

学 位 論 文 題 名

FMT (Framed Midwater Trawl) の開発と
定量採取法に関する研究

学位論文内容の要旨

【目的】

今日、漁業資源の評価では、生物学的許容漁獲量（ABC）の適切な推定が課題であるが、対象魚の現存資源量を捉えるだけではその資源動態を正確に把握できないことがわかってきた。そこで、加入資源量を推定することや漁業資源を生態系ピラミッドの一部として捉えその各段階の生物量を定量的に扱うことにより、漁業資源の動態の予測が試みられている。しかし、仔稚魚などのマイクロネクトンの採集、計測の手法は確立されておらず、早急な技術確立が求められている。そこで、本研究ではマイクロネクトンを定量的に採集するための採集具 FMT の開発と定量採集法の有効性を検討した。

【材料および方法】

1. 模型実験 網口の一辺が 40 cm の FMT の模型を作製し、本学の回流水槽において抵抗と流速分布に関する実験を行った。網地は実網と同じ目合 8 mm のラッセル網地を使用し、これを正方形の網口フレーム枠に取り付け、これらの抵抗を三分力計により測定した。

網口周辺の流速をプロペラ式流速計により測定した。流速計をトラバースに固定し、これを操作することにより測定位置を制御した。測定項目は次の 3 項目である。1) 網口前方中央の水平面の流速分布、2) 網口垂直断面の流速分布、3) 網内中央垂直平面の流速分布。これらの流速分布を、得られた流速と網を設置しない状態で測定された基準流速との比によって表した。

2. 操業実験 実網を用いた操業実験を行い、既存の採集具 IKMT と投揚網の操作性および曳網特性を比較した。FMT は網口面積が 4.0 m^2 、網長さ 7 m、網地が目合 8 mm のラッセル網地であり、IKMT は 10 フィート型である。船速を 2, 3 kt に設定し、各船速で同じ網水深となるようにワープ長を設定して、そのままの条件で 10 分間曳網したときの網水深を記録した。

次に、FMT の網水深調節で必要となる静的特性を調べる実験を上と同じ仕様の FMT を用いて行った。ワープ長を 120 m、プロペラピッチを船速 2, 3, 4 kt となるように調節し、各条件で 15 分間の曳網を行った。また、プロペラピッチを固定しワープ長を 60-140 m の範囲で任意に設定し 10 分間曳網したときのワープ張力、網と船の対水速度および網水

深を記録した。

さらに、FMT の採集能力を確認するために、小型浮魚類の稚魚をはじめとするマイクロネクトンを対象とした採集実験を行った。実験には網口面積が 16.0 m²、網長さ 13 m の FMT を用いた。また、同時に FMT の網口フレームに水中ビデオカメラを装着して、網口を通過する魚の行動を観察した。

3. 定量採集法 定量採集の影響要因となる濾水体積と採集効率について分析を行った。濾水体積についてはブライドル構成が網口姿勢へ及ぼす影響を調べた。次に、網口の投影面積と網口の流速を実際に計測し、計測区間の違いが分布密度の推定に及ぼす影響を検討した。

採集効率については、その主要因である入網率を調べるために、曳網速度と網口面積（速度 2, 3, 4 kt, 面積 4.0, 12.3, 16.0 m²）の違いによる比較採集実験を行った。採集結果から各曳網条件の相対的な入網率を調べた。また、Barkley の入網率モデルを応用し、入網率と対象魚群の分布密度を以下のように推定した。曳網条件 i における体長階級 j の対象魚群の分布密度 d_{ij} （個体/1000 m³）は単位体積当たりの採集個体数 c_{ij} （個体/1000 m³）と Barkley のモデルを改良した入網率のモデル式により以下の式で表された。

$$d_{ij} = c_{ij} / \left(1 - \frac{X_0 \cdot (a \cdot L_j + b)}{R_i \sqrt{U_i^2 - (a \cdot L_j + b)^2}} \right)^2$$

ここで、 R_i と U_i は曳網条件 i における網口一辺の半分の長さ（m）および網の対水速度（m/s）である。 X_0 は魚の網に対する反応距離（m）であり、そのときの回避速度（m/s）は魚体長 L_j （m）の関数として a , b を用いて表される。曳網条件の異なる反復採集を行った結果から、各曳網条件で対象とした d_{ij} が d_j に等しくなるように X_0 と a , b と d_j を Ms-Excel ソルバーを利用して同時に推定する方法を示し、これらを求めた。

【結果と考察】

1. 模型実験 推定された漁具抵抗が IKMT と同程度となったことから、ほとんどの研究調査船で FMT を使用することは可能と考えられた。網口の流速は平均で 92 % であり、魚の逃避行動に影響するような極端な減少ではなく、また、網口から網内へ行くほど増加していたことから、小目合の網地を用いても採集に大きく影響しないと考えられた。

2. 操業実験 FMT は IKMT よりも簡便に投揚網操作を行うことができた。曳網特性を比較すると FMT では IKMT と同様に速やかに所定の水深に調節することができた。

推測された漁具抵抗と沈降力の釣り合いからワープの形状を直線として予測した網水深と実際の網水深は良く一致した。また、船上での網の対水速度の監視にはワープ張力が有効であることを確認した。これらのことから、FMT による表中層の採集においては、簡単に網水深を調節できることが示された。そして、網水深の予測には、模型実験で得られた抗力特性を用いることが有効と考えられた。

採集実験では、目標としていたマイワシやカタクチイワシの稚魚をはじめとする多種のマイクロネクトンを採集することができた。得られたビデオ映像において稚魚には一度網口を通過すると再び網口から網外へ逃避するような行動は観察されず、速やかに網内に入ることが確認された。

3. 定量採集法 ブライドル構成は4本よりも2本のほうが網口姿勢がよく、このときの網口の投影面積は面積比で95%以上となった。音響散乱層のように特定の水深に分布している魚群の分布密度を求めるには、網が魚群に作用している水平曳網区間の濾水体積を把握しなければ、分布密度を過少に評価することがわかった。

FMTでは採集効率は入網率により決定されること、入網率が曳網速度や網口面積といった曳網条件により変化すること、そして、同じ曳網条件でも、体長や魚種により入網率が異なることが明らかとなり、正確な生物量の評価には体長や魚種ごとの入網率の把握が必要であることが示された。

推定されたソコハダカの X_0 は 7.3 m となり、回避速度 u_e (m/s) は魚体長 L (m) を用いて以下の式で表された。

$$u_e = 5.2 \cdot L - 0.014$$

推定されたパラメータから求めた入網率は一例として示すと、曳網速度を4 ktとしたときの体長15 mmのソコハダカに対する各網口面積(16.0, 12.3, 4.0 m²)ではそれぞれ0.8, 0.8, 0.7となり、網口面積が4.0 m²のFMTを2 ktで曳網したときには0.4となった。体長30 mmに対する入網率は、それぞれ、0.6, 0.5, 0.3, 0.0となった。推定された d_j と c_{ij} の比較から、曳網条件によって採集個体数が変化することのみならず、体長組成も変化し、さらに低い採集能力(低曳網速度、小網口)では、モード体長もずれることが示された。

以上のことから、FMTはこれまで採集が困難だったマイクロネクトンに対する十分な採集能力を持ち、操作性に優れる採集具といえる。また、本研究で示した対象魚群の分布密度を推定するための実験手法と推定アルゴリズムは、今後の資源計測学分野の発展に大きく寄与するものと考えられる。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 三 浦 汀 介
副 査 教 授 飯 田 浩 二
副 査 教 授 齊 藤 誠 一
副 査 助 教 授 清 水 晋

学 位 論 文 題 名

FMT (Framed Midwater Trawl) の開発と 定量採取法に関する研究

今日、漁業資源の評価では、生物学的許容漁獲量(ABC)の適切な推定が課題であるが、対象魚の現存資源量を捉えるだけではその資源動態を正確に把握できないことがわかってきた。そこで、加入資源量を推定することや漁業資源を生態系ピラミッドの一部として捉えその各段階の生物量を定量的に扱うことにより、その動態予測が試みられている。しかし、仔稚魚などのマイクロネクトンの採集、計測の手法は、いまだ確立されておらず、早急な技術確立が求められている。そこで本論文は、マイクロネクトンを定量的に採集するための採集具(FMT)の開発と定量採集法の確立を目的とした。論文内容は、模型実験により設計案の妥当性を検討し、製作された実網を用いた操業実験の結果から、FMTの操作性と採集能力について検討を行い、さらに、FMTの採集効率を推定することで、定量採集法の有効性について実証している。得られた知見は以下のとおりである。

1. 模型実験から、小目合網地を使用した網でも網口周辺の場所による流速変化が少ないことを明らかにした。
2. 実網実験では、各種研究調査船に適した投揚網操作法や適切な網水深調節方法を考案し、これまで他の採集具では採集が困難だったマイクロネクトン(マイワシやカタクチイワシの稚魚)を採集することができた。
3. 定量採集法に関して、Barkleyの入網率モデルを応用し、比較採集実験により入網率をMs-Excelのソルバーを利用して推定する

アルゴリズムを構築した。具体的には FMT の体長 15 mm のソコハダカに対する入網率は、曳網速度を 4 kt としたとき、各網口面積 (16.0, 12.3, 4.0 m²) でそれぞれ 0.8, 0.8, 0.7, 4.0 m² の FMT を 2 kt で曳網したときには 0.4 と求められた。同様に体長 30 mm に対する入網率は、それぞれ 0.6, 0.5, 0.3 ならびに 0.0 と求められた。

以上の結果は、新しい定量標本採集用漁具を開発し、定量採集法の有効性を実際の海洋資源調査の現場で実証したものであり、資源計測技術の発展に寄与した点で高く評価される。よって、審査員一同は、本研究の申請者が博士（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。

なお、平成 14 年 2 月 19 日の研究科教授会最終審査において、投票の結果、総投票数 34 票、可とするもの 34 票で研究科教授会の全員が合格と判定した。