

# モンハナシャコの攻撃的行動を規範とした インタラクティブデバイス

福島 昭彦<sup>1,a)</sup> 河口洋一郎<sup>2,b)</sup>

**概要:** 気性が荒く縄張り意識も強いモンハナシャコは、捕脚を高速で打ち出し、貝などを割って捕食する。このようなモンハナシャコの攻撃的生態は、漫画や映画などのサブカルチャーの分野で取り上げられていることから、その生態が娯楽性や話題性を内包することが推測される。本研究では、全長約 1 m のモンハナシャコ型打ち出しデバイスを開発することで、実体のあるメディアとして、モンハナシャコの攻撃的生態を娯楽装置へ応用する可能性を探求する。

## Aggressive Appendage-inspired Interactive Device in Mantis Shrimp

AKIHIKO FUKUSHIMA<sup>1,a)</sup> YOICHIRO KAWAGUCHI<sup>2,b)</sup>

**Abstract:** Stomatopods(mantis shrimp) have characteristic raptorial appendages to smash prey such as shellfishes. It is speculated that such aggressive appendages contain entertainment and topicality. This arises from adoption of them for characters in works, especially movies and comics. We explored the method to apply the aggressive appendages of the mantis shrimp to the entertainment device. Therefore we developed the mantis shrimp-inspired interactive device of approximately 1m in total length.

### 1. 背景

モンハナシャコは、世界各地の浅い海のサンゴ礁や砂底に生息するシャコの一種である。モンハナシャコはそのすべての種が肉食であり、捕脚を高速で打ち出し、貝などを割って捕食する [1]。近年、モンハナシャコの特徴的な捕脚メカニズムを模倣したロボットやデバイスが提案されている。Ninjabot は、モンハナシャコの捕脚における流体物理に関わる現象を調査するため開発された装置である [2]。Ninjabot は打ち出しの際に水中に生じる空洞現象 (キャビテーション) の再現に成功している。さらに、Yamada らは、遊泳ロボットの急旋回動作を実現するために、モンハナシャコの水中でのインパルス力の繰り返し動作に示唆を

得ている [3]。一方で、このようなモンハナシャコの攻撃的行動は、漫画や映画などの創作物の分野でたびたび取り上げられており [4]、その生態が娯楽性を内包することが推測される。しかし、これまでの研究では、モンハナシャコの生態が内包する娯楽性については議論されていない。筆者らはこれまで、娯楽性創出のため、コメツキムシのクリックメカニズムを模倣した跳躍デバイスを提案している [5]。コメツキムシの跳躍と同様に、瞬発的な動作を達成するモンハナシャコの腕の打ち出し挙動は、娯楽を目的としたデバイスへ応用できると考えられる。このようなことから、本研究では、モンハナシャコの攻撃的生態を題材としたデバイスを開発することで、ある種の娯楽性のある体験を創出することを目的とする。

### 2. 提案手法

#### 2.1 捕脚の打ち出し機構

モンハナシャコは捕脚とよばれる部位を駆動させることで打ち出し挙動をとる。実物のモンハナシャコの捕脚による打ち出し機構の図解を図 1 に示す。打ち出しのための

<sup>1</sup> 東京大学大学院 学際情報学府  
Graduate School of Interdisciplinary Information Studies,  
The University of Tokyo, Tokyo 113-0001, Japan

<sup>2</sup> 東京大学大学院 情報学環  
Interfaculty Initiative in Information Studies, The University of Tokyo, Bukyou, Tokyo 113-0001, Japan

a) qq126323@iii.u-tokyo.ac.jp

b) yoichiro@iii.u-tokyo.ac.jp

機構は伸筋 (E) と、捕脚 (p:propodus, c:carpus, m:merus, v:maral-V) といった部位から構成される。モンハナシャコは、伸筋の収縮が完了するまで、ストッパーとなる部位 (m) が捕脚の回転運動を妨げることによって、打ち出しのためのエネルギーを蓄積させる。ストッパーによる妨げが解放されることで、伸筋に蓄積されたエネルギーは極短時間の間に解放され、このエネルギーは捕脚の回転運動へと変換される。また、伸筋に蓄積されるエネルギーは、図 1 中の部位 v が部位 m の方向へ移動した距離とほぼ比例関係になる [6]。このことから、モンハナシャコの伸筋は、数理モデル化に際してフックの法則が近似として成り立つ。これらのことから、本研究では、デバイス実装において伸筋に相当する機能を圧縮バネを用いて実装する。

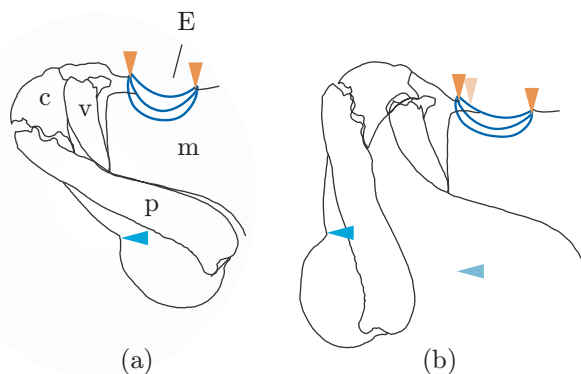


図 1 モンハナシャコにおける捕脚の打ち出し機構 [7]  
Fig. 1 The mechanics of a stmatopod strike

## 2.2 設計

本項では、第 2.1 項において判明した捕脚の打ち出し機構を基に設計した、プロトタイプに向けた打ち出し機構について述べる。設計した打ち出し機構の図解を図 2 に示す。プロトタイプにおける打ち出し機構は、第 2.1 項で述べた要素に加え、トリガー (T) を用いたカタパルト機構 [8] として設計した。トリガーは、伸筋 (E) と共同で打ち出しを実現する屈筋 [9] を物理モデル化したものである。ストッパーによって留められた捕脚リンクージ (p, c, v) を、トリガーが引っ張ることで、弾性エネルギーが伸筋に蓄積される (2(a))。トリガーは捕脚リンクージを、回転モーメントの方向が反転するように、わずかに引っ張る (2(b))。この際、トリガーが反転ジョイントを通過する必要があるため、トリガーの通過する面が反転ジョイントと干渉しないよう設計する必要がある。トリガーが反転ジョイントを通過すると、即座に伸筋が捕脚リンクージを押し込み、急速な回転が生み出される (2(c))。

設計した打ち出し機構を基に作成したプロトタイプデバイスの設計図解を図 3 に示す。製作及び組立工程をシンプルにするため、捕脚リンクージをほぼ二次元平面上に配置

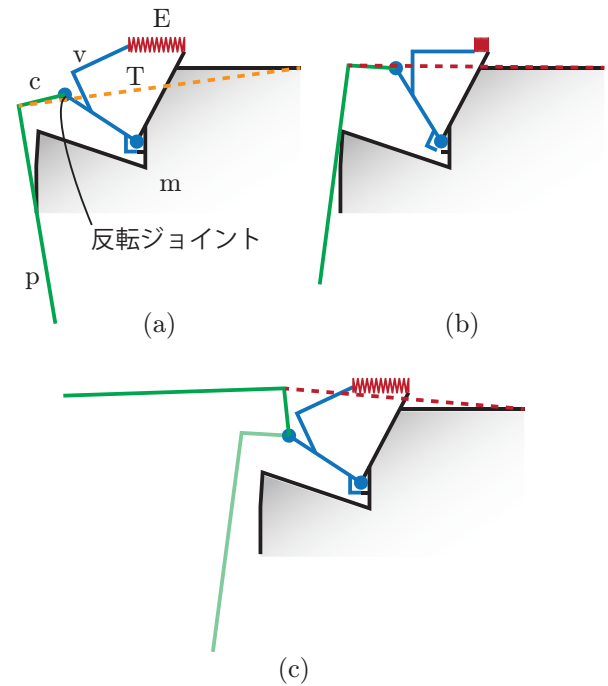


図 2 設計した打ち出し機構  
Fig. 2 Proposed mechanism of strike

した。トリガーとして径 1mm の一本のステンワイヤーを用いた。ステンワイヤーの両端は部位 (c) の左右 2 箇所に固定される。ワイヤーは装置の左右両面を通り、中央部が装置後部の滑車に掛けられる。

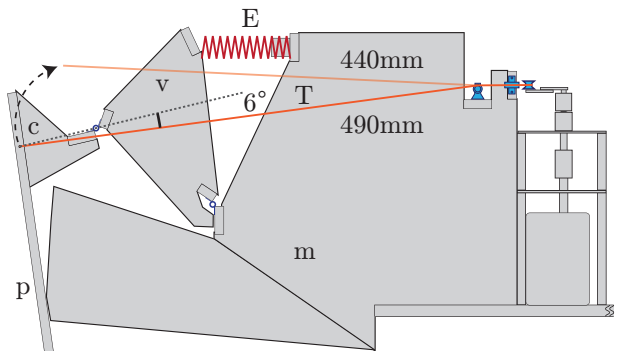


図 3 プロトタイプの設計  
Fig. 3 Design of the prptotype

ワイヤーの移動は、ワイヤーを滑車で巻き取る機構で設計した。ワイヤーの巻き取り機構を図 4 に示す。真鍮プーリーからアルミプーリーへ延びるワイヤーの全長  $T$  は以下の式で表せる。

$$T(\theta) = \sqrt{(l+r-r\cos\theta)^2 + (-r\sin\theta-m)^2} + \sqrt{(l+r-r\cos\theta)^2 + (-r\sin\theta+m)^2} \quad (1)$$

式 1 より、ワイヤ巻き取り変位  $D$  は、 $\theta = 0$  の時  $D = 0$  とすると、以下の式で表せる。

$$D(\theta) = T(\theta) - T(0) \quad (2)$$

本研究においては、これらの値はそれぞれ、 $r = 33\text{mm}$ 、 $l = 22\text{mm}$ 、 $m = 20\text{mm}$  となることから、 $D(\theta)$  の最大値は約  $70\text{mm}$  となる。プロトタイプ的设计上、最大  $50\text{mm}$  (図 3) の巻き取りが行えればよいが、残りの  $20\text{mm}$  は遊びとして余裕を持たせている。

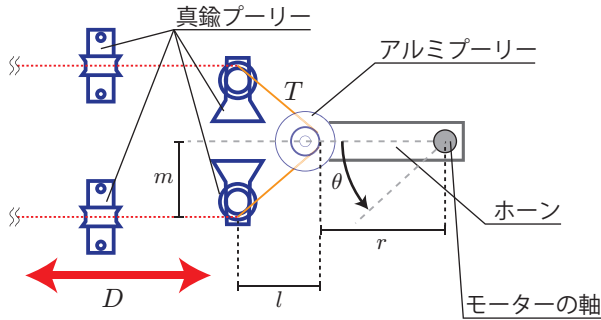


図 4 ワイヤの巻き取り機構  
Fig. 4 Mechanism of wire winder

### 2.3 実装

プロトタイプデバイスの設計図解をもとに制作したプロトタイプデバイスを図 5 に示す。プロトタイプデバイスは木板やステンレスのヒンジ、真鍮やアルミの滑車等で構成される。モータには Panasonic の M71X10SK2Y (出力  $10\text{W}$ 、定格電圧  $200\text{V}$ )、ギアヘッドは MX7G50B (ギア比  $1/50$ ) を使用し、回転速度は  $30\text{r/min}$ 、許容軸トルクは  $2.55\text{Nm}$  を得た。圧縮コイルばねには、ばね定数  $1.289\text{N/mm}$ 、外径  $24\text{mm}$ 、自由長  $95\text{mm}$ 、全縮長  $24\text{mm}$  のものを使用した。また、モンハナシャコ特有の気性の荒さや強い縄張り意識を表現するため、赤外線センサースイッチ SWT-500 を用いることで、人に反応して動作を行うように挙動制御を行った。

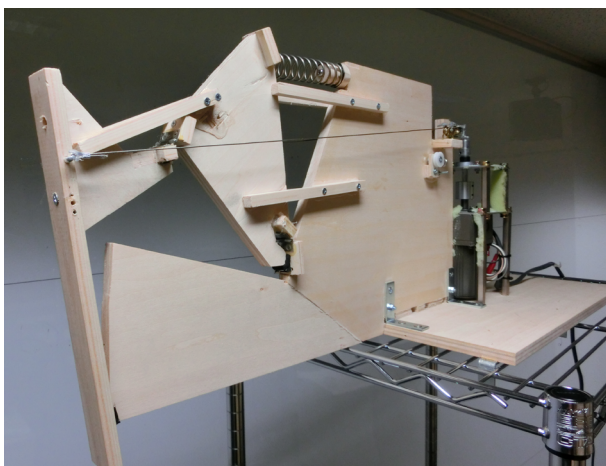


図 5 モンハナシャコ発想型打ち出し機構のプロトタイプ  
Fig. 5 Prototype of the mantis shrimp-inspired mechanism of strike

## 3. 結果

### 3.1 動作実験

本項では、第 2 節において制作したプロトタイプデバイスを用いた動作実験について述べる。プロトタイプデバイスから約  $1$  メートル離れた位置にデジタルカメラ (CASIO EX-ZR400) を設置し、動画のフレームレートは  $480\text{fps}$ 、解像度は横  $224\text{pixel}$ 、高さ  $160\text{pixel}$  でキャプチャを行った。プロトタイプデバイスの打ち出し動作の撮影画像を図 6 に示す。弾性エネルギーが解放された瞬間を  $0\text{ms}$  としている。撮影画像から、捕脚部が動作を開始して  $29\text{ms}$  後には、捕脚 (propodus) 部が完全に打ち出されていることがわかる。

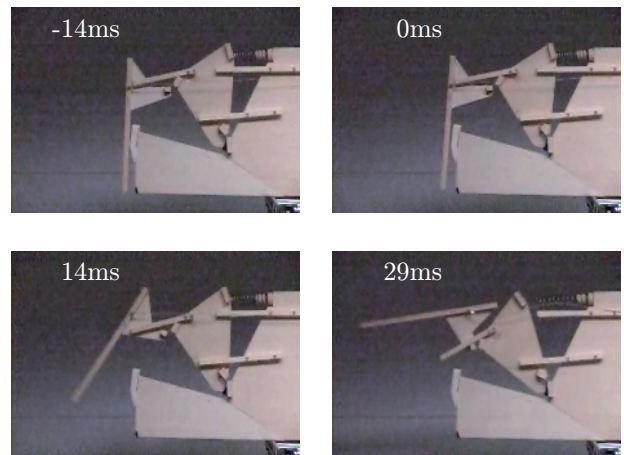


図 6 打ち出し時の様子を捉えたハイスピード撮影画像  
Fig. 6 High-speed images at the moment of strike

プロトタイプデバイスの捕脚 (propodus) 部に、長さ  $1\text{m}$ 、外径  $6\text{cm}$  の円筒形状の発泡ポリエチレンを装着した際の撮影画像を図 7 に示す。発泡ポリエチレンを装着したために、図 6 に比べ、捕脚部の打ち出し速度が低下していることがわかる。

### 3.2 展示実験

プロトタイプデバイスを用いた作品「シャコボックス」の展示発表は  $2014$  年  $7$  月  $4$  日から  $4$  日間、メディアアートの展示会である東京大学制作展  $2014\text{EXTRA}$  (東京大学本郷キャンパス) において行った。展示装置の全景を図 8 に示す。展示会場は大学キャンパス内にある建物の中庭であり、高さ  $190\text{cm}$  のスチールラックの天板上にプロトタイプデバイスを設置した。人感センサーはスチールラック中位部に設置し、パンチ射程範囲より若干広い範囲の人を検知できるように、センサー部の角度を調整した。また、鑑賞者のモンハナシャコへの理解を助けるため、YouTube で公開されている「The Fastest Punch in the World」(Smithsonian Channel) を上映する装置を併設した。

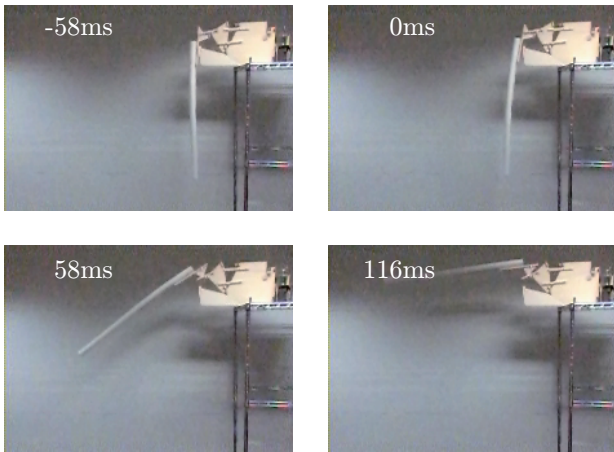


図 7 打ち出し時の様子を捉えたハイスピード撮影画像（ポリエチレン棒有り）

Fig. 7 High-speed images at the moment of strike with a polyethylene stick



図 8 展示装置の全景

Fig. 8 Whole view of the device as a exhibit

展示中の鑑賞者と装置の様子が撮影された画像を図9に示す。展示実験において、観察した鑑賞者の様子と、作品へ対するコメントから、有用と思われる項目を以下に抜粋する。

- 鑑賞者の多くが、パンチを避けたり、手や体の一部で受け止め、感触を確かめていることが観察された。
- 大人の鑑賞者の一部は、安全性の強調にも関わらず、パンチへの接触を敬遠することがあった。
- 装置から受ける印象が、甲殻類ではなく、象の鼻を連想させるというコメントがあった。
- パンチを鑑賞者が受けた時の音がシャコを連想させない、といったコメントがあった。

#### 4. 考察

第3節から、作品の鑑賞者は、体で当たり、または避ける等してスリルを楽しんでいると考えられる。一方、安全面が保障されているとしても、動作の迫力から危険性を感

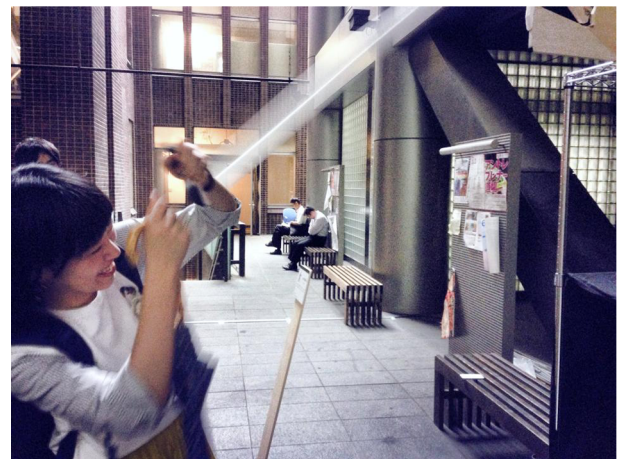


図 9 展示の様子

Fig. 9 Scenery in the exhibition

じ、パンチへの接触が敬遠されている印象を受けた。また、捕脚 (propodus) 部位である発泡ポリエチレンは、打ち出し時にしなりが発生することから、装置が与える甲殻類の印象を阻害していると推測される。さらに、鑑賞者がパンチを受けた際に発生する音は、発泡ポリエチレン特有の軽い音となってしまっていることから、モンハナシャコ特有の重い打撃とかけ離れた印象を与えてしまっていると推測される。

## 5. 結論

これらのことから、本研究の提案するモンハナシャコ発想型打ち出しデバイスは、鑑賞者が体で当たり、または避ける等して楽しめるスリル体験を創出することがわかった。しかし、安全面が保障されているとしても、見た目の迫力や危険性から、必ずしも万人に受け入れられる装置ではないということが明らかとなった。今後のさらなる研究においては、鑑賞者がパンチを受ける際の接触部位に、今回用いた発泡ポリエチレンよりさらに変形が少ない素材を検討する余地がある。また、本研究では装置が発する音については考慮していなかったが、ディズニーパークのアトラクションなどで使用されているオーディオアニマトロニクス [10] と呼ばれる装置のように、音と動きを同調させるように制御することで、より高い娯楽性を創出できると考えられる。

**謝辞** 本論文を書くにあたって、様々な方の多大なるご指導やご協力、支えのおかげで無事完成にこぎつけることが出来ました。この場を借りまして、各位に深くお礼申し上げます。研究室の教授として、東京大学大学院情報学環 教授 河口洋一郎先生には大変お世話になりました。本研究のテーマを決定するに至ったのも、河口先生の研究室での何気ないひとことがきっかけでした。

研究室の助教として、東京大学大学院情報学環 助教 岩澤駿先生とは、本大会へ一緒に投稿するに当たり、互いにアドバイスしながら研究を進めてきたことは、よい経験となりました。

最後に、この場に挙げることでできないたくさんの方々に、本研究を進めるにあたってのご助力を頂いたことに感謝を申し上げます。

## 参考文献

- [1] Ahyong, Shane T and Harling, Christine : The phylogeny of the stomatopod Crustacea, *Australian Journal of Zoology*, Vol. 48, No. 6, 607-642, 2000.
- [2] Cox, S. M., et al. : A physical model of the extreme mantis shrimp strike: kinematics and cavitation of *Ninjabot*., *Bioinspiration & biomimetics*, Vol. 9, No. 1, 016014, 2014.
- [3] 山田篤史, et al. : 曲げとねじれ変形を伴う弾性閉ループ構造と遊泳ロボットの急旋回動作への応用, *日本ロボット学会誌*, Vol. 29, No. 10, 923-933, 2011.
- [4] 上林祐 : 知っておきたい 謎・奇妙・不思議ないきもの, 西東社, 2009.
- [5] Akihiko Fukushima, et al. : Design of the Click Beetle-inspired Jumping Device for Entertainment, *ASIA-GRAPH 2014 PROCEEDINGS*, 003-008, 2014.
- [6] Zack, TI and Claverie, T and Patek, SN : Elastic energy storage in the mantis shrimp's fast predatory strike, *The Journal of experimental biology*, Vol. 212, No. 24, 2009.
- [7] Patek, S. N., W. L. Korff, and R. L. Caldwell. : Biomechanics: deadly strike mechanism of a mantis shrimp., *Nature* 428.6985, pp. 819-820, 2004.
- [8] Koh, Je-Sung, et al. : Flea inspired catapult mechanism with active energy storage and release for small scale jumping robot., In: *Robotics and Automation (ICRA), 2013 IEEE International Conference on. IEEE*, pp. 26-31, 2013.
- [9] Burrows, M : The mechanics and neural control of the prey capture strike in the mantid shrimps *Squilla* and *Hemisquilla*, *Zeitschrift für vergleichende Physiologie*, Vol. 62, No. 4, 361-381, 1969.
- [10] Ayala, Alfredo Medina. : *Autonomatronics TM, Advances in New Technologies, Interactive Interfaces, and Communicability*. Springer Berlin Heidelberg, pp. 8-15, 2011.