

## ルアーにはたらく力の計測とその運動

高橋 直也, 新井 一矢, 関 優佑  
東京電機大学 工学部 機械工学科 機械工学コース  
Naoya Takahashi, Kazuya Arai, Yusuke Seki  
Dept. Mech. Eng., Tokyo Denki University

野田 茂穂, 姫野 龍太郎  
理化学研究所 情報基盤センター  
Shigeho Noda and Ryutaro Himeno  
Advanced Center for Computing and Communication, RIKEN

### 1. はじめに

釣り具店などで市販されているルアーは色・形・大きさなど様々な種類があるが、代表的なルアーとして Fig.1 に示すミノー型と呼ばれる小魚を模したものが挙げられる。このルアーはリップと呼ばれる顎から突き出した板を備えているのが特徴で、このリップは潜行板として水中でのルアーの浮上を抑えるとともにルアーの運動に何らかの影響を与えていると考えられる。このリップ周辺の流れからルアーの運動のメカニズムが流体力学的に解明され、ルアーの設計指針が確立されれば、今後のルアー開発に有益であると考えられる。

ルアーが模倣する魚の研究については、流体力学的な見地(例えば Lighthill[1])、および航空工学的な見地(例えば Azuma[2])から詳しく解析がなされている。一方、ルアーに関してはこれまでにリップの縦横比の影響[3]、ボディ形状と潜行運動[4]についてなどが調べられているが、ルアーの非定常運動について、渦や周辺流れなどの流体力学的な考察はほとんどなく、水中での複雑な運動の原因はよくわかっていない。そこで本研究では水中でのルアーの非定常運動を、回流水槽を用いた実験から解析し、ルアーの流体力学的特性を調べる。

本研究は、ヨーイングとローリングの発生原因について知るため、二分力計を用いて流れの中においてルアーに発生する力を測定し、回転運動の起こる原因についてルアーの水中での動きを理解することを目的とする。



Fig.1 Rapala CD-11

### 2. 実験解析

実験に使用するルアーは Fig.1 に示す RAPALA CD-11 (全長 112mm) である。ルアーは通常針を装着した状態で使用するが、安全上の理由から取り外して実験を行った。このルアーは、重心に直径 3mm のアルミ棒を取り付けている (Fig.4)。レイノルズ数 ( $Re$  数) を  $Ud/\nu$ 、ストローハル数 ( $St$  数)  $=fd/U$  と定義する。ここで  $U$ :流速[m/s],  $d$ :リップの縦の長さ[m],  $\nu$ :水の動粘度[m<sup>2</sup>/s],  $f$ :ルアーの振動運動の支配的周波数[Hz]を用いた。

海や河川など実際にルアーが使用される釣り場の流れを再現することは難しいため、Fig.2 に示す回流水槽 (西日本流体技研 検証実験用回流水槽 V2-1A) を用いて人工的に発生させた水流内にルアーを入れ、実験を行う。水槽の流速は 0.04~1.19[m/s]、観測部の領域は縦×横×最大水深=0.5[m]×1.0[m]×0.2[m]、水量は 1.0[m<sup>3</sup>]である。

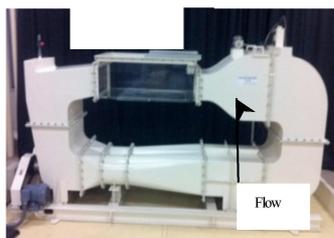


Fig.2 Circulating water channel(CWC)

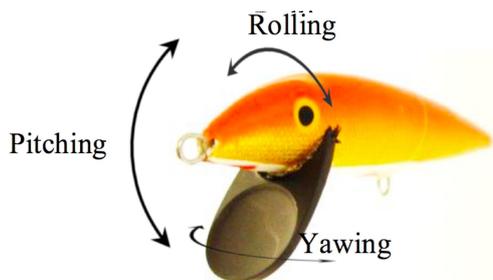


Fig.3 Lure angles

ルアーの姿勢は Fig.3 にあるように、ローリング・ヨーイング・ピッチング運動の 3 要素に分解して観察を行なった。回流水槽における遊泳の様子を動画に撮影して観察すると、ルアーは左右に傾きながら運動していること、左右に動いた終端においては元に戻ろうと回転(ローリング)運動をしていることがわかった。このときのローリング角の傾きが約  $30^\circ$  までであったことから、Fig.4 にあるように、ローリング角を  $0^\circ$ 、 $10^\circ$ 、 $20^\circ$ 、 $30^\circ$  とつけたうえで重心に支持棒(直径 3mm のアルミ棒)で固定し、二分力計(日章電機 LMC-2506A-15N)によりルアーにかかる力を計測した。

二分力計の設置の概念図を Fig.5 に示す。回流水槽に天板を設置し、そこに二分力計を設置する。その先端にルアーを取り付け、さらに後述するヨーイング角を指定するためのポテンシオメーター、分力計のためのアンプ、安定化電源も二分力計に接続する。アンプはデータロガー(キーエンス NR500)に接続し、デジタルデータとして実験結果を PC に記録する。ヨーイング角は事前実験の結果に基づき、角度を  $-15 \sim 15^\circ$  の  $1^\circ$  刻みで与えたうえで測定を行った。

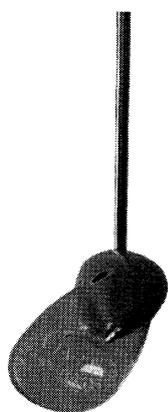


Fig.4 Lure cant rolling angle

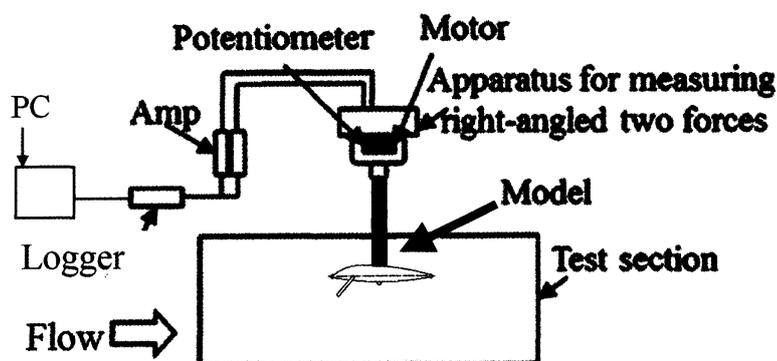


Fig.5 Circulating water channel (CWC) &amp; right-angled two forces

### 3 実験結果および考察

二分力計による実験結果を示す。流れ方向にかかる力を  $F_x$ 、スパン方向にかかる力を  $F_y$  としている。

流れ方向の力  $F_x$  の、様々なローリング角に対するヨーイング角依存性を Fig.6 に示す。 $F_x$  が正の場合、後方への力に対応する。ローリング角  $0^\circ$  ではヨーイング角に対してほぼ左右対称になっている。それ以外の角度では、ヨーイング角が  $0^\circ$  から離れるにつれて  $F_x$  も大きくなること、ヨーイング角が正の場合にその傾向が顕著で右肩上がりのグラフとなって

いることがわかる。この原因として、前者はヨーイング角の変化によって断面積が増加するために抵抗が増えること、後者はさらにルーア胴体部分の断面積増加によって抵抗が増えたためと考えられる。

スパン方向の力  $F_y$  の、様々なローリング角に対するヨーイング角依存性を Fig.7 に示す。ほとんどの場合において  $F_y$  は負の値を示すが、これは図にあるように「リップの向いている方向」に対応する。図に示されるように、ローリング角が  $0^\circ$  から  $30^\circ$  まで増加すると、 $F_y$  の絶対値は大きくなる。このことから、ローリング角の増加により、スパン方向への力がリップを向いている方向に強まると言える。またヨーイング角について、正負どちらでも絶対値が  $9^\circ$  付近において力が急激に変化していることがわかった。この結果はスパン方向の力が、ヨーイングとローリング運動に関係しているものと考えられる。

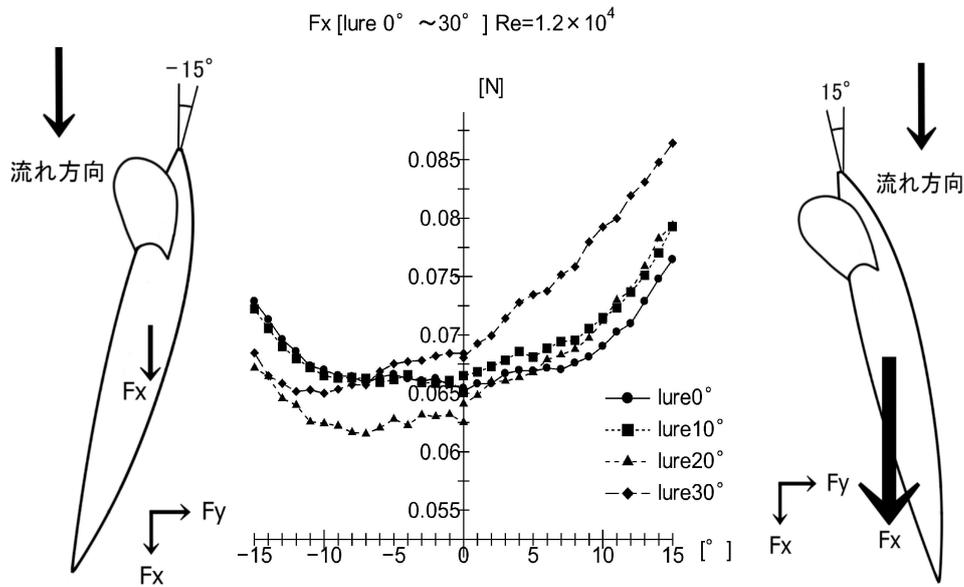


Fig.6 流れ方向の力  $F_x$  の、ヨーイング角依存性

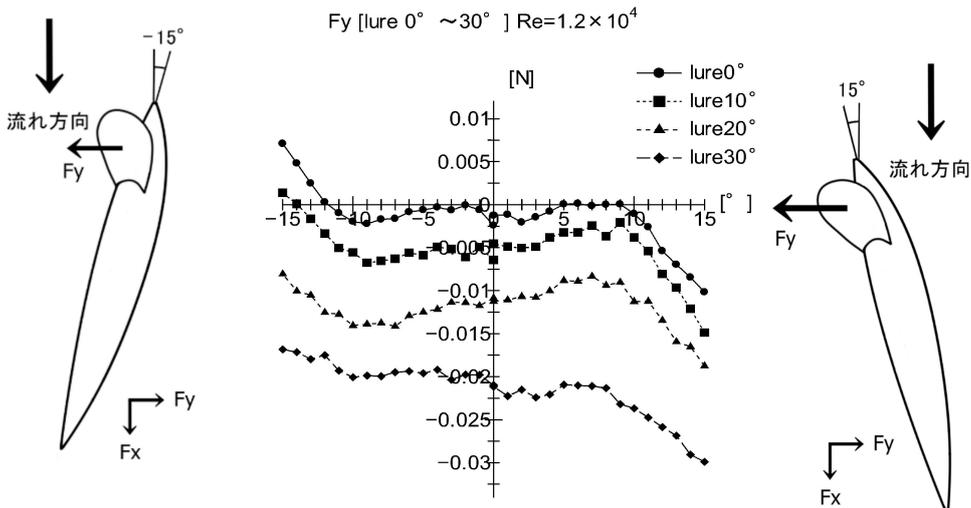


Fig.7 スパン方向の力  $F_y$  の、ヨーイング角依存性

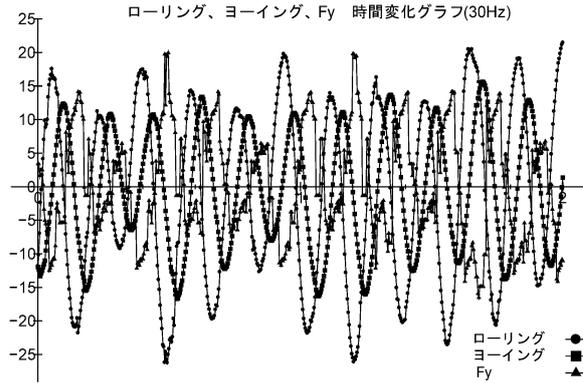


Fig.8 Movement of the lure

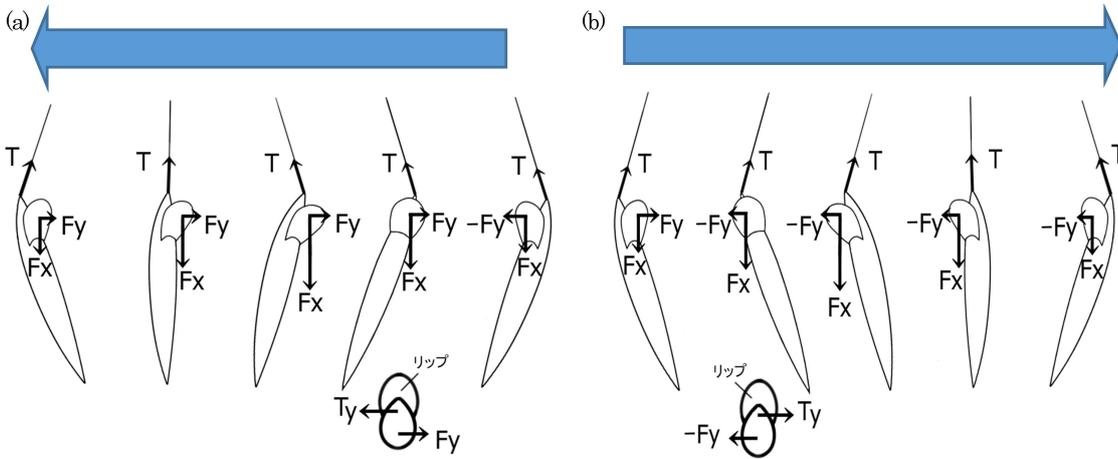


Fig.9 ルアーの動きと、はたらく力の概念図. 底面から見たときの(a)右から左へ移動するとき, (b)左から右へ移動するとき.

ローリング角, ヨーイング角と  $F_y$  の時間変化を Fig. 8 に示す. この図より, ローリング角, ヨーイング角,  $F_y$  は同じ周期を持つこと, ローリング角と  $F_y$  では位相のずれは  $\pi$ , ヨーイング角と  $F_y$  とは  $\pi/2$  のずれであることがわかる. この対応関係をもとに, ルアーの動きと  $F_y$  との関係について考察した概念図を Fig. 9 に示す. ヨーイング運動によって端まで動くと, リップを回転させローリング運動を行う. その結果力  $F_y$  がはたらき, 逆方向へと動く. さらに反対側の端点ではリップを回転させローリングの動きをし, 周期運動を続けるものと考えられる.

#### 4. 結論

水中でのルアーにかかる力について, 回流水槽と分力計を用いて計測した結果をもとに, 水中での周期運動に関する考察を行なった.

ローリング角をつけたルアーにかかる力を様々なヨーイング角について調べた. 抗力  $F_x$  はリップと胴体が重心を挟んで両側にある姿勢が最も大きい. これは断面積が最も大きくなる姿勢のためと考えられる. またスパン方向の力  $F_y$  は, リップの向いている方向に力がかかることがわかった.

これらの結果だけでは, ルアーのスパン方向の方向転換にともなうローリング運動が説明

できない。一方で張力との釣り合いも考慮したうえで、周期運動について考察する必要があることがわかった。

## 5. 参考文献

- [1] Sir J. Lighthill, *Mathematical Biofluidynamics*, SIAM, 1975.
- [2] A. Azuma, *The biokinetics of flying and swimming*, 2<sup>nd</sup> ed. AIAA, 2006.
- [3] 臺田, 稲田, 胡, 酒井, クランクベイトルアーの流体力特性に及ぼすリップ縦横比の影響, 日本水産学会誌, 68(6), 843-851, 2002.
- [4] 三木, 臺田, 稲田, 酒井, 兼廣, リップ付きハードルアーのボディ形状と潜行運動, 日本水産学会誌, 67(1), 49-57, 2001.
- [5] 高橋, 関口, 谷越, 高水, 野田, 姫野, 回流水槽を用いたルアーの計測 (生物流体力学における流れ構造の解析と役割), 数理解析研究所講究録 生物流体力学における流れ構造の解析と役割, 京都大学数理解析研究所, 105-109, 2014.