

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

Characteristics of Motion Related to Animacy Perception: Temporal Contingency and Speed

細川 敦司[†], 日高 昇平[†], 鳥居 拓馬[‡]

Atsushi Hosokawa, Shohei Hidaka, Takuma Torii

[†] 北陸先端科学技術大学院大学, [‡] 東京電機大学

Japan Advanced Institute of Science and Technology, Tokyo Denki University

s2210153@jaist.ac.jp

概要

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。本研究では実験において複数物体の動きにおける相関を統制し、アニメシー知覚を特徴づける要因として時間的随伴性および他の統計量を検討した。その結果、時間的随伴性とともにもそれよりアニメシー知覚と高い相関を持つ統計量として自己共分散比があることが示唆された。

キーワード：アニメシー知覚, 時間的随伴性, 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 [1] 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ころ、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。

アニメシー知覚は他者の意図や複数人の社会関係をそれらの行動から読み取る能力と深く関係すると考えられており、アニメシー知覚の機序の解明は人の社会性認知の理解に貢献すると考えられる。また、人と共存できるロボットや生き物らしい映像 (CG) の開発にも、生き物らしさの知覚特性の解明が役立つ。

Heider & Simmel [1] 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 [2] 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 [3] は、二つの物体の動きが高度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 [4] や小熊 [5] は、2物体の動きにおける一種の時間的随伴性の度合いを Granger causality [6] で定量化し、時間的随伴性とアニメシー知覚の関係を実験的に検討した。小熊らの実験刺激動画では、二つの点がベクトル自己回帰 (VAR) モデルに従って運動し、他方の点からの Granger causality が大きいほど相手につられて動く。小熊 [5] の実験では、二つの点を表示している動画と、一方の点を隠して他方の点のみを表示している動画が提示された。その結果、Granger causality と観察者が知覚した生物性との間には有意な相関が認められた。また、一方の点を隠すかどうかにかかわらず観察者は同程度に生物性を知覚した。

以上の背景を踏まえ、本研究は時間的随伴性がアニメシー知覚を特徴づけることを確認するとともに、アニメシー知覚に影響を及ぼす他の要因を発見することを目指す。

2. VAR モデルと Granger causality

小熊ら [4, 5] 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存在するとき, VAR モデルは安定であるという. その定常確率分布は 2 変量の正規分布であり, $N(\mathbf{0}_2, \Sigma_*)$ と書く [7]. ここで $\Sigma_* \in \mathbb{R}^{2 \times 2}$ は定常共分散行列である.

小熊ら [4, 5] は, 「一方の物体の過去の動きが, 他方の物体の将来の動きの予測に寄与する度合いがアニメーション知覚を特徴づける」という仮説を立て, そのような時間的随伴性の一つの具体化としての条件付き予測可能性の度合いを Granger causality (以下 GC と略記する) という統計量で定量化した. 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 B から R への GC は一般には異なる. Hidaka & Torii [7] では VAR モデルにおける GC を下記のように定義している. 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 $G_{R \rightarrow B}$ はそれぞれ式 (2) で定義される.

$$\begin{aligned} G_{B \rightarrow R} &:= 2 \lim_{t \rightarrow \infty} (h(R_{t+1}|R_t) - h(R_{t+1}|R_t, B_t)) \\ G_{R \rightarrow B} &:= 2 \lim_{t \rightarrow \infty} (h(B_{t+1}|B_t) - h(B_{t+1}|B_t, R_t)) \end{aligned} \quad (2)$$

ただし, $h(Y|X)$ は条件付き微分エントロピーである.

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, Granger causality 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 Granger causality 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観察者に評定させる実験を行う.

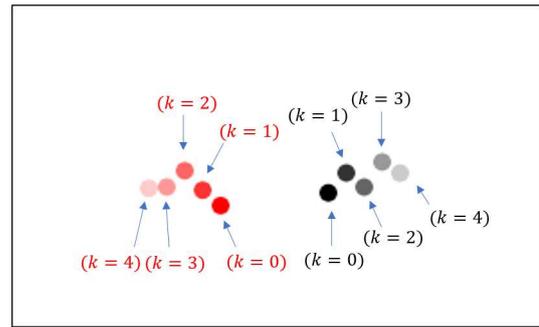


図 1: 実験刺激例 出典:[5]

3.1 実験刺激

実験では小熊ら [4, 5] と同様に, VAR モデルの状態変数 $v_t = (R_t, B_t)^T$ に対応した動きを視覚刺激として提示する. 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 [5] 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どうかを確かめるため, 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 Σ_* 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 [7] 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 Σ_* と基本共分散行列 Σ ,

$$\Sigma_* = \begin{pmatrix} \sigma_{0,0}^* & \sigma_{0,1}^* \\ \sigma_{0,1}^* & \sigma_{1,1}^* \end{pmatrix}, \quad \Sigma = \begin{pmatrix} \sigma_{0,0} & \sigma_{0,1} \\ \sigma_{0,1} & \sigma_{1,1} \end{pmatrix}, \quad (3)$$

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 (4) で表せる [7].

$$A = \begin{pmatrix} S_0 \begin{pmatrix} \cos \theta_0 \\ \sin \theta_0 \end{pmatrix} & \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix} S_1 \begin{pmatrix} \cos \theta_1 \\ \sin \theta_1 \end{pmatrix} \end{pmatrix}^\top \quad (4)$$

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

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 (5) である.

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

$$G_{R \rightarrow B} = \log \left\{ \left(\frac{\sigma_{1,1}^*}{\sigma_{1,1}} - 1 \right) \sin^2 \theta_1 + 1 \right\} \quad (5)$$

3.3 実験条件

二つの点の動きにおける Granger causality と視覚刺激における B の表示の有無を操作するため, θ_0 と θ_1 , 物体 B を隠すかどうかを実験条件として設定した. θ_0 と θ_1 それぞれを 0° から 330° まで 30° 刻みにして 12 水準設定し, それらすべてを組み合わせて 144 種類の係数行列を用いた. R 動画と R-B 動画の時系列生成では同じ係数行列を用いた. 動画数は R-B 動画で 144 個, R 動画で 144 個であり, 合計 288 個の動画を作成した.

3.4 実験参加者

大学院生 5 名 (男性 4 名, 女性 1 名) が参加した.

3.5 実験手続き

実験は R-B 動画を閲覧する試行が連続するブロックと, R 動画を閲覧する試行が連続するブロックの二つのブロックに分けて行った. 参加者が R-B 動画と R 動画のどちらのブロックを先に閲覧するかは参加者間で交互に入れ替えてカウンターバランスをとった. つまり 1 人目の参加者が R-B 動画のブロックを先に閲覧した場合, 2 人目の参加者は R 動画のブロックを先に閲覧した. 動画の提示順は, 各ブロック内ではラ

ンダムであったが, R-B 動画のブロックと R 動画のブロックで同一の係数行列を用い, 同一の赤い点 R の動きを提示した.

参加者は 1 個の動画を閲覧した後, 「赤い円の動きが生き物らしいと感じましたか?」という質問に対して 5 段階リッカート尺度 (1. 感じない, 2. あまり感じない, 3. どちらでもない, 4. 少し感じる, 5. 感じる) で回答した. どの試行においても, 参加者は各刺激動画における赤い点 R の生物性を評価した.

3.6 分析

目的変数を R の生物性の度合い (Animacy-R), 説明変数を θ_0 , $\cos \theta_0$, $G_{B \rightarrow R}$, θ_1 , $\cos \theta_1$, $G_{R \rightarrow B}$, および B を隠したかどうか (hideBlack) とした. 目的変数と説明変数の関係を図示し, R-B 動画と R 動画それぞれの重回帰分析を行った.

3.7 結果

図 2 は, 赤い点 R の生物性とそれぞれの説明変数の関係を表す. 各図のエラーバーは標準偏差を示す. 図 2a より, θ_0 が 0° (360°) に近づくほど生物性は高くなり, 150° に近づくほど低くなるということがわかる.

表 1 は, R-B 動画と R 動画それぞれにおける重回帰分析の結果を示す. R-B 動画と R 動画ともに, R の生物性評価に $\cos \theta_0$ は有意な正の影響を, $G_{B \rightarrow R}$ は有意な負の影響を及ぼすといえる ($p < 0.01$). $\cos \theta_1$ と $G_{R \rightarrow B}$ は有意な影響を及ぼすとはいえない (R-B 動画での $\cos \theta_1$: $p = 0.880$, $G_{R \rightarrow B}$: $p = 0.972$. R 動画での $\cos \theta_1$: $p = 0.052$, $G_{R \rightarrow B}$: $p = 0.502$).

3.8 考察

物体 B を隠したかどうかによらず, $G_{B \rightarrow R}$ が物体 R に知覚される生物性に有意な負の影響をもつことから, ある物体と他の物体との時間的随伴性は, 観察者がその物体に知覚する生物性に影響を及ぼすと考えられる. 本研究においても, 先行研究 [5] と同様に Granger causality の意味での時間的随伴性がアニメシー知覚を特徴づけることを確認できた.

一方で, 本研究の分析では $G_{B \rightarrow R}$ に加えて新たに $\cos \theta_0$ にも有意な相関が示された. この量はモデルの構造上, 以下の性質を持つ:

$$\cos \theta_0 \propto \frac{\alpha_1}{\alpha_0}.$$

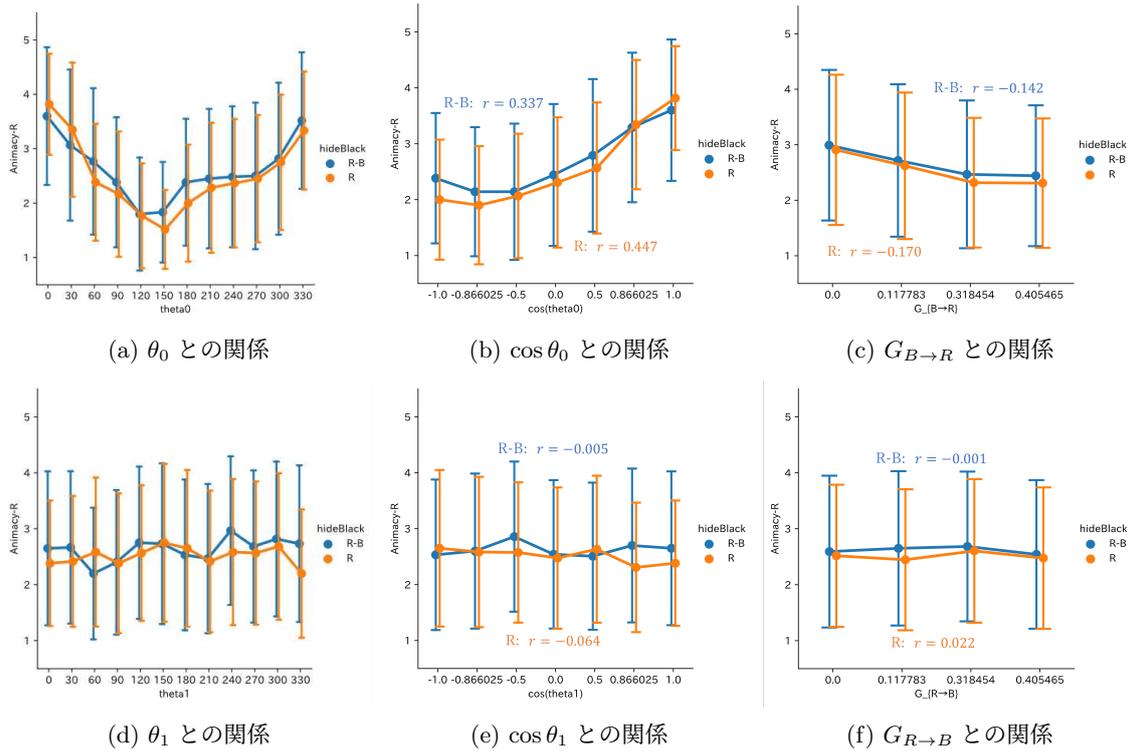


図 2: 赤い点 R の生物性とそれぞれの説明変数の関係

表 1: 重回帰分析の結果

説明変数	R-B 動画			R 動画		
	偏回帰係数	t 値	p 値	偏回帰係数	t 値	p 値
$\cos \theta_0$	0.6431	9.672	< 0.01	0.8023	13.665	< 0.01
$G_{B \rightarrow R}$	-1.3376	-4.070	< 0.01	-1.5111	-5.207	< 0.01
$\cos \theta_1$	-0.0100	-0.151	0.880	-0.1141	-1.944	0.052
$G_{R \rightarrow B}$	-0.0114	-0.035	0.972	0.1948	0.671	0.502
定数	2.9206	26.650	< 0.01	2.7956	28.889	< 0.01
サンプルサイズ	720			720		

ただし α_0, α_1 は R 時系列の AR モデルの 1 次, 2 次の係数である. この比 $-1 \leq \frac{\alpha_1}{\alpha_0} \leq 1$ は, VAR モデルを周辺化して得られる周辺化 AR モデルの無限次の自己共分散の減衰率に相当する. したがって, 本研究の結果は自己共分散比がアニメシー知覚に大きな影響を及ぼす要因の一つであることを示唆する.

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] Heider, F., & Simmel, M., (1944) "An experimental study of apparent behavior", The American Journal of Psychology, Vol. 57, No. 2, pp. 243-259.

[2] 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.
 [3] Takahashi, K., & Watanabe, K., (2015) "Synchronous motion modulates animacy perception", Journal of Vision, Vol. 15, No. 8, 17.
 [4] 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.
 [5] 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.
 [6] Granger, C. W. J., (1969) "Investigating causal relations by econometric models and cross-spectral methods", Econometrica, Vol. 37, No. 3, pp. 424-438.
 [7] Hidaka, S., & Torii, T., (2021) "Designing Bivariate Auto-Regressive Timeseries with Controlled Granger Causality", Entropy, Vol. 23, No. 6, 742.