

学 位 論 文 題 名

ソウハチ，ババガレイ，アカガレイの
視覚特性に関する基礎的研究

学位論文内容の要旨

【背景と目的】

硬骨魚類の脳髓の形態および眼の構造と機能は種によって変化に富み，その種の持つ習性や種固有の生態的地位，外部環境を極めてよく反映する。合理的な漁業を行うためには，漁獲対象となる生物の生態を知り，行動解発の要因となる外部刺激の入力を受け持つ感覚器に関する知見を得ることが必要である。

近年の研究によって桁網に対する底棲幼稚魚数種の逃避行動や入網行動の違いは採集効率に影響することや，トロール網に遭遇した異体類は環境条件によって逃避行動(escape behavior)，または回避行動(avoidance behavior)を選択し，この反応行動の違いは漁具と魚の距離および種に固有の習性が要因であることが明らかにされてきた。また漁場の光環境によっても漁獲対象魚の漁具に対する反応行動が変わってくることが報告されている。

魚類の感覚生理学的研究は1970年代に漁業研究の一手法として確立された。以来，魚類の視覚特性については数々の基礎研究が行われ，漁具に対する反応行動を説明するための知見が得られてきている。

漁具に対する行動において，音響刺激は注意喚起の役割にすぎず，実際に接近する漁具は視覚によって初めて知覚され，行動につながるとされている。異体類は無鰾魚であるため，行動解発には視覚に起因するところが大きいと推察される。過去，摂餌生態や生息水深などの異なる異体類の視覚特性を比較した研究例は少なく，異体類を対象とした合理的な漁具，漁法の立案を目指すうえで，視覚特性の解明が必要である。

本研究では北海道噴火湾における重要魚種であるソウハチ(*Cleisthenes pinetorum*)，ババガレイ(*Microstomus achne*)，アカガレイ(*Hippoglossoides dubius*)を対象として，その生態および漁具への反応行動特性の究明に基礎的知見を得ることを目的に，3種の視覚特性（視力，視軸方向，色覚，分光感度）を求めた。

【脳髓の外形と感覚器の特性】

供試魚を断頭して即殺し，脳髓を観察した。脳髓の形態は“plaice type”に属すると考えられる。いずれも他部位に比べて視蓋が膨隆しており，諸感覚器の中で視覚が最も重要であると推測される。ソウハチ，ババガレイはアカガレイと比較して嗅球が発達しているため，索餌に関して嗅覚の重要性も考えられる。小脳(Cerebellum)は3種とも発達していないため，運動視より形態視が重要であると推察された。

【網膜の組織学的特性からみた視覚特性】

網膜の組織構造について切片を作製して調べたところ、すべての部位で単錐体と双錐体からなる四方形配列が観察された。紫外錐体であると考えられた付加単錐体は、ババガレイ、アカガレイの背側後方部位で最も多く観察されていることから、ババガレイ、アカガレイの視軸方向は紫外線感度が優れていると推察される。

ソウハチは左眼が背側に回り込んでいるため、左右眼で錐体密度分布に違いが出ることが予想されたが、分散分析の結果からは3種とも左右眼で有意な差は認められなかった。ババガレイは吻端を中心として左右眼の位置はほぼ対称であり、遊泳や捕食行動の際に左右の網膜で異なる錐体密度分布を持つ必要性は無いものと考えられる。アカガレイは(左右の眼球の中心間の距離/全長)の値はソウハチの0.098に対してババガレイと同じ0.073と両眼が接近していることから左右眼の錐体密度分布に違いがないと推測される。ソウハチの左目は遊泳中に真下方向を見ることができると推測されるが、右目は構造的に真下方向が死角になっている。ソウハチの右眼網膜の dorsal 付近での錐体細胞密度が疎であるのは、眼球の位置から妥当であると考えられるが、左眼で dorsal 付近の錐体細胞密度が高くなっていないのは眼球の位置から考えて不自然である。しかし、異体類は基本的に泳ぎ回らない魚種であり、着底している時は真下方向から敵に襲われることがないため、真下への視野が必要ないためと考えられる。ババガレイ、アカガレイの眼球は構造的に真下方向が死角になっており、遊泳中に真下方向を見ることができないと推測される。

方向別の視力を全長のほぼ同じ個体で比較した時、視力(前方下, 前方, 上方)は、ソウハチ(0.093, 0.086, 0.127), ババガレイ(0.075, 0.089, 0.06), アカガレイ(0.109, 0.091, 0.085)となった。この視力は理想条件の下では、視軸方向別にソウハチ(3.2m, 3.0m, 4.4m), ババガレイ(2.6m, 3.1m, 2.1m), アカガレイ(3.8m, 3.1m, 2.9m)の距離から10mmの間隔の2点を識別でき、前方下方向ではアカガレイはババガレイに比べて1.5倍先、上方向ではソウハチはババガレイに比べて2.1倍先であると考えられる。3種は両眼球自体が頭から突き出しているため前方下, 前方, 上方の方向に、視力は発揮されていると推測される。視力が最も優れている方向が3種で異なることは、漁具の接近してくる方向によって知覚できる距離に影響し、反応距離も異なってくることが考えられる。

ババガレイ、アカガレイではソウハチよりも眼球の間隔が狭く、両眼視野はソウハチよりも広い。両眼視は距離が分かるため、餌に狙いを付け、捕食するには有利である。ソウハチでは左眼がほぼ背側に位置しており、ババガレイ、アカガレイに比べ単眼視野が広く、運動視に優れると推察される。

【遠近調節能力】

水晶体の移動距離と移動方向を計測し、遠近調節能力を調べた。また焦点の合う最短距離 NP を求めた。水晶体の移動方向の平均は正面からソウハチで 2° 上方、ババガレイで 13° 上方、アカガレイで 32° 上方となった。水晶体が動いた方向は錐体最濃密部位と水晶体の中心を結ぶ直線である視軸(Visual axis)方向とほぼ同じとなった。 NP は、ソウハチで全長(TL)の0.87倍、ババガレイで全長(TL)の0.65倍、アカガレイで全長(TL)の1.02倍となった。

3種で眼と吻端までの距離と NP/TL には正の相関関係があり、ソウハチでは左右眼で NP/TL が異なり焦点調節能力は吻端までの距離に近い右目が優れている。ババガレイの餌はソウハチ、アカガレイに比べて口器の形状からもわかるように小さいものが多いが、ババガレイは餌を捕まえる際に、ソウハチ、アカガレイよりも吻端近くまで餌に両眼視で焦点を合わせることができ、ゴカイなどの小動物を的確に捕らえることができると考えられる。

【色彩弁別能力および分光感度特性】

網膜の水平細胞より導出されるS電位を指標として、色覚と分光感度特性について調べた。得られたS電位応答はソウハチの543個の水平細胞でL1型(10.3%), L2型(89%), L3型(0.4%), C1型(0.4%), ババガレイの549個の水平細胞でL1型(5.3%), L2型(94.7%), アカガレイの252個の水平細胞でL1型(16.7%), L2型(69.8%), L3型(1.6%), C3型(11.9%)であった。紫外線(336nm, 365nm)感度はすべての応答波形で確認された。ソウハチ, アカガレイはC型が記録されたことから色覚を有すると推測される。C型からソウハチは470-493nmに過分極のピーク, 597nmに脱分極のピークを持ち, 青色光と黄色光の対比に優れていること, アカガレイは447-518nmに脱分極のピーク, 646-694nmに過分極のピークを持ち, 青色光～緑色光と赤色光の対比に優れていると考えられる。漁具への応用としては, 刺網など魚に気付かれない効果をねらうのであれば, 海中でコントラストの小さい青から緑色が適当であり, 光が十分に透過している水深層で, 底建網の垣網部や底曳網の袖網部などに視覚的遮断効果を与えるにはアカガレイでは赤色, ソウハチでは黄色が効果的であると考えられる。ババガレイは色の判別能力が劣っていると考えられるが, 視覚的遮断効果を与えるには背景色とコントラストの大きい色であれば効果的と推察される。

出現頻度の高いL2型から網膜の相対分光感度曲線を作製した。最大感度波長はソウハチ544nm, ババガレイとアカガレイは518nmとなった。夜間に光刺激による駆集, 蟬集等の行動制御を行うのであれば光源にはソウハチ518nm, ババガレイ, アカガレイでは544nmの波長帯を用いると海水の透過率も高く, 放射照度当たり最大の効果が得られると推測される。最大感度波長がソウハチ544nmとなるのは, 生息域が懸濁物質の多い沿岸域であるためと考えられる。ババガレイはソウハチ, アカガレイに比べて相対分光感度曲線の指向性が強かったがソウハチ, アカガレイはババガレイに比べて活発に遊泳することから広い波長帯に適応しているため, ババガレイは僅かな波長の違いも感知できることで, 色彩に乏しい砂泥の中で餌の発見に有利であるためと考えられる。

本研究で得られた結果はソウハチ, ババガレイ, アカガレイの生態と漁具への反応行動特性の究明に基礎的知見を提供するものであり, ソウハチ, ババガレイ, アカガレイを対象とした合理的漁業の立案に貢献するものと考えられる。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 山 本 勝太郎

副 査 教 授 飯 田 浩 二

副 査 教 授 川 村 軍 蔵 (鹿児島大学)

副 査 助教授 平 石 智 徳

学 位 論 文 題 名

ソウハチ、ババガレイ、アカガレイの

視覚特性に関する基礎的研究

異体類は体が左右不相称で眼は頭部の片側にあり、眼球は頭部から突出している。本研究は、この異体類の特異な眼に注目し、北海道噴火湾の漁業重要種であるソウハチ(*Cleisthenes pinetorum*), ババガレイ(*Microstomus achne*), アカガレイ(*Hippoglossoides dubius*)を対象として、その生態および漁具への反応行動特性の究明に基礎的知見を得ることを目的に、以下の4つの視覚特性に関する実験を行ったものであり、審査員一同が高く評価した点は以下の通りである。

1) 供試魚を断頭して即殺し解剖学的に脳髄を観察し、3種のいずれも他部位に比べて視蓋が発達していることから諸感覚器の中で視覚が最も重要であること、また小脳は3種とも発達していないため運動視より形態視が重要であることを指摘している。ここで得られた解剖学的知見は、今後、他の異体類の視覚特性を考察する上で基礎的な知見であると評価できる。

2) 左右眼の網膜を細分した組織切片を作製し網膜の組織構造について調べ、すべての部位で単錐体と双錐体からなる四方形の錐体配列を観察しており、また紫外錐体であると考えられる付加単錐体をババガレイ、アカガレイの背側後方部位で最も多く観察したことから、この部位でババガレイ、アカガレイは紫外線感度が優れていると推測している。錐体の最濃密部位から求めた視軸方向は、ソウハチで前方と上方、ババガレイで前方下と前方、アカガレイでは前方下となることを求めている。方向別の視力を全長のほぼ同じ個体で比較した時、視力(前方下, 前方, 上方)は、ソウハチ(0.093, 0.086, 0.127), ババガレイ(0.075, 0.089, 0.06), アカガレイ(0.109, 0.091, 0.085)となることを田村の式から求めている。また、左右眼の距離を全長で割った値は、ソウハチで0.098, ババガレイとアカガレイでは0.073となり、ババガレイ、アカガレイではソウハチよりも眼球の間隔が狭く両眼視野はソウハチよりも広いことから、餌に狙いを付け捕食するには有利であること、ソウハチでは左眼がほぼ背側に位置しており、ババガレイ、アカガレイに比べ単眼視野が広く、運動視に優れることを指摘している。これらの知見は底着性の異体類の摂餌生態を考える上で基礎的な知見として評価で

きる。また、ソウハチは左眼が背側に回り込んでいるため、左右眼で錐体密度分布に違いが出ることが予想されたが、分散分析の結果から3種とも左右眼で有意な差は認められなかったことを確認しており、このことは異体類の視覚特性を考える上で新しい知見として評価できる。

3) 摘出した水晶体に電気刺激を与えてその移動方向を求め、ソウハチで2°上方、ババガレイで13°上方、アカガレイで32°上方となる結果を得ており、この方向は錐体最濃密部位と水晶体の中心を結ぶ直線である視軸の方向と一致することを確認している。また、水晶体の移動距離から焦点の合う最短距離 NP の全長 TL に対する比はソウハチで0.87、ババガレイで0.65、アカガレイ1.02となることを求めており、ババガレイは餌を捕まえる際に、ソウハチ、アカガレイよりも吻端近くまで餌に両眼視で焦点を合わせることができ、ゴカイなどの小動物を的確に捕らえることができると考察している。この知見は、2) の知見と同様に異体類の摂餌生態を考える上で基礎的な知見として評価できる。また、これら3種の眼球運動を観察し、活発に眼を動かすことによって左右上下方向に視軸を向け最適な視力を実現させていることを確認している。この眼球運動の観察結果は異体類の視覚特性の解明に新たな知見を与えるものと高く評価できる。

4) 網膜の水平細胞よりS電位を導出し、最も多く導出されたL2型S電位から網膜の相対分光感度曲線を求め、生息水深が浅い(200m以浅)ソウハチは544nmに、生息水深が深い(400m以浅)ババガレイとアカガレイでは518nmに最大感度があることを示している。また、C型S電位が導出されたソウハチは青色と黄色、アカガレイは青緑色と赤色に色覚を有すること、C型S電位の導出が出来なかったババガレイは色覚が劣ることを指摘している。ババガレイが色覚に劣るのはその相対分光感度曲線の指向性が強いことから僅かな波長の違いも感知することで、色彩に対する劣性をカバーしているものと考察している。これらの知見は漁具設計上重要な知見となることから高く評価できる。

以上の成果は、特異な形態を有する異体類の視覚特性に関して基礎的な知見を得たものと高く評価できる。よって審査員一同は申請者が博士(水産科学)の学位を授与される資格のあるものと判定した。