

# アニメシー知覚と動きの統計量の分析： 生物性・意図性・自律性の関係

## Analyzing Animacy Perception by Motion Statistics: Relationship among Animacy, Intentionality, and Autonomy

細川 敦司<sup>†</sup>, 日高 昇平<sup>†</sup>, 鳥居 拓馬<sup>‡</sup>

Atsushi Hosokawa, Shohei Hidaka, Takuma Torii

<sup>†</sup> 北陸先端科学技術大学院大学, <sup>‡</sup> 東京電機大学

Japan Advanced Institute of Science and Technology, Tokyo Denki University

### 概要

観察者が観察対象に対して生き物らしさを知覚（アニメシー知覚）の先行研究では、生物性のみならず、意図性や自律性に関する評定も併せて検討されることが多い。しかし、これらの概念の関係は明確ではない。本研究では実験において複数物体の動きを系統的に生成し、生物性・意図性・自律性・随伴性の概念の相互関係を検討した。その結果、グレンジャー因果量と自己共分散比との相関関係の組み合わせから、生物性の評定は他の3つの概念の複合概念である可能性が示唆された。

キーワード：アニメシー知覚, 生物性, 意図性, 自律性, ベクトル自己回帰 (VAR), Granger causality

### 1. はじめに

外見が生き物とはほど遠い単純な幾何学図形（円や三角形）の動きに対しても、人は生き物らしさを感じることが知られている。Heider & Simmel [3] では、三つの幾何学図形（大きな三角形, 小さな三角形, 小さな円）が長方形の近くを移動する動画を実験参加者に見せ、図形について説明させたと、参加者は指示が与えられていないにも関わらず、内気やいじめっ子といった性格特性、および不満や怒りといった感情を図形に帰属させて説明を行った。このように、観察者が観察対象に対して生き物らしさを知覚することをアニメシー知覚という。

Heider & Simmel [3] による研究以来、アニメシー知覚に関連する特定の動きの特徴を調べた研究がある。Bassili [1] は、「ある物体が動いた後に少し遅れて他の物体がつかれてついてくる」という時間的随伴性がアニメシー知覚の要因であることを示唆した。一方、近年では同期の度合いとアニメシー知覚の関連が調べられている。Takahashi & Watanabe [8] は、二つの物体

の動きが高い度合いで同期するほど、観察者が物体の生物性を低く評価するという傾向を示した。これらの結果は、同期と時間的随伴性はどちらも複数物体間における相互作用を捉える点で似ているが、アニメシー知覚に及ぼす影響は異なることを示している。

時間的随伴性や同期のような類似した概念を区別して扱うためには、これらを定量化する必要がある。Oguma, Torii, & Hidaka [6] や小熊 [7] は、2物体の動きにおける一種の時間的随伴性の度合いの Granger causality [2] (GC) による定量化を提案し、GC と生物性知覚の関係を実験的に検討した。小熊らは、ベクトル自己回帰 (Vector Auto-Regressive; VAR) モデルに従って運動する2つの点の動画を実験刺激として用いた。小熊 [7] の実験では、二つの点を表示した動画と、一方の点のみを表示した動画を提示した。その結果、GC と知覚された生物性の度合いの間には有意な相関が認められた。また、一方の点のみ表示しても観察者は同程度に生物性を知覚した。

小熊ら [7] の実験結果は1点の運動系列に潜在する統計量が生き物らしさと関連する可能性を示していたため、細川ら [5] は GC で定量化される時間的随伴性に加えて、1点の運動系列のもつ特徴を自己共分散比 (Auto-Covariance Ratio; ACR) により定量化した上でアニメシー知覚との相関を検討した。その結果、ACR は GC よりも生物性の評定と高い相関を持つことが示された。

アニメシー知覚の先行研究では、時間的随伴性 [1], 同期性 [8], 生物性, 意図性など複数の指標が相互に関連すると想定される概念が調べられている。多くの研究ではこれらの概念は明確は区別されず、類義語のように扱われる場合もある。本研究では、GC と ACR という2つの動きの特徴量の組み合わせにより、従来明確には区別されてこなかった生物性, 意図性, 自律

表 1: 各質問項目を表す一対の動きの表現

概念	高い表現 (評定値=1)	低い表現 (評定値=7)
生物性	いきいきと	たんたん
意図性	何かをめざして	あてもなく
自律性	みずからすすんで	しかたなく
随伴性	何かにつられて	かってに

性、随伴性の概念を特徴づけ、その関係を分析する。

関連先行研究の精査の末、これらの4つの概念を表1に示す4つの尺度による評定を行った。生物学的である (i.e., いきいき) 状態の反義語として機械的である (i.e., たんたん) であること、意図的である (i.e., 目標指向的であり、何かをめざす) ことの反義語としてさまよっている状態 (i.e., あてもない), 自律的である (i.e., 行為を開始する主体であり、みずからすすんで) ことの反義語として動きを他から強制されている状態 (i.e., しかたなく), 随伴的である (i.e., 何かにつられて) の反義語として他と無関係な動き (i.e., かってに) とした。

## 2. VAR モデル：GC と自己共分散比

小熊ら [6, 7] は、二つ一組の点が相互作用する度合いを操作して時系列データを生成するために、確率的な時系列生成モデルである1次2変量のベクトル自己回帰 (VAR) モデル (式 (1)) を用いた。

$$v_0 = \mathbf{0}_2, v_t = Av_{t-1} + \epsilon_t \quad (1)$$

ここで  $\mathbb{R}$  をすべての実数の集合とすると、 $v_t = \begin{pmatrix} R_t \\ B_t \end{pmatrix} \in \mathbb{R}^2$  は時刻  $t = 0, 1, \dots$  における2変量の状態変数ベクトル、 $\mathbf{0}_2 := \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix}$  は2次元ゼロベクトルであり、 $A \in \mathbb{R}^{2 \times 2}$  は係数行列、 $\epsilon_t \in \mathbb{R}^2$  は各時刻  $t$  ごとに平均  $\mathbf{0}_2$ 、基本共分散行列  $\Sigma \in \mathbb{R}^{2 \times 2}$  の2変量正規分布  $N(\mathbf{0}_2, \Sigma)$  に従う攪乱項である。つまり、VAR は過去の状態変数ベクトル  $v_{t-1}$  から現在の状態変数ベクトル  $v_t$  を確率的に決定するモデルである。

$t \rightarrow \infty$  において状態変数ベクトル  $v_t$  が従う定常確率分布が定まるとき、VAR モデルは安定であるという。その定常確率分布は定常共分散行列  $\Sigma_* \in \mathbb{R}^{2 \times 2}$  を持つ2変量の正規分布  $N(\mathbf{0}_2, \Sigma_*)$  である [4]。

小熊ら [6, 7] は、時間的随伴性の指標の一つとして Granger causality (GC) を提案した。GC は過去の時点でのある変数が、将来の他の変数の予測にどの程度役立つかを定量化する。GC には向きがあり、B から R への GC と R から B への GC は一般には異なる。Hidaka & Torii [4] では状態変数ベクトル

$v_t = \begin{pmatrix} R_t \\ B_t \end{pmatrix} \in \mathbb{R}^2$  を持つ安定な VAR モデルにおいて、B から R への GC  $G_{B \rightarrow R}$ 、R から B への GC  $G_{R \rightarrow B}$  はそれぞれ条件付き相互情報量  $I(X; Y|Z)$  により以下の通り定義される。

$$G_{B \rightarrow R} := 2 \lim_{t \rightarrow \infty} I(R_{t+1}; B_t | R_t), G_{R \rightarrow B} := 2 \lim_{t \rightarrow \infty} I(B_{t+1}; R_t | B_t)$$

VAR モデルの各変数を周辺化すると、 $R$  時系列と  $B$  時系列の自己回帰 (AR) モデルがそれぞれ得られる。 $R$  と  $B$  の時系列の AR モデルの  $k$  次の自己共分散係数は  $e_0 := \begin{pmatrix} 1 & 0 \end{pmatrix}^\top, e_1 := \begin{pmatrix} 0 & 1 \end{pmatrix}^\top$  を用いて

$$\alpha_k := e_0 A^k \Sigma_* e_0, \beta_k := e_1 A^k \Sigma_* e_1 \quad (2)$$

と定義できる。これらの比  $-1 \leq \frac{\alpha_1}{\alpha_0} \leq 1, -1 \leq \frac{\beta_1}{\beta_0} \leq 1$  をそれぞれ  $R, B$  の自己共分散比 (Auto-covariance ratio) という。以下、 $R, B$  の自己共分散比をそれぞれ ACR-R, ACR-B と略記する。2変量 VAR モデルでは、ケーリー・ハミルトンの定理より、任意の  $k \geq 0$  に対し自己共分散係数に関して以下の式が成り立つ。

$$\alpha_{k+2} - \alpha_{k+1} \text{tr} A + \alpha_k \det A = 0. \quad (3)$$

対称性よりこの恒等式は  $\alpha_k$  を  $\beta_k$  に置き換えても成り立つ。従って、 $A, \alpha_0, \alpha_1$  が決まれば、任意の  $k \geq 0$  に対して自己共分散係数  $\alpha_k$  が定まる。特に安定条件下では  $k$  に対して、

$$\lim_{k \rightarrow \infty} \frac{\alpha_{k+1}}{\alpha_k} = \frac{\alpha_1}{\alpha_0} \quad (4)$$

が成り立つ。本研究では、この自己共分散比 ACR-R を  $\frac{\alpha_1}{\alpha_0} \propto \cos \theta_0$ 、ACR-B を  $\frac{\beta_1}{\beta_0} \propto \cos \theta_1$  と定義する。

## 3. 実験

本研究では「ある物体が他の物体から受ける時間的随伴性は、観察者がその物体に知覚する生物性の度合いに影響を及ぼす」という仮説を検証し、アニメーション知覚に影響を及ぼす要因が時間的随伴性以外に存在するかどうかを確かめる。二つの物体間における相互作用のうち、時間的随伴性は過去の動きと将来の動きの関連性であり、GC に相当する。一方で、同期は同時点における動きの関連性であり、相関に相当する。したがって、二つの点の動きにおける相関を固定したうえで GC を操作して刺激動画を作成し、動画内の点の動きに対する生物性を評定する実験を行う。

### 3.1 実験刺激

実験では小熊ら [6, 7] と同様に、VAR モデルの状態変数  $v_t = (R_t, B_t)^\top$  に対応した動きを視覚刺激として

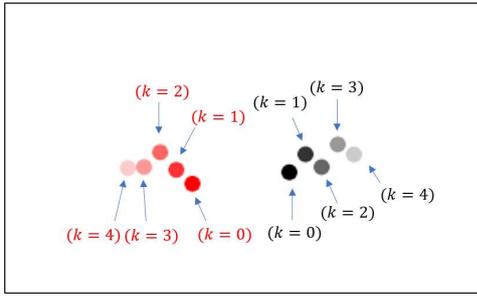


図 1: 実験刺激例 [7]

提示する．具体的には，2 個の異なる物体を表す赤い点 R と黒い点 B が一定の長さの履歴を示しながら上下に運動する動画（図 1）である．それぞれの点は 2 次元平面上において，水平方向には固定した位置に表示され，垂直方向には VAR モデルに従って運動する．時刻  $t = 0, 1, \dots$  における点 R と B の垂直方向の位置座標がそれぞれ  $R_t, B_t$  である．

小熊 [7] の知見に基づき，観察者が知覚する生物性は B の表示の有無によらないかを確認するため，二つの物体 R と B が表示されている動画（R-B 動画）と，物体 B を隠して一つの物体 R のみが表示されている動画（R 動画）を作成した．R 動画は R-B 動画から黒い点 B だけを非表示にした動画として作成した．

また，それぞれの物体の 5 時点前までの過去の軌跡を水平方向に表示した． $k$  時点前の R は画面中央から  $-(10k + 20)$  pixels の位置，R-B 動画における B は画面中央から  $+(10k + 20)$  pixels の位置に表示した ( $k = 0, 1, \dots, 4$ )．つまり，これらの点は水平方向に履歴（軌跡）を伸ばしながら，垂直方向に移動した．また過去であればあるほど点の色の透明度を上げた．動画のフレームレートは 6Hz に設定した．

### 3.2 モデルのパラメータ設定

本実験では時間的随伴性の効果を検証するため， $R_t$  と  $B_t$  の相関を一定にする必要がある．そこで，安定な VAR モデルにおいて定常共分散行列  $\Sigma_*$  が一定となるように係数行列  $A$  を操作する．具体的には，Hidaka & Torii [4] に基づき，VAR モデルのパラメータを以下の通り設定する．

定常共分散行列  $\Sigma_*$  と基本共分散行列  $\Sigma$ ，

$$\Sigma_* = \begin{pmatrix} \sigma_{0,0}^* & \sigma_{0,1}^* \\ \sigma_{0,1}^* & \sigma_{1,1}^* \end{pmatrix}, \quad \Sigma = \begin{pmatrix} \sigma_{0,0} & \sigma_{0,1} \\ \sigma_{0,1} & \sigma_{1,1} \end{pmatrix}, \quad (5)$$

は  $\sigma_{0,0}^* = \sigma_{1,1}^* = 1$ ， $\sigma_{0,1}^* = 0$ ， $\sigma_{0,0} = \sigma_{1,1} = 2/3$  に決めた．係数行列  $A$  は 2 つの角度  $\theta_0 \in [0^\circ, 360^\circ)$  と

$\theta_1 \in [0^\circ, 360^\circ)$  を用いて式 (6) で表せる [4]．

$$A = \begin{pmatrix} S_0 \begin{pmatrix} \cos \theta_0 & \\ & \sin \theta_0 \end{pmatrix} & \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix} S_1 \begin{pmatrix} \cos \theta_1 & \\ & \sin \theta_1 \end{pmatrix} \end{pmatrix}^\top \quad (6)$$

$$S_i := \sqrt{1 - \frac{\sigma_{i,i}^*}{\sigma_{i,i}^*}} \begin{pmatrix} 1 & -\frac{\sigma_{i,1-i}^*}{\sigma_{i,i}^*} \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & \frac{\sigma_{i,i}^*}{\sqrt{\det \Sigma_*}} \end{pmatrix}$$

このとき，B から R への  $G_{B \rightarrow R}$  および R から B への  $G_{R \rightarrow B}$  は式 (7) である．

$$G_{B \rightarrow R} = \log \left\{ \left( \frac{\sigma_{0,0}^*}{\sigma_{0,0}} - 1 \right) \sin^2 \theta_0 + 1 \right\}$$

$$G_{R \rightarrow B} = \log \left\{ \left( \frac{\sigma_{1,1}^*}{\sigma_{1,1}} - 1 \right) \sin^2 \theta_1 + 1 \right\} \quad (7)$$

ACR-R, ACR-B に関して式 (8) が成り立つ．

$$\text{ACR-R} := \frac{\alpha_1}{\alpha_0} = \frac{a_{0,0}\sigma_{0,0}^* + a_{0,1}\sigma_{1,0}^*}{\sigma_{0,0}^*} \propto \cos \theta_0, \quad (8)$$

$$\text{ACR-B} := \frac{\beta_1}{\beta_0} = \frac{a_{1,0}\sigma_{0,1}^* + a_{1,1}\sigma_{1,1}^*}{\sigma_{1,1}^*} \propto \cos \theta_1 \quad (9)$$

### 3.3 実験条件

2 変量 VAR のパラメータ  $\theta_0$  と  $\theta_1$  (各角度  $0^\circ, 30^\circ, \dots, 330^\circ$  の 12 水準)，物体 B の表示の有無，履歴の表示の有無を実験条件として設定した． $\theta_1$  については， $\sin \theta_1$  の意味と  $\cos \theta_1$  の意味でバランスが取れるように，次の 4 種類に分割し，各参加者はそのうち 1 つのセットに割り当てられた：(1)  $0^\circ, \dots, 150^\circ$ ，(2)  $90^\circ, \dots, 240^\circ$ ，(3)  $180^\circ, \dots, 330^\circ$ ，(4)  $270^\circ, \dots, 420^\circ$ ．

### 3.4 実験参加者・手続き

東京電機大学の学生 52 名が参加した．

実験は 2 つのセッションに分け，先に履歴なし動画を閲覧する試行が連続するセッションを，その後に履歴あり動画を閲覧する試行が連続するセッションを行った．参加者は一人あたり合計で 144 個の動画（履歴なし：72，履歴あり：72）を評価した．動画の提示順は，各セッション内ではランダムであったが，履歴なしのセッションと履歴ありのセッションで同一の係数行列を用い，同一の点の動きを提示した．

参加者は 1 個の刺激動画を閲覧した後に，その動画における赤い点 R の動きについて評価した．具体的には以下 4 項目それぞれの質問に対して，意味差分法 (SD 法) により「4. どちらでもない」を中立として 7 段階リッカート尺度で生物性，意図性，自律性，随伴性の各項目に回答した (表 1)．

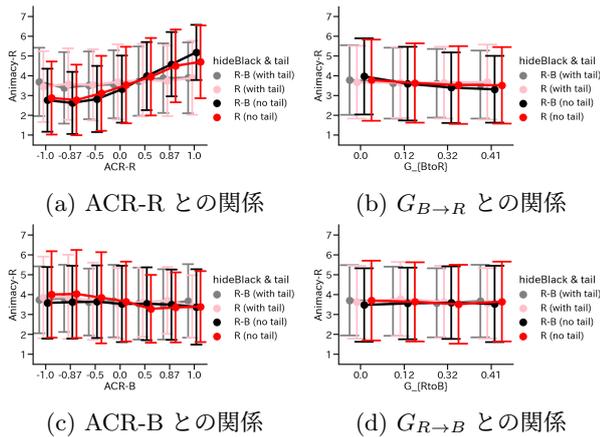


図 2: 赤い点 R の生物性とそれぞれの説明変数の関係

表 2: 赤い点 R の生物性に関する共分散分析の結果

要因	自由度	F 値	p 値
hideBlack	1	1.895	0.169
ACR-R	1	471.144	< 0.001
ACR-R:hideBlack	1	5.590	0.018
$G_{B \rightarrow R}$	1	20.107	< 0.001
$G_{B \rightarrow R}$ :hideBlack	1	4.738	0.030
ACR-B	1	35.741	< 0.001
ACR-B:hideBlack	1	7.771	0.005
$G_{R \rightarrow B}$	1	1.356	0.244
$G_{R \rightarrow B}$ :hideBlack	1	1.153	0.283

### 3.5 分析

本稿では、紙幅のため、赤い点の生物性評定 (Animacy-R) と ACR-R ( $\cos \theta_0$ ),  $G_{B \rightarrow R}$ , ACR-B ( $\cos \theta_1$ ),  $G_{R \rightarrow B}$ , および B を隠したかどうか (hide-Black) との関係の分析のみに絞った。大会発表時にはデータ全体の分析結果を報告する。

### 3.6 結果

図 2 は、生物性とその他の説明変数の関係を表す。各図において履歴なしを no tail, 履歴ありを with tail と表記した。各図のエラーバーは標準偏差を示す。表 2 生物性評定の共分散分析結果を示す。生物性に対して、0.1% 水準で ACR-R, ACR-B,  $G_{B \rightarrow R}$  の有意な主効果が見られた。

### 3.7 考察

本実験では、動きの生物性評価を、GC と自己共分散比 (ACR) の指標を用いて分析した。その結果、先行

研究 [7] で示された GC のみならず、自己共分散比が生物性評価と強い相関を持つことが示された。GC と ACR はそれぞれ時間的随伴性および自己推進性の指標と考えられることから、生物性の知覚はこれらの動きの特徴によって特徴づけられることが示唆された。

本稿では生物性の部分的な結果のみに絞って報告するが、意図性・随伴性・自律性などのその他の評定項目と相対的に比較すると、生物性は他の 3 種類の評定の持つ特徴を複合的に持つ概念であることも示唆された。意図性は目標指向性とも呼べる動きの特徴と関連しており、自律性は自己推進性とも呼べる動きの特徴と相関を示した。こうした性質は生物性にも見られ、生物性の概念を構成する諸側面が、意図性や自律性に相関する動きで特徴づけられることが示唆された。

### 謝辞

本研究は科研費基盤研究 B(一般) JP23H0369, 挑戦的研究 (萌芽) JP22K19790, JST さきがけ JP-MJPR20C9 の助成を受けて行われた。

### 文献

- [1] Bassili, J. N., (1976) "Temporal and spatial contingencies in the perception of social events", J. Personality and Social Psychology, Vol. 33, No. 6, pp. 680-685.
- [2] Granger, C. W. J., (1969) "Investigating causal relations by econometric models and cross-spectral methods", Econometrica, Vol. 37, No. 3, pp. 424-438.
- [3] Heider, F., & Simmel, M., (1944) "An experimental study of apparent behavior", The American Journal of Psychology, Vol. 57, No. 2, pp. 243-259.
- [4] Hidaka, S., & Torii, T., (2021) "Designing Bivariate Auto-Regressive Timeseries with Controlled Granger Causality", Entropy, Vol. 23, No. 6, 742.
- [5] 細川 敦司, (2023) "アニメシー知覚に関連する動きの性質: 時間的随伴性と速さの検討", 日本認知科学会第 40 回大会論文集.
- [6] Oguma, K., Torii, T., & Hidaka, S., (2021) "Animacy perception of a pair of movements under quantitative control of its temporal contingency: a preliminary study", The 26th International Symposium on Artificial Life and Robotics, GS12-1, pp.274-279.
- [7] 小熊 健一, (2021) "物体間の運動の予測可能性が生き物らしさの知覚に及ぼす効果の実験的検討" JAIST 学術研究成果リポジトリ.
- [8] Takahashi, K., & Watanabe, K., (2015) "Synchronous motion modulates animacy perception", Journal of Vision, Vol. 15, No. 8, 17.