

学 位 論 文 題 名

Studies on Shrimp Trammel Net in Relation
with Its Tension and Configuration

（エビ漕刺網の網成りと張力に関する研究）

学位論文内容の要旨

【目的】インドネシアでは、エビトロール漁業が禁止されてから、ただ一つの代替え漁業としてエビ漕刺し網漁業が営まれているが、この漁業は従来のトロール漁業に比べるとその漁獲量は著しく低くなっている。そのため、これまで水産研究者によって漕刺し網漁具の操業性の向上や漁獲量の向上についての研究が行われてきたが、その多くは現場での現象観察にとどまり、満足できる実験結果と理論を得るまでには至っていない。そこで、本研究では漕刺し網を構成する沈子網と浮子網の張力と形状を求める基礎的な実験を先ず行い、そのときの張力と形状を推定するモデル式を作製し、さらに漕刺し網の模型実験を行ってそのモデル式の適応性について検討した。

【材料および方法】本実験では、漕刺し網を単純化して考えるために、沈子網と浮子網をそれぞれ単独で曳き回す時の網の張力とその形状を測定する実験と、これらの沈子網、浮子網に網地を取り付けた漕刺し網の模型実験を行った。実際の操業では漕刺し網は一端をアンカーで固定し、他端を漁船で円弧を画く様に曳き回すが、本実験では、実験が容易に行えることから、直角三角形の斜辺上に沿って曳網を移動させた。

1. 沈子網の実験

この実験は水中で行ったのではなく、実験室の水平な床上で行った。沈子網として 8 mm 規格の短鎖環チェーン（空中重量 14.7 gf/cm）長さ 120 cm を使用した。このチェーンを床上に画いた直角三角形の垂直辺上に設置し、チェーンの一端を三角形の直角点に固定した。直角三角形の斜辺にはこの斜辺に沿って台車が移動できるようにレールを設置した。台車にはロードセルを搭載し、これにチェーンの移動端を接続し台車を直角三角形の頂点から斜辺に沿って 5 cm/s の速度で移動させ、斜辺上に標示したマーカ一点通過時のチェーンの移動端における張力を測定した。また、この時のチェーン形状を真上からカメラで撮影し、得られた写真から直角三角形の直角点を原点とし、底辺を x 軸、垂直辺を y 軸とする $x-y$ 平面上の位置座標を求めた。以上の実験を直角三角形の高さを 120 cm 一定として、底辺の長さを 120 cm, 100 cm, 80 cm, 60 cm の 4 種類に

変化させて行った。

また、チェーンの摩擦係数を求めるために、使用したチェーンを 25 cm から 205 cm まで長さを 8 通りに変化させ、各チェーンを台車の上に設置したロードセルにピアノ線を介して接続し、実験室の床上を 5 cm/s で曳いた。曳く方向に対してチェーンを直角と平行に配置して摩擦力を測定し、チェーンの垂直抗力と摩擦力との関係を表す回帰直線の傾きからそれぞれの摩擦係数 μ_{90} 、 μ_0 を求めた。

2. 浮子網の実験

漕刺し網を曳き回す時の流水中における浮子網の形状と張力を測定する実験は北海道大学水産学部の回流水層で行った。浮子網の模型は長さ 120 cm の木綿糸 (30's) に合成樹脂製の竹輪型浮子 (長さ 76.0 mm, 直径 中央部 36.5 mm 側部 29.4 mm, 余剰浮力 71.1 gf) 12 個を等間隔に取り付けたものを使用した。水槽水面の僅か上方に 3 個のピンを取り付け、このピン間にゴム紐を張って直角三角形を作り、三角形の垂直辺が流れの方向に底辺が流れと直角になるようにした。斜辺上には、沈子網の実験に使用した同じ曳網装置を設置し、浮子網の移動端の張力を測定した。また、この実験においては、固定端 (座標の原点) における張力も測定した。浮子網の形状は水槽上方からのカメラ撮影によって行った。

実験は、1) 各測定点に移動点を固定して流れだけを与えた場合、2) 流れ無しで浮子網を曳いた場合、3) 流水中で浮子網を曳いた場合の 3 通りについて、曳き速度を 3 種類 (5.1 cm/s, 11.1 cm/s, 16.8 cm/s), 流速を 4 種類 (17-18 cm/s, 22-23 cm/s, 32-34 cm/s, 43-45 cm/s) 変化させて行った。

また、これとは別に浮子網の抗力と揚力を求める実験を、迎角を 0°から 90°まで 15°間隔で 7 通り、浮子網の沈降状態で 4 通り (36 %, 50 %, 64 %, 100 %) に変えて行った。

3. 漕刺し網の模型実験

この実験では、浮子網の実験で使用した浮子網をそのまま使用し、また沈子網には 2.6 mm 規格の長鎖環チェーン (水中重量 1.22 gf/cm) 120 cm を使用した。網地には、ナイロンモノフィラメント 210D 2 子撚 12 節 (網糸直径 0.385 mm, 目合 16.4 mm) を使用し、縮結を 29.3 % 入れ、長さ 120 cm, 網丈 46.5 cm の長方形の漕刺し網模型を作製した。また、インドネシアで実際に使用されている漕刺し網は沈子網が浮子網より長く仕立てられていることから、網丈は同じで上辺の長さが 120 cm で下辺の長さが 148 cm の台形の模型網も作製した。

実験は、浮子網の実験装置をそのまま使用し、浮子網の実験と同じように、1), 2), 3) の曳き条件で行った。ただし流速は 1 通り (17-19 cm/s) とし曳網の張力を測定した。この時の、浮子網形状、沈子網形状、網成り形状は水槽上方と水槽側方からのカメラ撮影を同期させて得られた写真から求めた。長方形、台形模型網とも、沈子網にチェーンを 1 本使用したものと 2 本使用したもの、また、網地の脇縁糸が有るものと無いものについてそれぞれ実験を行った。また、この実験とは別に網地だけの抗力と

揚力を求めるために、網地を流線型枠に張り迎角を5通り（0°, 22.5°, 45°, 67.5°, 90°）に変化させて実験を行った。

【結果と考察】

1. 沈子網，浮子網の張力と形状を表す微分方程式

網が曲がり易く引っ張っても伸びずその形が外力だけによって決まるものと仮定すると、網の線素 ds に作用する外力 K （網の単位長さあたりに働く力）の接線成分 K_t および垂直成分 K_n と網の張力 T との間には

$$\frac{dT}{ds} = K_t \quad T \frac{d\theta}{ds} = K_n \quad (1)$$

の関係が成り立つ。ここに、 θ は網の接線方向が X 軸の正の方向となす角（水平角と呼ぶ）である。また、この時の網の形状は

$$\frac{dX}{ds} = \cos \theta \quad \frac{dY}{ds} = -\sin \theta \quad (2)$$

で与えられる。したがって、外力の大きさとその方向が与えられれば網の張力と形状が求められる。

2. 沈子網の張力と形状

沈子網を直角三角形の斜辺上を曳く時、沈子網の任意の点の移動軌跡が X 軸となす角 ϕ （移動角と呼ぶ）と水平角 θ との間には直線関係が成り立ち、この移動角 ϕ と2つの摩擦係数 μ_{90} , μ_0 および沈子網の単位長さ当たりの水中重量 w 使って (1) 式の K_t, K_n は次式のように表せる。

$$K_t = [\mu_{90} \sin^2(\phi - \theta) + \mu_0 \cos^2(\phi - \theta)] w \sin(\phi - \theta) \quad (3)$$

$$K_n = [\mu_{90} \sin^2(\phi - \theta) + \mu_0 \cos^2(\phi - \theta)] w \cos(\phi - \theta) \quad (4)$$

(3), (4) 式を (1) 式に代入して (1), (2) 式の微分方程式を数値積分して求めた沈子網の張力と形状は実験結果と良く一致した。

3. 浮子網の張力と形状

浮子網の単位長さ当たりの抗力を F_{Df} 、揚力を F_{Lf} とすると、(1) 式の K_t, K_n は次式のように表せる。

1) 各測定点に移動点を固定して流れだけを与えた場合

$$K_t = F_{Df} \sin \theta - F_{Lf} \cos \theta \quad (5)$$

$$K_n = F_{Df} \cos \theta + F_{Lf} \sin \theta \quad (6)$$

2) 流れ無しで浮子網を曳いた場合と 3) 流水中で浮子網を曳いた場合

$$K_t = F_{Df} \cos \alpha - F_{Lf} \sin \alpha \quad (7)$$

$$K_n = F_{Df} \sin \alpha + F_{Lf} \cos \alpha \quad (8)$$

ここに、 α は迎角である。これらの式を (1) 式に代入して数値積分して求めた浮子網の張力と形状は浮子網の沈降状態を考慮するとほぼ実験結果と一致した。

4. 漕ぎ刺し網の模型網の張力と形状

単位長さ当たりの網地の抗力と揚力をそれぞれ F_{Dn} , F_{Ln} , 沈子網の摩擦力を F とすると (1) 式の K_t, K_n は次式のように表せる。

1) 各測定点に移動点を固定して流れだけを与えた場合

$$K_t = -(F_{Df} + F_{Dn}) \sin \theta - (F_{Lf} + F_{Ln}) \cos \theta \quad (9)$$

$$K_n = (F_{Df} + F_{Dn}) \cos \theta + (F_{Lf} + F_{Ln}) \sin \theta \quad (10)$$

2) 流れ無しで模型網を曳いた場合と 3) 流水中で模型網を曳いた場合

$$K_t = (F_{Df} + F_{Dn} + F) \cos \alpha - (F_{Lf} + F_{Ln}) \sin \alpha \quad (11)$$

$$K_n = (F_{Df} + F_{Dn} + F) \sin \alpha + (F_{Lf} + F_{Ln}) \cos \alpha \quad (12)$$

この場合も、(9)～(12) 式を (1) 式に代入して求めた浮子網の張力と形状はほぼ実験結果と一致した。

5. 実際の漕刺し網の曳網の張力の推定

本実験の結果を、現在インドネシアで使用されている漕刺し網（1反の長さ 14.3 m, 網丈 1.5 m, 15反）に適用し、流れの無い漁場で 16 cm/s の曳網速度で、本実験と同じように、直角二等辺三角形の斜辺上を曳いた時の曳網張力は約 80 kgf と推定された。

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 講 師 平 石 智 徳

学 位 論 文 題 名

Studies on Shrimp Trammel Net in Relation with Its Tension and Configuration

(エビ漕刺網の網成りと張力に関する研究)

熱帯、亜熱帯地域におけるエビトロール漁業は1960～70年ころから米国メキシコ湾においての操業で底魚類とその他動物の混獲が非常に多く、問題化されてきた。エビトロール漁業は混獲魚と海上投棄について最も早い時期から注目されている漁業の一つである。世界各地で行われているエビトロール漁業では漁獲対象とするエビ以外に混獲される動物はウミガメ類と魚類に大別され、投棄される量は莫大なものとなっている。ウミガメ類の混獲は希少動物の保護の立場から、また魚類の一部は沿岸漁民の生産対象物であり、これらの漁獲と投棄は大きな社会的な問題となっている。特に発展途上国で行われているエビトロール漁業は隣接する零細な漁民や漁村全体の生活基盤をも失うことになる。また、未利用の漁獲物を大量に投棄される場合には海洋汚染、生物多様性の維持、環境保全の視点から重要な課題となっている。

インドネシアの中部、西部地域は比較的海底は浅く、エビ類の好漁場が形成され、エビトロール漁業が行われていた。しかし、エビ資源の保護と管理、生態系の維持、環境保全、漁民の生産基盤の確保などの視点から1976年からエビトロール漁業が全面的に禁止され、それ以来ただ一つの代替え漁業としてエビ漕刺網漁業が盛んに行われている。

この漁具が導入された直後から漁具の漁獲性能の向上、操業の合理化などの視点より、漁具の仕立条件を様々に変えたり、投網、曳網、揚網の仕方や速度を変化させたりして多面的な研究が取り組まれている。しかし、これらの多くは現場の試験操業による観察が主で、現象認識にとどまっており、漁具の設計や操業を最適化する点からは十分満足できる成果が全く得られていないのが現状である。

エビ漕刺網の最適設計と操業の合理化を行うためには操業中における漁具の動態と動力学的知見を得ることがなによりも必要である。

申請者はインドネシアの沿岸で多く使用されているエビ漕刺網について単純化して浮子網、網地、沈子網の三つの部分から構成されるものとして想定して解析を進め、実操業時における沈子網、浮子網に作用する張力と網成り形状、掃海面積、漁具効率などについて検討するための基礎資料を得ようとしたものである。

本論文では単純化した浮子網、沈子網を作り、漕刺網を引き回す時の浮子網、沈子網の先端の移動軌跡を単純化して考えて、直角三角形の斜辺上を運動させて、その形状と張力を求める基礎的実験を行って、その時の張力と形状を求める力学的なモデル式を導いた。そして、浮子網、沈子網に作用する外力の水平成分、垂直成分を実験的に求め、これらの値を使って計算した値と測定値を比較してモデル式の妥当性について検討した。また、単純化して製作した浮子網および模型網地に作用する単位長さ当たりの垂直抗力、水平抗力を測定し、曳網速度別に流速との関数として求めた。さらに浮子網、沈子網に網地を取り付け単純化した漕刺網の模型を作り、流れだけを与えた場合、静水中を曳網した場合、流れを与えて曳網した場合に分けて、直角三角形の斜辺上を網端を移動させて実験を行って、これらの値を適用して張力や形状を表すモデル式の適応性について検討したものである。

審査員一同が特に評価したのは以下の点についてである。

1. 浮子網、沈子網の線素に作用する外力の水平成分、垂直成分と網張力との力学的諸関係を導き、網に作用する張力と形状を求めるモデル式を作製して、模型実験と良く一致することを確かめた点。
2. 沈子網に作用する外力を沈子網の水平方向と垂直方向の摩擦力の関数として表示した点。
3. 沈子網および浮子網を引き回した時のそれぞれの網の任意の点における移動角をその点における網の水平角の関数として表し得た点。
4. 浮子網、および網地に作用する単位長さ当たりの垂直抗力、水平抗力を迎角と流速との関数として曳網速度別に表した点。
5. 漕刺網の曳網時に作用する張力と形状は浮子網、網地の抗力と揚力および沈子網の水平方向と垂直方向の摩擦力、迎角、水平角の関数として表し、流れだけの場合、静水中を曳網した場合、流れの中で曳網した場合についてそれぞれ適合性について検討し、良く一致することを確かめた点。

以上の成果はエビ漕刺網の最適設計および合理的な操業を行うための重要な基礎知見が得られ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。