

学 位 論 文 題 名

クロソイの聴覚特性に関する研究

学位論文内容の要旨

【目的】 我が国沿岸域における水産資源の水準は相対的に低下しており、有用な生物資源の増大と安定生産を図ることが重要な課題となっている。このため有用な資源の種苗の生産や放流事業が全国的に取り組まれているが、種苗の逸散や減耗が大きく、予想したような効果が十分上がっていないのが実状である。そこで、音と餌を同時に与えて種苗を学習させ、中間育成時や放流後も効率的な給餌を行う音響馴致の試みがマダイやヒラメ、クロソイなどを対象に行われている。音響馴致では集魚や滞留効果は認められているが、学習の存続期間や経過年数に伴う再捕率の変動など不明な点も多い。将来的に、放流し成長した魚群を音で誘致し、漁獲する回収技術への応用も期待される音響馴致において、有用魚種の聴覚特性について基礎的な知見が不足しているのが現状である。近年、我が国においても栽培漁業の有用魚種について聴覚閾値が測定されているが、雑音が及ぼす聴覚への影響や音源方向の識別能力、周波数弁別能力などの測定例は少なく、音を利用した魚群行動制御に関する重要な知見の蓄積が強く要望されている。

クロソイは北海道以南の日本各地に分布する沿岸性の魚類で、市場価格が高く成長も早いことから東北・中部地方を中心に種苗を生産し放流する事業が盛んに行われている。また、本種は中間育成時の生残率が高く、放流地域への定着性が強いこと、低水温で飼育可能なことが明らかになり、北海道においても栽培漁業の有用種として注目されている。今後、クロソイを対象とした栽培漁業において最も有効的な生産を行うためには、実海域で音による行動制御技術を利用した網無生簀や飼付け型漁業の適用が想定される。

本研究ではクロソイの聴覚特性について基礎的な知見を得ることを目的とし、音と電気刺激を用いた条件付けと心拍変化から魚の反応を判断する手法を採用して室内水槽実験によりクロソイの聴覚特性を調べた。

【材料・方法】 全長約 30 cm のクロソイ 8 尾を用いて静穏な雑音環境における聴覚閾

値を周波数 100～1000 Hz について測定した。実験では閾値測定前に音と電気刺激を併用した条件付けを行った。条件付けは測定周波数の純音を 120～130 dB (dB re 1 μ Pa) の音圧で 1 秒間提示し、その直後に直流 12 V の電気刺激を 0.2 秒間提示した。この試行を数回繰り返して、純音だけでクロソイの心拍が抑制されるように訓練した。心拍間隔の計測のためにクロソイは実験前に麻酔して心電図導出の電極を体内に埋め込んで固定した。閾値測定は条件付けした周波数の純音を 1 秒間提示した時の心拍間隔の変化から反応の有無を判定し、純音の音圧を変化させてクロソイが反応を示した最小音圧を聴覚閾値とした。

次に、周波数特性が平坦な雑音を人為的に発生させ、水槽内の雑音レベルを周波数に関わらず約 60 dB (dB re 1 μ Pa / Hz^{1/2}) に調節して聴覚閾値を測定した。雑音発生時に測定した周波数 100～1000 Hz の聴覚閾値と雑音レベルから臨界比を算出し、クロソイの聴覚に及ぼす雑音の影響を調べた。

さらに、全長約 15 cm のクロソイ 8 尾を用いて雑音レベルを段階的に変化させて実験を行った。実験ではまず初めに静穏時の聴覚閾値を前述と同様の方法で周波数 100～500 Hz について測定した。次に測定周波数の雑音レベルがほぼ一定となるように雑音を発生させ、雑音レベルを 70, 80, 90 dB と変化させた時の閾値を同一個体で測定した。それぞれの雑音環境下で測定した聴覚閾値と雑音レベルの関係からクロソイの聴覚が影響を受け始める雑音レベルを試算した。また、マスクされた聴覚閾値と雑音レベルから臨界比を再計算し、雑音レベル 60 dB で求めた臨界比について比較検討した。

周波数 200 Hz の純音で条件付けしたクロソイ (全長約 20 cm, 5 尾) に条件付けと異なる周波数の純音を提示し、心拍抑制反応がみられた割合を 50～1000 Hz の周波数で調べ、周波数弁別特性について検討した。

【結果・考察】 静穏な雑音環境における水槽内の背景雑音は周波数 100～1000 Hz で 40～60 dB の雑音レベルとなり、周波数の増加に伴って単調に減少する傾向を示した。このような背景雑音下で測定した各周波数 5～8 尾の聴覚閾値を平均すると、周波数 100～300 Hz で聴覚感度が良く、200 Hz で閾値は最小 91 dB となった。周波数 500 Hz で閾値は最大 121 dB となり、高周波数では感度がやや劣ることが判明した。クロソイの周波数別の聴覚閾値から作成したオーディオグラムは、音と餌による条件付けと遊泳速度変化から求めた石崎らのオーディオグラムと非常に類似し、雑音環境は異なるが聴

聴覚閾値は 100 ~ 1000 Hz でほぼ一致した。両曲線の傾向から、クロソイの聴覚感度の良い周波数は 100 ~ 200 Hz に存在し、その聴覚閾値は約 90 dB となることが推測された。

周波数 100 ~ 1000 Hz の雑音レベルを約 60 dB に一定として測定した聴覚閾値と雑音レベルから求めた臨界比は約 30 ~ 60 dB となった。周波数 200, 700, 1000 Hz では静穏時に比べ雑音発生時の閾値が 5 ~ 7 dB 増加したが、他の周波数では静穏時と雑音発生時で閾値に差が認められなかった。雑音レベル 60 dB ではクロソイの聴覚に影響しない可能性が示唆された。

周波数特性が平坦な雑音を 70, 80, 90 dB のレベルで発生させた場合、雑音レベルに対応してクロソイの聴覚閾値も変化した。最も高い雑音レベル 90 dB では周波数 100 ~ 500 Hz の閾値が静穏時に比べて 10 ~ 24 dB 増加し、明らかなマスキング効果が認められた。雑音によってマスクされた閾値から再計算した臨界比は 100 ~ 500 Hz で 27 ~ 40 dB となった。クロソイの聴覚が雑音に影響を受けた状態では、聴覚閾値は同一周波数の雑音レベルよりも 27 ~ 40 dB 大きくなることが判明した。クロソイの聴覚閾値と雑音レベルの関係からマスキングの発生し始めるレベルを試算すると、周波数 100 ~ 300 Hz で 66 ~ 69 dB、500 Hz で 77 dB となった。

周波数 200 Hz で条件付けしたクロソイに異なる周波数の音を提示しても心拍間隔が増加する条件反応が認められた。電気刺激を用いた短期間の条件付けでは周波数を確実に記憶させることができなかったが、700 Hz 以上では心拍抑制反応の出現率が低下し、クロソイが条件付け周波数との違いをある程度弁別している可能性が示唆された。

クロソイを対象とした実海域での音響馴致は十分可能であり、聴覚感度の良い周波数 100 ~ 300 Hz の音が有効と考えられる。本研究で調べたクロソイの聴覚特性と沿岸域の雑音特性を考慮すると、実海域における制御音の周波数は 200 Hz が適正と判断される。周波数 200 Hz の制御音を 150 dB の音圧で放声した場合、球面拡散で概算したクロソイが知覚できる音圧の範囲は約 900 m 以内となる。ただし、海中の雑音レベルが約 70 dB 以上の環境ではクロソイの閾値が増加するため、有効範囲は狭くなる。実際の音響馴致では雑音レベルを常に監視しながら音圧を制御することによって、より有効な行動制御が可能となる。今後、周波数弁別や音源方向の識別能力、学習の存続期間を調べることで音を利用したクロソイの行動制御技術の確立が期待される。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 梨 本 勝 昭
副 査 教 授 山 本 勝太郎
副 査 助教授 飯 田 浩 二
副 査 講 師 平 石 智 徳

学 位 論 文 題 名

クロソイの聴覚特性に関する研究

国際的にも定着した200カイリ制度の下で、世界の漁業生産は約1億トンを越えた1989年以降から横ばい状況にあり、海洋生物資源の生産は明らかに限界が見え始めている。一方、世界の人口は2025年には84.7億人に増大し、食糧不足が生ずることが予測されている。今後、食糧として海洋生物資源はなお一層重要視されてくる。このためには地球環境を保全しつつ、生態系を維持して海洋の生産力を最大限に活用しながら、海洋生物資源を永続的かつ計画的に生産し、人類の食糧として供給することが強く要望されている。

我が国沿岸域においては乱獲などによって水産資源の水準が著しく低下した水産資源もある。周辺海域の空間を有効かつ高度に活用し、沿岸海域で取り組まれている作り育てる漁業、資源培養型の漁業をなお一層発展させて有用な生物資源の増大と安定生産を図ることが最も重要な課題となっている。

沿岸域を対象として今まで有用な生物資源の種苗を生産し、放流する事業が積極的に行われているが、種苗の逸散や減耗が大きく予想したような成果が上がっていないのが現状である。

沿岸海域において、栽培漁業を大きく推進して、効果的な生産を上げるためには音響を利用した魚の行動制御技術を活用し、音響馴致や網なし生簀、飼付け型漁業などを積極的に進め、放流して成長した魚群を音で誘致し、漁獲回収する応用技術の開発が強く求められている。

今まで音と餌を同時に与えて種苗を学習させ、中間育成や放流後も効率的な給餌を行う音響馴致の試みがマダイ、ヒラメなどを対象に行われている。これらの音響馴致では滞留の効果は認められるものの学習の存続期間、経過年数に伴う再捕率はほとんど明らかにされていない。また、近年我が国においても栽培漁業の有用な対象魚種の一部については聴覚特性として聴覚閾値などが少しずつ調べられているが、基礎的な知見が不足している。また、聴覚に及ぼす雑音の影響、音源方向の識別能力、周波数弁別能力などの測定例は少なく、音を利用した魚群行動制御に関する重要な知見の蓄積が望まれる。

クロソイは北海道以南の日本各地に分布する沿岸性の魚類で、比較的価格も高く、低水温でも成長も良いこと、また種苗生産技術も確立され、中間育成時の生残率が高く、沿岸地域の定着性が強いことなどから、申請者は音響馴致の研究対象魚としてクロソイに注目した。そして音響馴致に必要なクロソイの聴覚特性を解明することを試みた。

本論文では魚体に予め電極を取り付け、心電図を導出して置き、音と電気刺激を用いた物理的条件付けを周波数100～1000Hzの音に対して行い、刺激音の音圧強度を増加したり、減少させたりして得られた心拍変化から刺激音に対する感受反応を判断する方法を用いて、魚がようやく聴こえる最小知覚レベルである聴覚閾値を測定し、オーディオグラムを求めた。また、周波数特性が平坦な雑音レベルを60, 70, 80, 90dBの数段階に変化させて聴覚閾値を調べ、雑音環境下で測定した聴覚閾値と雑音レベルからクロソイの聴覚が影響を受け始める雑音レベルと臨界比を求め、聴覚のマスキング効果を明らかにした。さらに特定した周波数200Hzで条件付けをして、周波数50～1000Hzの音に対する周波数弁別能力について調べ、音による魚群の行動制御をするための基礎資料を得て、クロソイの聴覚特性と実海域における環境雑音の音圧レベルとの相対的關係から音響馴致に用いる放声音圧と有効範囲について検討したものである。

特に審査員一同が高く評価した点は以下の通りである。

- 1)クロソイの聴覚閾値を周波数別に測定し、オーディオグラムを求め、聴覚感度の良い周波数として100～200Hzに存在することを指摘した点。
- 2)周波数特性が平坦で音圧レベルが数段階異なる雑音を発生させて聴覚閾値を調べ、マスキングが発生する雑音レベルは周波数100～300Hzでは66～69dB、500Hzでは77dB程度になること、また臨界比は100～500Hzでは27～40dB程度となることを明らかにした点。
- 3)クロソイの聴覚特性と沿岸における環境雑音の音圧レベルとの相対的關係から音響馴致に用いる放声音圧と有効範囲について検討し、音源付近では威嚇レベルが生じても大きな音圧レベルで放声した方が有効範囲が著しく増加することができることを指摘した点。

以上の諸点は沿岸海域においてクロソイを対象に音響馴致など音による魚群制御技術を利用し、栽培漁業を行うための重要な基礎知見を得たものと高く評価できる。よって審査員一同は本論文が博士（水産学）の学位論文として価値あるものと認定した。