HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	Study on the hair plate proprioceptors in antennal mechanosensory system of crickets : Developmental and neuroanatomical perspectives
Author(s)	呂, 惠
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(生命科学)
Dissertation Number	甲第17010号
Issue Date	2026-06-30
DOI	https://doi.org/10.14943/doctoral.k17010
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/100063
Type	doctoral thesis
File Information	Hui_LYU_review.pdf, 審査の要旨 https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/

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（生命科学）　氏 名　呂　恵

審査担当者	主査	教 授 小 川 宏 人
	副査	教 授 和 多 和 宏
	副査	准教授 田 中 暢 明

学 位 論 文 題 名

Study on the hair plate proprioceptors in antennal mechanosensory system of crickets
－Developmental and neuroanatomical perspectives－
（コオロギ触角機械感覚システムにおける毛板自己受容器の研究
－発生学的、神経解剖学的観点から－）

博士学位論文審査等の結果について（報告）

動物が外界を知覚する方法は、受動的感覚（Passive sensing）と能動的感覚（Active sensing）に大別される。前者は外界からの刺激のエネルギーを感覚器が受動的に捉えるのに対し、後者は動物が外界に能動的に働きかけ、物体によって生じるエネルギー変化を捉える。後者には、コウモリのエコーロケーションや電気魚の電場受容などの遠隔的なものと、げっ歯類のヒゲ感覚や昆虫の触角感覚などの接触による機械感覚のような近接的ものに分けることができる。コオロギやゴキブリなどの昆虫は触角を用いて能動的に周囲の環境を走査し、障害物を知覚する。このactive sensingでは、物体への接触とともに、走査している触角の位置情報が重要な手掛かりとなる。触角の位置情報は、その基部に存在する毛板（ hair plate）と呼ばれる自己受容器が提供している。コオロギやゴキブリなどの不完全変態昆虫では、孵化直後の幼虫も触角を備え、外界を探索する行動を示す。したがって、毛板は発達初期から空間認知や運動制御に重要な役割を果たすと考えられるが、毛板を構成する機械感覚子の形態や３次元的な空間配置の詳細や、その発達変化については、これまで明らかにされていなかった。

そこで本論文は、フタホシコオロギ（*Gryllus bimaculatus*）をモデルとして、触角毛板の構造的基盤とその発達変化を明らかにすることを目的として、各発達段階における毛板感覚子の外部形態と３次元配置、それらの求心性神経線維の中枢投射様式を解析した。コオロギの触角は、可動軸が互いに直交する、頭部と柄節間の関節と柄節と梗節間の関節で制御されており、前者は上下に後者は左右に可動する。このように、触角の動きと関節の構造の対応関係が明確であるため、他の昆虫に比べて、触角運動と感覚入力との関係を解析しやすい。呂氏はこれらの特徴を踏まえ、走査電子顕微鏡による微細構造の観察と共焦点レーザー顕微鏡を用いた三次元再構成を組み合わせ、各発達段階における毛板構造を比較した。さらに、蛍光色素による順行性神経標識法を用いて毛板感覚子の求心性線維を可視化し、頭部神経節における投射経路を明らかにした。

第一章では、成虫コオロギの触角基部毛板の形態的特徴とその三次元的配置を詳細に解析した。その結果、柄節には背側と腹側に、梗節には内側・外側に毛板が存在することから、柄節毛板は触角の仰角を、梗節毛板は水平角を検出していることが示唆された。また、個々の感覚子の位置・ 長さ・本数を解析したところ、感覚子の配置は左右対称性を保ちながら、個体間で高い再現性を示した。さらに、各毛板内部においても、感覚毛は一定の相対位置関係を保った規則的な配列を形成していた。これらの結果は、コオロギ成虫における触角位置に関する自己受容入力の

空間的基盤が、高度に洗練されていることを示した。

第二章では、第一章で確立した三次元解析法を用い、初齢幼虫から成虫に至るまでの発達段階における毛板器官の形態を定量的に比較した。毛板感覚子の数は齢数にともなって増加するが、脱皮によって節表面積の拡大しても、前齢における感覚毛の位置は保持されたまま、その隙間を埋めるように新たな感覚子が追加されていた。また、毛板を構成する感覚子群の空間配置の特徴は発達段階を通して保存され、同一齢であれば個体間で高い一致性を示した。すなわち、毛板の空間的配置は遺伝的に制御されており、発達に伴って触角が成長しても機械感覚入力の空間分解能が維持されていると考えられた。さらに、発達に伴って感覚毛の長さ分布は変化し、短い感覚子の集団に、より長い感覚子が加わっていくことがわかった。これによって、毛板全体で検出する関節角度の範囲が維持されている可能性がある。これらの結果から、毛板感覚子は単に発達に伴って増加するだけではなく、空間的秩序を保つことによって自己受容器としての機能を精緻化していくと考えられた。

第三章では、毛板感覚子の求心性線維の順行性染色を行い、それらが脳内の触角機械感覚運動中枢（antennal mechanosensory and motor center: AMMC）および食道下神経節（subesophageal ganglion: SOG）に投射することを明らかにした。その結果、どの毛板の求心性線維も、AMMC に収束し、内側に軸索側枝を分枝した後、さらに軸索は脳から SOG へ下行して終末していた。さらに、成虫の柄節背側および梗節外側の毛板から異なる蛍光色素を導入して二重染色を行い、中枢投射パターンを比較した。毛板の位置によって AMMC 内の軸索側枝の形態や走行方向にはわずかな違いが認められたにものの、投射領域の明確な差異は見られなかった。これらの結果は、毛板からの入力投射には、毛板位置による地図的構成は存在せず、異なる可動軸に対応する触角位置情報は同一の一次感覚処理領域で統合されることを示した。

これを要するに、呂氏はコオロギ触角基部の毛板を対象とした形態学的・神経解剖学的観察を行い、発達段階を追って解析することによって、昆虫触角器官の能動的感覚の基盤となる自己受容器機能とその発達過程をはじめて記載した。この知見は、昆虫の触角機械感覚系における空間情報表現の神経基盤を理解する上で重要な手掛かりを提供するものであり、行動神経科学分野における貢献は大きい。よって著者は、北海道大学博士（生命科学）の学位を授与される資格あるものと認める。