

氏名(本籍)	あん どう のり やす 安藤規泰(東京都)		
学位の種類	博士(理学)		
学位記番号	博甲第3330号		
学位授与年月日	平成16年3月25日		
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当		
審査研究科	生物科学研究科		
学位論文題目	<b>Electrophysiological Studies on Wing-Flapping Flight Mechanisms in a Free-Flying Hawkmoth by Novel Micro-Telemetry System</b> (超小型テレメーターを用いたスズメガの羽ばたき飛行の電気生理的研究)		
主査	筑波大学教授	理学博士	神崎亮平
副査	筑波大学教授	理学博士	斎藤建彦
副査	筑波大学助教授	理学博士	山岸宏
副査	筑波大学助教授	理学博士	佐藤忍

## 論文の内容の要旨

スズメガの飛行は2対の翅の羽ばたき運動によって達成されている。翅を駆動する飛翔筋は、運動神経からの指令によってのみ収縮する同調筋である。したがって、スズメガの飛行システムはわずか30ms程度の短い羽ばたきサイクルごとに、適切な飛翔筋の活動パターンを形成する必要がある。飛行中の飛翔筋の活動パターンの計測は、このような精緻な飛行システムの内部機構を解明する手がかりになるが、そのためには、従来の固定飛行における計測のみではなく、実際に自由飛行を行っている昆虫から計測することが必要である。

筆者は鱗翅目昆虫のエビガラスズメ (*Agrius convolvuli*) に搭載可能な、0.25gの2チャンネルの小型送信機を開発した。この送信機を用いた筋電位のテレメトリと、高速度撮影による運動の解析を組み合わせることで、自由飛行中の主な飛翔筋活動パターンの形成と運動に果たす役割について解析を行った。

筆者はまずスズメガの主要な翅打ち下ろし筋である背縦走筋(DLMs)と打ち上げ筋の背腹筋(DVMs)の解析を行った。これらは外骨格の変形を介して翅を駆動する間接飛翔筋であり、その活動パターンは変化が少ないものと考えられてきた。テレメトリによって得られたDLMsの活動から推定される羽ばたき周波数は30Hzから40Hzの範囲で、羽ばたきサイクルごとに変化し、垂直加速度と正の相関を示したことから、羽ばたき周波数による積極的な揚力の調節が行われていることが明らかになった。さらに、DLMsの活動周期に依存したDVMsの位相遅れが観察されたことから、周波数に応じた羽ばたき運動の変化が起こっている可能性を示した。

筆者はまた、これまでほぼ同期して活動するものと考えられてきた、左右のDLMs、DVMsの活動の差に注目した。DVMsの左右の位相差は、ターンを表す運動パラメータ(ロール角、ヨー角速度)と相関を示したことから、DVMsは左右の運動に関する指令を受けている可能性のあることを示した。さらに、片側の前翅先端を切除により、同側のDLMsとDVMsの位相が共に遅れたことから、これら左右の間接飛翔筋は、独立した指令を受けていることが明らかになった。間接飛翔筋は、胸部の変形を介する翅の駆動方式であることから、細かな制御は難しいと考えられてきたが、今回の知見は、間接飛翔筋も羽ばたきサイクル

ごとに細かな調節を受け、飛行制御に積極的に関わっていることを示すものである。

筆者はさらに、翅を直接駆動する直接飛翔筋の計測も行った。今回計測した第三翅底骨筋(3AXM)は、飛行中に大きな活動パターンの変化を示すことが固定飛行の実験で知られている。テレメトリによる計測結果から、3AXMは羽ばたきサイクルと密接に対応して活動することが分かった。さらに、3AXMの位相変化は、従来の知見と比べその変化は小さく、間接飛翔筋のDVMsと近い位相で活動していた。この3AXMの位相変化は、前後垂直方向の制御に重要なピッチ角度(水平面に対する体軸角度)との間に相関が認められた。このことから3AXMの活動変化は従来の知見に比べ小さいものの、そのわずかな活動変化が運動に対して十分な役割を果たしていると考えられる。

## 審 査 の 結 果 の 要 旨

本研究は、自由飛行中の昆虫から生体情報を記録するテレメトリ技術を確立し、それを用いた間接飛翔筋、直接飛翔筋の活動パターンの計測と、詳細な昆虫の運動解析を対応させることにより、羽ばたき飛行における間接飛翔筋と直接飛翔筋の役割を解析した。その結果、各飛翔筋のわずかな活動変化とその相互関係によってスズメガの機敏な飛行が達成されることをはじめて示すことに成功した。また、本研究で得られたこのような知見は、従来の固定飛行の実験では得難い知見であり、飛翔筋活動を把握する上で、テレメトリによる自由飛行実験が有効であることを実証する結果ともなった。このように新しい計測技術を開発し、飛翔筋活動と運動との対応関係を明らかにしたことは、昆虫の羽ばたき飛行制御システムの解明のための重要な資料を提供した点で高く評価できる。

よって、著者は博士(理学)の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。