

# 魚類の視覚特性と光を利用した行動制御に関する研究

著者	柴田 玲奈
学位名	博士(海洋科学)
学位授与機関	東京海洋大学
学位授与年度	2020
学位授与番号	12614博甲第575号
URL	<a href="http://id.nii.ac.jp/1342/00002005/">http://id.nii.ac.jp/1342/00002005/</a>

# 博士学位論文内容要約

## 魚類の視覚特性と光を利用した行動制御に関する研究

海洋科学技術研究科 応用環境システム学専攻  
柴田 玲奈

魚類は、成育する光環境に適した視覚を魚種ごとに有しており、その生理・生態も光環境の変化と密接に関連している。本研究は、魚類の視覚特性を解明し、その特性を利用した種苗生産技術を検討することを目的とした。そのためには、異なる環境で成育する魚種（浮魚および底魚）について、成長段階ごとの視覚特性および光に対する行動を把握し、様々な生態への適応について解明する必要がある。本論文では浮魚として、試験的に種苗生産が行われているカタクチイワシ *Engraulis japonicus*、底魚として、変態により形態の変化が特異的な異体類マコガレイ *Pseudopleuronectes yokohamae* と、岩礁性のハタ類クエ *Epinephelus bruneus* を対象とした。3 魚種の仔魚から成魚までの成長段階で変化する視覚特性を比較検討し、マコガレイの行動制御（攻撃抑制）のための光条件を検証した。本論文は全6章で構成されている。

第1章では、魚類の視覚特性および光を利用した行動制御に関してこれまでの学術的背景を概説し、本論文の意義と目的を示した。

第2章では異体類のマコガレイについて、網膜電図（electroretinogram, 以降 ERG）による電気生理学的手法を用いて成長段階ごとの視覚特性の変化、および網膜構造の変化を明らかにした。マコガレイの稚魚、未成魚、成魚の最大視感度波長（ $\lambda_{\max}$ ）は、それぞれ 531 nm, 524 nm, 515 nm であり、成長が進むほど短波長側へシフトした。稚魚では紫外領域に近い波長帯で相対感度が高いが、成長とともに相対感度が低下した。また変態前後の仔稚魚の網膜構造は、変態前では単錐体のみの構造であったが、変態後では単錐体を複錐体を取り囲むモザイク型を呈する構造に変化した。モザイク型を形成することで、餌や他個体を視認する能力が向上することが推察された。

第3章では浮魚のカタクチイワシについて、ERG を用いて成長段階ごとの視覚特性の変化、および光量子束密度（以降 PFD）の違いによる視覚特性の変化を調べた。カタクチイワシの仔魚、稚魚の  $\lambda_{\max}$  はそれぞれ 536 nm, 517 nm にあり、分光視感度曲線は単峰型であるのに対し、成魚では 467 nm および 538 nm をピークとする二峰型であった。成長が進むほど、短波長側へピークがシフトした。仔魚は稚魚と異なり、紫外領域寄りの波長 380 nm の相対感度が 420 nm に比べ

てやや高い傾向が示された。さらに PFD の違いによる成魚の分光視感度曲線の相違を見たところ、PFD が 0.5 から  $0.0125 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  に低下すると、ピークが 490 nm 付近に 1 つの大きなピークとなり、540 nm 付近の緑の視感度は低下した。成魚の網膜には深海魚の多くの種に見られるタペータム (tapetum) が存在する (Awaiwanont *et al.*, 2001) ことが報告されており、成魚において短波長の視感度が高い要因は、薄明環境への適応と推察された。

第 4 章では底魚のクエについて、ERG による成長段階ごとの視覚特性の変化および網膜構造の変化を見た。クエの仔魚、稚魚、1 歳魚の  $\lambda_{\text{max}}$  はそれぞれ 528 nm, 480 nm, 470 nm であった。カタクチイワシ同様に仔魚の  $\lambda_{\text{max}}$  は、最も長波長寄りであり、稚魚、1 歳魚と成長が進むにつれ短波長寄りに移行した。仔魚は紫外光寄りの相対感度が稚魚や 1 歳魚よりも高かった。クエの仔魚は紫外線感受性オプシン (SWS1) 遺伝子の発現が観察されているが、成長とともに青感受性オプシン (SWS2) 遺伝子へ切り替えが起こることが推定されており (Matsumoto and Ishibashi, 2016)、本研究の結果を裏付けるものと思われた。さらに網膜構造の変化を見ると、仔魚の時は単錐体のみの構造であるが、稚魚になると成魚と同じモザイク型を形成し、桿体も形成された。

第 5 章では、光を用いた攻撃行動制御を目的として、マコガレイの種苗生産に有効な光条件を検討した。マコガレイの種苗生産では噛み合い行動により尾鰭の欠損を生じることが報告され問題視されてきた。尾鰭欠損は細菌性疾病に感染する可能性があり (杉本, 2007)、遊泳にも影響を及ぼすことから、それを防ぐ種苗生産技術が求められている。本種の尾鰭欠損の発生を防ぐための有効な対策は未だにない。そこで、①尾鰭欠損機序の解明、②攻撃抑制に有効な光条件について検証を行った。尾鰭欠損機序の解明では、異体類の変態に関与し、サクラマス等で攻撃行動の発現・抑制の調節に関与する (岩田・小島, 2008) とされる甲状腺ホルモン (チロキシン  $T_4$ ) の動態に着目し、マコガレイの浮遊仔魚期 (20 日齢) から稚魚期の 120 日齢までの  $T_4$  濃度の動態を調べた。その結果、 $T_4$  濃度のピークは 70~110 日齢であることが示された。また  $T_4$  濃度ピーク時近くの日齢における稚魚の攻撃行動が増加することが推測され、稚魚期にかけて攻撃性が継続することが示唆された。次に飼育時において攻撃抑制に有効な光条件を探索することを目的に、異なる光条件下で順応させたマコガレイ稚魚を対象に、赤・青・緑色光 (LED) および対照 (白色光) を用いて血中のコルチゾル濃度を調べた。その結果、青や緑の光照射はコルチゾル濃度が白の光より低く、ストレスを低減させる可能性が示された。植木ら (2019) ではマコガレイ稚魚に赤・青・緑の光を照射した 50 日間の飼育実験で、青に比べ緑の光照射の方が異形魚 (尾鰭欠損した個体) の出現率が低いことを報告している。これらのことから、マコガレイの攻撃行動には  $T_4$  濃度の動態との関連が推測され、マコガレイ

の尾鰭欠損を防除するためには、緑の光照射が有効であると思われた。また攻撃行動を抑制するための光照射期間は、攻撃行動が観察される変態後の着底期から110日齢程度までであることを示した。

最終章では、3魚種の視覚特性の成長による変化と光環境との関連を考察した。3魚種とも本研究における最も初期の成長段階（カタクチイワシとクエは仔魚、マコガレイは稚魚）の視覚特性はすべて緑にピークがあり、紫外領域の視感度を有すること、成長とともに $\lambda_{\max}$ は短波長へ移行する。成魚は、生息水深が浅い（100m未満）マコガレイとカタクチイワシでは緑の視感度が高いが、生息水深が比較的深い（200mまで分布）クエでは、青の視感度が高いことが示され、光環境への適応が考えられた。また、カタクチイワシは青波長でも視感度が高く、沿岸魚と深海魚に類似した特徴を兼ね備えていることが推察された。さらに、種苗生産の効率化に向けて、仔魚の飼育には緑の使用を推奨することを示した。本論文の結果は、今後の種苗生産や養殖における生産性向上に有効な飼育技術として活用されることが期待される。