

自律型水中ロボットによる魚の捕食動作のモデル化

-二次元運動対象への捕食動作のモデル化-

Modeling of fish predatory behavior using autonomous underwater vehicle

-Modeling of fish predatory behavior for two-dimensional moving target-

○高昊天^{1,2}, 山生章義², 三好扶²

○ H.Gao^{1,2}, A. YAMAOKI², and T. MIYOSHI²

¹大連理工大学, ²岩手大学

¹ Dalian University of Technology, ² Iwate University

キーワード: 水中ロボット (underwater vehicle), 視覚追跡 (visual tracking),

捕食動作 (predatory behavior), 自律捕捉 (autonomous capturing),

モデル化 (modeling)

連絡先: 〒020-8551 盛岡市上田 4 丁目 3-5 岩手大学 理工学部 システム創生工学科 三好扶

E-mail: tmiyoshi@iwate-u.ac.jp

1. 緒言

生物は進化の過程で種特異的な機能と生態系を獲得している. 生息地に適応した運動機能や感覚機能の獲得は、種の生息、生存、維持において極めて重要な役割を果たし、生物多様性を明確にする要因ともなる.

人間と生物の持続可能な共存のためには、生物の運動制御系を明らかにすることが重要である. 本研究では、海洋の生物多様性と生態系の機能を理解することに焦点を当てる. 生物の行動を明らかにする場合、我々は一般に物体の動きを観察する^{1,2)}. しかし、捕食行動は水、海の中で行われる高速運動であるため、観察により運動制御系を解明することは極めて困難である. 本研究では、キンメダイの捕食動作をモデルで解明しようとする. キンメダイが捕食動作を行うとき、対象の動きに応じて移動方向が時々変更されることが推測される³⁾. 捕食動作モデルの一部として自動捕捉を実行するための視覚追跡システムと把持機構の開閉を判断するシステムを構築した⁴⁾. 本稿では、水中で数種類の平面運動が可能な実験環境を構築し、ロボットによる自律的な捕捉を行った. この自律

的な捕捉動作実験と評価について報告する.

2. 要求機能

最初に、我々は捕食行動の流れを要約した. i) 自由水泳、ii) 視力、聴覚、嗅覚で対象を推定、認識する、iii) 体軸を対象に向ける、iv) 対象であると確認する、v) 予測しながらラッシュする、vi) 口を閉じる. 以上から、捕食動作のモデル化に必要な機能は以下の通りである. i) サージ、ピッチおよびヨーの自由度を持つカメラおよび推進機構を備えたビジュアルサーボによって追跡する. ii) 対象の動きを予測する. iii) 対象にラッシュする. iv) 対象がハンドに突入したかどうかを判定し、ロボットハンドを閉じることによって捕食を再現する.

上記の i, iii, iv を満たすために、ロボットの制御システムとして、カラーカメラと、アクチュエータ駆動パルスを発生するマイクロコンピュータと、サージ、ピッチ及びヨーの自由度を有するプロペラ推進機構とサージ方向のハンドを持つ. 外観を図 1 に示す. 本稿では、機能 ii を持たない追従性能を評価する. この評価は、後に機能 ii を実施した際の性能比較に資する.

3. 自律捕捉システム

プレデターによって対象の捕捉を達成するアプローチについて説明する、プレデターは対象を認識し、プレデターの x 軸を対象に向け、 x 軸方向の推力を出力して前方に移動する。最後に、対象がハンド内に入ったかどうか判断しハンドを閉じることで、対象を捕捉する。プレデターの x 軸を対象に向けるために、カメラ画像に基づく視覚追跡システムを使用する。このシステムのブロック図を図 2 に示す。システムは以下のように実行される。i) 対象画素位置を与える。ii) カメラから得られた対象の重心位置からの偏差を計算する。iii) 姿勢変化の PID コントローラへの偏差を入力する。iv) 出力に対応する推力をスラスタが生成する。v) プレデターの姿勢を変え、カメラを対象に向ける。次に、偏差が 6 ピクセルに設定された閾値よりも小さい場合、前へ移動し判断を行って対象をハンドに捕捉させる。この動作を図 3 に示す。

4. 自律捕捉実験

4.1 実験環境

第 3 章で説明したシステムを用いて、水中で移動する対象に自律的な捕捉動作を実行する。実験環境の概要を図 4 に示す。1600×1200×1200[mm]のタンクに水が 1000 [mm] 入っている。また、外で用意したア

クチュエータを直径 80[mm]の赤色ボールにアルミフレームで接続する。赤色ボールの x, y 方向の平面移動機構については、2つのリニアスライダ (MY2C25G-700L) を使用し、軌跡については後述する。以前の実験で機体が対象に近づいた時、かつ対象の往復運動における切り返しの段階で対象を見失うといった特徴があった。対象が平面運動で方向を変えるとき、視覚追跡システムに基づく捕食動作の特徴を理解するために、直線往復運動、円運動と四角形運動の対象の移動方向が異なる三つの条件を用意した。図 4 に示すタンクの座標では、対象の平面運動の中心位置を (600,800,1100) [mm]とし、

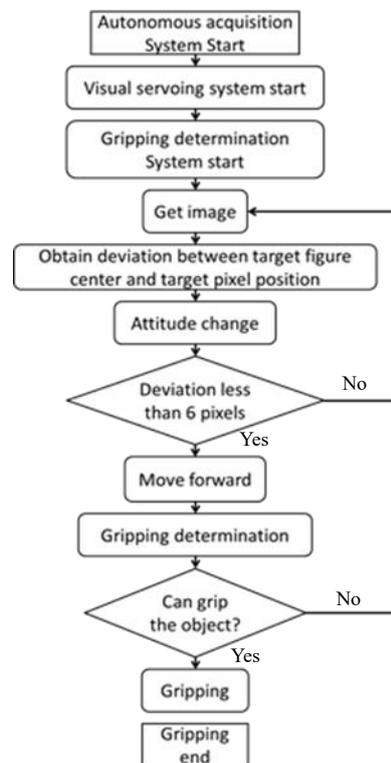


Fig.3 自律捕捉システムフロー

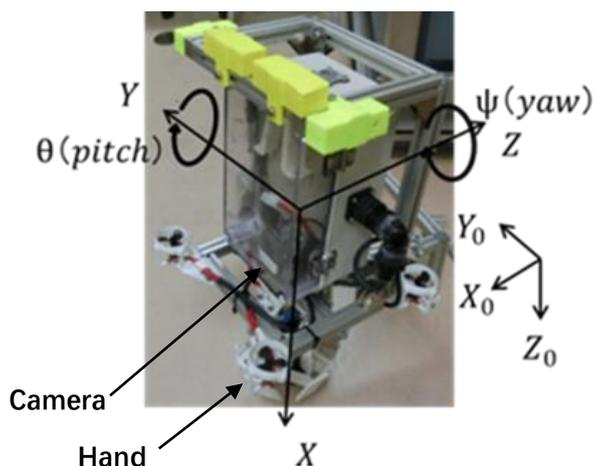


Fig.1 Predator の外観

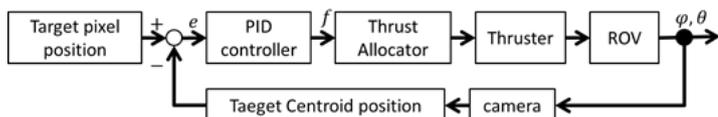


Fig.2 視覚追従システムのフロー

Linear slider

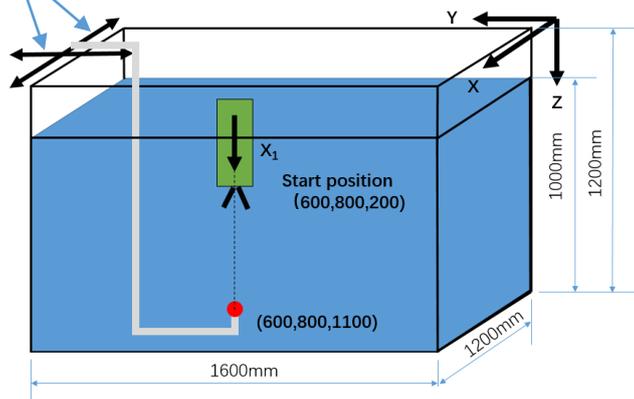


Fig.4 実験環境概要

x、y 平面上の円運動と四角形運動を行い、直線往復運動は x 方向に移動する。ロボットの開始位置は、(600,800,200) [mm]、水面に設定され、わずかに沈み、プレデターの x_1 軸を対象の平面運動の中心に直接向ける。

円運動の直径は 500[mm]とし、四角形運動と直線往復運動を同じ速度で円運動と同じ周期にする。対象速度が 20、40、60、80、100[mm/s]、周期が 78、39、26、20、16[s]になるように自律的に五回試行を繰り返す。各条件の下での動作を確認する。

4.2 結果と考察

実験結果を図5に示す。自律捕捉は各軌道において対象速度 60[mm/s]以下で良い効率を保持できることがわかる。円運動、四角形運動および直線往復運動の速度限界はそれぞれ 100[mm/s]、80[mm/s]および 60[mm/s]

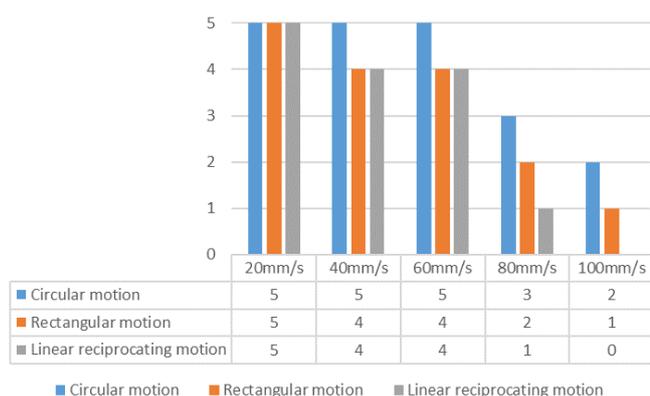


Fig.5 成功した捕捉の回数

である。実験中に得られた往復運動対象の捕捉成功のカメラ画像を図 6 に示す。この図において、自律動作は以下のように実行される。i) プレデターは姿勢をわずかに変えてカメラを対象に向けた。この時点で対象は離れた。ii) 対象が回転運動をしており、追跡が遅れていた。iii) 対象を再び対象画素位置に収束した。iv) 対象が対象ピクセル位置に収束するとき前進した。v) 対象に近づいていた。vi) 突然の移動方向の変化に対処しながら対象に接近した。vii) 対象がハンド内に入り、ハンドを開くか閉じるかを決定した。viii) 対象をつかんだ。

同じ条件下では、円運動、四角形運動、直線往復運動の順に捕捉動作を達成しやすいことがわかる。100[mm/s]の円運動と四角形運動の対象に対して失敗した捕捉動作のロール、ピッチ、ヨーの姿勢を図 7 と図 8 に示す。各条件において、見失う前のピッチとヨーの姿勢変化量はプレデターと対象の距離が短くなるほど増加している。その理由は、プレデターが対象を追跡するために常に対象を画角の中央に収めるよう動作しており、近づいている場合対象の小さな動きでも大きな推力が出力されるためである。四角形運動中のピッチとヨーの姿勢変化量は、円運動時よりも大きく、特に対象方向の変化の段階で大きくなっている。円運動をする対象は、運動の中でゆっくりと方向を



i) ii) iii) iv)



v) vi) vii) viii)

Fig.6 成功した捕捉往復運動の画像 (1 試行にi) ~viii) 繰り返す)

変えるのに対して、四角形の運動をする対象は運動の間に突然方向を変化する。よってこれらの結果から捕食動作の達成率は、対象の方向変化の緩急に関連していると推測する。

5. 結論

本論文では、水中で数種類の平面運動が可能な実験環境を構築し、ロボットによる自律的な捕食動作を行った。その結果、60[mm/s]以下の速度で効率よく自律的に捕捉することを確認した。また失敗した捕捉動作から、対象を捕捉する間に、距離が近づくとつれ姿勢変化の量が増加するという特徴を発見した。特に失敗捕捉動作では、プレデターは対象がより激しく方向を変換した時に対象を見失うことがわかり、対象の方向が次々と変化するにつれて、より対象を追跡するために姿勢を調整することが困難になる。キンメダイは常に対象に近づき、対象の移動を予測する³⁾。しかし、本稿で行った実験では、プレデターには予測機能が搭載されていないため、今後は、プレデターが対象に近づく前に対象の動きを観測して学習し、対象の動きを予測して捕捉することができるシステムを構築しようとする。予測システムの構築では、突進のための出力

推力は、対象とプレデターとの間の距離および対象の変化する方向の急激さ程度によって調整可能としていく。将来的には、魚の捕食行動の解明に貢献するために、3次元水泳対象を捕捉させ、その動作を分析することに挑戦する。

謝辞

本研究の一部は JSPS 科研費 17K08029 の助成を受けたものです。

参考文献

- [1] Yuichi Takeuchi, et al. Acquisition of Lateralized Predation Behavior Associated with Development of Mouth Asymmetry in a Lake Tanganyika Scale-Eating Cichlid Fish,
- [2] MYUNG Sung KOO, et al. Inducing effect of visual stimulus for moving targets in red sea bream *Pagrus major*, *Nippon Suisan Gakkaishi*, 79(2), 158-165 (2013)
- [3] Yasuko KUBOSHIMA*, et al. Feeding behavior of *Alfonsino Beryx splendens*, *Shinkansen Research Report No. 3* (1998)
- [4] Akiyoshi YAMAOL, et al. Development of underwater robot system which contributes to model construction of predation behavior of fish, *SICE Tohoku* 308-4

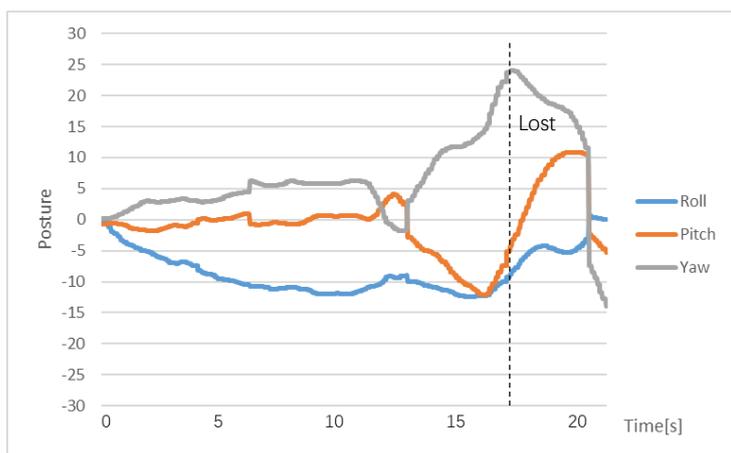


Fig.7 円運動対象の捕捉動作の姿勢



Fig.8 四角形運動対象の捕捉動作の姿勢