

情動への影響を利用した可聴化手法による 複雑系ダイナミクスの理解

高野 佑紀奈^{1,a)} 鈴木 麗璽¹ 有田 隆也¹

概要：近年、複雑で巨大なデータに取り組む研究者が増えてきた。我々は可聴化によって実現する臨場的経験が人工的あるいは現実の世界の複雑系で起こるダイナミクスの理解を促進しようと考えている。本研究では、人々の心理の変化を表現した粒子群社会モデルで創発する複雑なダイナミクスを対象とする。具体的には、長調/短調、協和/不協和音、音の高低を利用した立体音響に基づく可聴化手法によって、そのダイナミクスの臨場的経験を実現した。基本評価により、協力と搾取、あるいはクラスタの形成と崩壊の繰り返しなどの社会的関係とそのダイナミクスを音の相互作用によって生成された雰囲気を通じて理解できることが示された。また被験者実験により、提示法の違いによる知覚精度の違いや生成音の特徴、音色による知覚精度の違いや各音色の特徴等も明らかになった。

1. はじめに

可聴化とは、コミュニケーションや解釈を容易にするために、データにおける関係性を、音響信号で知覚される関係性に変換することである [1]。可聴化は様々な分野で研究が進められており [2]、自然・社会・人工世界における複雑系を対象にした可聴化研究も始められている ([3][4][5] 等)。本研究の目的は、可聴化により複雑系の現象を直感的・印象的に理解可能にすることである。我々は人々の心理に密接に関係する粒子群社会モデルで創発する複雑なダイナミクス [6][7] を対象として研究を始めた [8][9]。具体的には、協力や搾取などのエージェント間の社会的関係の感情的な意味を表すために、長調/短調の和音、協和音/不協和音、音の高低、立体音響を利用し複雑なダイナミクスの創発の臨場的な経験を実現する。また被験者実験により、その手法の有効性・可能性について明らかにする。

2. Social Particle Swarm (SPS) モデル

SPS モデルは、社会ダイナミクスを分析するために考案された、ゲーム理論に基づいて動く自己駆動粒子系のモデルである ([6][7], 図 1)。各粒子は囚人のジレンマゲームの戦略を持ち、ゲーム利得に基づく粒子の動きにより心理的關係の変化を表す。具体的には、各粒子は「協力」あるいは「裏切り」の戦略と、他の粒子に対する協力しやすさを

表す協力度 c ($\in [0, 1)$) を持ち、粒子間の距離は二者間の関係性の強さを表している。そして各粒子は (a) 戦略決定フェーズ：近隣粒子の中で前ステップで裏切りを選択したものの割合 r_d と自身の協力度 c を比較し、戦略を決定する。具体的には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 $r_d < c$ を満たす場合、現ステップで協力を選択、逆の場合は裏切りを選択する。さらにある確率で選択した戦略を反転 (突然変異) する、(b) 移動フェーズ：各粒子は近隣粒子とゲームをし、ゲーム利得行列 (表 1) によって決定され、さらに粒子間の距離に反比例した値を利得として得る。利得に基づき、粒子は利得が正であった粒子に近づき、負であった粒子から離れる方向に力を発生させ移動する、の 2 つの行動をとる。各粒子がこの行動をとった結果、集団のふるまいは、クラス 1：全体の半数以上が裏切りを選択し、個体が反発し合う、クラス 2：ほぼ全員が協力を選択し、互いに引き合いクラスタを作り固まる、クラス 3：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のように、協力クラスタの形成と崩壊のサイクルが繰り返される (図 2)、の 3 つに分類された。

表 1: 利得行列

		粒子 j	
		協力	裏切り
粒子 i	協力	$R (= 1)$	$S (= -1.4)$
	裏切り	$T (= 1.4)$	$P (= -1)$

¹ 名古屋大学 大学院情報学研究科 複雑系科学専攻
Nagoya University, Furo-cho, Chikusa-ku, Nagoya, 464-8601, Japan

^{a)} takano_y@alife.cs.is.nagoya-u.ac.jp

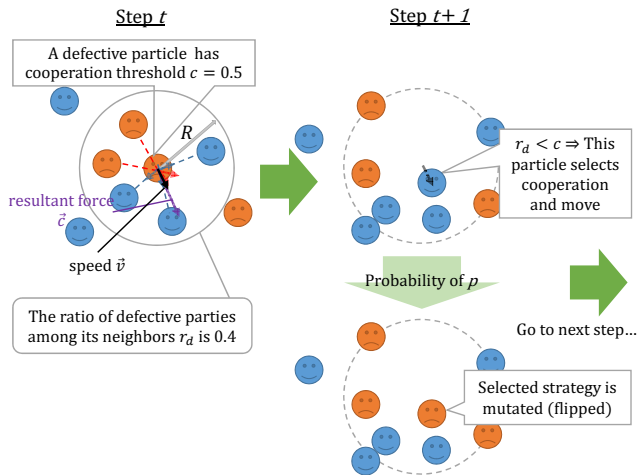


図 1: SPS モデルの概要 (青: 協力粒子, 赤: 裏切り粒子)

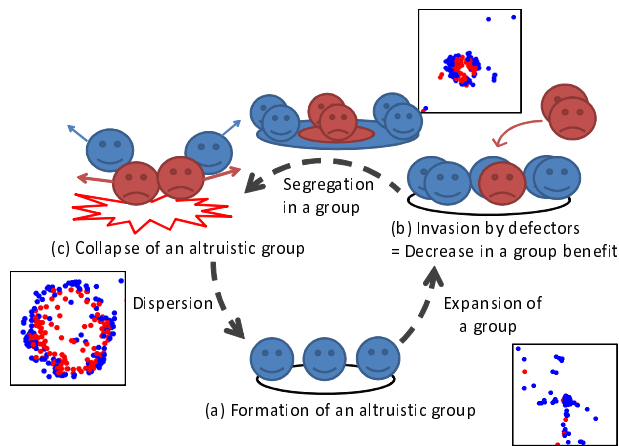


図 2: クラス 3: クラスタの形成と崩壊のサイクル (青: 協力粒子, 赤: 裏切り粒子)

3. 可聴化手法

我々は SPS モデルで創発するクラス 3 を対象に可聴化する。可聴化手法には立体音響を使用し、個々の粒子から音を鳴らして 7.1ch のリアルサラウンドヘッドフォン (Razer 社製 Razer Tiamat 7.1 V2) を用いて聴取する。また音は、平面上のある固定された場所で一定の方向を向いて聴くことを仮定している。各ステップで個々の粒子が鳴らす音は以下をもとに決定する。

- (1) 各協力粒子は長三和音 F の 3 つの構成音 (F, A, C) からランダムに 1 つを選択し、各裏切り粒子は短三和音 G#m の 3 つの構成音 (G#, B, D#) からランダムに 1 つを選択する。ここでは協力粒子が多いと全体で明るい雰囲気を感じ、逆に裏切り粒子が多いと全体で暗い雰囲気を感じ、さらに両者が混在している場合は不協和音による不安定な雰囲気を感じられることを意図している。
- (2) F および G#m の高さを、近隣粒子の個数に応じ決

定する (表 2)。ここでは音の高低の変化により、クラスタの形成と崩壊の知覚を意図している。

表 2: 近隣粒子の個数による音の条件設定 (和音の数字は高さを表している)

前ステップでの近隣粒子の個数 n	現ステップで選択の対象とする和音 (協力 / 裏切り)
$n < 50$	F2 / G#m1
$50 \leq n < 80$	F3 / G#m2
$80 \leq n < 110$	F4 / G#m3
$110 \leq n < 140$	F5 / G#m4
$140 < n$	F6 / G#m5

(1) における和音の組み合わせについては、(a) 長三和音を F4 で固定し、短三和音を G#m3 から Gm4 まで変化させ、各構成音同士で完全協和音程/不完全協和音程/不協和音程の割合を調べた結果、F と G#m では不協和音程の割合が多く、完全協和音程が存在しなかった、(b) (a) で調べた組み合わせの中で、互いの和音の高さが離れているため、それぞれの明るい・暗い雰囲気を感知しやすい、(c) 五度圏 (図 3) において一番遠い組み合わせである、の 3 つを理由に決定した。

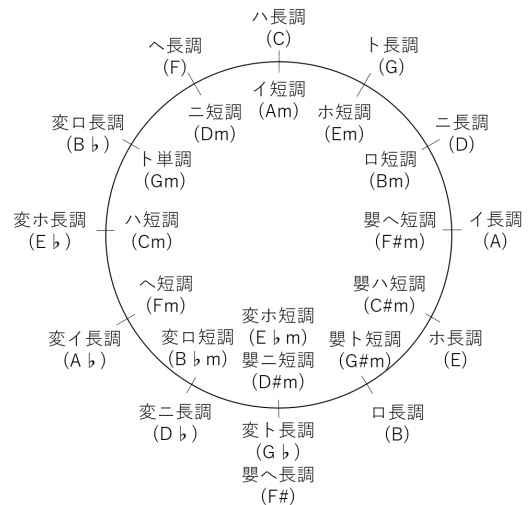


図 3: 五度圏の図 ([10] を基に再作成)

4. 評価実験

まず基本評価として、音の相互作用により形成された明るい、暗い、あるいは不安定な雰囲気を感じ取ることで、協力と搾取、クラスタの形成と崩壊の繰り返しを含む社会的な関係性とそのダイナミクスを把握できることを確認した。その上で、被験者を用いた実験で、(1) 本手法により生成された音が、実際に人の情動に訴えるかどうかをピアノの音色を用いて明らかにする、(2) 本手法により、モデルで創発するクラスタの形成と崩壊の動きについて知覚が可

能であるかどうか、同時に、モデルの視覚提示、聴覚提示、視覚聴覚両方提示という提示法の違いにより、知覚度合いの違いがみられるかどうか、また生成音の特徴は何かをピアノの音色を用いて明らかにする、(3) 本手法で使用する音色の違いにより、クラスタの形成と崩壊の動きの知覚について違いがみられるかどうか (提示法は視覚聴覚両方提示のみ)、また各音色の特徴は何かを、弦楽器と三角波の音色を用いて明らかにする、の3点について検証を行った。

(1) の結果、生成される音の中で協和音と長調、不協和音の割合が増加したり減少したりすることで、人が感じる快不快に影響を与えることが示唆された。同時に、音の高さが変化することによっても、人が感じる快不快度に影響を与えることが示唆された (図 4)。

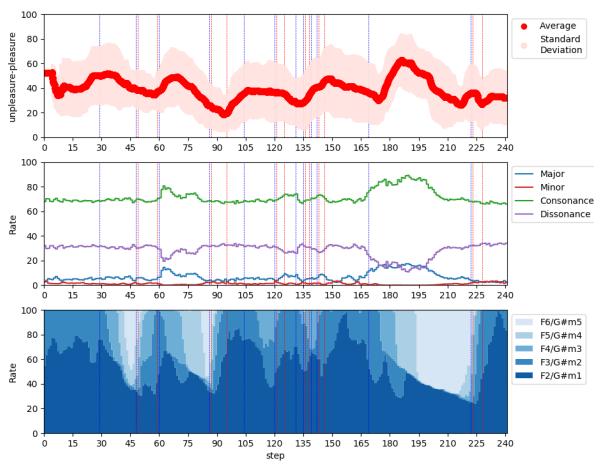


図 4: 可聴化音が流れている間の (上) 快不快度合いの平均と標準偏差の変化, (中) 実際に流れている音の協和/不協和, 長調/短調の割合の変化, (下) 実際に流れている音の高さの割合の変化. 青の縦線同士の間はクラスタ形成, 赤の縦線同士の間はクラスタ崩壊, 青と赤の縦線の間は形成も崩壊も起こっていない目安。

(2) の結果、視覚提示と視覚聴覚両方提示がほぼ同じくらいの知覚精度であるのに対し、聴覚提示は少し劣ることが分かった (図 5)。また同図において視覚聴覚両方提示と視覚提示のみの間でほぼ正解率が変わらなかったことから、聴覚による相加効果は得られなかったことが分かった。本手法では音の高さの変化が5段階と荒くなっているため、視覚と聴覚で形成・崩壊のタイミングの基準が異なると考えられる。そのため、聴覚を加えることによる効果は期待しにくいのではないかと考えられる。聴覚における形成・崩壊のタイミングがより視覚に近いものに改善できれば、聴覚が相加的に働くことも期待できると考えられる。またアンケートより生成音の特徴として、(a) 音がはっきり聞こえ、雰囲気もわかるため聞き取りやすい、(b) 音の高低差・音量・不協和音などの音の変化が明瞭、(c) 聴き

続けやすい音である、といったこと、また正解率には表れなかったが被験者の実感として、音が変化するとそれに応じてモデルの動きを注意して見ることができたといった、音を付けることによる利点があることが分かった。一方で問題点として、(a) 音の定位の難しさ、(b) 疲労を感じてしまう、(c) 時々音と動きの変化のズレがある、といったことも浮き彫りになった。

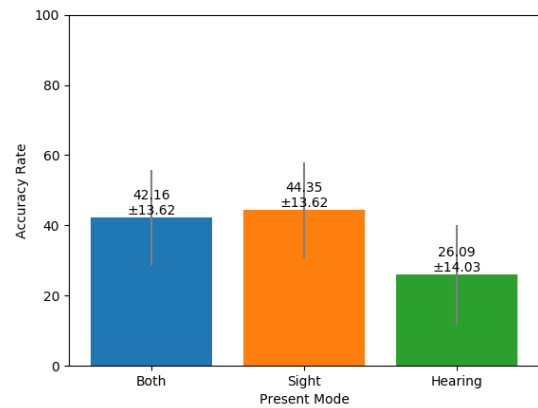


図 5: 形成と崩壊のタイミング、方向両方の正解率の平均・標準偏差と提示法による違い

(3) の結果、ピアノの音色を使用するよりも、弦楽器や三角波を用いて可聴化する方が動きの知覚精度が向上することが分かった (図 6)。この理由は、ピアノは高低音どちらもはっきりと聞こえるため音が響きやすい一方、弦楽器や三角波は高音は目立つが低音はまとまるように感じることから、弦楽器や三角波の方が音の違いに気づきやすい、モデルの動きと対応させやすくわかりやすいといった効果が得られることによるものと考えられる。またアンケートより、弦楽器は (a) 音がやわらかく、重なっても不快度が低い、(b) 音色がぼんやりしていたり、変化しているときの音があいまいである、といったことから、音の聞き取りやすさや変化の明瞭さについては少し劣るが、逆に音を聴き続けやすい傾向があることが分かった。一方三角波は、(a) はっきりとした単音だったり、一番音の高低の差や不協和音の不快な感じが出る、(b) 電子音の感じがぼーっとしてしまいがちになったり、音色が耳にくる印象を受ける、といった理由から、より音を聞き取りやすく、変化もより明瞭であるが、逆に音を聴き続けにくい傾向があることが分かった。

5. まとめ

我々は、長調/短調、協和/不協和音、音の高低といった人の情動に訴える特性を利用した立体音響に基づく可聴化手法を提案した。さらに被験者実験により、提案した可聴化手法について、(1) 生成音が人の情動に訴える、(2) 聴覚

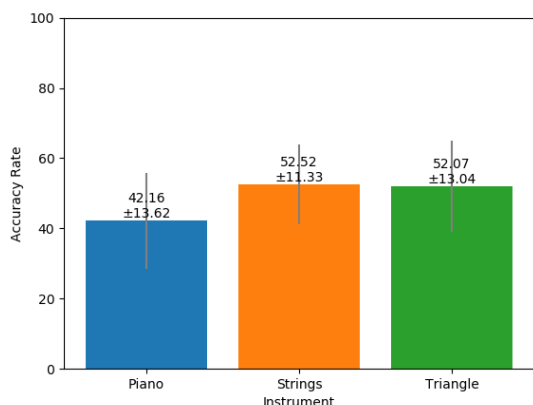


図 6: 形成と崩壊のタイミング, 方向両方の状態の正解率の平均・標準偏差と音色による違い

による相加効果は見られない, (3) 生成音は聞き取りやすく, 音の変化が明瞭, 聴き続けやすいものである, (4) 音に変化するのに応じモデルの動きを注意して見る事が可能, (5) 音の定位の難しさ, 疲労するといった問題点, (6) ピアノよりも弦楽器や三角波の音色の方が知覚精度が向上する, (7) 弦楽器は音の聞き取りやすさや変化の明瞭さについては少し劣るが, 逆に音を聴き続けやすく, 三角波はより音を聞き取りやすく音の変化もより明瞭である一方で, 音を聴き続けることが難しい, といったことが明らかになった。

今後の展望としては, 弦楽器や三角波を用いて, 視覚提示, 聴覚提示, 視覚聴覚両方提示の実験を行うことや, 音によるクラスタの形成・崩壊のタイミングの知覚精度向上のための手法改善等が挙げられる。

参考文献

- [1] Kramer, G., Walker, B., Bonebright, T., Cook, P. and Flowers, J. H.: The Sonification Report: Status of the Field and Research Agenda, *Faculty Publications, Department of Psychology*, Paper 444 (2010).
- [2] Hermann, T., Hunt, A. and Neuhoff, J. G.: *The Sonification Handbook*, Logos Verlag Berlin, Germany (2011).
- [3] Cadiz, R. and Colasso, M.: OSC-NETLOGO: A Tool for Exploring the Sonification of Complex Systems Using NETLOGO, *Proceedings of the International Computer Music Conference (ICMC)*, pp. 379–382 (2012).
- [4] Vickers, P., Laing, C. and Fairfax, T.: Sonification of a network's self-organized criticality for real-time situational awareness, *Displays*, Vol. 47, pp. 12–24 (2017).
- [5] Larsen, P. and Gilbert, J.: Microbial bebop: creating music from complex dynamics in microbial ecology, *PLoS One*, Vol. 8, No. 3, p. e58119 (2013).
- [6] Nishimoto, K., Suzuki, R. and Arita, T.: Social Particle Swarm: Explosive particle dynamics based on cooperative/defective forces, *Proc. of IEEE ALIFE 2013*, IEEE, pp. 134–139 (2013).
- [7] Nishimoto, K., Suzuki, R. and Arita, T.: 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).

- [8] 高野佑紀奈, 鈴木麗瑩, 有田隆也: 粒子群社会モデルで創発する複雑系ダイナミクスの可聴化による臨場的経験, 情報処理学会研究報告研究報告音楽情報科学 (MUS), Vol. 2017-MUS-115, No. 41, pp. 1–6 (2017).
- [9] Takano, Y., Suzuki, R. and Arita, T.: Virtual experience of complex dynamics emerging in a social particle swarm model by sonification, *Proc. of the 14th European Conference on Artificial Life (ECAL)*, pp. 388–395 (2017).
- [10] 青島広志: 究極の楽典 最高の知識を得るために, 全音楽譜出版社 (2009).