



岐阜大学機関リポジトリ

Gifu University Institutional Repository

Title	振舞いに対する予測可能性が生物性と意図性の知覚に及ぼす影響(本文(Fulltext))
Author(s)	寺田, 和憲; 深井, 英和; 竹内, 涼輔; 伊藤, 昭
Citation	[電子情報通信学会論文誌. D, 情報・システム] vol.[96] no.[5] p.[1374]-[1382]
Issue Date	2013-05-01
Rights	copyright 2013 IEICE
Version	出版社版 (publisher version) postprint
URL	http://hdl.handle.net/20.500.12099/53850

この資料の著作権は、各資料の著者・学協会・出版社等に帰属します。

論 文

振舞いに対する予測可能性が生物性と意図性の知覚に及ぼす影響

寺田 和憲^{†a)} 深井 英和[†] 竹内 涼輔[†] 伊藤 昭[†]

Effect of Predictability of Behavior on Perception of Animacy and Intentionality

Kazunori TERADA^{†a)}, Hidekazu FUKAI[†], Ryousuke TAKEUCHI[†], and Akira ITO[†]

あらまし 生物性と意図性は人間らしさ知覚の要素と考えられているが両者の違いや関係性は明らかにされていない。本研究では、振舞い予測という新たな観点から両者の違いを明らかにすることを目的として実験を行った。実験ではまず、金魚の振舞いの自己回帰モデルによるモデル化を行い、速度変化と角度変化のパラメータを操作することで質点の運動の動画を複数作成した。作成した動画を実験参加者に提示し、ペンタブレットを用いて追跡させることで、振舞いの予測可能性を客観的に定量化した。動画に対する生物性・意図性の評定値と予測可能性の相関を求めることで、振舞いの予測が困難であるほど生物性が強く感じられ、意図性が弱く感じられることが分かった。このことは、これまで考えられてきた生物性と意図性が類似した概念であるという考えに反するものである。

キーワード 生物性, 意図性, 金魚, 振舞い, 予測可能性

1. ま え が き

人が対象のどのような性質に対して人らしさを感じるのかという疑問がある。言語能力や学習能力の保有など「人らしさ」は様々な概念によって構成されるが、本研究では特に生物性 (animacy) と意図性 (intentionality) に注目する。また、対象固有の概念によってトップダウンに与えられる生物・意図性は対象とせず、動きのみから知覚される印象を対象とする。そのため静止した植物は対象とならないが、生長の様子をビデオの早送りで見たり、過去の記憶に基づいて経時変化が観測され、そこに生物や意図性が感じられる振舞いについては対象とする。

生物性は一般的には生きている (alive) 主体や意識のある (sentient) 主体から知覚される振舞いの特徴である。振舞いの特徴なので、対象とする主体が生体であるかどうかは問わない。また、生物性は日本語で「A がいる」と表現される場合の A が有し、「B がある」と表現される場合の B がもたない特徴とされる。意図性は目的を有する行動から知覚される特徴である。これ

には特定の目的を同定できなくとも、なんとなく感じられる意図性も含まれる。

振舞いの中から感じられる生物性や意図性の研究は、多くの場合単純な図形が運動する様子を成人の実験参加者に提示し、生物性や意図性の主観的な評定を求めることによって行われる。生物性を知覚させる動きの特徴として、静止した物体が外力なしに動き始めるという自己推進性 [1]~[3] や重力に逆らった動きなどの物理法則違反 [4], [5], 目的志向性 [6], 随伴性 [7], 環境や文脈 [4], インタラクションの時間的性質や複雑性 [8], 2 リンク機構の系内運動 [9] などが報告されている。特定の方向へ向かうという目的志向性 [6] や、異なる経路を通過して同じ終局に到着するという等終局性 [10] は直接的に目的を想起させるような特徴であるが、それらだけでなく、振舞いの不連続性 [11] など意図性を知覚させる振舞いの原因として報告されており、鍵となる特徴についての共通認識は得られていない。更に、目的志向性や物理法則違反は生物性、意図性の両方の知覚原因として挙げられており、この分野において、生物性と意図性が明確に区別なされていないことを表している。

本研究では、「振舞いの予測可能性」という観点から生物性や意図性を測る方法を提案する。具体的には、金魚の運動を自己回帰モデルを用いて数理モデル化

[†] 岐阜大学工学部, 岐阜市

Faculty of Engineering, Gifu University, 1-1 Yanagido, Gifu-shi, 501-1193 Japan

a) E-mail: kazunori.terada@acm.org

し、そのパラメータを操作することによって複数のタイプの人工的に生成した質点の運動を実験参加者に提示する。これを実験参加者にペンタブレットを用いた追跡をさせることで、モデルのパラメータと予測可能性（追跡誤差）の関係を調べる。次に、それぞれの運動に対する生物性・意図性の評定値と予測可能性の相関を求めることで、予測可能性が生物性・意図性知覚に与える影響を明らかにする。

2. 生物性と意図性知覚の関係

我々は意図性が感じられなくても生物性のみが感じられる場合があると考え、なぜなら生物は常に目的志向的に動いているわけではなく、睡眠や待機状態にあることも多いが、そのような状態においても人は生物性を感じると思われるからである。また、水中プランクトンなどの原生動物の動きに対して意図性を感じることはあまりないが、生物性は感じられる。しかし、意図性知覚が生物性知覚の前提となっていると考えている研究者は多い ([4], [6], [7], [12], [13])。Tremouletら [12] が意図性知覚が生物性知覚の前提となっていると考えた論理は次のとおりである。彼らは実験参加者に対してコンピュータスクリーン上で移動する黒点の運動を見せ、生物らしさを評定させる実験を行った。実験の結果、黒点が捕食的振舞い（運動の途中で進路を変更して白い静止した点に近づく）をしたときに高い生物性の評定を得た。直接的な接触なしに振舞いの変化するためには、離れた距離での知覚、知覚に基づく目的の形成、目的に向かった振舞いを生成する能力をもたなければならない。実験参加者がこのような想定を行った、すなわち心的状態を帰属したからこそ振舞いに対して高い生物性を帰属したということである。しかし、彼らの実験では、実験参加者らがそのような心的状態を実際に想定していたかを直接調べていない。したがって実験結果からは、「対象から離れた地点での進行方向変化」という運動が生物性の知覚と意図帰属に寄与するということがいえるが、意図帰属が生物性知覚の前提であるということはいえない。

生物性と意図性の関係が曖昧に扱われてきた原因の一つに、それらの研究が言語表現に依存した印象評定によって行われてきたことが挙げられる。多くの研究は振舞いの性質の数量的性質を変化させた刺激を提示し、リッカートスケールを用いて振舞いから受ける生物性や意図性の印象を調査している。例えば、Tremouletら [14] は質点の動きの角度と速度変化に

注目し、それらの変化をパラメータとして変化させた刺激動画を用いた。仮説とする振舞いの要素を定量化し、量を変化させることによって異なる刺激を提示したとしても、回答が生物性や意図性に対するリッカートスケールを用いた主観評価だと、生物性や意図性の概念の幅が広いと両者の概念の違いをうまく説明できない。

Gaoら [15] は主観評価による生物性評定に疑問を呈し、行動指標によって生物性を定義する試みを行った。彼らは、予測可能性を間接的にパラメータ化し、実験参加者が捕獲者から捕まるか逃げられるかによって生物性を定義した。彼らの実験では、実験参加者に羊をマウスでコントロールさせ、追跡役の狼から逃げることをタスクとして与えた。実験の結果、狼が60%の追跡行動（羊に対する目的志向的振舞い）と40%のランダムな振舞いを混合して生成した場合に羊が逃げ切ることが最も難しくなることを示した。このことは、目的志向的（法則化可能な）振舞いとランダムな振舞いを適当な割合で混ぜることが相手に読まれない戦略となることを示唆する。しかし、彼らの研究には以下に挙げる問題点が含まれている。まず、捕まる/逃げられるは間接的には予測可能性を表しているが2値であるために、予測可能性を連続値として扱っているわけではない。また、実験結果において、追跡率が0%と100%で実験参加者の逃げ切り割合は高かったが、追跡率0%で逃げ切れたのは実験参加者が狼を同定したからではなく、そもそも狼が羊を追跡していなかったからであり、実験参加者はランダムに動かすだけで捕獲を避けることができたからである。更に、実験参加者に対して振舞いの主観的評定を求めていないので、主観的生物性と客観的に測定される予測可能性との関係を明らかにしていない。

3. 振舞いの予測可能性と意図性

対象に意図を帰属することの利点は、意図に基づいて行動する対象の将来の振舞い予測をすることなので、高い予測可能性をもつ振舞いから高い意図性が感じられると考えられる。一方で、予測できないような振舞いに対して、意図性が感じられにくいとしても、生物らしさが感じられることがある。そのために、本研究では意図性、生物性の違いを明らかにする指標として予測可能性を導入する。

振舞いの性質に基づいた分類の利点の一つは観察対象の将来の振舞い予測を簡単にすることである [16], [17]。

人間が振舞い予測に用いるモデルには様々なものがある。機械の振舞い予測においては、アルゴリズムやメカニズムなどの定型性を発生する原理を想定することが有効に働く。また、砲弾の落下地点を予測するためには物理法則と外乱を考慮することが有効である。意図的な主体の振舞い予測においては心的な目的を想定(帰属)することが有効である。

意図的な主体の振舞いを特徴づける性質として等終局性(equifinality)がある[10]。等終局性とは異なる振舞いが同一の終局に到達するという振舞いの性質である。例えば、落石などの物理的な現象は、環境が異なると最終状態が異なるのに対し、目的をもった人間は状況が異なっても別の手段を用いて同一終極に到達することができる。複数の行為系列が同一の終端に到達することを観測することによって、観察対象の振舞いを駆動している意図が同定できるために等終極性は意図の推定に寄与する。等終局性はそれ自体で意図の帰属に寄与するが、複数の行為系列を観察しなければ等終局性を認識することはできない。そのため、意図的な主体の振舞いの性質として合理性が考慮されるべきだという考えがある[16],[17]。これは、意図的な主体は最短経路、最短時間やエネルギー損失最少という合理性を考慮した振舞いを生成するという考えである。合理性は直接観察できる振舞いの性質ではなく、直線運動や加減速の少ない運動を観察することによって間接的に知覚できるものである。したがって、それらの性質を観察することで、意図性が知覚される可能性がある。

子安ら[18]は予測可能性が意図性の知覚に影響を与える可能性を指摘し、規則的な運動パターンを変化させる場合(心理的予測可能性が高い)にランダムに運動が変化する(予測不可能)よりも「意図的である」に対する評定値が高くなることを示した。しかし、予測可能性について物理的予測可能性や心理的予測可能性といったカテゴリーを変数としており、定量的な議論が行われていない。

生物の動きは種類や環境によって様々である。本研究では、生物の動きの代表として、まず金魚の運動の自己回帰モデルによって数理モデル化する。そのモデルを雛型にパラメータを変化させ、仮想的な生物の動きに見立てた様々なタイプの質点の運動を人工的に生成する。それらの仮想的な生物の動きを実験参加者に追跡させることで、客観的な予測可能性を測定する。また、実験参加者には追跡に用いた運動に対する生物性と意図性の主観的評定を求める。この方法により、

客観的に観測した連続的な予測可能性と主観的な生物性と意図性の関係を明らかにすることができる。

本研究では、予測可能性を定量化するために追跡課題を用いる。実験参加者はディスプレイ上に提示される質点の運動をペンタブレットを用いて追従することを求められる。振舞いの予測可能性は、一般的に予測した状態と対象の実際の行動結果の一致度(追従誤差)によって定量化できる。すなわち、対象の将来の状態を予測できた場合に追従誤差が小さくなり、できなかった場合に追従誤差が大きくなる。本研究で用いる追跡課題では、質点がある程度の速度で動くため、点の運動を正確に追従しようとする、フィードバックによる位置の修正ではなく、予測によるペン先の位置の制御が必要になる。そのために、予測可能性が高いほど追跡課題の成績が高くなると考えられる。

4. 金魚の動きのモデル化

本研究では複数のタイプの質点の運動を実験参加者に提示し、それぞれの質点の運動に対して抽象的な生物性の評定を求める。複数のタイプの質点の運動を生成するため、まず実際の生物の動きをある程度忠実にモデル化し、そのモデルをもとにパラメータを変化させて複数の仮想的な生物の動きを生成した。実際の生物の運動のモデル化には、多くの実験参加者が実際に目にしたことがあるであろう金魚の運動を基準運動として用いる。生物の動きには生物の種類や環境によって様々なタイプがあるが、本研究で用いるリュウキンの場合、ゆっくりと遊泳する動きは比較的定常であり、自己回帰モデルでモデル化しやすい利点がある。実験に用いる仮想的な生物の動きとしての質点の運動では、パラメータを変化させて5倍速で再生するため、金魚らしさはそれほど感じられないと思われる。ただ、目的が運動をパラメータ化することなので、実在の生物の動きを忠実に再現する必要はない。本章では金魚の運動を自己回帰モデルによってパラメータ化し、刺激となる質点の運動を生成する方法について述べる。

実際の生物を用いた生物性知覚の研究としては福田らの研究がある[19]。彼らは実験参加者がカメラに対してリーチング動作を生成する時の脳活動の計測、分析を行い、生物性知覚の脳内基盤のモデル化を行った。また、メダカが人工的に生成したバーチャルミジンコの運動に対して捕食行動を起こすかどうかによって生物らしさを知覚させる振舞いの性質を調べた研究がある[20]。

4.1 対象

撮影に用いた金魚は、体長約 50 mm のリュウキンである。

4.2 撮影環境

金魚の振舞いは図 1 に示す環境を用いて撮影した。水槽の大きさは 1,500 mm × 1,500 mm、水深は約 50 mm である。水槽は木枠に白色のビニールシートを敷くことで作成した。水槽の中央上部 1,700 mm の位置にデジタルカメラ (Nikon COOLPIX S3100) を取り付け、また上部に照明器具を二つ取り付け、

4.3 データ取得

撮影される動画は、640 × 480 の 30 fps の avi 形式である。30 分を単位として、8 本の動画を撮影した。計 240 分の動画の中から金魚が壁に沿って移動する区間を排除するなど、定常と判断できる部分を手動で選択し、22 個の動画を得た。それぞれの動画に対して各フレームごとに OpenCV を用いた画像処理を施し (図 2 参照)、金魚の魚影だけを抽出し、その重心を計

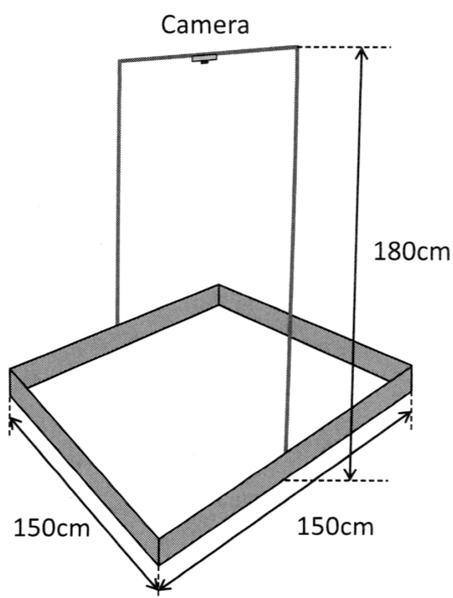
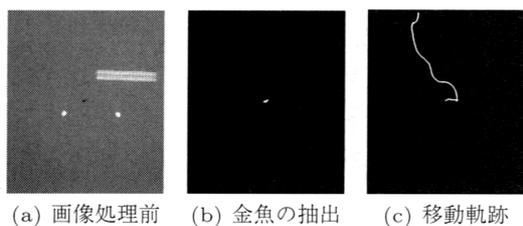


図 1 撮影環境

Fig. 1 Environment used for video capture.



(a) 画像処理前 (b) 金魚の抽出 (c) 移動軌跡

図 2 画像処理過程

Fig. 2 Image processing steps.

算した。22 個の二次元の時系列データを結合部分の角度変化と速度変化が滑らかになるように結合して合計約 16,000 点、約 530 秒相当の位置に関する二次元座標時系列データを作成した。

4.4 AR 過程によるモデル化

上記のように取得された金魚の位置変化の時系列データに対して自己回帰モデル (Autoregressive model, AR モデル) をあてはめ、数理モデル化を試みた。自己回帰モデルは、因果律に従い有限の過去の状態が現在の状態を決めるという意味で生物の動きのモデル化に適している。また、金魚はある速度をもってゆっくり泳ぎ続ける時間が長いため、定常過程としての解析に適している。

AR モデルは一般に下記のように記述される。

$$x(t) = c + \sum_{i=1}^p a_i x(t-i) + \epsilon_t$$

ここで t はある単位の離散時間、 c は定数項、 a_1, \dots, a_p はモデルのパラメータ、 p はモデルの次元であり、 ϵ_t は i.i.d を満たすガウス雑音である。

金魚の位置変化はそのままでは AR モデルを適用できない。入力がガウス分布の雑音である AR モデルは、出力もガウス分布になる。金魚の動きからガウス分布に当てはまる確率的駆動因子を分離するため、金魚の位置ベクトルの時系列変化 $x(t) \in \mathbb{R}^2$ を下記のように表現した。

$$x(t+1) = x(t) + \Delta x(t)$$

$$\Delta x(t) = v(t)L(\phi(t)) \frac{\Delta x(t-1)}{|\Delta x(t-1)|}$$

ここで、 $v(t)$ と $\phi(t)$ はそれぞれ時間 t における単位時間当りの移動距離と回頭角度を表す。 L はベクトルの回転作用素である。我々はまず、撮影された金魚のデータから、 $v(t)$ と $\phi(t)$ のヒストグラムがほぼガウス分布になることを確認した。それぞれを AR モデルにあてはめ、パラメータを Yule-Walker 法及び Levinson-Durbin の再起法を用いて求めた。速度 $v(t)$ については、動画のピクセル位置変化より算出したデータを平均 1.0 に規格化した。このとき、標準偏差は 0.3484 であった。同定した AR モデルは、次数 $p = 156$ のとき最終予測誤差として 0.1791 の最小値を得た。また、回頭角度 $\phi(t)$ についてはラジアンで計測したところ、平均は 0.001、標準偏差は 0.1724 であった。同定した AR モデルは、 $p = 57$ のとき最終

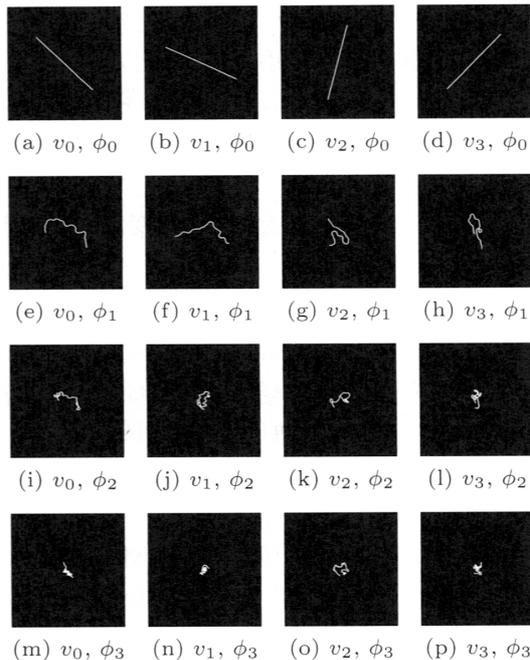


図3 刺激として用いられた16個のモデルの軌跡
Fig. 3 Sixteen trajectories used as visual stimuli.

予測誤差として0.0250の最小値を得た。

4.5 刺激動画の生成

得られた金魚の挙動モデルを元に、下記のようにパラメータを調整して仮想的な生物の動きに見立てた質点の動きを複数生成した。

$$x_{ij}(t+1) = x_{ij}(t) + \Delta x_{ij}(t)$$

$$\Delta x_{ij}(t) = v_i(t)L(\phi_j(t)) \frac{\Delta x(t-1)}{|\Delta x(t-1)|}$$

$v_i(t)$, $\phi_j(t)$, $i, j = \{0, 1, 2, 3\}$ は、実際の金魚の行動データから得られた時系列のものに対し、 $v(t)$ と $\phi(t)$ の標準偏差をそれぞれ i 倍、 j 倍したものであり、組合せにより $x_{ij}(t)$ として合計16種の動きデータを生成した。16種類の運動軌跡を図3に示す。図中では速度変化は表現できないため、行については類似の軌跡となっている。

5. 実験

実験の目的は、それぞれのモデルの運動に対する予測可能性とアンケートによる生物性・意図性の評定値との関係を調べることである。実験は対象追跡とアンケートの2部によって構成される。実験参加者はまず対象追跡実験を行い、その後にアンケートに回答する。いずれの実験もコンピュータディスプレイ上で行われた。



図4 実験装置の概略図
Fig. 4 Schematic diagram of experimental apparatus.

本実験は速度変化要因(4水準)×角度変化要因(4水準)の2要因被験者内実験である。

5.1 刺激

作成したモデル16個について、それぞれ5倍速の動画を作成した。また、実際の金魚の運動についても5倍速の動画も用意した。これら17個の動画では、15秒間黒色の背景にモデルに従って運動する白点のみが表示される。

5倍速で提示した理由は、等倍速だと動きが遅いため、フィードバックによるペン位置の修正が可能になり、予測可能性を測ることができないからである。実験参加者は、提示される運動が金魚の動きを基準としていることや質点、環境の大きさについての情報を一切与えられない。また、全ての運動刺激を5倍速で提示した。そのために、5倍速での提示によって生物性、意図性の評定値や予測可能性が全体的にシフトする可能性はあるが、各運動パラメータに対する評価の相対的な違いについての影響はないと考える。

5.2 対象追跡

対象追跡実験では、実験参加者はペンタブレットを用いて17個の動画に対し、移動する白点を追跡することを求められた。実験装置の概略を図4に示す。実験参加者はペンタブレットを用いてディスプレイ上に表示される赤いカーソル(3ピクセル)を動かし、白点(4ピクセル)を追跡することを求められる。図中では軌跡が表示されているが、実際には軌跡は表示されず点のみが表示される。白点の運動は実験参加者がペンのクリックボタンを押下することによって開始する。ただし、赤いカーソルが白点の近傍10ピクセル以内に入っていないと白点の運動は開始しない。そのため、追跡開始初期に追跡対象と参加者のカーソルが離れているという状況を回避できる。

操作に対する慣れが実験結果に影響しないよう、動画の提示順は実験参加者ごとにランダムとした。ペンカーソルの操作に慣れるため、実験参加者は四つの動画をを用いた追跡練習を行った。この時に用いた動画は本実験に用いたものとは異なる。

5.3 アンケート

対象追跡実験に引き続き、アンケートを行った。実験参加者は提示された17個の動画それぞれに対して、「生物らしい」と「意図的」の語句に対して、7段階(1. 全くそう思わない 2. そう思わない 3. あまりそう思わない 4. どちらでもない 5. ややそう思う 6. そう思う 7. 強くそう思う)で評定することを求められた。それぞれの語句については先行研究に倣って詳細な意味の説明は行わずに単に語句を提示するにとどめた。アンケートにおける動画の提示順序は実験参加者ごとにランダムであった。

5.4 実験参加者

17名の大学生(男性10名, 女性7名)が実験に参加した。

5.5 実験結果

予測可能性を定量化するために、移動点とペンカーソルとのユークリッド距離の平均を計算した(以下、追従誤差と呼ぶ)。なお、追従誤差は値が小さいほど、対象の振舞いと参加者の予測の一致度すなわち予測可能性が高いと考える。各動画それぞれに対して、実験参加者ごとに追従誤差を計算し、全実験参加者について平均を計算した結果を図5に示す。なお、金魚の振舞いに対する追従誤差の平均を図中に赤線で示した(以下の図も同様)。追従誤差の計算においては、追跡軌道が安定しない追跡開始1秒間のデータを除いた14

秒間を用いた。

速度変化と角度変化の違いが追従誤差に影響を与えたかどうかを確かめるために、二元配置分散分析を行った。速度変化要因と角度変化要因において交互作用は見られなかった($F(9, 240) = 0.63, p = 0.77$)。角度変化要因の主効果は有意水準1%で有意であった($F(3, 240) = 12.59, p < 0.01$)。Tukeyの方法による多重比較の結果、角度変化0と角度変化1, 角度変化0と角度変化2の間で1%, 角度変化0と角度変化3, 角度変化2と角度変化3の間で同5%の有意な差が確認された。速度変化要因の主効果は確認されなかった($F(3, 240) = 0.40, p = 0.75$)。

各動画それぞれに対する生物性と意図性の評定値の全参加者の平均値を図6, 図7に示す。速度変化と角度変化の違いがそれぞれ生物性の評定値に影響を与えたかどうかを確かめるために、二元配置分散分析を行った。速度変化要因と角度変化要因において交互作用は見られなかった($F(9, 240) = 0.48, p = 0.90$)。角度変化要因の主効果は有意水準1%で有意であった($F(3, 240) = 34.02, p < 0.01$)。Tukeyの方法による多重比較の結果、角度変化0と角度変化1, 角度変化0と角度変化2, 角度変化0と角度変化3の間で1%の有意な差が確認された。速度変化要因の主効果は確認されなかった($F(3, 240) = 0.16, p = 0.92$)。

同じく、速度変化と角度変化の違いがそれぞれ意図性の評定値に影響を与えたかどうかを確かめるために、二元配置分散分析を行った。速度変化要因と角度変化要因において交互作用は見られなかった

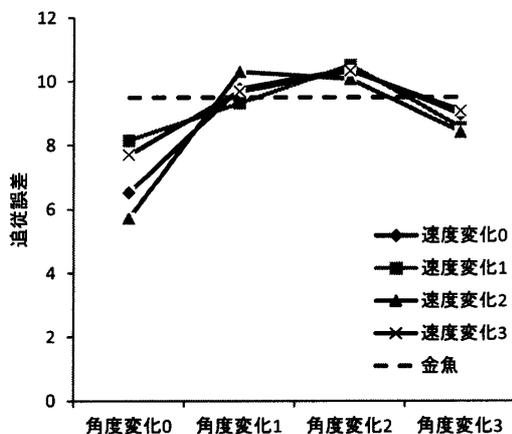


図5 追従誤差
Fig. 5 Tracking error.

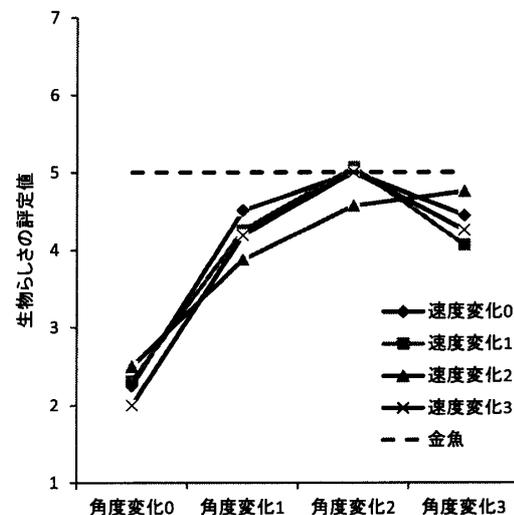


図6 生物性の評定値
Fig. 6 Animacy rating.

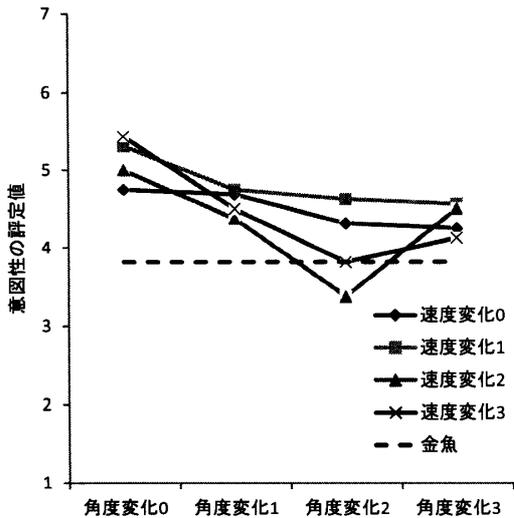


図 7 意図性の評定値
Fig. 7 Intentionality rating.

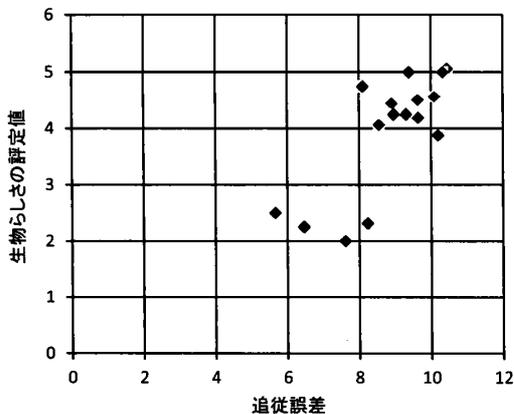


図 8 追従誤差と生物性の評定値の関係
Fig. 8 Relation between tracking error and animacy rating.

($F(9, 240) = 0.58, p = 0.81$). 角度変化要因の主効果は有意水準 1% で有意であった ($F(3, 240) = 4.97, p < 0.01$). Tukey の方法による多重比較の結果, 角度変化 0 と角度変化 2 の間で有意水準 1%, 角度変化 0 と角度変化 3 の間で同 5% の有意な差が確認された. 速度変化要因の主効果は確認されなかった ($F(3, 240) = 1.03, p = 0.38$).

図 8, 図 9 に追従誤差と生物性, 意図性の評定値の関係を散布図に表したものを示す. 追従誤差と生物性の評定値の間の相関係数は $0.79 (p < 0.01)$, 追従誤差と意図性の評定値の間の相関係数は $-0.58 (p < 0.05)$ であった.

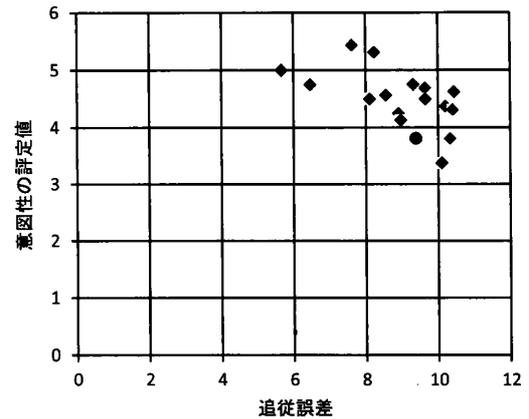


図 9 追従誤差と意図性の評定値の関係
Fig. 9 Relation between tracking error and intentionality rating.

6. 考 察

6.1 振舞いの性質と追従誤差

実験結果 (図 5) により, 追従誤差が速度変化の違いには影響を受けず, 角度変化の違いに影響を受けたことが分かる. 速度の違いが追従誤差に影響を与えなかった理由は, もとの金魚の運動における速度変化がそれほど大きくなく, パラメータの操作による速度変化の程度の違いが振舞いの予測可能性に影響を与えるほど大きくなかったためだと考えられる.

角度変化 0 は直線運動なので運動の予測が容易である. これは, 角度変化 0 のときの追従誤差が角度変化 1, 角度変化 2, 角度変化 3 のときよりも有意に小さいことから説明できる. 角度変化 3 のときの追従誤差が角度変化 2 のときより小さいのは, 角度変化 3 の運動が比較的狭い領域で細かく動くようなものであったからだと考えられる.

6.2 振舞いの性質と生物性, 意図性知覚

図 6 と図 7 を比較して見ると, 生物性と意図性の評定値は角度変化の違いに対する傾向が大きく異なることが分かる. 生物性は角度変化が 0 すなわち直線運動のときに低く評定され, 意図性は高く評定されている. 直線運動において生物性が低く評定されたのは単純で軌道を外れないという直線運動の性質が機械的な印象を与えたからだと考えられる.

Tremoulet らの研究によると等速直線運動の生物性 (alive) の評定値は 1 から 7 の 7 段階評定で 3.2 程度である (文献 [14] の Figure 5 より読み取り). 評価に用いた語句が異なるために, 直接的な比較はできないが, 本実験における等速運動における生物らしさの評

定値の平均 2.3 は妥当なものと思われる。

角度変化の程度を増加させると生物らしさの評定値も高くなっている。この結果も Tremoulet らの実験結果 [14] と一致する。ただ、本研究における振舞いは、Tremoulet らの実験のように、運動の途中で一度だけ速度や角度を変化させたものではなく、金魚の振舞いを基準として速度と角度が連続的に変化するために直接の比較はできない。

直線運動において意図性が高く評定されたのは、特定の方向に向かうという目標志向性が知覚されたためだと考えられる。

6.3 振舞いに対する予測可能性と生物性、意図性知覚

図 8, 図 9 を見ると、振舞いの予測可能性と主観的評定値の関係は生物性と意図性の間で大きく異なることが分かる。すなわち、予測が困難な振舞いほど生物らしさは高く評定され、意図性は低く評定される。反対に予測が容易なほど生物らしさが低く評定され、意図性が高く評定されるということである。この結果は意図性知覚が生物性知覚の前提となっているという考え ([4], [6], [7], [12], [13]) に反する。しかし我々の、意図性が感じられなくても生物性のみが感じられる場合があるという考えを支持するものである。すなわち、生物性が無目的なアイドル状態を含む生物のあらゆる振舞いから知覚される一方で、意図性が目的をもった振舞いに対してのみ知覚される可能性を示唆する。更にいうならば、身体部位固有の周期性や揺らぎに対してではなく、単一の目的のもとに身体各部位の動きを統制するような働きに対して意図性が感じられると考えることができる。今後はこの仮説を検証する研究を進める予定である。

予測が容易な対象ほど意図性が高いという結果は、観察対象の目的が理解できたために、振舞いの予測が容易になったと解釈することができる。しかし、往復運動を延々と続けるなど、常に定型的な振舞いを生成する主体に意図性は感じられないため [21], 予測が更に容易な振舞いや定型的振舞いから逸脱する場合の予測困難さについて調査する必要がある。

7. むすび

本研究では、人らしさ知覚の要素されている意図性と生物性について、振舞い予測の観点から両者の違いを明らかにすることを目的として実験を行った。実験ではまず、金魚の振舞いの自己回帰モデルによるモデ

ル化を行い、速度変化と角度変化の程度を操作することで 16 個の質点の運動の動画を作成した。この動画と実際の金魚の運動を合わせた合計 17 個の動画を実験参加者に提示し、ペンタブレットを用いて追跡させることで、振舞いの予測可能性を客観的に定量化した。更に、17 個の動画に対する生物性・意図性の評定値と予測可能性の相関を求めることで、振舞いの予測が困難な振舞いほど生物らしさを強く感じ、意図性が弱く感じられることが分かった。

本研究では生物らしい動きの基準として金魚の運動を用いた。本研究で用いたリュウキンの動きは比較的定常的であり自己回帰モデルによるモデル化がしやすかった。しかし、一般的な生物では非定常な動きをするものも多く、特に定常的な動きの中で突然、定常から逸脱した行動を示す場合がある。本研究ではそのような場合は検討できていない。定常性と逸脱性が生物性、意図性に与える影響については今後の課題としたい。

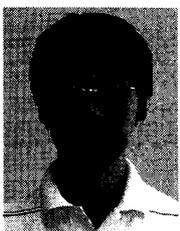
文 献

- [1] S. Baron-Cohen, *Mindblindness: An Essay on Autism and Theory of Mind*, MIT Press, 1995.
- [2] D. Premack and A.J. Premack, "Moral belief: Form versus content," *Mapping the mind: Domain specificity in cognition and culture*, pp.149-168, Cambridge University Press, Cambridge, 1994.
- [3] F. Heider and M. Simmel, "An experimental study of apparent behavior," *American J. Psychology*, vol.57, no.2, pp.243-259, 1944.
- [4] R. Gelman, F. Durgin, and L. Kaufman, "Distinguishing between animates and inanimates: not by motion alone," *Causal cognition: A multidisciplinary debate*, eds. by D. Sperber, D. Premack, and A.J. Premack, chapter 6, pp.150-184, Oxford University Press, 1995.
- [5] 龍輪飛鳥, 伊東裕司, "運動図形に対する心的状態の帰属," *日本認知科学会第 21 回大会論文集*, pp.274-275, 2003.
- [6] W.H. Ditttrich and S.E.G. Lea, "Visual perception of intentional motion," *Perception*, vol.23, no.3, pp.253-268, 1994.
- [7] J.N. Bassili, "Temporal and spatial contingencies in the perception of social events," *J. Personality and Social Psychology*, vol.33, no.6, pp.680-685, 1976.
- [8] N.S. Santos, N. David, G. Bente, and K. Vogeley, "Parametric induction of animacy experience," *Consciousness and Cognition*, vol.17, no.2, pp.425-437, 2008.
- [9] 青野直也, 森田寿郎, 植田一博, "2 リンク機構の運動から知覚される生物性の解析," *信学論 (D)*, vol.J95-D, no.5, pp.1268-1275, May 2012.
- [10] F. Heider, *The Psychology of Interpersonal Rela-*

tions, Lawrence Erlbaum Associates, 1958.

- [11] 龍輪飛鳥, 子安増生, “ボール探し課題における運動図形の一時停止・速度・軌跡が心的帰属に及ぼす効果,” 日本認知科学会第 25 回大会発表論文集, pp.82-83, 2008.
- [12] P.D. Tremoulet and J. Feldman, “The influence of spatial context and the role of intentionality in the interpretation of animacy from motion,” *Perception & Psychophysics*, vol.68, no.6, pp.1047-1058, 2006.
- [13] D. Premack and A.J. Premack, “Intention as psychological cause,” in *Causal cognition: A multidisciplinary debate*, ed. D. Sperber, D. Premack, and A.J. Premack, pp.185-199, Oxford University Press, 1995.
- [14] P.D. Tremoulet and J. Feldman, “Perception of animacy from the motion of a single object,” *Perception*, vol.29, no.8, pp.943-951, 2000.
- [15] T. Gao and B.J. Scholl, “Chasing vs. stalking: Interrupting the perception of animacy,” *J. Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, vol.37, no.3, pp.669-684, 2011.
- [16] D.C. Dennett, *The Intentional Stance*, Cambridge, Mass, Bradford Books/MIT Press, 1987.
- [17] G. Gergely, Z. Nádasdy, G. Csibra, and S. Bíró, “Taking the intentional stance at 12 months of age,” *Cognition*, vol.56, no.2, pp.165-193, Aug. 1995.
- [18] 子安増生, 龍輪飛鳥, “運動図形に対する心的状態の付与に及ぼす図形の種類と運動パターンの効果,” Technical report, 京都大学, 2004.
- [19] 福田玄明, 植田一博, “実際の生物を用いたアニメーション知覚の脳内基盤の検討,” *認知科学*, vol.18, no.1, pp.64-78, 2011.
- [20] W. Matsunaga and E. Watanabe, “Visual motion with pink noise induces predation behaviour,” *Scientific Reports*, vol.2, no.219, pp.1-7, 2012.
- [21] 寺田和憲, 岩瀬 寛, 伊藤 昭, “Dennett の論考による三つのスタンスの検証,” *信学論 (A)*, vol.J95-A, no.1, pp.117-127, Jan. 2012.

(平成 24 年 5 月 30 日受付, 11 月 5 日再受付)



寺田 和憲

1995 阪大・工・精密卒. 2001 奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科博士後期課程了. 2000 独立行政法人通信総合研究所特別研究員. 2002 岐阜大学工学部応用情報学科助手. 2007 同助教, 現在に至る. 博士(工学). 人と人工物のインタラ

クション観察を通じて知性・意図とは何かについて考えている. 人工知能学会, 情報処理学会, 日本ロボット学会, ヒューマンインタフェース学会, ACM, IEEE 各会員.



深井 英和 (正員)

1995 阪大・基礎工・生物工学卒. 2000 同大学院基礎工学研究科博士課程了(工博). 同年岐阜大学工学部応用情報学科助手, 2007 同助教, 現在に至る. 生体信号処理, 非線形力学系等の研究に従事. 日本生体医工学会, IEEE 各会員.



竹内 涼輔

2011 岐阜大・工・応用情報卒. 現在, 同大学院修士課程在学中.



伊藤 昭 (正員)

1972 京大・理・物理卒. 1979 同大学院理学研究科博士課程了(理博). 同年郵政省電波研究所(現通信総合研究所)入所. 1998 山形大学工学部教授. 2000 岐阜大学工学部教授, 現在に至る. 人工知能, マルチエージェント学習, コミュニケーションの認知科学の研究に従事. 情報処理学会, 人工知能学会, 日本認知科学会, 日本ソフトウェア科学会各会員.