

学位論文題名

スケトウダラ底刺網における漁獲過程の
モデル化に関する研究

学位論文内容の要旨

【背景と目的】

多くの網漁具の中でも刺網漁具は漁獲性能の一指標である選択性能に優れていることで知られ、その特性を生かして資源量調査と商業漁業の両者に広く用いられている。刺網漁具の漁獲性能を把握することは資源管理の観点から重要であるが、これまでの刺網の漁獲性能に関する研究は操業試験による漁獲結果と漁具の仕様にのみ着目したものが多く、本来可変であるはずの流況などの漁場環境が漁具の形状など物理的な状態に与える影響などは考慮されてこなかった。漁獲効率に影響を与える要因は漁具の物理的な状態と生物の形態や行動に大別される。前者は漁具の仕様と流れなどの漁場環境に左右され、また後者は魚種や環境によって変化する。このような観点から見れば、刺網における漁獲機構に重点を置いて漁獲過程を普遍化（モデル化）するというアプローチが漁獲性能の解析に有効であると考えられる。

そこで本研究では漁具の仕様と漁場環境によって変化する漁具の動態と、魚種によって異なる形態や対漁具行動の双方をパラメータに含む漁獲過程モデルを構築することを目的とした。モデル検証のための適用対象はスケトウダラ *Theragra chalcogramma* を漁獲対象とする底刺網とした。構築するモデルには、1) 絶対漁獲効率（漁獲尾数/遭遇尾数）を出力できること、2) 実操業に適用できること、3) 漁具仕様、対象魚種、漁場環境が変わっても対応できること、の3つの性能を要求した。

【漁獲過程のモデル化】

本研究で構築した漁獲過程モデルでは、エラから最大胴部までの胴部で魚が網目に保持されると仮定し、羅網が成立するための静的条件と動的条件を設定した。静的条件は魚体サイズと網目周長の大小関係に関する条件で、A) 魚のエラ後端部周長が網目周長に任意の網目周長補正係数を乗じた値より小さい、B) 魚の最大胴周長が網目周長に任意の網目周長補正係数を乗じた値より大きい、C) 魚のエラ後端部周長が網目周長に任意の網目周長補正係数を乗じた値より大きい、の3つを設定した。動的条件は魚が網糸に接触した際の反応となる逃避行動に関する条件で、魚が初めて網糸に接触する際（1次接触とする）と、魚の胴の全周にわたって網糸と接触する際（2次接触とする）を問題とした。この2段階において魚が示す行動の結果と、先に挙げた3つの静的条件を用いて、以下の3つの羅網成立条件を設定した。実測された底刺網操業時の環境照度が低く、スケトウダラが網を視認している可能性が小さいことから、本モデルでは視認による逃避行動については考慮していない。

1. 静的条件 A と B を満たし、1次接触、2次接触の両方で前進行動を示した場合（胴部保持型）。
2. 静的条件 A と C を満たし、エラ後端より深く網目に頭部を進入してから1次接触し、後退行動を

示した場合（エラ掛かり型）。

3. 静的条件 A と C を満たし、エラ後端より深く網目に頭部を進入してから 2 次接触し、後退行動を示した場合（エラ掛かり型）。

モデルでは、“NaLA; Net-shape and Loading Analysis system”により離散質点系として表現された網形状と、魚体上の接触部位の関数として前進と後退とにモデル化したスケトウダラの接触時反応行動を用いて漁獲効率を算定する。実験的に求めた魚体上の接触部位と前進行動の発現確率の関係を正規確率分布関数で近似することにより、次式から前進行動の発現確率が求められる。

$$P_{fwd1}(l_1) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \int_{-\infty}^{l_1} \exp\left[-\frac{(t-u)^2}{2\sigma^2}\right] dt \quad (1)$$

ここで l_1 は尾叉長で相対化された吻端から接触部位までの距離、 t は相対化された吻端からの距離、 u 、 σ は分布の平均値と標準偏差である。本式を魚と網糸の間に生ずる 1 次接触と 2 次接触に適用することにより、上記の 3 つの条件が成立する可能性を確率的に予測する。この計算を想定した遭遇尾数に応じて繰り返すことにより、漁獲尾数と漁獲効率が算出される。

【水槽実験による検証】

構築したモデルの妥当性を検証するため、水槽内でスケトウダラを羅網させる実験を行なった。実験では屋内の円形水槽（直径 4m、深さ 60cm）に目合と縮結の異なる 4 種類の模型網を設置し、尾叉長 340～536mm のスケトウダラ計 332 尾を遊泳させて網への接触行動を観察した。実験は暗環境下で行ない、観察と撮影には赤外線照明とカメラを使用した。撮影された画像を用いて魚が網糸に接触した後の現象を逃避、網目通過、羅網（漁獲）の 3 つに分類し、それぞれの発現回数を記録した。

実験で観察された接触後の結果を逃避、網目通過、羅網の 3 つに分けてそれぞれの割合を求めたところ、いずれの網も逃避率が 83.7～96.0% と最も高く、羅網率は 0.9～2.9% の範囲であった。網目通過率は 2.2～16.3% で、目合が大きいほど高く、縮結が小さく網目の開きが小さいほど低くなっていた。モデルによる数値計算で推定された逃避率、羅網率、網目通過率はそれぞれ 87.0～96.2%、0.2～3.2%、1.4～12.8% であり、実測値を良く再現していた。同一の目合でも縮結の違いから網目の形状が変化し、その結果漁獲効率に差が生じることが実験値、計算値の双方で確認された。

【実操業への適用】

構築した漁獲過程モデルを噴火湾で行なわれたスケトウダラ底刺網の実操業へ適用した。操業中に観測された海況と操業情報から網の位置と形状を NaLA により算定し、モデルにより尾叉長ごとの逃避率、網目通過率、羅網率を推定した。操業中に流向流速が変化していたため、操業時間を 30 分間隔で離散化して漁獲効率を求め、通算の漁獲効率の期待値を求めた。算定結果は尾叉長によって異なるが、逃避率が最も高く 88.4～97.1%、網目通過率が 1.8～11.3%、羅網率は約 0.1～3.2% の範囲となった。尾叉長ごとの羅網率の変化はなだらかで明瞭なピークは見られなかったが、450～500mm 付近で最も高くなっていた。

次に、全 20 回の操業で記録された漁獲尾数と推定した漁獲効率を用いて、各操業の遭遇尾数を尾叉長ごとに推定した。1 反あたりの遭遇尾数は 200～800 尾で、尾叉長別に見ると、430～450mm 付近で多くなっていた。いずれの操業でも単純な単峰性の分布とはならず、遭遇魚の年齢が単一ではなかったことが推察された。さらに、操業位置をもとに遭遇尾数の時空間分布を再現した。その結果から、同一海域でのスケトウダラの分布密度の時間的な変化や、同一期間での空間的な密度差など、操業海域であった噴火湾口域における分布密度の時空間的变化を推察することが出来た。

本研究では、NaLAを用いた刺網漁具の物理モデルと、モデル化された魚の対網行動をパラメータとして、刺網の漁獲過程モデルを構築した。スケトウダラを用いた水槽実験に本モデルを適用したところ、実測された値に近い漁獲効率を推定することが出来た。また、モデルによって算定された漁獲効率を用い、スケトウダラ底刺網の実操業において記録された漁獲尾数から遭遇尾数を推定することが可能であった。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 山 本 勝太郎
副 査 教 授 三 浦 汀 介
副 査 助 教 授 平 石 智 徳
副 査 助 教 授 高 木 力 (近畿大学)

学 位 論 文 題 名

スケトウダラ底刺網における漁獲過程の モデル化に関する研究

刺網漁具は漁獲性能の一指標である選択性能に優れていることから資源量調査と商業漁業の両方に広く用いられている。これまでの刺網の漁獲性能に関する研究は操業試験による漁獲結果と漁具の仕様にのみ着目したものが多く、本来可変であるはずの流況などの漁場環境が漁具の形状など物理的な状態に与える影響などは考慮されてこなかった。漁獲効率に影響を与える要因は漁具の物理的な状態と生物の形態や行動に大別される。前者は漁具の仕様と流れなどの漁場環境に左右され、また後者は魚種とその対網行動および環境などによって変化する。

本研究は、漁具の仕様と漁場環境によって変化する漁具の動態と魚種によって異なる魚の形態とその対漁具行動の双方をパラメータに含む漁獲過程モデルを構築することを目的として、スケトウダラ底刺網を対象にその漁獲過程のモデル化とモデルの検証実験およびモデルの適用として実際の漁獲尾数から遭遇尾数の時空間分布の推定が可能であることを示したものであり、審査員一同が高く評価した点は以下の通りである。

1) 漁獲過程のモデル化：水槽実験によってスケトウダラの刺網に対する行動を観察し羅網が成立するために、魚体サイズと網目周長の大小関係に関する静的条件条件として、A) 魚のエラ後端部周長が $k_1 \times$ 網目周長により小さい、B) 魚の最大胴周長が $k_2 \times$ 網目周長より大きい、C) 魚のエラ後端部周長が $k_3 \times$ 網目周長より大きい、の3つを設定している。ここに $k_1(1.25)$ 、 $k_2(1.36)$ 、 $k_3(0.84)$ は網目周長補正係数である。また、動的条件として魚が初めて網糸に接触する際（1次接触）と、魚の胴の全周にわたって網糸と接触する際（2次接触）の前進と後退行動の動的条件を設定している。これらの2つの条件から、①静的条件AとBを満たし前進行動をした場合の胴部保持型羅網率と②静的条件AとCを満たしエラ後端より深く頭部を進入してから後退行動をした場合のエラ掛かり型羅網率を、実験的に求めた魚体上の接触部位と前進確率の関係から求めた接触部位をパラメータとする正規確立分布関数を用いて算出していることは、刺網の漁獲過程のモデル化を具体的に示したものと高く評価できる。

さらに、接触部位の推定に必要な刺網の形状は、NaLA(Net-shape and Loading Analysis System)を適用して求めておりこの計算手法も評価できる。

2) 水槽実験による検証：構築したモデルの妥当性を検証するため、刺網(目合 80mm 縮結 4 種類)を設置した屋内水槽(直径 4m, 深さ 60cm)内に 332 尾(尾叉長 340~536mm)のスケトウダラを遊泳させて網への接触行動を観察している。実験は、スケトウダラが網を視認している可能性が小さいことから暗環境下で行ない、観察と撮影には赤外線照明とカメラを使用し、撮影された画像を用いて魚が網糸に接触した後の現象を逃避、網目通過、羅網(漁獲)の 3 つに分類し、それぞれの発現回数を記録している。実験の結果は逃避率が 83.7~96.0%, 網目通過率は 2.2~16.3%, 羅網率は 0.9~2.9%の範囲であり、またモデルによる数値計算で推定された値はそれぞれ 87.0~96.2%, 1.4~12.8%, 0.2~3.2%となることから、モデルは実測値を良く再現していることを示した。この検証はモデルの妥当性を示すものであり、漁獲過程のモデル化に対する慎重な姿勢が伺われ、高く評価できる。

3) 実操業への適用：構築した漁獲過程モデルを噴火湾で行なわれたスケトウダラ底刺網の実操業へ適用し、また操業中に観測された海況と操業情報から網の位置と形状を NaLA により算定し、モデルにより尾叉長ごとの逃避率、網目通過率、羅網率を推定している。算定結果は逃避率が 88.4~97.1%, 網目通過率が 1.8~11.3%, 羅網率は約 0.1~3.2%の範囲となっている。そして、この推定された羅網率と全 20 回の操業で記録された漁獲尾数から、同一海域でのスケトウダラの分布密度の時間的な変化や、同一期間での空間的な密度差など、噴火湾口域における分布密度の時空間的变化を推定している。このことは、本研究で構築した漁獲過程モデルを用いて資源量を推定することが可能であることを示しており、本研究におけるモデル化の方法が各種漁具の漁獲過程のモデル化の開発につながることを期待される。

以上の成果は、これまで入力としての資源量(未知)と出力としての漁獲量(結果)の間に介在する暗箱(漁獲過程)の中身を底刺網について明らかにしたものとして高く評価できる。よって、審査員一同は本論文が博士(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。