

審査の結果の要旨

氏 名 峯岸 諒

本論文は、生物の環境適応行動の背景にある脳機能を調べるための手法として、生物の身体を機械に置き換えた「脳-機械融合システム」を提案・構築し、これを用いた適応的行動生成に関する実験を行った研究の成果をまとめたもので、5章より構成される。

第1章は序論であって、研究の背景、目的、論文の構成が述べられている。環境に適応する脳機能を調べるために、生物と環境の間の相互作用に人為的な操作を加えることが可能、かつ動物の行動タスクや神経活動が観察できるものとして、従来の神経行動学の手法との比較の中で、生物の身体を機械に置き換えた「脳-機械融合システム」の必要性を提案し、昆虫脳をモデルとしてこれを構築し、適応行動の一つとして、匂い源探索行動時の複数感覚統合の機能について調べることを述べられている。

第2章は「脳-機械融合システムを構築するための生物学的基盤」として、脳内の行動指令信号と推定されている信号が統合される、頸運動神経 2nd CNb の形態および生理機能、頸運動神経が引き起こす頸の回転運動と歩行運動の関係を明らかにし、2nd CNb の活動が融合システムの行動制御信号として使用可能かを検討している。染色実験による 2nd CNb を構成する 5 ニューロンの形態同定、神経活動計測による 5 ニューロンの応答分類、探索行動パターンに対応した応答パターンや左右での相反的な興奮応答の記録が行われた。行動実験による歩行中の頭部の回転角度と体軸の回転角速度の対応の確認も行われた。これらの結果から、2nd CNb の神経活動中の 4 ユニットが探索行動を指令する可能性があり、嗅覚と視覚の刺激に対して応答性を持つことから、複数感覚統合処理を調べるうえで融合システムの行動制御信号として妥当なものであると述べている。

第3章は「脳-機械融合システムの構築」として、融合システムを構築する上での技術的課題とその克服、融合システムを用いた雄カイコガの特徴的行動の再現について述べられている。製作した小型生体アンプにより、ロボット上で 2nd CNb の神経活動を安定計測し、ロボットの行動制御信号に変換する変換則の設定について述べている。また、融合システムを用いて、雄カイコガと同等の匂いへの応答性、定位性能を持つことを示し、本融合システムが適応行動生成に関する実験に利用可能であると結論づけている。

第4章は「脳-機械融合システムを用いた適応的行動生成に関する研究」として、融合システムを用いた視覚フィードバックに関する実験、匂い源探索時における視覚情報の統合機能に関する実験を行い、融合システムが適応的行動生成のひとつである複数感覚統合

について調べるためのプラットフォームとなりうることを示している。視覚フィードバックに関する実験としては、停止状態のロボットに与えた強制的な回転運動に対して運動方向を打ち消すための神経活動が見られること、走行状態のロボットに回転運動を外乱として与えたときに補正的な応答が得られ、ロボットの姿勢維持運動が観察されることが示されている。匂い源定位実験においては左右のモータゲインに対するバイアス変化に対する神経出力の抑制、ロボットの回転角速度の倍化に対する神経出力の抑制が存在することを明らかにした。本論文においてはじめて、実環境中でのタスク達成中における複数感覚統合に関する知見が得られた。さらに、本融合システム上では視覚、嗅覚の統合中の脳内神経活動の計測が可能なことから、複数感覚統合の神経機構を調べるための実験プラットフォームが構築されたといえる。

第5章は結論であって、得られた成果を総括するとともに将来展望について述べている。構築した融合システム上では安定した神経活動計測が可能であるため、計測点を追加することにより、脳内部における複数感覚統合時の適応的な情報処理について、より詳細な機構の解明を目指すことが可能である。また、得られた知見から行動生成モデルを作り、その出力を実際の行動指令信号と比較することにより、モデルの検証を行うことで脳が生成する適応能の理解をさらに深めるアプローチとなることを述べている。

以上のように、本論文では生物の環境適応能を調べるための新しい手法として「脳 - 機械融合システム」を提案・構築し、本融合システムにより雄カイコガの匂い源探索時の定型的行動パターンや匂い源定位を再現し、行動指令信号の生物学的機能をはじめて検証した。また、融合システム上で生じる視覚フィードバックが、匂い源探索行動の指令信号に直接反映されること、さらには、融合システムの回転角速度のゲイン操作による想定外の行動や感覚フィードバックに対して、行動指令信号が左右間で調節され、適切に探索行動が発現することを明らかにした。このような「脳 - 機械融合システム」は生物学と工学分野の融合により達成されるものであり、本融合システム、そして本システムにより得られた適応能に関する知見は、神経生物学や機械工学双方の発展に大きく貢献する、真に学際的な研究成果と判断される。

よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。