揮され、人間の場合、部屋の中から街の中といった幅広いスケールで有効である。ナビゲーションは行動学、生理学、情報学の観点から詳細に研究されてきたが、空間スケールがナビゲーションにどのような影響を与えるかについては、未だ多くの疑問が残されている。</p> <p>本論文の第一部では、バーンズ迷路を用いた実験を通じて、マウスが異なる空間スケールでどのように学習するかを探究した。一般的な直径 1 メートルのバーンズ迷路と、新たに構築した直径 3 メートルのバーンズ迷路を用いて、2 つのスケールで学習パターンを比較した。その結果、学習速度、解決方略、探索軌跡などの指標において顕著な差異が観察された。また、一方の迷路での経験が他方での学習を促進することが確認され、これはマウスが異なるスケールの課題から共通の構造を学習していることを示唆している。興味深いことに、この学習効果は対称的ではなく、迷路を経験する順序に依存していた。</p> <p>第二部では、Q 学習と SR 学習の 2 種類の強化学習モデルを用いて、仮想のバーンズ迷路でのシミュレーションを行い、第一部での実験結果を検証した。両学習モデルは仮想迷路を学習できたが、テーブルサイズというパラメータが重要であることが判明した。テーブルサイズは強化学習エージェントが定義する状態の数を意味し、環境の空間解像度を表している。空間解像度と学習の関係には最適値が存在し、特定のスケールのバーンズ迷路に最適な解像度があることが明らかとなった。また、異なるスケール間のメタ学習をシミュレーションすることで、SR 学習により第一部の結果の一部を再現できた。</p> <p>本論文は、バーンズ迷路の空間スケールが現在および将来の空間学習に与える影響を実験的、理論的に探索、検証した最初の研究である。</p>			

(続紙 2)

(論文審査の結果の要旨)

空間学習は、動物がその環境内での位置や方向を認識し記憶する能力を指し、これは生存に不可欠なスキルの一つである。動物は数センチメートルから数キロメートルの異なる空間スケールで空間学習が可能である。従来の実験室の研究では、空間学習に関する課題は主に小規模なスケール(約 1 メートル)で構成され、そのため空間学習のメカニズムが異なるスケールでどのように機能するかについての理解は限られていた。申請者は、空間学習が異なる空間スケールでどのように発生するか、そしてこれらのスケール間での学習が互いにどのように影響を与えるかを明らかにすることを目的として本研究を行なった。

本研究の第一部では、従来のバーンズ迷路の3倍の大きさを持つ新しいバーンズ迷路を構築し、1m のバーンズ迷路(BM1)と 3m のバーンズ迷路(BM3)での空間学習の特性を比較した。この比較から、異なるスケールでの空間学習が異なる特性を持つことを明らかにした。また、異なるスケールのバーンズ迷路における空間学習が、もう一方のバーンズ迷路における学習を促進することも明らかになり、この促進効果は学習の順序に依存して非対称であることが示された。さらに、第二部では強化学習モデルを用いて空間解像度が空間学習に与える影響に焦点を当て、空間スケールに固有の最適な空間解像度が存在することを明らかにし、SR 学習において第一部の結果を部分的に再現することができた。

この研究は、異なるスケールでの空間学習に関する新しい洞察を提供するとともに、従来の研究では見過ごされがちだった空間スケールの影響を強調した。異なった空間スケール間での学習の相互作用に関する発見は、空間学習の柔軟性と適応性に新たな光を当て、生物が複雑な環境でのナビゲーションをどのように最適化するかについての理解を深めるものであった。また、強化学習モデルを用いた空間解像度の影響の研究は、生物学的な空間学習プロセスを模倣する人工知能やロボティクスへの応用にもつながる可能性がある。

申請者は今後の研究方針として、海馬の神経活動の計測を通じて、BM1 と BM3 の空間学習におけるより深いメカニズムの解明を目指すことを挙げた。これは、空間学習の神経基盤に関する理解をさらに進めることに貢献し得る。また、モデリングの改善により、さらに生体に近い強化学習モデルの開発を通じて、理論的なモデリングからのメカニズム解明にも寄与することが期待されることも提案した。このように、申請者による本研究は、空間学習に関する従来理解を拡張し、新しい研究の道を開くものであると評価される。

以上のように、本論文は神経行動学・実験心理学・数理モデリングにおける優れた研究能力、そして生命科学の理解・発展に寄与する新しい知見が示されており、論理的かつ一貫性を持って記述されている。よって博士(生命科学)の学位論文として価値あるものと認めた。更に、令和6年1月30日に、論文内容とそれに関連した口頭試問を行った結果、合格と認めた。

論文内容の要旨及び審査の結果の要旨は、本学学術情報リポジトリに掲載し、公表とする。特許申請、雑誌掲載等の関係により、学位授与後即日公表することに支障がある場合は、以下に公表可能とする日付を記入すること。(ただし、学位規則第8条の規定により、猶予期間は学位授与日から3ヶ月以内を記入すること。)