

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

題目(和文)	昆虫脳情報処理に基づく匂い源探索における適応的行動選択過程の解明と工学的実現
Title(English)	
著者(和文)	志垣俊介
Author(English)	Shunsuke Shigaki
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第10788号, 授与年月日:2018年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:倉林 大輔,蜂屋 弘之,中島 求,塚越 秀行,田中 博人
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第10788号, Conferred date:2018/3/26, 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

(博士課程)

## 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	志垣 俊介	
論文審査 審査員		氏名	職名		
	主査	倉林大輔	教授	田中博人	准教授
	審査員	蜂屋弘之	教授		
		中島 求	教授		
		塚越秀行	准教授		

## 論文審査の要旨（2000字程度）

本論文は「昆虫脳情報処理に基づく匂い源探索における適応的行動選択過程の解明と工学的実現」と題し、全6章より構成されている。

第1章では、本論文の研究背景および目的について述べている。化学感覚に基づく匂い源探索問題は、危険物検出・災害時探索・火災発見などに有用である一方、自律型ロボットによるリアルタイムの解決が難しい問題であることを述べている。その上で、本論文では普遍的に匂い源探索能力を持つ生物に注目し、その中でカイコガ *Bombyx mori* 雄成虫をモデル生物として、その適応的行動選択過程をモデル化することにより解決を図ることを述べている。また、カイコガ雄成虫を採用した理由として、カイコガ雄成虫は羽化後、雌を探索する行動しかないこと、その探索は空気中を漂う性フェロモンによって行われるため、刺激入力明確であり、かつ雌探索行動が匂い源探索問題に相当すること、を述べている。

第2章では、本論文の問題設定について述べている。まず、従来研究を概観し、カイコガ雄成虫は性フェロモンを受容すると、短時間の直進（サージ）の後に回転（ジグザグとループ）を行う「定型行動」を発現する、という知見が古くから知られていること、またこれを記号的に模倣した研究は既に存在するが、匂い源探索性能がカイコガ雄成虫に大きく劣る点を指摘している。その上で本論文では、神経応答の計測を基盤とする定量的な解析に基づいて、ロボットのための匂い源探索アルゴリズム構築を図ることを述べている。

第3章では、匂い源探索行動中のカイコガ雄成虫が、どのような状況でどのように定型行動の構成要素である直進と回転を発現しているのか、定量的な解析を行っている。この目的のために、カイコガ雄成虫を拘束することなく刺激入力・行動出力の関係を計測可能な「3自由度サーボスフィア」なる新奇な実験装置を構築するとともに、飛翔筋活動電位に基づく直進・回転動作の弁別を実現している。これによって、行動計測での不確定要素を減じ、昆虫の動作を高精度・定量的に推定可能となった。この結果、従来は固定的とされてきた直進から回転、回転から直線への遷移が状況・履歴依存的事であることが示された。具体的には、初期の刺激受容に対して複数回の受容経験後は直進行動の持続時間が減少することが明らかにされた。

第4章では、刺激受容時に回転から直進行動へ遷移する確率について、脳神経活動に基づく解析を行っている。はじめに、従前の知見では、カイコガ雄成虫は回転行動中に匂い刺激を受容すると直進行動に切り替わるものとされてきたこと、一方で生物行動の観測においては、必ずしもそのような遷移が起こらないという観察結果が報告されていたこと、を指摘している。これに対し、この現象が疲労などによる知覚レベルのものなのか、行動選択レベルのものであるかを調べるため、脳への電極刺入による感覚知覚状態の解析と行動出力との同時計測を行っている。染色による刺入位置確認に基づく運動生成中枢部位の電気生理計測により、カイコガ雄成虫では刺激受容頻度および受容履歴に基づいて、回転から直進行動への遷移確率が動的に変化するものであり、固定的に遷移するのではないことを明らかにしている。すなわち、匂い源探索を支えるアルゴリズムにおける適応的行動選択過程の一部を明らかにすることに成功している。

第5章では、第4章までに得られた知見を自律型移動ロボットへ実装し、匂い源探索における機能的影響を構成的アプローチにより検証している。具体的には、回転から直進行動への遷移確率について、刺激受容頻度およびロボット状態量の関数としてモデル化し、シミュレーションを併用してパラメタの設計を行っている。また、現実のカイコガが翅の羽ばたきにより前方の空気を積極的に吸気し後方からの匂い刺激を排除している、という身体的機能性を考慮した吸気系を設計し、ロボットへ搭載している。エタノールを用いた定位実験により、従前の記号的模倣アルゴリズムや行動遷移確率を一定としたアルゴリズムに比べ、本論文で構築したアルゴリズムが定位成功率・定位所要時間の双方において優れた性能を示したことを述べている。

第6章では、本論文の主要な成果をまとめ、今後の発展について考察している。

以上を要するに、本研究は昆虫が持つ化学感覚による空間認知機能を解明し、定型的・記号的な理解から脱して定量的・状況適応的アルゴリズム構築に至らしめ、自律型移動ロボットによる匂い源探索性能の向上を実現したものであることから、工学上・工業上寄与するところが大きい。よって、博士（工学）の学位論文として十分な価値を有すると認められる。

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。