

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 1 日現在

機関番号：63904

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2013～2014

課題番号：25780451

研究課題名(和文)リアルタイム情報処理システムを用いた動物のコミュニケーション機構の解析

研究課題名(英文) Analysis of communication mechanisms of animals using real-time information processing system

研究代表者

中易 知大 (Nakayasu, Tomohiro)

基礎生物学研究所・神経生理学研究室・研究員

研究者番号：90623091

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：(1)生物の動きを少数の点の動きのみで表現したバイオリジカルモーション刺激を用いて、メダカが動きによって仲間を引き寄せていること、また、(2)3DCG技術によって作成したヴァーチャルメダカを用いることで、動きだけでなく色や形も仲間を引き寄せる際の重要な情報源になっていることを明らかにし、(3)魚の位置によってディスプレイ上の視覚刺激が変化するリアルタイム情報処理システムの鑄型を完成させた。これらは、動物の視覚的コミュニケーションを理解する上での重要な成果となりうる。

研究成果の概要(英文)：We found that (1) medaka are attracted to motion of conspecifics, using biological motion stimuli depicting a moving creature by means of only a small number of isolated points, and that (2) not only motion but also color and form play an important role in the attraction of medaka, using virtual medaka created with 3DCG technologies. In addition, (3) we constructed the real-time information processing system in which visual stimuli on the display are changed depending on the position of the fish. These can be important clues to understand visual communication in animals.

研究分野：比較心理学

キーワード：コミュニケーション リアルタイム情報処理 3DCG 視覚 メダカ

1. 研究開始当初の背景

円滑なコミュニケーションを実現させる機序の解明は、基礎研究として重要なだけでなく、臨床応用への期待から広く関心を集めている。ヒトを含めて多くの動物のコミュニケーションにおいて中心的な役割を果たすのが視覚であるが、これまで用いられてきた研究手法（実験対象の個体に対して実際の動物、模型、写真、ビデオ録画された動画などを呈示）には視覚コミュニケーションを理解する上での制限・限界があった。すなわち、刺激の形態や動きなどを網羅的に制御することができ、なおかつ一方的に刺激を呈示するのではなく、実験個体の位置や行動に応じて刺激を変化させることができなかつた。そこで、本研究は視覚優位であり群れを形成する傾向が強いメダカを対象として、ビデオカメラで実験個体の位置をリアルタイムで解析し、それに合わせて社会的刺激が変化する「リアルタイム情報処理システム」を構築し、研究手法としての有用性を検証する。

2. 研究の目的

これまでの動物行動研究では、動物をビデオ記録し、どのような行動が示されていたのかやどこに滞在していたのかなどをオフラインで後に分析することが一般的である。しかしながら本システムを運用するためには、動物の位置の追跡、得られた追跡座標データの転送、刺激の制御・描画の全てをオンラインでリアルタイムに行わなければならないという課題がある。また、そもそも運動刺激やアニメーション技術で作成されたヴァーチャルメダカに対する実際のメダカの反応特性などの基礎的データが不足しているという問題もあった。そこで、(1) バイオロジカルモーション (BM) 呈示実験、(2) ヴァーチャルメダカ呈示実験、(3) リアルタイム情報処理システムの構築を行うことにした。

(1) BM 呈示実験 (Nakayasu & Watanabe, 2014)

我々ヒトは他者の顔や言葉などから感情や意図など多くの情報を読み取ることで円滑な社会生活を送ることができる。しかし、表情筋がヒトほどには発達しておらず、また言語を有していない動物にとって、他の情報源を有効に用いることで社会形成・維持が円滑に行われると推測できる。我々は解析の困難さによってこれまで研究対象となることが少なかった動物の運動情報に着目し、運動情報が他個体を引きつける行動（社会的接近行動）にどれほど寄与しているのかを解析した。その際、生物の動きを少数の点の動きのみで表現した BM を用いることで、色や形の情報を選択的に操作・呈示した。

(2) ヴァーチャルメダカ呈示実験

実際のメダカの写真や運動解析結果から色、形、大域的な動き（移動軌跡）、局所的な動き（体軸や尾ひれ）を操作した刺激をメダカに呈示し、どのような情報がメダカの社会的接近行動を引き起こすことに寄与しているのかを分析した。

(3) リアルタイム情報処理システムの構築

実験個体の行動に合わせて刺激を変化させるという、相互作用性を取り込んだ実験の重要性は少なくとも 30 年以上前には指摘されている (Slater, 1983)。そのような実験を行うためには、行動解析をリアルタイムで行わなければならないことに加え、解析結果を即座に刺激に反映させる必要があるが、これらは技術的に非常に難しく、リアルタイム情報処理を組み込んだ実験が実現することはなかった。しかしながら近年では、計算機やカメラの進歩、ソフトの開発などもあり、徐々に研究環境が整いつつある。実際、情報処理をリアルタイムで行う手法を取り入れ、動物のコミュニケーションを扱った研究が報告されているが (Swain et al., 2012)、研究手法は非常に限定的にしか広まっていない。本研究では、動体検出・追跡から視覚刺激の制御・描画までを比較的容易に行うことができるプログラミング環境である Processing (ver. 2.2.1) を用いてシステムを構築する。

3. 研究の方法

(1) BM 呈示実験 (Fig. 1)

BM は、4 匹のメダカをビデオ記録し、動作解析ソフト (Wriggle Tracker. ライブラリー製, 東京, 日本) を用いて体幹に沿って 6 点を等間隔に並べることで作成した。刺激は Psychlops (<http://psychlops.sourceforge.jp/ja/>) で制御し、15 インチ CRT ディスプレイ (リフレッシュレートは 60Hz, 解像度は 1024 × 768 ピクセル) でメダカに呈示した。動画はディスプレイ中央の 577 × 308 ピクセル内に呈示した。

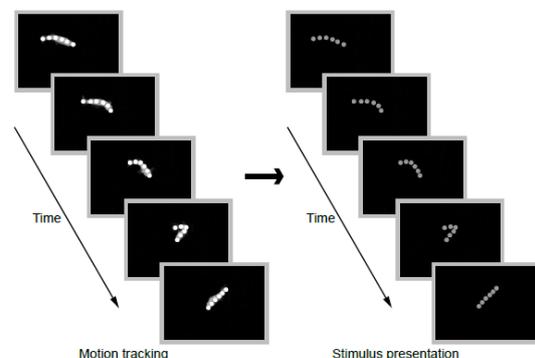


Fig. 1. An animation sequence depicting biological motion (BM).

通常の BM との比較刺激として、以下の 5

系統 11 種類を用いた (実験 1-5) : ①6 点が直線で固定されていて魚の体軸情報が欠如した刺激が 1 種, ②ビデオフレームレートを落とした刺激 (元刺激が 60 フレーム/秒のところを 15 フレーム/秒, 10 フレーム/秒, 5 フレーム/秒, 1 フレーム/秒の 4 種), ③速度を変化させた刺激 (2 倍速, 1.5 倍速の高速化した刺激を 2 種, 0.5 倍速, 0.25 倍速の低速化した刺激を 2 種の計 4 種), ④逆再生をした刺激が 1 種, ⑤ヒトのバイオロジカルモーション刺激が 1 種. 視覚刺激をメダカに呈示し, メダカがディスプレイに近接していた時間を社会的接近行動の指標とした.

(2) ヴァーチャルメダカ呈示実験

ヴァーチャルメダカ作成 (Fig. 2) ヴァーチャルメダカの作成手順は大きく分けて①形・色の再構成と②動きの設定の 2 つに分けることができる. メスのメダカ 3 匹の写真を撮影し, それに基づき 3ds Max を用いて 3 匹分のメダカキャラクターを作成した (各々の三角面数は約 2650. スタジオ和オリエント作, 東京, 日本).



Fig. 2. Medaka character created by 3DCG software (3ds Max and Blender).

作成したメダカキャラクターを Blender (ver. 2.69) に取り込み (FBX 形式), メダカの運動情報を格納した BVH ファイルと対応付けることでヴァーチャルメダカを完成させた. メダカの動きは BM 実験で用いたものを使用した. 動画の解像度は 1920 × 1080 ピクセルであった. 動画の背景は黒であった.

ヴァーチャルメダカ呈示 視覚刺激は Visual Basic (下記実験 2 の約半数と実験 3 は 2010 Express を使用. 実験 1 と実験 2 の残り約半数は 2013 を使用) で制御し, 28 インチ液晶ディスプレイ (リフレッシュレートは 60Hz, 解像度は 3840 × 2160 ピクセル) で呈示した. 動画はディスプレイ中央の 960 × 540 ピクセル内に呈示した.

実験 1 から 3 の各群を Table 1 にまとめた. 実験 1 では通常のメダカの形・色・大域的な動き・局所的な動きなどを再現した群 (Normal) に加えて, 大域的・局所的な動きを取り除いた静止画を呈示する群 (Static), 動きに加えて色を取り除きモノクロ化した群 (Monochrome/Static), 潰すことで形状を変化させた群 (Pressed/Static), 色も形も操作した静止画を呈示する群 (Pressed/Monochrome/Static), 何も呈示しない群 (Blank) を設けた. 実験 2 と 3 では, 各パラメーターを操作し呈示する刺激を

Normal 群に近づけていった. 例えば, 形状を変化させるとともに大域的な動きを取り除いた群 (Pressed/No global motion) や局所的な動きのみを取り除いた群 (No local motion) などを用いた.

Table 1. Stimuli used for virtual medaka experiment.

Groups	Visual characteristics			
	Form	Color	Global motion	Local motion
Experiment 1				
Normal	✓	✓	✓	✓
Static	✓	✓	x	x
Monochrome/Static	✓	x	x	x
Pressed/Static	x	✓	x	x
Pressed/Monochrome/Static	x	x	x	x
Blank	—	—	—	—
Experiment 2				
Normal	✓	✓	✓	✓
Monochrome/No global motion	✓	x	x	✓
Monochrome/No local motion	✓	x	✓	x
Pressed/Monochrome	x	x	✓	✓
Pressed/No global motion	x	✓	x	✓
Pressed/No local motion	x	✓	✓	x
Experiment 3				
Normal	✓	✓	✓	✓
Pressed	x	✓	✓	✓
Monochrome	✓	x	✓	✓
No global motion	✓	✓	x	✓
No local motion	✓	✓	✓	x

(3) リアルタイム情報処理システムの構築 (Fig. 3)

移動物体の検出・追跡は Web カメラ (Qcam-130E. ロジクール製, 東京, 日本) を PC に接続し, Processing を用いてカラートラッキングを行うことで実行した. 画像内の追跡対象となる物体をクリックし, そのピクセルの色を記憶させ, 物体の動きに応じてディスプレイ上の刺激が動くようにプログラムすることで刺激の描画を行った (基礎生物学研究所・渡辺英治博士の協力による).

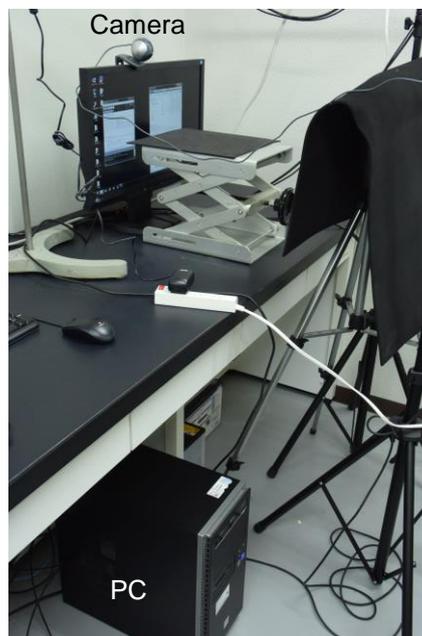


Fig. 3. Real-time information processing system.

4. 研究成果

(1) BM 呈示実験 (Fig. 4)

メダカを 6 つの点のみで表現した BM をメ

メダカに呈示すると、ディスプレイに対して近接する時間が多かった。その一方、通常のBMのパラメーターを変化させると、いずれの場合もディスプレイへの近接時間が減少した。これらの結果から、メダカは同種個体に接近していく際に動きの情報を利用していること、そして同種の自然な動きを知覚する能力が高いことが示唆された。

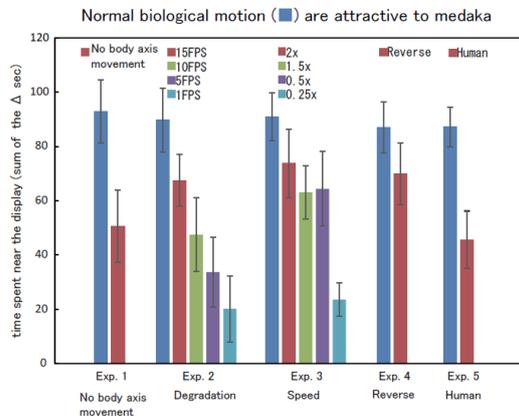


Fig. 4. Normal biological motion stimuli are attractive to medaka.

(2) ヴァーチャルメダカ呈示実験 (Fig. 5)

ヴァーチャルメダカの色・形・大域的な動き・局所的な動きのいずれも通常のメダカに基づいて設定された刺激を呈示した場合には、ディスプレイへの近接時間が顕著に多かった。一方、ヴァーチャルメダカの各パラメーターを変化させて通常のメダカと全体的あるいは部分的に異なる刺激を呈示すると、BM同様、いずれの場合もディスプレイへの近接時間が大幅に減少した。これらの結果は、同種個体の自然さを見分けるメダカの高さを示したBM実験を補強するとともに、動きだけでなく色や形などの要因も同種個体へ接近する際の重要な情報源となっていることを示唆している。

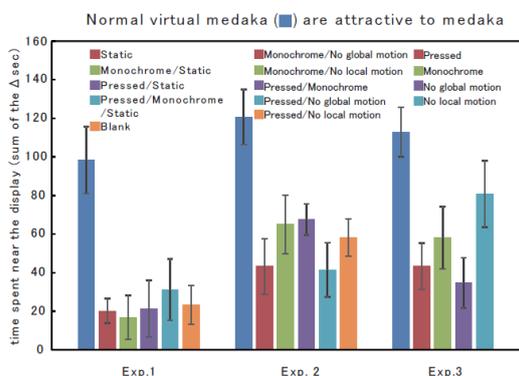


Fig. 5. Normal virtual medaka are attractive to medaka.

(3) リアルタイム情報処理システムの構築

カラートラッキングを行うことによって魚を頑健に追跡することができた (Fig. 6A)。また、追跡対象の位置に応じてディスプレイ

上の刺激を前後左右に移動させることも実現できた (Fig. 6B)。このように、リアルタイム情報処理システムの構築は完成したが、今後は刺激を魚などのより複雑な形状に変更する、OpenCV と OpenGL の連携によってさらなる高速処理・描画を実現する、などの課題がある。

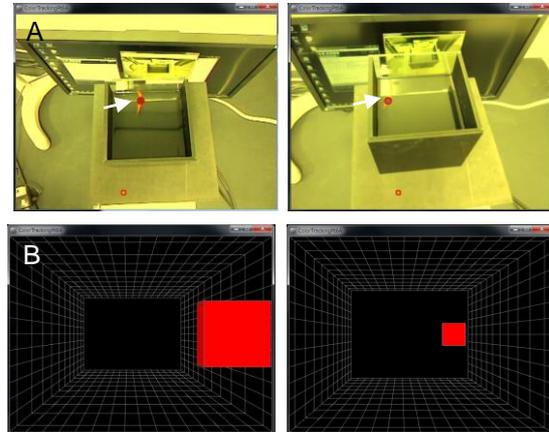


Fig. 6. Motion tracking (A) and stimulus presentation (B). Visual stimuli are changed depending on the position of fish.

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計1件)

- ① Tomohiro Nakayasu & Eiji Watanabe. (2014). Biological motion stimuli are attractive to medaka fish. *Animal Cognition* (査読有), 17, 559–575. DOI: 10.1007/s10071-013-0687-y

[学会発表] (計7件)

- ① Tomohiro Nakayasu & Eiji Watanabe. Analysis of movements of medaka fish and construction of 3D animation. The 6th International Symposium on Aero Aqua Bio-mechanisms, Honolulu, Hawaii, USA, 2014/11/13–16.
- ② Tomohiro Nakayasu & Eiji Watanabe. A preliminary study on the morphological and motion cues involved in the induction of shoaling behavior by using 3DCG animation of medaka. The 37th annual meeting of the Japan Neuroscience Society, PACIFICO Yokohama, Yokohama, Kanagawa, Japan, 2014/9/11–13.
- ③ Tomohiro Nakayasu & Eiji Watanabe. A study on making 3DCG animation of medaka. The 74th Annual Meeting of the Japanese Society for Animal Psychology, Inuyama International Sightseeing Center (FREUDE), Inuyama, Aichi, Japan, 2014/7/19–21.
- ④ 中易知大「メダカの視覚心理—1/fゆらぎ、バイオロジカルモーション、3DCGなどを中心に—」第22回関西小型魚類研究会

定例会, 京都大学, 京都, 京都, 2014年6月6日

- ⑤ Tomohiro Nakayasu & Eiji Watanabe. Characteristics of physical motion information involved in the induction of shoaling behavior: using biological motion stimuli. The 43rd annual meeting of the Society for Neuroscience, San Diego, CA, USA, 2013/11/9-13.
- ⑥ 中易知大, 渡辺英治 「メダカの社会的接近行動の誘発に關与する身体運動情報の特徴ーバイオリジカルモーション刺激を用いた検討ー」日本動物心理学会第73回大会, 筑波大学, つくば, 茨城, 2013年9月14~16日
- ⑦ Tomohiro Nakayasu & Eiji Watanabe. What aspects of motion are involved in the induction of shoaling behavior in medaka?: studies using biological motion stimuli. The 36th annual meeting of the Japan Neuroscience Society, Kyoto International Conference Center, Kyoto, Kyoto, Japan, 2013/6/20-23.

[その他]

プレスリリース (メダカは動きで仲間を引き寄せる)

<http://www.nibb.ac.jp/press/2013/12/09.html>

6. 研究組織

(1)研究代表者

中易 知大 (Nakayasu, Tomohiro)

基礎生物学研究所・神経生理学研究室・研究員

研究者番号: 90623091