

ルアーキャストイングの力学*
(ルアー重量の影響)渡邊鉄也*¹, 笠井泰明*², 田中基八郎*³Dynamics of Lure Casting
(Influence of Lure Weight)Tetsuya WATANABE*⁴, Yasuaki KASAI and Kihachiro TANAKA*⁴Division of Mechanical Engineering and Science, Saitama University,
255 Shimo-Okubo, Sakura-ku, Saitama-shi, Saitama, 338-8570 Japan

Fly-fishing and lure fishing have been positioned as sports deliberately different from the traditional Japanese fishing-style. In the case of lure fishing, casting is the element which anglers must master in order to cast a lure at an appropriate position. Lure fishing constitutes various elements, for example, casting, reeling, hooking and landing, but the importance that casting holds is extremely large. This study uses experimental and computational analyses to investigate the dynamic behavior of lure casting. The casting process and the timing of the lure released are important for the proper presentation of lure. Moreover, the shape of a rod before the lure released is important for a long cast or controlled cast. However, it is difficult to grasp the phenomenon or to make a numerical model. Therefore, the most suitable casting method will be clarified from the viewpoint of sports engineering and human dynamics. In this paper, the system of rod and lure is modeled, and the behavior of the rod and the flying distance of a lure are calculated. Especially, influence of lure weight is clarified.

Key Words: Lure, Casting, Dynamic Behavior, Line Weight, Release Time

1. 緒 言

近年, 日本人の余暇の使い方が充実してきており, 海外からも注目されてきている. ここ数年, 自分の趣味を充実させるために余暇を利用する人が増えてきており, 特にアウトドアは最近の流行となっている. 中でもルアーフィッシングやフライフィッシングなどの外来の釣りを趣味の1つにする人が増えてきている. ルアーフィッシングやフライフィッシングは従来の日本のフィッシングスタイルとは異なる点でスポーツの1つとして位置づけられてきている. ルアーフィッシングでは, 疑似餌となるルアーの重量を利用してキャストするため, 目標地にルアーを正確に配置するには熟練が必要となる. ルアーフィッシングはさまざまな要素によって構成されている. キャスティング, リーリング, フッキング, ランディングであり, 最も重要

な要素はキャストイングである. キャスティングには, 「オーバーヘッドキャスト」, 「サイドハンドキャスト」, 「アンダーハンドキャスト」, 「バックハンドキャスト」, 「ボウ&アロウキャスト」, 「フィリッピング」, 「ピッチング」がある⁽¹⁾. 本研究では, この中で最も基本となる「オーバーヘッドキャスト」に注目する. 過去の研究では, ルアーの潜行運動に関する研究^{(2),(3)}やキャストイングマニピュレーションに関する研究^{(4),(5)}がなされているがオーバーヘッドキャストイングのモデル化や現象の解明はなされていない.

キャストイングでは, ルアーの重量を利用すると同時にロッドの弾性変形による復元力を利用している. ルアーの重量はキャストイングにおいて重要な要素の1つであり, ルアーが軽すぎると飛距離は短くなり, ルアーが重すぎるとロッドが過度に弾性変形し, キャスティングが困難になる. また, ラインの張力が増加し, 破断することが懸念される.

そこで, 本研究では, ルアーの重量に注目してキャストイング実験および数値シミュレーションを行い, その影響を解明していく.

* 原稿受付 2007年12月5日.

*¹ 正員, 埼玉大学大学院理工学研究科(☎338-8570 さいたま市桜区下大久保255).*² 埼玉大学工学部.*³ 正員, フェロー, 埼玉大学大学院理工学研究科.

E-mail: watanabe@mech.saitama-u.ac.jp

2. キャスティング実験

2・1 タックル ルアーフィッシングのタックルは図1に示すように、「リール」、「ロッド」、「ライン」、「ルアー」の4要素で構成されている。本研究で用いたロッドは Wizz TROUT MASTER ST Classic 50 で、2本継ぎのものである。ロッドは中空円筒構造で、全長152.4 cm、総重量は62g、密度は1375 kg/m³である。ロッドのアクションには「ティップアクション」、「ミディアムアクション」、「バットアクション」がある⁽¹⁾。また、ロッドの強度には、「ウルトラライト」、「ライト」、「ミディアムライト」、「ミディアム」、「ミディアムヘビー」などがあり、実験で用いるロッドは「バットアクション」で「ウルトラライト」である。

ルアーは大別して6種類ある。「スプーン」、「スピナー」、「プラグ」、「ジグ」、「スピナーベイト」、「ソフトルアー」であり、フィールドや対象魚によって使い分けられている。本研究では、キャストイングに注目していることから、木片をルアーの代わりに用いることとした。ロッドの仕様において、キャストイングウエイトが0.8g~3.5g、ラインは2~4lbであることから、木片は直径20mm、長さ19mmの中実円筒形とし、金具を含めて3.4gとした。また、ラインはTORAYのSolaroam 4lbを用いた。

リールは大別して、「スピニングリール」、「ベイトキャストイングリール」、「スピニングリール」があり、本研究では一般的に用いられているスピニングリールを用いた。

2・2 キャスティング 上腕、前腕、ロッドのグリップ部に角速度計を設置し、ルアーをキャストしたときの時刻歴角速度を測定した。上腕の角速度計は肘から10cm、前腕の角速度計は手首から6cm、グリップの角速度計はグリップの最下部に設置した。手首とグリップ最下部は相対運動しないものとし、グリップ最下部の角速度を手首の角速度とした。上腕、前腕の長さは25cm、24cm。手首からロッドまでの長さは5cmであった。角速度計はSilicon Sensing Systems製CRS03-11 (max.±573deg/s)を用いた。風の影響を無くすため、測定は体育館で行い、経験者にキャストしてもらった。被験者は直立不動とし、肩、肘、手首の関節のみが運動するようにした。

ルアーをキャストするとき、まず、人差し指でラインを押さえ、後方に振りかぶってから前方にロッドを振る動作をする。前方に振るときにラインをリリースするとルアーは前方に飛んでいく。したがって、ラインをリリースする時間が重要となる。ラインをリリースする時間を正確に把握するためにロッド先端のガイド

に電極を設置し、ルアーがガイドに接触しているときに電流が流れるようにした。これにより、ルアーがガイドから離れる瞬間を把握することができ、ラインをリリースするタイミングを考慮したシミュレーションが可能となる。実験では、ルアーをガイドに接触させた状態からキャストした。図2に腕の角速度の時刻歴波形と電極電圧の時刻歴波形の一例を示す。この図から、腕の角速度が最大になる付近でルアーが離れていることがわかる。また、バックスウィング、フォワードスウィングともに、角速度の最大絶対値は手首>前腕>上腕の順になっている。

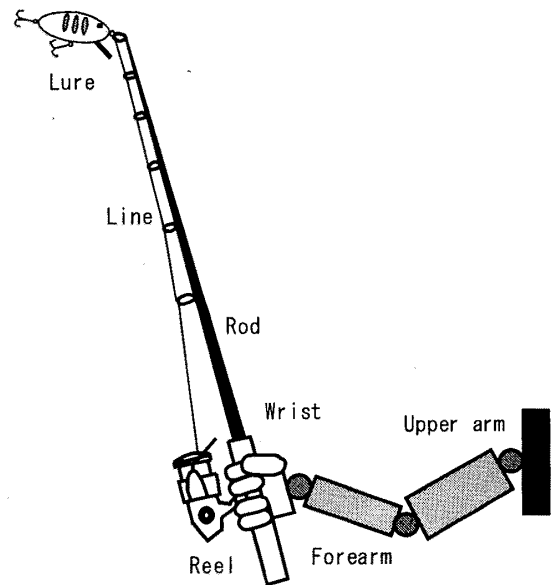


Fig.1 Tackle

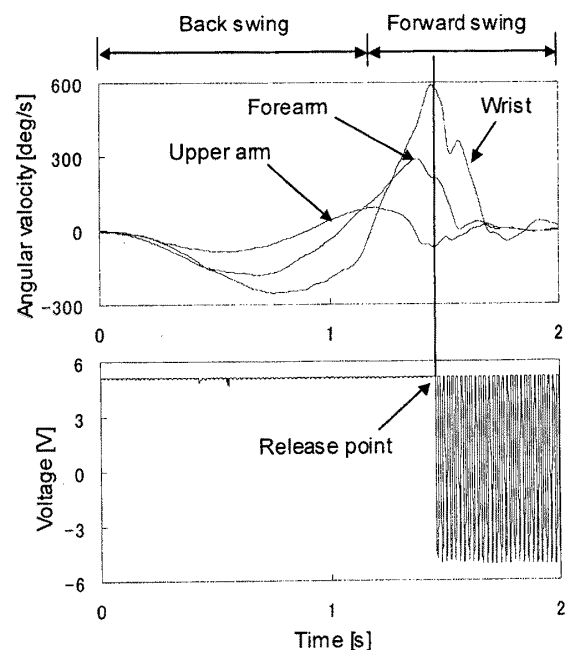


Fig.2 Time history

3. キャスティングモデル

3・1 腕, ロッド, ルアーのモデル化

腕およびロッド, ルアーは図3に示すように, 剛体要素を回転ばねと回転減衰要素で結合したモデルで近似した. 本研究では, フィールドにおける実際のキャストイングをシミュレートするために, 腕の運動を考慮した3入力モデルを構築する. ただし, ロッドは回転運動のみとする. 図3では, ロッドが4分割となっているが, 実際の計算ではロッドを約10cmごとの要素に分割した. 要素数はルアーを含めて18である. ここで用いる記号を列挙する.

- i : 要素番号(1~n)
- m_i : 要素の質量
- J_i : 要素の慣性モーメント
- k_i : 回転ばね定数
- c_i : 回転減衰係数
- ℓ_i^L, ℓ_i^R : 要素の長さ (重心から左, 右)
- $\ell_i = \ell_i^L + \ell_i^R$: 要素の長さ
- (x'_i, y'_i, ϕ_i) : 要素座標系

$$\frac{\partial \Phi}{\partial \mathbf{q}} = \Phi_q \quad : \text{ヤコビアン}$$

$\mathbf{r} = \{x_1, y_1, \dots, x_n, y_n\}^T$: 並進方向ベクトル

$\boldsymbol{\phi} = \{\phi_1, \phi_2, \dots, \phi_n\}^T$: 回転方向ベクトル

Q_r, Q_ϕ, Q : 一般化力

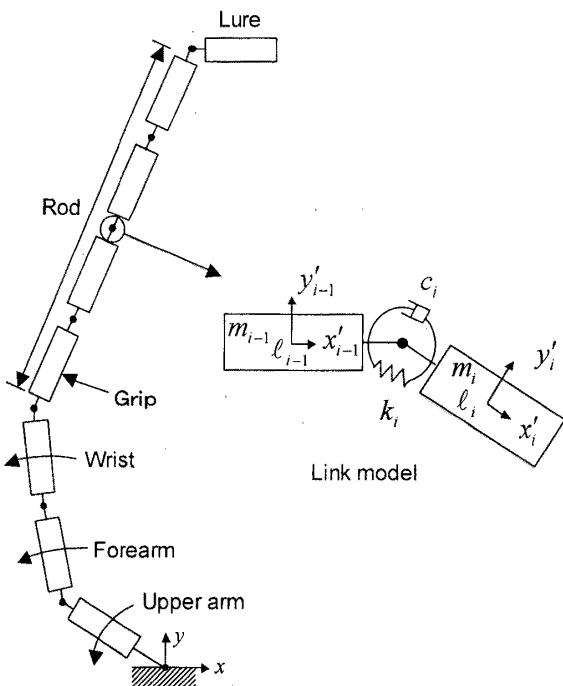


Fig.3 Casting model

i 番目の要素上の重心位置に要素座標系を設け, 一般化座標ベクトルは次式のようにする.

$$\mathbf{q} = \{x_1, y_1, \phi_1, \dots, x_n, y_n, \phi_n\}^T \quad (1)$$

要素 $i-1$ から要素 i の運動学的な拘束方程式は変位の連続条件から次の式で与えられる.

$$\Phi_{(i-1)i}^K = \begin{Bmatrix} x_{i-1} - \ell_{i-1}^R \cos \phi_{i-1} - x_i + \ell_i^L \cos \phi_i \\ y_{i-1} - \ell_{i-1}^R \sin \phi_{i-1} - y_i + \ell_i^L \sin \phi_i \end{Bmatrix} = \mathbf{0} \quad (2)$$

式(2)のベクトルの成分を, 全ての要素についてならべた全拘束式 Φ は次の式となる.

$$\Phi = \{\Phi^K\} = \mathbf{0} \quad (3)$$

Φ を時間で微分すると次式が得られる.

$$\left. \begin{aligned} \Phi_q \dot{\mathbf{q}} &= \mathbf{0} \\ \Phi_q \ddot{\mathbf{q}} &= -(\Phi_{qq})_q \dot{\mathbf{q}} \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

ここで, $-(\Phi_{qq})_q \dot{\mathbf{q}} = \boldsymbol{\gamma}$ とおく.

要素 i における質量マトリクスは,

$$\mathbf{m}_i = \text{diag}[m_i, m_i, J_i] \quad (5)$$

であり, 全質量マトリクスは

$$\mathbf{M} = \text{diag}[\mathbf{m}_1, \mathbf{m}_2, \dots, \mathbf{m}_n] \quad (6)$$

となる. 各要素間の回転ばねによる復元力, ダンパによる減衰力, および各要素に作用する重力を要素 i に作用する一般化力とすると

$$\mathbf{Q} = \{Q_1^T, Q_2^T, \dots, Q_n^T\}^T \quad (7)$$

となる. ここで, 剛体が平面上を自由に運動しているとする. 重心に座標系を置き重心に力とモーメントが作用するときの運動方程式を考え, その仮想仕事を考えると,

$$\delta \mathbf{q}^T [\mathbf{M} \ddot{\mathbf{q}} - \mathbf{Q}] = 0 \quad (8)$$

となる. 一方, 式(3)の拘束条件から,

$$\Phi_q \delta \mathbf{q} = \mathbf{0} \quad (9)$$

が得られる. 式(8), (9)とラグランジュの乗数ベクトル $\boldsymbol{\lambda}$ を用いると,

$$[\mathbf{M} \ddot{\mathbf{q}} - \mathbf{Q}]^T \delta \mathbf{q} + \boldsymbol{\lambda}^T \Phi_q \delta \mathbf{q} = [\mathbf{M} \ddot{\mathbf{q}} + \Phi_q^T \boldsymbol{\lambda} - \mathbf{Q}]^T \delta \mathbf{q} = \mathbf{0} \quad (10)$$

となる. 式(10)が成り立つには

$$\mathbf{M} \ddot{\mathbf{q}} - \mathbf{Q} + \Phi_q^T \boldsymbol{\lambda} = \mathbf{0} \quad (11)$$

でなくてはならない. 式(4)と式(11)を連立させると次式のような運動方程式が得られる.

$$\begin{bmatrix} \mathbf{M} & \Phi_q^T \\ \Phi_q & 0 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \dot{\mathbf{q}} \\ \lambda \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \mathbf{Q} \\ \gamma \end{Bmatrix} \quad (12)$$

この運動方程式を並進方向ベクトルと回転方向ベクトルに関して分離することにより、次式が得られる。

$$\begin{bmatrix} \mathbf{M}_r & 0 & \Phi_r^T \\ 0 & \mathbf{M}_\phi & \Phi_\phi^T \\ \Phi_r & \Phi_\phi & 0 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{\mathbf{r}} \\ \ddot{\phi} \\ \lambda \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \mathbf{Q}_r \\ \mathbf{Q}_\phi \\ \gamma \end{Bmatrix} \quad (13)$$

式(13)から $\ddot{\mathbf{r}}$, λ を消去することにより $\ddot{\phi}$ のみの方程式に縮約させる。縮約した式は次のようになる^{(6),(7)}。

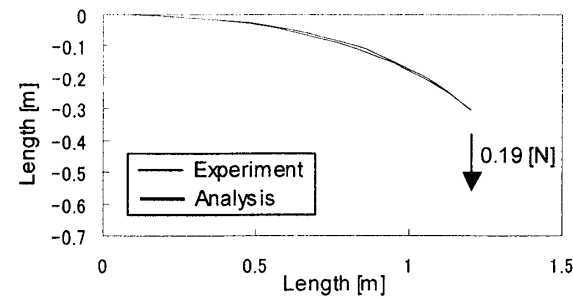
$$\mathbf{M}^* \ddot{\phi} = \mathbf{Q}^* \quad (14)$$

$$\mathbf{M}^* = \mathbf{M}_\phi + \Phi_\phi^T (\Phi_r^T)^{-1} \mathbf{M}_r \Phi_r^{-1} \Phi_\phi \quad (15)$$

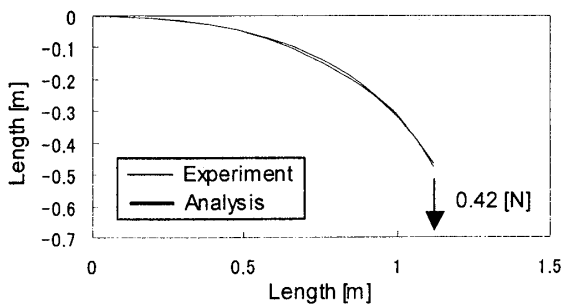
$$\mathbf{Q}^* = \mathbf{Q}_\phi - \Phi_\phi^T (\Phi_r^T)^{-1} (\mathbf{Q}_r - \mathbf{M}_r \Phi_r^{-1} \gamma) \quad (16)$$

式(14)を時間積分して各要素の角速度、角変位を求める。数値積分では、上腕、前腕、手首を実験から得られた時刻歴角度で駆動拘束した。

図4に、ロッド先端に0.19Nと0.42Nの力を作用させたときのロッドの形状を示す。実験および解析モデルはほぼ等しい形状を示している。各要素の減衰定数は実験により求めることが困難であるため、ここでは微小な値として 10^{-3} [Nms/rad] を用いた。ルアーは軸方向に飛行するものとし、空気による抵抗を考慮したモデルとした。空気抵抗係数は円柱軸方向に作用する抵



(a) Load 0.19N



(b) Load 0.42N

Fig.4 Rod shape at static load

抗として0.84とした。ロッドの縦弾性係数は静的な荷重試験結果から75GPaとした。腕の長さは被験者を測定して得られた値を用いた。腕は駆動拘束するため、剛性や減衰は考慮していない。

3・2 ラインの影響を考慮した解析

実際のキャストイングでは、ラインによる抵抗力が作用している。これは、ラインとリールのスプール、あるいはガイドとの摩擦が主な原因である。ここでは、抵抗力を考慮した解析を行う。ラインを引いた時の速度と反力を測定した結果を図5に示す。ラインによる抵抗力は速度とともに増加していることがわかる。したがって、ルアーの速度により抵抗力は変化しているが、計算の簡略化のため、ここでは一定値とした。キャストイング実験ではルアーの平均速度が11m/sであったことから、簡易的に0.02[N]の力がルアーの飛行方向と逆向きに作用するようにした。図6に実験とシミュレーションの比較を示す。横軸が実験におけるルアーの飛距離であり、縦軸がシミュレーションにおける飛距離である。図中の直線が実験とシミュレーションが一致している場合であり、●が計算結果である。●が直線上にあれば、実験とシミュレーションは一致していることになる。この図から、簡易的に張力を一定にしたシミュレーション結果は実験結果と良好に一致しており、ラインの影響を考慮した解析が可能であることがわかった。

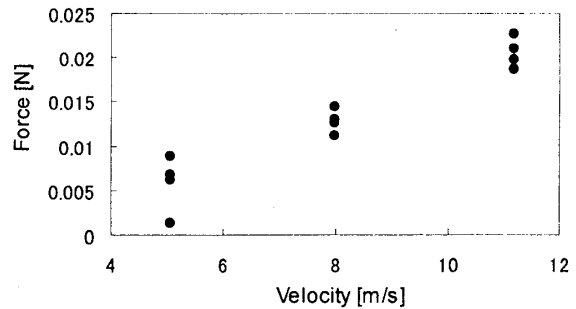


Fig.5 Force by line

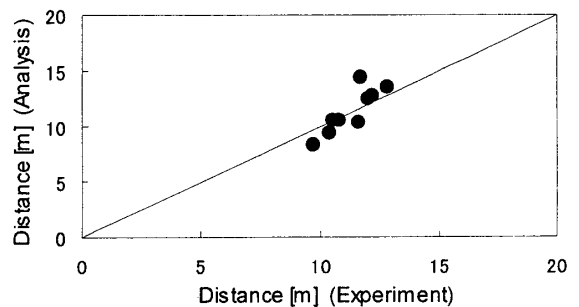


Fig.6 Casting distance

4. キャスティング挙動解析

キャスティングに関するパラメータとして、ルアー重量とルアーをリリースするタイミングに注目し、それぞれのパラメータによる挙動の違いを検討する。ここでは、手首の最大角速度が生じる時間を基準とし、そこからルアーをリリースするまでの時間をリリースタイムとする。

4・1 ルアー重量による比較 ルアーの重量を変化させたときのリリースタイムの実験結果を図7に示す。ルアーが重くなるにつれてリリースタイムは増加している。すなわち、手首の最大角速度が生じた後にリリースしており、ルアーが重いほどリリースする時間が遅いことになる。重量が約15gまではほぼ直線的に増加していることがわかる。

次に、ルアー重量による投げやすさを図8示す。これは、ルアーをキャストしたときの投げやすさを5段階で評価したものであり、5が非常に投げやすい、4が投げやすい、3が普通、2が投げにくい、1が非常に投げにくい、とした。図中の○が実験結果であり、曲線は多項式で近似した曲線である。この図から、約3～6gが投げやすい重量であることがわかる。また、約10gを超えると評価値が3以下になることから、本実験で用いたロッドは、10gまでは違和感のないキャスティングが行えることになる。

次に、バックスウィングにおいて、ロッドのグリップ部と先端の最大相対角度が90度になる場合のルアーの重量を図9に示す。横軸は実験番号であり、それぞれの実験における腕の角速度を入力したときのシミュレーション結果である。ルアー重量を0.5gきざみに変化させてシミュレーションを行い、相対角度が90度を超えたときの重量を求めた。相対角度が90度を超えると、ロッドが復元するときに、グリップ軸に直行する軸に対して負の方向に速度が生じるため、投げにくくなると考え、90度に注目した。この図から、最大相対角度が90度になるルアー重量は平均5gであり、図8の投げやすい重量とほぼ等しいことがわかる。したがって、投げやすい重量を評価するには、バックスウィングにおけるグリップと先端の最大相対角度が90度となるルアー重量をシミュレーションで求めれば良いことになる。バックスウィングだけのシミュレーションでは、ルアーがロッドから離れた飛行状態を計算する必要がないため、モデルも簡便であり、計算時間も短い。したがって、投げやすいルアー重量を簡易的に求めるには有効な方法である。

次に、人間の誤動作や糸のからまりにより、ルアーがリリースされない場合がある。そのとき、ラインに

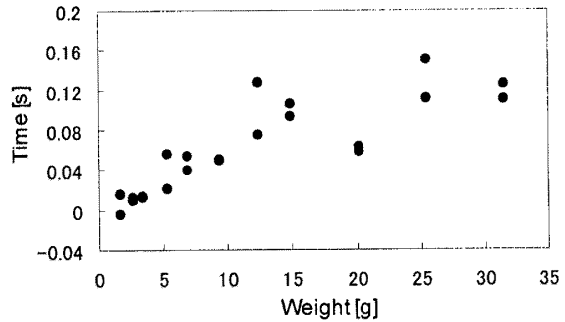


Fig.7 Release time with respect to lure weight

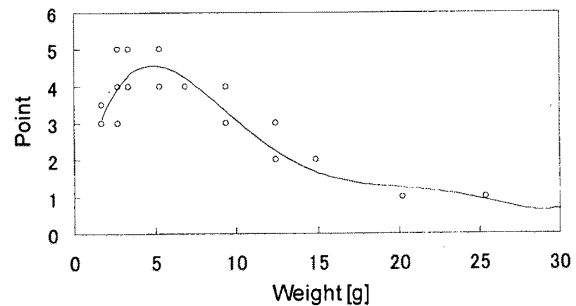


Fig.8 Easiness for casting with respect to lure weight

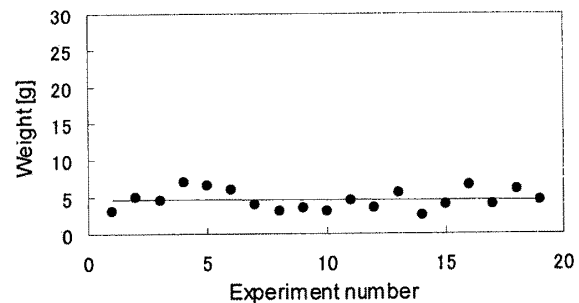


Fig.9 Weight in the case that rod angle is 90 degree

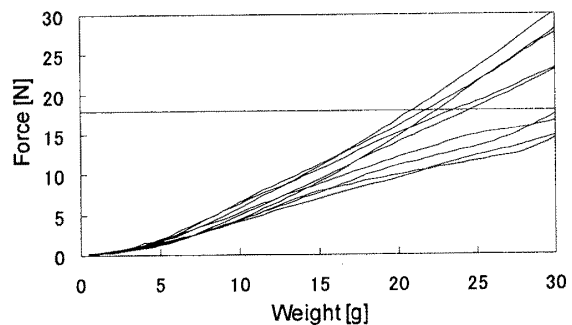


Fig.10 Force acting on lure

は非常に大きな荷重が作用する。そこで、ルーアーをリリースしない場合における、ルーアーに作用する最大荷重を図 10 に示す。これは、ルーアー重量によるシミュレーション結果であり、9 回の実験により得られた角速度を入力としている。実験で用いたラインは 4lb であり、 $4lb=1816g=17.8N$ の重量でラインは破断することになる。図中の直線は 17.8N であり、この線を越えると破断することになる。安全率を 3 と仮定すると、荷重は約 6N であり、そのときのルーアー重量は約 10g である。したがって、ラインの強度を考慮すると、ルーアー重量は 10g 以下が良いことがわかる。

4・2 腕の模擬角速度 実験から得られる腕の角速度は実験ごとに異なる。しかし、ロッドの設計を行うには、設計用の入力波が必要となる。そこで、設計用入力波として、腕の模擬角速度を求める。図 11 に腕の角速度の時刻歴挙動を示す。(a)が上腕、(b)が前腕、(c)が手首であり、ルーアー重量を 1.7g~31.5g まで変化させたときの 20 回の実験結果を示したものである。これらの図から、ルーアー重量による大きな差は見られないことがわかる。そこで、これらの結果を関数で近似することを考える。考慮するパラメータとして、ピークの時間、鋭さ、最大値が挙げられ、式(17)のように表すこととした。

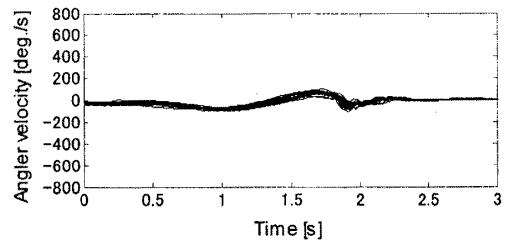
$$v(t) = \sum_{i=1}^2 \beta_3^{(i)} \exp\left(-\frac{(t-\beta_1^{(i)})^2}{\beta_2^{(i)}}\right) \quad (17)$$

ここで、 β_1 、 β_2 、 β_3 はそれぞれピークの時間、鋭さ、最大値を表す。表 1 に各パラメータの値を示す。i はスウィングの方向を示しており、1 がバックスウィング、2 がフォワードスウィングである。

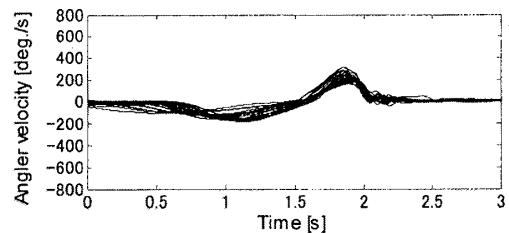
図 12 に腕の模擬角速度を示す。ルーアーをリリースする時間は手首の最大角速度が生じる時間を基準とする。この角速度を用いれば平均的な挙動をシミュレートすることが可能となる。

Table 1 Parameter β_1 , β_2 , β_3

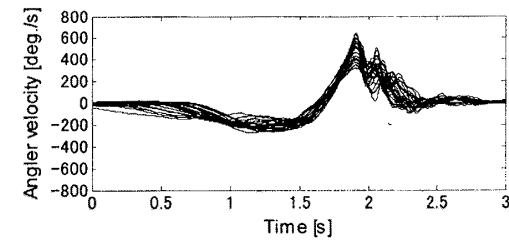
	i	$\beta_1^{(i)}$	$\beta_2^{(i)}$	$\beta_3^{(i)}$
Upper arm	1	1	0.2	-90
	2	1.65	0.05	100
Forearm	3	1.15	0.1	-180
	4	1.85	0.04	300
Wrist	5	1.3	0.2	-250
	6	1.9	0.03	600



(a) Upper arm



(b) Forearm



(c) Wrist

Fig.11 Angler velocity by experiment

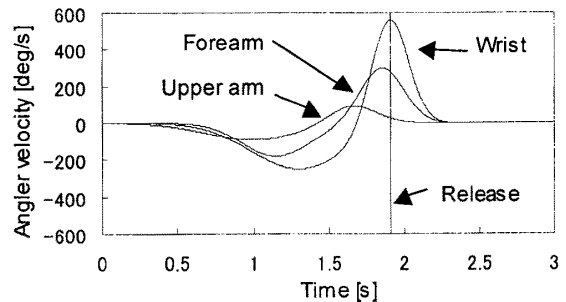


Fig.12 Artificial angler velocity

4・3 時刻歴挙動 前節で得られた腕の模擬角速度を用いて時刻歴挙動をシミュレートする. 図 13 はルアー重量が 3.4g の場合の挙動である. (a) はバックスウィング, (b) はリリースタイムが -0.1 秒の場合, (c) はリリースタイムが 0 秒の場合, (d) はリリースタイムが 0.1 秒の場合である. (b) のようにリリースするタイミングが早いとルアーは前方に飛ばないことがわかる. また, (d) のように遅いと距離が短いことがわかる. これに対して, (b) は 12m 以上飛んでいることから, 飛距離が長くなる適切なリリースタイムがあることがわかる. これについては次節に記述する. 図 14 はルアーに作用する荷重であり, リリースする時間で最大となることがわかる.

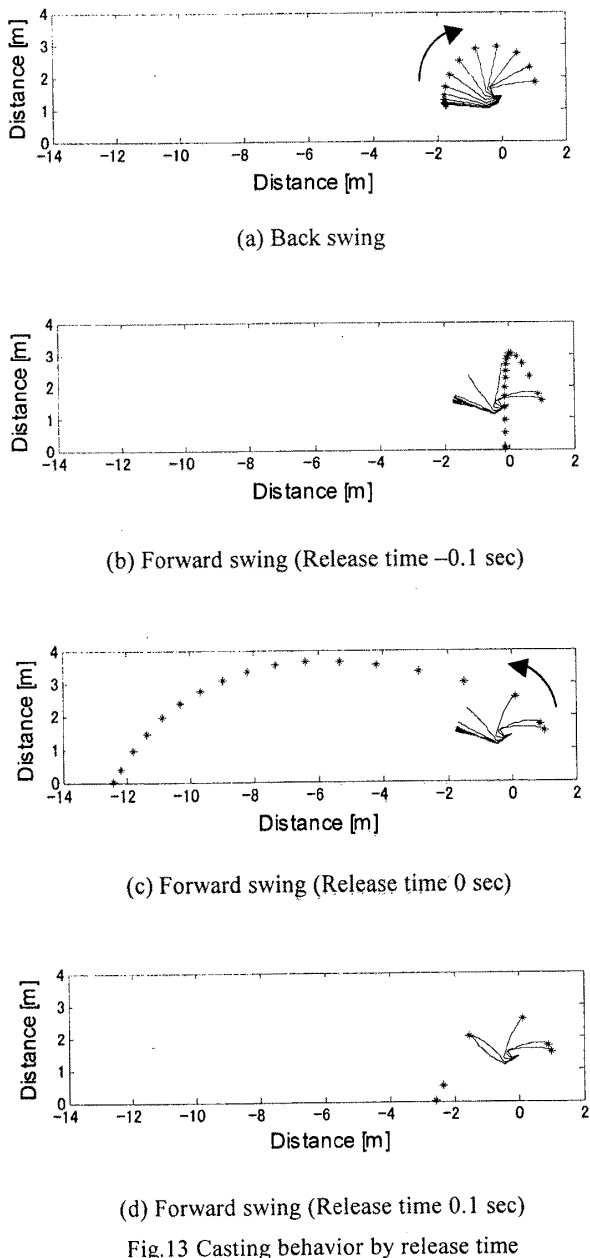


Fig.13 Casting behavior by release time

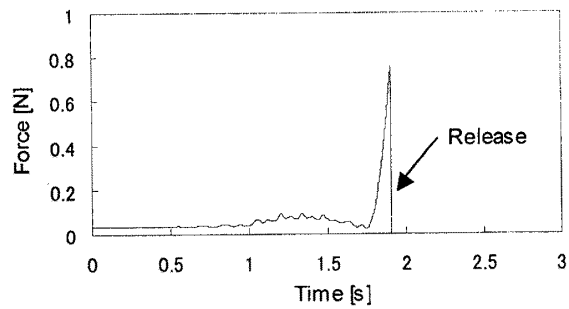


Fig.14 Force acting on lure

4・4 リリースタイム, ルアー重量による挙動

ここでは, 模擬角速度を用いて, リリースタイムとルアー重量による挙動の違いを調査する. リリースタイムは-0.1 秒~0.1 秒とし, ルアー重量は 0.5g~15g とした.

図 15 にルアーの最大速度を示す. ルアー重量が約 6g までは, 最大速度はリリースタイムの増加にともない増加しているが, 6g を超えるとリリースタイムが 0.1 秒のときが最大となっている.

次に, ルアーに作用する最大荷重を図 16 に示す. この図から, リリースタイム, ルアー重量が大きいほどルアーに作用する荷重は大きいことがわかる. リリースするタイミングが早い場合, バックスウィング後のロッドの弾性変形が復元する前にルアーをリリースすることになり, ルアーに作用する荷重は小さくなる. ルアーに作用する荷重は主に遠心力である. このため, 図 15 において, リリースタイムが小さい場合の最大速度が小さいことから, 遠心力も小さく, ルアーに作用する荷重も小さい.

次に, グリップとロッド先端の最大相対角度を図 17 に示す. この図から, ルアー重量が大きくなると最大相対角度は大きくなっている.

次に, 飛距離を図 18 に示す. ルアー重量が小さいとラインや空気による抵抗のため, 飛距離が短いことがわかる. また, 飛距離が長いのはリリースタイムが 0 秒付近であることがわかる. そこで, 横軸をルアー重量, 縦軸を最大飛距離が生じるリリースタイムにして描いた図を図 19①に示す. この図からルアー重量が大きくなるとリリースタイムは増加している. また, ルアーが 15g まではリリースタイムは 0.02 秒以下であることがわかる. 第 3 章の図 7 と比較すると, この値は非常に小さい. これは, 図 7 では, 実験を体育館で行ったため, 高さに制限があることと, 目標距離を 15m としてキャストしたため, ルアーをリリースするタイミングが遅くなったことによる. 図 19①の結果から, 飛距離の長いキャストをするには, ルアーをリリース

するタイミングを、手首の最大角速度が生じる時間から0~0.02秒遅らせると良いという結果が得られた。

次に、ルアーが飛行するときには、ラインや空気の抵抗力が作用するが、これらの力が作用しないと仮定すると放物線運動となり、シミュレーションが容易になる。そこで、ルアーが放物線運動すると仮定した場合のリリースタイムとルアー重量の関係を調べた。リリース後のルアーの飛距離は、式(18)で求めることができる。

$$x = \frac{v_y + \sqrt{v_y^2 + 2gd_y}}{g} v_x - d_x \quad (18)$$

ここで、 v_x 、 v_y 、 d_x 、 d_y 、 g はそれぞれ、リリース直後のx方向速度、y方向速度、x座標、y座標、重力加速度である。この式を用いて、最大飛距離が生じるときのルアー重量とリリースタイムの関係を求めた結果を図19②に示す。この図から、ルアー重量が5g以下ではルアーをリリースするタイミングを、手首の最大角速度が生じる時間より早くした方が飛距離が長いことがわかる。しかし、重量が大きいと図19①と②の

値は近づき、抵抗力の影響は少なくなっていることがわかる。したがって、重量の大きいルアーをキャストする場合には、ラインや空気の抵抗を考慮せず、放物線運動と仮定した簡易計算によりルアーをリリースする適切なタイミングを推定することが可能である。

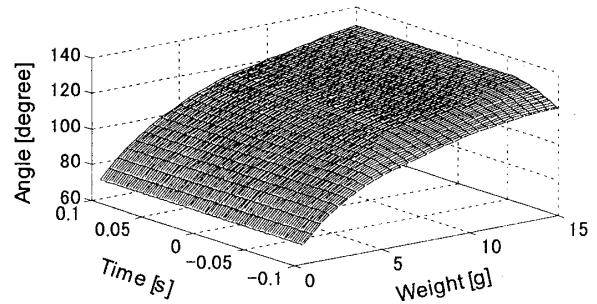


Fig.17 Maximum angle between rod grip and rod tip

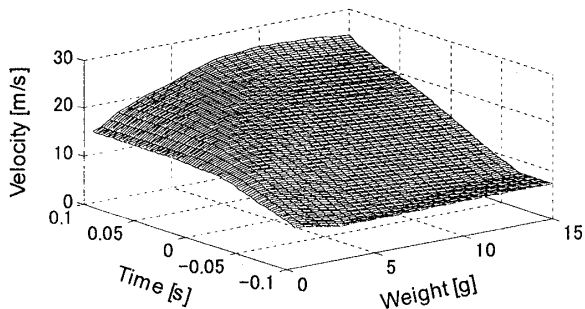


Fig.15 Maximum velocity of lure

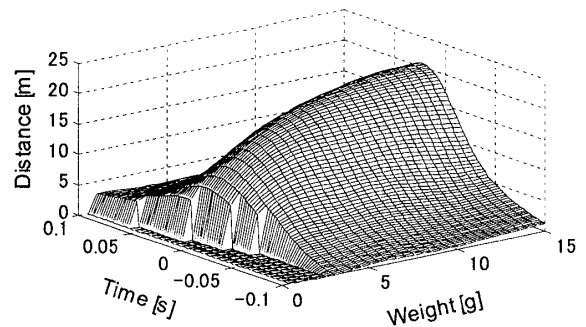


Fig.18 Maximum distance

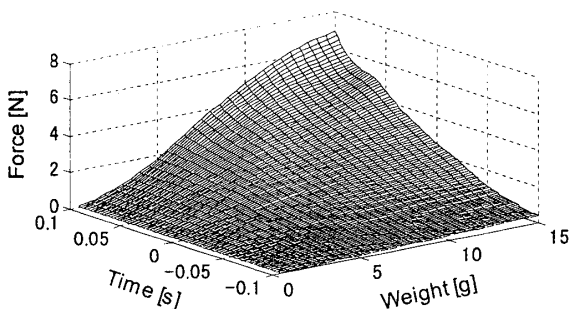


Fig.16 Maximum force acting on lure

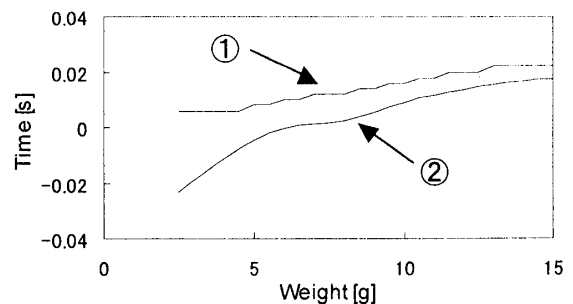


Fig.19 Release time of maximum distance

5. 結 言

本研究では、ルアーの重量、ルアーを放すタイミングについて検討した。実験およびシミュレーションから、本研究の範囲内において以下の結果が得られた。

- (1) ラインの抵抗、空気抵抗を考慮したシミュレーションを行い、実験結果と比較したところ、ルアーの飛距離を良好にシミュレートできた。
- (2) ルアー重量による投げやすさを評価した。また、グリップとロッド先端の最大相対角速度が 90 度になるときのルアー重量と投げやすさには関連があることがわかった。
- (3) ルアーをリリースしない場合の、ルアーに作用する荷重を調査し、ラインの引張強さとルアー重量について考察した。
- (4) 腕の模擬角速度を提案し、リリースタイムとルアー重量による挙動を調査した。
- (5) ルアー重量は 3~6g, リリースタイムは 0~0.02 秒が適切であることがわかった。
- (6) ルアー重量が重い場合には、ラインの抵抗や空気抵抗を考慮しない放物線運動を仮定した簡易計算で適切なリリースタイムが得られることがわかった。

参 考 文 献

- (1) Okuyama, H., Lure fishing manual,(1997), *Yama-kei Publishers Co.,Ltd.*
- (2) Daida, N., et al., Retrieving Depth of Crank Bait Lure Controlled by Tied-eye Position, *Nippon Suisan Gakkaishi*, 65(5)(1999),pp.839-846.
- (3) Miki, T., et al., Diving Behavior of Lipped Hard-lure Changed by the Body Shape in the Retrieving Process, *Nippon Suisan Gakkaishi*, 67(1)(2001), pp.49-57.
- (4) Arisumi, H., et al., Study on Casting Manipulation (1st Report, Manipulator with Flexible String and its Swing Motion Control), *Transactions of the Japan Society of Mechanical Engineers, Series C*, Vol.64, No.626(1998), pp.162-169.
- (5) Nishida, T. and Ogasawara, K., Control of Modeled Tether System with Casting Operation, *Proceedings of JSME Conference*, No.045-2(1)(2004), pp.131-132.
- (6) Haug, E.J, Computer-Aided Kinematics and Dynamics of Mechanical Systems, *Taiga Shuppan*,(1996),pp.203.
- (7) Sugiyama, H. and Kobayashi, N., Analysis of Spaghetti Problem Using Multibody Dynamics, *Transactions of the Japan Society of Mechanical Engineers, Series C*, Vol.65, No.631(1999),pp.54-59.