

学 位 論 文 要 旨

氏 名 渡邊 賢二

題 目 遊泳魚の側線感覚機能に関する電気生理学的研究
(Electrophysiological Studies on Lateral Line Properties of Swimming Fish)

側線は魚類および一部の両生類に見られる機械感覚器であり、体表の水の流れの情報を受容し、成群行動、索餌行動、生殖行動等において重要な役割を果たすことが知られている。しかし、側線の感覚受容能力に関する基礎的知見が集積されてきているものの、これまでの研究は感覚器の生理学的機能に特化したものが多く、魚類の生息する流体環境や魚類の自己運動により生じる流体の擾乱等が感覚能力に及ぼす影響については論じられていない。本研究では、コイ科コイ *Cyprinus carpio* を主なモデル生物とし、機能の相違が推察されている2種類の側線感丘（表在感丘および管感丘）の分布、それぞれの種類の側線感丘の振動刺激受容能力、自己の遊泳運動が側線に及ぼす影響、遊泳運動にともなって生じる遠心性側線神経の活動について明らかにし、遊泳時の魚類の側線感覚能力について考察した。第2章では、生活様式の異なる3魚種（コイ、カワムツ *Zacco temmincki*, ヨシノボリ *Rhinogobius* sp.）において、表在感丘と管感丘の分布様式、各種類の感丘の分布数、体部位別の感度極性を調べた。表在感丘数はコイで最も多く、次いでヨシノボリ、カワムツの順に多く、管器孔はヨシノボリ属では頭部のみで認められ、コイ、カワムツでは頭部と体幹部に広く分布した。表在感丘の感度極性は、3魚種ともに頭部で多様な方向に感度を示し、体幹部および尾鰭の感丘は多くが体軸と同じ方向に感度を持つことが明らかとなった。機能的に流体の速度に対応する感覚器と考えられている表在感丘の数を同じコイ科のコイとカワムツで比較すると、より淀みに生息するコイで多いことが示された。第3章では、コイ体幹部に分布する表在感丘と管感丘の振動刺激受容閾値を個別に調べ、これまで未解明であった両種の機能的相違を検証した。それぞれの感丘を支配する求心性側線神経応答の分析より、表在感丘および管感丘ともにハイカットフィルターを備える振動センサーの特徴を提示し、表在感丘の高感度帯は10~100Hz、管感丘では10~200Hzであることを明らかにした。第3章では、遊泳運動時の求心性側線神経応答を分析し、魚体の屈曲が側線を刺激し、求心性側線神経の放電頻度が高くなることを明らかにした。側線神経の活動は魚体の屈曲運動の速度に比例し、より速い速力での遊泳は自己の側線をより強く刺激することが示唆された。第4章では、抹消の感覚器の機能抑制に関係する遠心性側線神経の活動を調べ、体幹部の屈曲や口部・鰓蓋の開閉運動にもともなって神経活動が興奮することが示された。ただし、遠心性側線神経の放電頻度と魚体運動の速度には密接な関係は見いだせなかった。遠心性側線神経の放電は体幹部の動きと同期または先行して生じることが示され、魚類が運動開始前に抹消の側線器の機能を制御している可能性が示された。本研究は、これまでに推測されていた側線器の振動刺激受容能力を種類別に明らかにするとともに、遊泳運動時の側線が自己運動による刺激や生体内の生理的メカニズムにより本来の受容能力を低下させることを強く示唆し、側線感覚の関わる魚類行動の理解に寄与する知見を得た。

学 位 論 文 要 旨

氏 名	Kenji WATANABE
題 目	Electrophysiological Studies on Lateral Line Properties of Swimming Fish (遊泳魚の側線感覚機能に関する電気生理学的研究)

The lateral line is a unique sensory modality found in fishes and some amphibians. This organ is well known as a sensor of water motions and has an important role in schooling, food foraging and mating behavior. Although knowledge of lateral line sensory capability has been cumulated, previous studies mainly focused on its physiological functions, but had not considered other factors possibly affecting sensory functions such as environmental noise condition and sensory disturbance induced by fish self-motions. Hence, additional knowledge on lateral line to describe the sensory capability during exposure to natural conditions is necessary. In this study, the distribution and sensory functions of lateral line neuromasts, the sensory disturbance caused by fish's self-motion, and the inhibitory activities of efferent lateral line nerve induced by self motion were studied using carp *Cyprinus carpio* as main model animal. In Chapter 1, we studied the distributions of superficial (SN) and canal (CN) neuromasts through morphological methods and compared the abundance of each neuromast in three species. The neuromast systems in carp *C. carpio*, dark chub *Zacco temmincki* and goby *Rhinogobius* sp. indicated differences in terms of distribution type and abundance of both neuromast types. Among the three species, carp consistently had the highest number of SN and CP. However, the density of SN in SN-bearing scales was quite similar among the three species, even though the total length of goby was only a third of the two other species. In Chapter 2, sensory characteristics of SN and CN were studied electrophysiologically by recording single afferent lateral line nerve activities in response to oscillating water particle stimulus. Sensory threshold curves obtained from SN and CN showed differences typically at higher frequencies. SN biased its sensitive range to frequencies lower than 100 Hz; CN extended its sensitive range to 200 Hz. These results confirmed suggested differences (in previous studies) in the sensory characteristics of SN and CN; SN response was correlated to velocity of water motion, while CN was correlated to acceleration. In Chapter 3, electrophysiological recordings from posterior lateral line nerve bundles revealed that the trunk lateral line is stimulated by fish self-motion and the magnitude of response is linear to the velocity of trunk motion, suggesting that lateral line capability will be masked when fish moves their trunk. In Chapter 4, recordings from single efferent lateral line nerves indicated that the efferent activity is induced prior to fish trunk movement and discharge rate of efferent lateral line nerve is not correlated to the velocity of trunk motion. Results of this study suggest that self-induced noise and physiological mechanisms affect the sensory capability of the lateral line when fish is swimming. This study is the first to describe the quantitative differences of lateral line neuromast distribution in three species of fish with different lifestyles, and illustrate the functional differences between SN and CN.

学位論文審査結果の要旨	
学位申請者 氏 名	渡邊 賢二
審査委員	主査 鹿児島 大学 教授 川村 軍蔵
	副査 官 崎 大学 教授 神田 猛
	副査 佐 賀 大学 教授 野間口 慎太郎
	副査 鹿児島 大学 教授 安楽 和彦
	副査 鹿児島 大学 准教授 ミゲル・バスケス・アーチディル
審査協力者	
題 目	<p>遊泳魚の側線感覚機能に関する電気生理学的研究 (Electrophysiological Studies on Lateral Line Properties of Swimming Fish)</p>
<p>側線は魚類および一部の両生類に見られる機械感覚器であり、体表の水の流れの情報を受容し、様々な行動において重要な役割を果たすことが知られている。側線には解剖学的形態が異なる2種類があり、一つは体表に露出して分布する表在感泣で、他は皮膚下の管の中に存在する管感泣で、それぞれ機能に違いがあると考えられている。側線の感覚受容能力に関する基礎的知見が集積されてきているが、これまでの研究は感覚器の生理学的機能に特化したものが多い。本研究では、魚類の実際の生活で生じる現象である自己運動の魚体の屈曲と体表の水の擾乱を水槽で再現して、球心神経活動の関係と遊泳運動にともなって生じる遠心性側線神経の活動を電気生理学的に調べ、これまで未解明であった両感丘の機能的相違を検証した。</p> <p>第2章では生活様式が異なるコイ <i>Cyprinus carpio</i>, カワムツ <i>Zacco temmincki</i>, ヨシノボリ <i>Rhinogobius</i> sp. の表在感丘と管感丘の分布を比較解剖学的に明らかにし、それらと遊泳生態との関係を論じた。</p> <p>第3章ではコイを用いて体幹部の表在感丘と管感丘の振動刺激受容閾値を調べ</p>	

、それぞれの感丘を支配する求心性側線神経応答はハイカットフィルターを備える振動センサの特徴を有し、表在感丘の高感度帯は10~100Hz、管感丘では10~200 Hzであることを明らかにした。

第4章では、コイの遊泳運動時の求心性側線神経応答を分析し、魚体の屈曲が側線を刺激して求心性側線神経の放電頻度が高くなることを明らかにし、速い速力での遊泳は自己の側線をより強く刺激することが示唆された。

第5章では、抹消の感覚器の機能抑制に関する遠心性側線神経の活動を調べた。体幹部の屈曲や口部・鰓蓋の開閉運動にもともなって遠心性側線神経が興奮することを示したが、遠心性側線神経の放電頻度と魚体運動の速度に密接な関係を見いだせなかった。遠心性側線神経の放電は体幹部の動きと同期または先行して生じることが示され、運動開始前に遠心性側線神経情報によって抹消の側線器の機能が制御されると判断された。

本研究は、これまでに推測されていた側線の振動刺激受容能力を表在感丘と管感丘を分けて明らかにし、遊泳運動時の側線が自己運動による刺激や生体内の生理的メカニズムにより本来の受容能力を低下させることを示した。本研究の成果は側線感覚が魚類の生活における役割の理解を促進するもので、学術的貢献は高いと評価される。

最終試験結果の要旨	
学位申請者 氏 名	渡邊 賢二
審査委員	主査 鹿児島 大学教授 川村 軍蔵
	副査 宮 崎 大学教授 神田 猛
	副査 佐 賀 大学教授 野間口 慎太郎
	副査 鹿児島 大学教授 安樂 和彦
	副査 鹿児島 大学教授 ミゲル・バスケス・アーチディル
審査協力者	
実施年月日	平成22年 1月14日
試験方法 (該当のものを○で囲むこと。) (口答)・筆答	
<p>主査及び副査は、平成22年1月14日の公開審査会において学位申請者に対して、学位申請論文の内容について説明を求め、関連事項について試問を行った。具体的には別紙のような質疑応答がなされ、いずれも満足できる回答を得ることができた。</p> <p>以上の結果から、審査委員会は申請者が博士(水産学)の学位を受けるに必要な十分の学力ならびに識見を有すると認めた。</p>	

学位申請者
氏 名

渡邊 賢二

質疑応答は以下のとおりであった。

[質問1] 遊泳生態を3型に分けてその一つの着底型種の代表種としてヨシノボリを研究に使っているが、ヨシノボリの生態を反映していない選定である。

[回答1] 私の経験によるとヨシノボリは川の中流域の流れの速い環境に生息しており、典型的な着底型の魚だと理解している。

[質問2] あなたの観察は部分的だと思う。ヨシノボリよりオイカワが適当だと思うが、なぜヨシノボリにこだわったのか。

[回答2] ヨシノボリの方が採集し易かったのでヨシノボリを使った。

[質問3] 3, 4章では体側筋を使って泳ぐ魚を考えている。鰭だけで泳ぐ魚の側線の分布はどうなっているのか。

[回答3] 側線を詳細に調べた例は極めて少なく、鰭だけで泳ぐ魚の側線の研究例はなく私も調べていないので分からない。

[質問4] 感丘の種間比較を行っているが、個体変異をおさえていないと種間比較はできない。

[回答4] 遊泳生態の異なる種の間で比較するためにこのようになった。

[質問5] 回帰分析をしたとあるが実際には相関分析を行っている。統計的手法に誤解がある。

[回答5] 相関分析が適切と考えるので、論文を訂正する。

[質問6] t検定を行っているが、データは正規分布するのか。

[回答6] 正規性を検証していないが問題ないと思う。

[質問7] 散布図の作成にあたって個々のデータの独立性を考えたか。

[回答7] その点は気付かなかったので検証したい。

[質問8] 機械的刺激への感応を振幅への感受性で評価するのはなぜか。

[回答8] 振動刺激は物理的には振幅で測られるものであるので表在感丘と管内感丘の感受性を振幅への応答特性で評価した。