

# 粒子群社会モデルを用いた集団ダイナミクスの聴覚による理解

高野 佑紀奈†

鈴木 麗瑩‡

有田 隆也‡

名古屋大学情報文化学部自然情報学科†

名古屋大学大学院情報科学研究科複雑系科学専攻‡

## 1 はじめに

Social Particle Swarm (以下 SPS とする) モデルとは、西本らが提案したゲーム理論と自己駆動粒子系に基づく社会モデルである [1][2]. 各粒子が人の心、ゲーム利用に基づく粒子の動きで心理的關係の変化を表しており、シミュレーションの結果、クラスタの形成と崩壊を繰り返す興味深いクラス (図 1) を含む 3 つのクラスに挙動が分類できることを明らかにした.

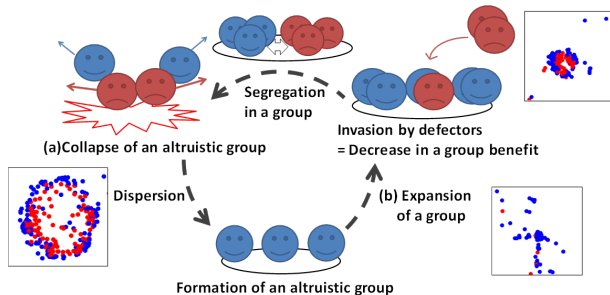


図 1: クラスタの形成と崩壊

一方、複雑な情報を提示する方法として、情報の可視化を用いて視覚に訴える方法が主流である。しかし、人間は本来五感を用いて様々な情報を得ており、特に、聴覚を用いた情報の可聴化の研究が、カオス理論や生医学、データマイニング、地震学など様々な分野にわたって行われている [3]. Gaver は、聴覚メディアは、時系列的に変化する情報を提示するのに適することや、タイミングよく伝達することに適すると指摘している [4]. Kramer は、非言語音の長所として、瞬時に検知できること、時間分解能に優れること、感性に訴えることなどを指摘している [5].

本研究では、注目する現象の理解の手段としての可聴化手法、特に、人が明るい音を聴くと明るい気持ちに、暗い音を聴くと暗い気持ちになるといった、音の雰囲気人が人の感情に直接的に訴える特性を活用した可聴化手法を、人の心理を対象とした SPS モデルを題材として提案し、その実装や評価の結果について報告する.

## 2 SPS モデル

SPS モデルは、戦略決定フェーズと移動フェーズの 2 つのフェーズからなる.

戦略決定フェーズでは、各粒子は次ステップにおいて協力あるいは裏切りどちらを選択するか決定する. 各粒子は、不変の属性値として、他の粒子に対する協力しやすさを表す協力度  $c$  ( $\in [0, 1)$ ) を持つ. 各粒子は自らを中心とした相互作用半径  $R$  の円内にいる粒子を近

隣粒子として認識する. 前ステップにおいて近隣粒子集団の中で裏切りを選んだ粒子の割合  $r_d$  が  $r_d < c$  を満たすとき、粒子は現ステップでの戦略として協力を選択し、条件を満たさない場合は裏切りを選択する. さらに、各粒子はこの選択した戦略を確率  $p$  で反転させる.

移動フェーズでは、各粒子は近隣粒子とのゲームによる相互作用の結果に基づいて力を発生させ、空間中を移動する. 粒子  $i$  の近隣粒子  $j$  について、 $s_i, s_j$  を粒子の状態 (戦略)、 $P(s_i, s_j)$  をゲーム利得行列 (表 1) により規定される利得、 $p_{i,j}$  を  $i$  と  $j$  との相互作用の結果の利得、 $|\vec{d}_{i,j}|$  ( $\vec{d}_{i,j}$ :  $i$  から  $j$  へのベクトル) を粒子間の距離とする. 各粒子は近隣粒子集団のすべての粒子とゲームを行い、粒子間の距離に反比例する利得を得る (式 1). 粒子間の距離に反比例するのは、距離が小さくなる程 2 者間の関係性が強まり、相互作用の結果に大きな影響を与えることを表す. これをもとに各粒子は、利得が正であった近隣粒子には近づく方向の力を、負であった近隣粒子からは離れる方向の力を発生させる. 力の大きさは利得の絶対値に比例し、合力  $\vec{a}$  を一定速  $v$  に正規化したものをそのステップにおける移動速度ベクトル  $\vec{v}$  とする (式 2, 3). その後全粒子を移動速度ベクトルを基に同時に移動させる.

表 1: 利得行列

		player $j$	
		Cooperate	Defect
player $i$	Cooperate	$R (= 1)$	$S$
	Defect	$T$	$P (= -1)$

$$p_{i,j} = \frac{P(s_i, s_j)}{|\vec{d}_{i,j}|}, \quad (1)$$

$$\vec{c}_i = \sum_{j \in \text{neighbors}_i} p_{i,j} \frac{\vec{d}_{i,j}}{|\vec{d}_{i,j}|}, \quad (2)$$

$$\vec{v}_i = \frac{v}{|\vec{c}_i|} \vec{c}_i. \quad (3)$$

## 3 可聴化方法

本研究では、協力や裏切りの状態の分布や、SPS モデルの特徴であるクラスタの形成と崩壊のサイクルを音から知覚することを目的として可聴化を行った. なお、音の階名の表記の仕方は国際式 (A4 = 440 Hz) に準じ、オクターブ表記を取り入れる. また和音のコード表記は通常アルファベット表記のみであるが、本論文では便宜上、先ほどのオクターブ表記に習った表記方法を取り、階名 F4, A4, C5 の長三和音は F4 などのように音の高さもわかるようにする.

SPS モデルでは 1 つ 1 つの粒子の動きが大事なので、可聴化には立体音響を使用し、個々の粒子から音を鳴らして聴けるようにする. 実際に音を聴く方法は、SPS モデル平面の中心に傍観者として立って音を聴くオブザーバーモードと、どれか 1 つの粒子になりきって音

Sonification of group dynamics of a social particle swarm model

†Yukina Takano

School of Informatics and Sciences, Nagoya University

‡Reiji Suzuki Takaya Arita

Graduate School of Information Science, Nagoya University

を聴くエージェントモードの2種類を設定した。

個々の粒子から鳴らす音は、協力あるいは裏切りの状態と、近隣粒子の個数の2つの情報を基に決定した。まず協力粒子が多いと全体で明るい雰囲気を感じられるように、逆に裏切り粒子が多いと全体で暗い雰囲気を感じられるようにするため、協力粒子は長三和音F (F, A, C) の3つの音からランダムに1つの音を選び、裏切り粒子は短三和音Bm (B, D, F#) の3つの音からランダムに1つの音を選ぶようにした。次にSPSモデルで起こる爆発現象の様子を知覚できるようにするために、先述のFあるいはBmの高さを近隣粒子の個数によって決めるようにした。具体的には、前ステップにおいて近隣粒子の個数が多いほど現ステップにおいて高い音を、前ステップにおいて近隣粒子の個数が少ないほど現ステップにおいて低い音になるようにした。今回は後に示す実験設定に合わせ、表2のように閾値を設定した。同表右欄に選ぶ3つの音が対象とする和音のコードが示してあり、例えば、自分が協力粒子のときに前ステップで近隣粒子の個数が20個である場合、和音F1 (F1, A1, C2) の3つの音から1つ選ぶ。

表 2: 近隣粒子の個数による音の条件設定

前ステップでの近隣粒子の個数 $n$	現ステップで鳴らす音 (協力 / 裏切り)
$n < 20$	F1 / Bm0
$20 \leq n < 50$	F2 / Bm1
$50 \leq n < 80$	F3 / Bm2
$80 \leq n < 110$	F4 / Bm3
$110 \leq n < 140$	F5 / Bm4
$140 \leq n < 170$	F6 / Bm5
$170 < n$	F7 / Bm6

## 4 評価実験

SPSモデルの設定は、 $300 \times 300$  の二次元トラス平面、粒子数  $N = 250$ 、相互作用半径  $R = 60$ 、粒子の速さ  $v = 10$ 、利得変数  $S = -1.4$ 、 $T = 1.4$ 、突然変異率  $p = 0.03$  とし、また粒子の初期位置・開始時の戦略、協力度はランダムに決定した。また可聴化した音を聴けるようにステップ間隔は0.5 secに設定した。

立体音響の実装にはJOAL (Java Bindings for the OpenAL API)\*を用い、SPSモデルの平面  $300 \times 300$  に対し、JOAL上の平面は  $30 \times 30$  に対応するように設定した。聴き手の位置は平面の中心に固定し、半径150の円内にある粒子が鳴らしている音のみ聴くことができるようにした。また粒子から鳴らす音はあらかじめ用意したピアノのwav形式のファイルを使用した。

以上の設定で、まずオブザーバーモードで音を聴いたところ、立体音響によりどの辺りに粒子が集まったり散らばったりしているかがわかり、また協力粒子が多いと明るい和音が、裏切り粒子が多いと暗い和音が、さらにどちらともいえない場合は不協和音を聴き分けることができた。不協和音は、FとF#等により形成されていると考えられる。さらに、音の高低の変化も加わることによってクラスタが形成して崩壊する現象も印象的に知覚することが可能となった。具体的には、協力クラスタを形成→裏切り粒子の侵入と増加→協力ク

ラスタの崩壊と粒子の拡散を繰り返す際に、だんだん音が高くなりながら明るい和音をクラスタのある方向から聴くことができる→不協和音が少し聴こえるようになる→だんだん音が低くなりながら音の聴こえる範囲が広がっていく、というような音の変化を聴き取ることができ、どの付近やタイミングでサイクルが起こっているのかを音で知覚することが可能となった。このサイクルは、2つのモードどちらでも聴き取れるが、エージェントモードにおいてクラスタ内の粒子になりきっていると音の変化がより明確にわかる。

またエージェントモードでクラスタ内の粒子になりきって聴くことにより次の点が明らかになった。第1に、クラスタの中にいる際、大きな音の方向が常に変わっている、すなわちクラスタ内での位置が常に変わっているということである。ある粒子になって聴くことはその近辺をマイクロに知覚することである。マクロには粒子が集合しているだけだが、これにより集団内の粒子が変動し続けていることをリアルに理解できたことを意味する。第2に、サイクルが起こる際、最初は明るい和音だが、だんだん塊から不協和音が聴けるようになった後に爆発が起こる場合と、最初から割と不協和音も聴けてすぐに爆発が起こる場合に大きく2つ分類できることがわかった。これは集団の振る舞いを音によって予測しうることを示している。

## 5 おわりに

本研究ではSPSモデルにおける粒子の状態の変化や動きで表される心理状態のダイナミクスを、立体音響を用いて長調・短調の和音と音の高低により可聴化する方法を提案した。評価実験により、協力や裏切りの状態、クラスタ形成と崩壊のサイクルの現象を聴覚で直感的、かつ印象的に知覚することが可能となったことが示された。

## 参考文献

- [1] K. Nishimoto, R. Suzuki, T. Arita: "Social Particle Swarm: Explosive Particle Dynamics on Cooperative/Defective Forces", *Proceedings of IEEE ALIFE 2013 (IEEE SSCI 2013)*, pp. 134-139, 2013.
- [2] K. Nishimoto, R. Suzuki, T. Arita: "Where do the dynamics of social relationship come from?-An analysis based on Social Particle Swarm," *Proceedings of 19th International symposium on Artificial Life and Robotics (AROB 2014)*, pp. 86-91, 2014.
- [3] T. Hermann, A. Hunt, J. G. Neuhoff: "Introduction", *The Sonification Handbook*, Logos Verlag Berlin GmbH, pp. 1-6, 2011.
- [4] W. Gaver: "The Sonic Finder: An Interface That Uses Auditory Icons", *Human-Computer Interaction, Vol. 4*, pp. 67-94, 1989.
- [5] G. Kramer: "An Introduction to Auditory Display", *Auditory Display -Sonification, Audification, and Auditory Interfaces*, Addison-Wesley Publishing Company, Santa Fe, pp. 1-77, 1994.

\* Java Bindings for the OpenAL API, <https://jogamp.org/joal/www/>