

回流水槽実験による曳縄用潜航板と擬餌針の運動計測

竹下洋海¹, 江幡恵吾²

Measuring the movement of trolling depressor and jig by flume tank experiments

Hiromi Takeshita¹ and Keigo Ebata²

Keywords: trolling fishery, depressor, jig, movement, line tension, flume tank

Abstract

The movement of a trolling depressor and a jig is important for catching the target species.

The experiments were conducted using a flume tank in order to clarify the movement of the trolling depressor and the jig. The length of main line was 2.16 m and the flow speed was 1.5 m/s. The angle where the main line was connected to the trolling depressor was changed from 40 to 50 degrees. The tension of main line was measured by using a three component load cell. The movement of the trolling depressor was recorded through a digital video camera.

The period of the y -component's line tension was twice as long as the x and z component's. The period of the movement and the size of y -component's displacement of the trolling depressor were increased when the angle where the line was connected to the trolling depressor was changed from 40 to 50 degrees.

2009年に大分県臼杵市一本釣り協議会内にヨコワ部会が組織され、大分県では初めてマグロ養殖用の種苗を捕獲するために曳縄による試験操業が行われた。この試験操業は計4回実施され、ヨコワ（クロマグロ *Thunnus orientalis* の若年魚）やマルソウダ *Auxis rochei* などが漁獲された。同海域において同型の漁具を使用して操業をしたにもかかわらず、各漁船によって漁獲量に大きな差が生じた。ヨコワ釣りに用いられる曳縄漁具は、潜航板、擬餌針およびそれらをつなぐ道糸やテグスから構成される¹⁾。潜航板は、擬餌針に自然の魚に似せた運動を与えるために使用され、この動きが漁獲を左右するといわれており²⁻³⁾、潜航板の微細な調整によって擬餌針の運動

が変化して、漁獲量に差が生じたものと推測された。

潜航板の形状やサイズは対象とする魚種によって異なり、また、地域性も強いことから、様々なものを使用されている²⁾。主な形状には、先端が尖った船型、および先端が丸く後端が細い杓文字型などがある。杓文字型の潜航板は、一部の地域で主に定着性のヒラメ類などを対象とするときに使用され、先端が尖った船型の潜航板は、回遊性のカツオ、マグロ類をはじめ、定着性のヒラメ、カレイ類など幅広い魚種を対象として使用されている。潜航板の材質は、漁業者自身で潜航板を製作していた頃は桐製のものが多かったが、現在では自作している漁業者は少なく、市販のプラスチック製のものが多く使用さ

¹ 大分県中部振興局 (Oita Prefecture, 3-1-1 Otemachi, Oita 870-8501, Japan)

² 鹿児島大学水産学部漁業工学分野 (Fisheries Engineering, Faculty of Fisheries, Kagoshima University, 4-50-20 Shimoarata, Kagoshima 890-0056, Japan)

れている。

これまでに、曳縄漁具の力学的特性については、潜航板に作用する流体力特性^{4,5)}、道糸に作用する張力の変動^{6,9)}、道糸の取り付け位置が運動に及ぼす影響¹⁰⁾などが調べられている。しかしながら、これらはすべて船型の形状をした潜航板を対象としており、大分県のヨコワ部会の漁業者が使用している湾曲した形状の潜航板（詳細は後述）については検討されてない。そこで本研究では湾曲した形状の潜航板を対象として、潜航板の調整方法の中でも重要とされる道糸との結着方法が、潜航板自体の動きや擬餌針の動きにどのような影響をもたらすのかを実験的に明らかにすることを目的とした。

実験方法

実験に使用した潜航板は Fig.1 に示すように湾曲した形状（全長 18.2 cm，最大幅 8.3 cm，高さ 2.2 cm，反り比 0.12，空中重量 70.8 g，比重 0.77）で、先端の底面部分に錘が貼り付けられている。擬餌針には、Fig.2 に示すように全長 5.0 cm，空中重量 1.1 g，比重 3.7 のものを使用した。潜航板と擬餌針をつなぐナイロンテグス（直径 0.46 mm）の長さは、漁業者が使用している漁具と同じように 0.90 m とした。潜航板に取り付ける道糸の位置は、各漁業者が自らの経験をもとに決めているのが現状で、この取り付け方法が潜航板の運動に影響を及ぼす要因のひとつであると考えられている¹⁰⁾。漁業者は、潜航板の底面に貼り付けられた錘の後端部分から穿孔して、その穴の中に道糸を通して結着させている。本実験では、Fig.1 に示すように、錘の部分と道糸の通し穴とがなす角度（以下、道糸取り付け角度とする）を 40°、45°、50° の 3 段階に変化させた。

実験は Fig.3 に示すように、鹿児島大学水産学部の垂直循環式回流水槽（観測水路長さ 6.0 m，幅 2.0 m，深さ 1.0 m）で行った。回流水槽の観測水路の限られたスペースの中で潜航板を運動させるために、道糸の長さを 2.16 m，流速を 1.5 m/s とした。潜航板の全長を代表長さとして実験時のレイノルズ数 Re を算出すると 2.1×10^5 となった。実海域での曳航速度は約 4～5 ノットであるから Re は $2.9 \sim 4.3 \times 10^5$ で、実験時の Re とほぼ等しいことから、潜航板の運動は Re の影響を受けないと考えた¹¹⁾。

Fig.3 に示すように、道糸の他端を三分力計に取り付けて、潜航板が運動している時の道糸張力をサンプリング周波数 100Hz で 10 秒間計測した。ここで、三分力計と道糸の結着点を原点 C として固定座標系 $C - xyz$ を

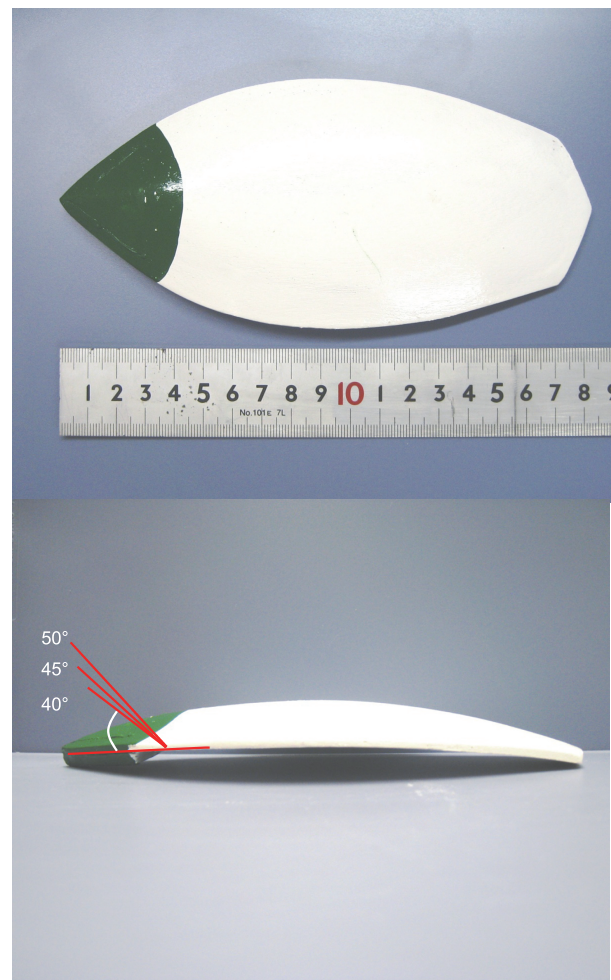


Fig.1 Trolling depressor used in this study.

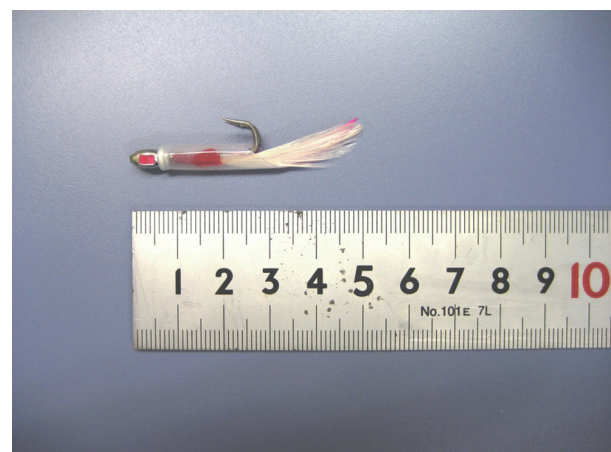


Fig.2 Jig used in this study.

定義した。x 軸は流れの下流方向，y 軸は x 軸に直角で横方向，z 軸は下方向をそれぞれ正とした。

また、観測水路の上方にデジタルビデオカメラを設置して、潜航板および擬餌針の運動を 10 秒間撮影した。記録した動画はパソコンに取り込んで、1 秒間あたり 30

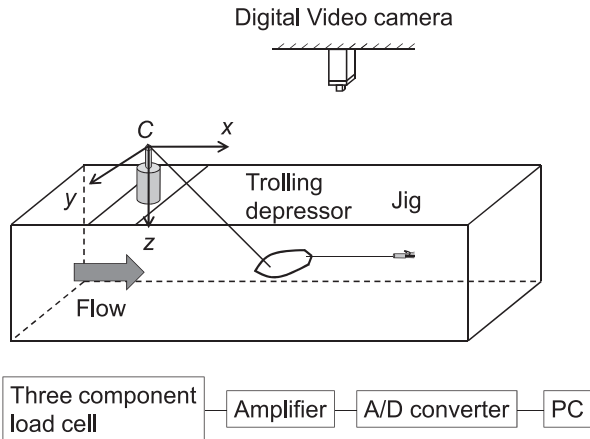


Fig.3 Apparatus for measuring the line tension and the movement of trolling depressor in the flume tank.

コマの静止画像に変換して、潜航板の後端および擬餌針の先端部分の運動軌跡を測定するのに使用した。

実験結果

道糸張力の測定結果を Fig.4-1 ~ 4-3 に示す。全張力 T は張力の x 成分, y 成分, z 成分の測定値を合成して算出した¹¹⁾。ここで、道糸の取り付け角度が 40° のときの x 成分, y 成分, z 成分の周期を求めると、それぞれ 0.24 秒, 0.48 秒, 0.24 秒で、全張力の周期は 0.24 秒であった。道糸張力の y 成分のみが、 x 成分, z 成分, 全張力と比べて周期が 2 倍になっていた。道糸の取り付け角度が 45° , 50° のときでも角度が 40° のときと同様に、 x 成分, z 成分, 全張力の周期が等しく、 y 成分の周期がそれらに比べて 2 倍の大きさになった。しかしながら、道糸の取り付け角度が 45° , 50° のときでは、 x 成分, z 成分, 全張力の周期はそれぞれ 0.25 秒, 0.30 秒, y 成分の周期がそれぞれ 0.50 秒, 0.60 秒になり、道糸角度が大きくなるにつれて周期が大きくなる傾向がみられた。また、道糸張力の最大値と最小値の差、すなわち道糸張力の変動幅は取り付け角度が 40° , 45° では大きな違いはみられなかったが、取り付け角度が 50° になると大きくなった。

ビデオカメラで撮影した画像から求めた潜航板の後端と擬餌針の先端の運動軌跡の中で、取り付け角度を 40° としたときの結果を Fig.5 に示す。Fig.5 では潜航板の後端および擬餌針の先端の運動軌跡を見やすく表記するために、それぞれ 1 周期分の運動についてのみ示した。潜航板の後端、擬餌針の先端はどちらも y 軸方向に往復運動を繰り返しているのがわかる。取り付け角度を 45° ,

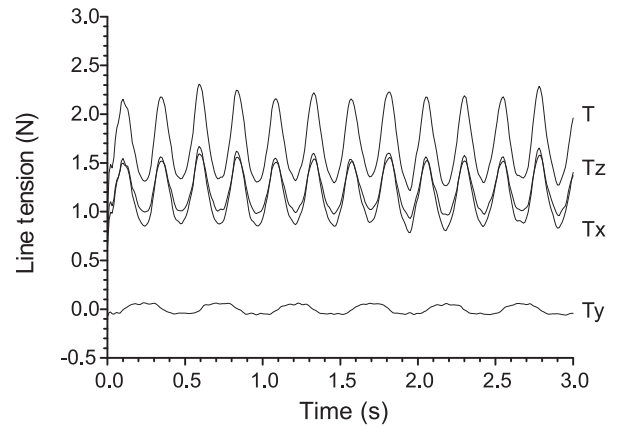


Fig.4-1 Tension of main line measured with three component load cell. The angle where the line was connected to the trolling depressor is 40 degrees.

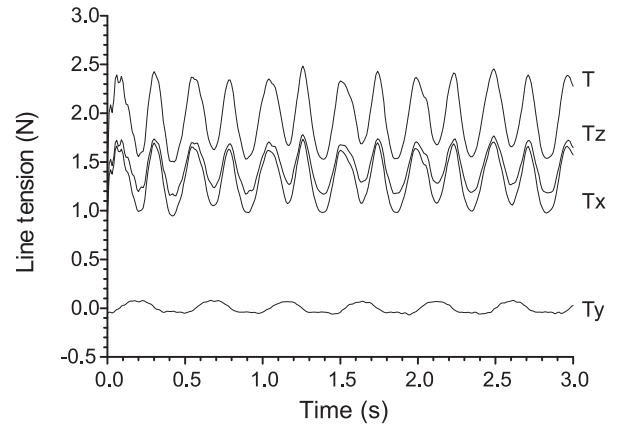


Fig.4-2 Tension of main line measured with three component load cell. The angle where the line was connected to the trolling depressor is 45 degrees.

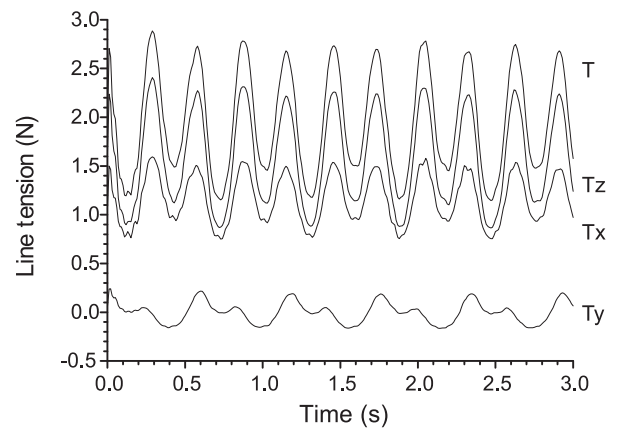


Fig.4-3 Tension of main line measured with three component load cell. The angle where the line was connected to the trolling depressor is 50 degrees.

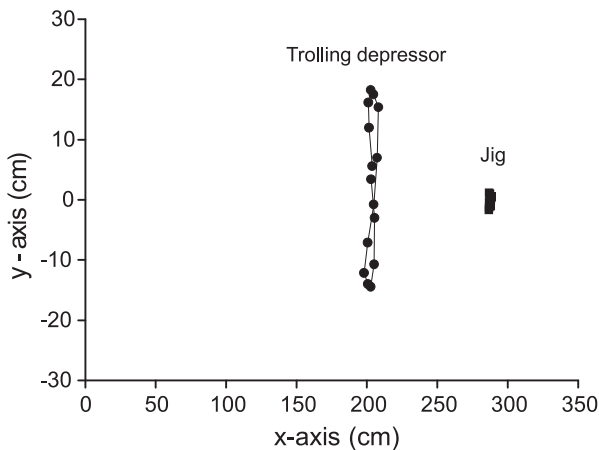


Fig.5 The loci of the trolling depressor and the jig on the xy plane when the angle where the line is connected to the trolling depressor is 40 degrees.

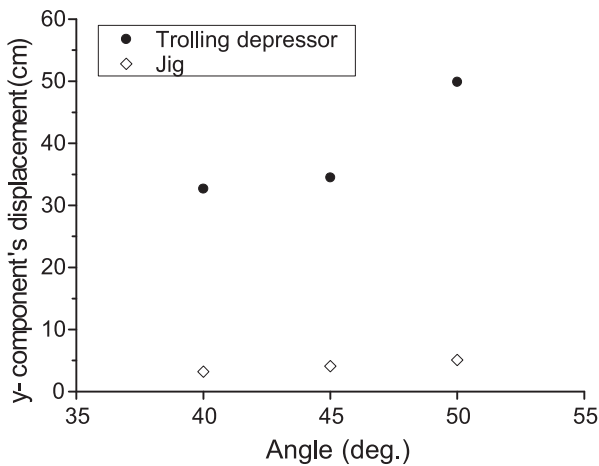


Fig. 6 The y-component's displacement of trolling depressor and jig.

50°とした時でも同様に、潜航板の後端および擬餌針の先端は y 軸方向に周期的な運動をしているのが見られた。潜航板の後端、擬餌針の先端の y 軸方向の運動周期は道糸張力の y 成分の周期と等しくなり、取り付け角度が40°、45°、50°でそれぞれ0.48秒、0.50秒、0.60秒で、取り付け角度が大きくなるにつれて運動周期が増加した。

潜航板の後端および擬餌針の先端はいずれも周期的な運動で、ほぼ一定の振れ幅で往復運動を繰り返していたため、10周期分の運動軌跡から y 方向の振れ幅を求め、その平均値を代表値とした。振れ幅と取り付け角度との関係をFig.6に示す。Fig.6から潜航板の後端および擬餌針の先端の振れ幅は、道糸の取り付け角度が大きくなるに従って増加しているのが分かる。潜航板の後端の振れ幅は40°と45°の間では32.7 cmから34.5 cmへと1.8 cm増加したが、50°では49.9 cmとなり45°の時と比べて

15.4 cm増加した。一方、擬餌針の振れ幅は、道糸の取り付け角度が40°、45°、50°でそれぞれ3.2 cm、4.1 cm、5.1 cmで、道糸の取り付け角度が5°大きくなるにつれて約1 cmずつ増加し、潜航板の後端の振れ幅のように道糸の取り付け角度が45°から50°で大きく増加することはなかった。

考 察

本研究では、大分県臼杵市一本釣り協議会内に組織されたヨコワ部会の漁業者が使用している曳縄漁具の運動について検討するために、回流水槽実験によって道糸張力の変動、潜航板の後端、擬餌針の先端の振れ幅を測定した。

潜航板の道糸張力は周期的に変化し、その変動には潜航板の運動に関係した明確な周期成分が存在するとされている¹¹⁾。本研究での張力測定の結果、全張力と x 成分および z 成分の波形は類似していたが、 y 成分のみが異なった波形で正と負の値が交互に繰り返していた。 y 成分の波形が1周期変化する間に x 成分、 z 成分は2周期分の変化をしていたため、潜航板が y 方向に1往復する間に x 方向、 z 方向において同様な運動を2回繰り返していたことになる。このことは、潜航板が流れ方向に対してほぼ左右対称な往復運動を繰り返していることを示しており、これについては撮影した画像の解析からも確認された。潜航板の周期的な往復運動がテグスを通じて擬餌針に伝わり、擬餌針も往復運動をしていた。道糸の取り付け角度が40°から50°の範囲において5°毎に変化させると、擬餌針の振れ幅は約1 cmずつ増加することが明らかになった。

漁業者は、潜航板の振れ回り運動を「振り」と呼び、対象とする魚種やサイズに応じて「振り」の大きさを変化させて、擬餌針の運動を調節している¹²⁻¹³⁾。実海域の操業では、漁業者は擬餌針の動きを直接見ることができないために、潜航板の動きから擬餌針の動きを推測しており、道糸の取り付け位置などによって潜航板の運動を調節している。市販の潜航板では、通常、道糸の取り付け位置は指定されておらず、漁業者自身でその位置を決める必要があるため、潜航板の調整方法によってはその動きが変わり、バランスが悪いと曳航中に水面から飛び出してしまうとされている。鹿児島県や長崎県で曳縄漁業を行っている漁業者に聞き取り調査を行ったところ、漁獲に適した潜航板の動きとして、釣竿と道糸の固定点を中心に対称に振れ回るのが良いとしており、その

振れ幅は大き過ぎても小さ過ぎても良くないとしている。また、対象魚がカツオの場合には潜航板の振れ幅の小さい方が、クロマグロやキハダ *Thunnus albacares* の若年魚の場合には、振れ幅の大きい方が漁獲に適しているとされている¹⁻³⁾。

秋山ら¹⁵⁾の報告によると、擬餌針に接近した魚が最終的に漁獲されるのは約1.3%であることから、魚を擬餌針の近くまで誘引できたとしても、最終的に漁獲に結び付けるには、擬餌針の動きが重要であると考えられる。曳航中の漁具の運動と漁獲との関係を明らかにするためには、擬餌針の運動はもちろんのこと、擬餌針に動きを与える潜航板の運動についても明らかにしておくことが必要である。

本研究によって潜航板と擬餌針の運動を定量的に把握することができた。例えば道糸の取り付け角度が40°では潜航板および擬餌針の運動周期は0.24秒であるが、取り付け角度を50°にすることで運動周期を0.30秒に大きくさせることができ、また擬餌針の振れ幅も増加できる。このことは今後、潜航板の取り扱いに関する基礎資料になると考えられる。すなわち、本研究で把握することができた潜航板と擬餌針の運動状態をもとに、漁具の運動と漁獲される魚種やサイズの関係性を明らかにできれば、対象魚種やサイズに適した漁具の制御方法を漁業者に対して提案できる可能性がある。さらに漁具の運動状態と漁獲の関係から、対象とする魚種やサイズの魚が好む運動状態を推定することができ、漁具の設計に取り入れることで、新たな漁具漁法の開発にも寄与できると考えられる。

実海域での操業では、曳縄漁具で対象魚を漁獲する擬餌針の運動に影響する要因として、潜航板の運動以外に、船体の動揺、釣竿のたわみ、道糸の流水抵抗などが考えられる。船体の動揺には、船速、波浪や潮流による影響を受けることが考えられ、釣竿は道糸に作用する張力によって変形したり振動したりしており、その要因として釣竿の材質や張力の大きさが挙げられる。このような様々な要因が、擬餌針の運動に影響を及ぼしていることから、本研究では回流水槽において潜航板と擬餌針の運動についてのみ検討したが、今後は、漁船、釣竿、道糸、潜航板、擬餌針から構成される曳縄漁具を全体のシステムとして捉え、各構成要素の相互による影響を踏まえて力学特性を明らかにして、擬餌針の運動を制御する方法を確立することが必要であると考えている。

参考文献

- 1) 金田禎之 (1977). 「日本漁具・漁法図説」, 成山堂書店, 東京. 491 - 513.
- 2) 九州・山口水試漁業分科会編 (1977). 「西日本海域における曳縄漁業」, 恒星社厚生閣, 東京. 1 - 126.
- 3) 大洋漁業 (1984). 釣漁具. 「日本の漁具と漁法」, 東京. 115 - 145.
- 4) 磯打 登, 川上太左英 (1957). 曳縄釣用板状潜入板の力学的特性. 日本水産学会誌, 23: 354 - 357.
- 5) Fuwa, S., M. Ishizaki, K. Ebata and S. Fujita (2002). Fluid dynamic resistance for the trolling depressor. *Fisheries Science*. 2002; 68: 751 - 756.
- 6) 不破 茂, 藤田伸二, 小濱明夫, 今井健彦, 石崎宗周 (1993). 道糸張力から推定した曳縄漁具の動き. 日本水産学会誌, 59: 1971 - 1975.
- 7) Kalarov, T., M. Todorova and D. Genov (2004). Identification of the connected motions of the immersed towed trolling depressor. *Proceedings of seventh international conference on Marine science and technology*, 1: 75 - 80.
- 8) Kalarov, T. and M. Todorova (2004). A mathematical model for the movement of towed depressor by elastic rope. *Proceedings of seventh international conference on Marine science and technology*, 1: 81 - 86.
- 9) Ebata, K., S. Fuwa, S. Fujita, K. Matsumura and M. Murata (2001). Analysis of the movement for the trolling depressors with different sizes. *UPV Journal of Natural Science*, 6: 69 - 76.
- 10) Fuwa, S., K. Ebata, S. Fujita, K. Matsumura and M. Murata (2002). An experiment on the moving performance of trolling depressor. *Fisheries Science*. 68:1845 - 1848.
- 11) 江幡恵吾, 藤田伸二, 不破 茂, 松村一弘 (2002). 道糸張力から推定した潜航板の運動軌跡, 水産工学, 38:239-245.
- 12) 江幡恵吾, 原正和, 村田政隆, 松村一弘, 不破 茂, 平石智徳, 山本勝太郎 (2007). データロガーを用いた運動中の潜航板の姿勢測定, 水産工学, 44: 85-90.
- 13) 江幡恵吾 (2009). 曳縄漁具潜航板の振れ回り運動に関する研究, 水産工学, 45:179-185.
- 14) 秋山清二, 安田浩二, 有元貴文, 田原陽三 (1995). 曳縄漁具に対する魚の行動の水中観察. 日本水産学会誌, 61: 713 - 716.