

人の心を動かす音楽の力の再構成

木村 真実† 野村 亮太‡

早稲田大学人間科学部† 早稲田大学人間科学学術院‡

序論

音楽は人の心を動かし、様々な感情を喚起する。こうした音楽の作用は聴取者個人の情報処理系に依存しているため、直接観察することはできない。このため、音楽が有する訴求力の強さの比較や影響源となる要素の特定は未解決の課題である。本研究では、非線形時系列解析[1]を適用し、観客の心拍間隔に現れる「心を動かす力」を再構成すると共にこうした力の振幅に音楽のどの要素が寄与するのかを明らかにする。

計算心理学 (Computational Psychology) の観点から Nomura[1]は、ダイナミクスを有する複数の決定論的システムからの出力点過程を用いて、共通して印加される入力振幅を再構成する手法を提案している。ニューロンモデルによる検証では、(a) 入力の変動に連動した出力点過程が得られること、(b) 時間窓あたりに十分な発火があること、(c) 遅れ時間座標系への変換において、十分な次元が確保されることという条件が満たされれば、95%を超える高い精度で再構成ができることが示された。この再構成による手法は、システムの出力情報のみを用いており、ダイナミクスの詳細は不要である。このため、音楽が人の心を動かす状況にも適用できると考えられる。そこで、本研究では人の音楽知覚・認知システムを決定論的な非線形力学系とみなし、このシステムが共通入力としての音楽を繰り返し印加されるときの心拍間隔 (RRI) を出力点過程として扱う。この上で、Nomura[1]の手法を適用し、共通入力を再構成する。

方法

対象者と楽曲：対象者は普段から音楽を視聴する大学生1名 (20代男性) であった。実験者が1曲 (中島みゆき「糸」、課題曲と呼ぶ) を選定し、実験参加者も1曲を選定した (BUMP OF CHICKEN「ロストマン」、自由曲と呼ぶ)。

手続き：ウェアラブル心拍計 myBeat (WHS-3) を装着し、次の4つの状況で心拍間隔を1[ms]単位で測定した。①音楽聴取前の安静時、②自由曲聴取時、③課題曲聴取時、④音楽聴取後の安静時である。

なお、②と③の順序は、試行毎に無作為化した。また、音楽聴取前後の心理状態を測定するために状態気分尺度に回答してもらった (紙幅の都合でここでは報告しない)。この手続きを2~7日間隔で23回繰り返した。

再構成手法[1]：共通入力の再構成には、各試行で得られた出力点過程時系列から作成した重畳リカレンスプロットを用いる。まず、時間 t から10秒間のRRI間隔をカウントする操作を1秒ごとに行なって得られる時系列データ x_t を、 m 次元の時間遅れ座標系に変換することで状態 ϕ_t を得た。例えば、時間遅れを τ として3次元空間を考える場合には $\phi_t = (x_t, x_{t+\tau}, x_{t+2\tau})$ となる。このとき、状態間の距離が近い場合には1を、遠い場合には0とすることで得られるリカレンス行列 R_{ij} は、

$$R_{ij}(\epsilon) = \Theta(\epsilon - \|\phi_i - \phi_j\|), \quad i, j = 1, 2, \dots, N$$

で定義される。ここで、 Θ はHeavisideのステップ関数でありノルムが閾値より大きい場合には1を、小さい場合には0を返す。また、 ϵ は状態空間内での近傍を決定する閾値、 $\|\cdot\|$ は L_2 ノルムを表している。再構成に用いた、各ピクセル (i, j) において試行間の和集合をとった重畳リカレンスプロットは、下記式で定義される。

$$SR_{ij}^{x(1,2,\dots,n)}(\epsilon) = \text{sng} \left(\sum_{k=1}^n R_{ij}^{x(k)}(\epsilon) \right) \\ i, j = 1, 2, \dots, N.$$

ここで k は試行数を表し、 ϵ はプロット全体の0.1%に点が打たれるように設定した。また、 $\text{sng}(\cdot)$ は、 \cdot が正值のとき1を、0のとき0を、負値のとき-1を返すサイン関数であるため、 $SR_{ij}^{x(1,2,\dots,n)}(\epsilon)$ のピクセル (i, j) は2値を取る。この重畳リカレンスプロットから状態間の距離ネットワークを作成した[2]。この距離ネットワークに多次元尺度構成法を適用することで共通入力の相対的な振幅を再構成した。なお、軸は曲の性質から前奏で入力小さくなる向きとした。

結果と考察

課題曲と自由曲について再構成結果を図1に示す。まず課題曲については、図1aに示した以下の4箇所において振幅の増大が見られた。それぞれ、曲の冒頭から1:20時点の「縦の糸はあなた」の部分 (図中のA、以下同様)、1:56以降の歌が再度始まる部分(B)、2:23から2:30にかけての「こ

Reconstructing an intensity of music that moves people's heart.

†School of Human Studies, Waseda University

‡Faculty of Human Studies, Waseda University

んな糸がなんになるの」の部分(C), そして 3:33 以降の後奏におけるサビメロディを含んだ部分(D)である。

次に自由曲については, 図 1b に示した通り, 曲の冒頭から 2:31 から始まるサビから 3:13 の間奏までの部分(E), 3:20 からの最後のサビを含んだ部分から後奏までの部分(F), そして 4:42 での「yeah」の部分(G), 以上 3 箇所において持続的な振幅の増大が見られた。

いずれの楽曲でも共通入力が再構成できたことから, 楽曲が引き起こす心拍間隔はランダムなのではなく, 一定のパターンを有すると考えられる。また, いずれの楽曲でも共通入力が強まるのは人の歌声が含まれる部分, なかでもサビと言われる部分であった。一方, 弱まるのは人の声が含まれない前奏・間奏・後奏の部分であった。このことは, 心拍の変動が楽曲の音楽的要素に正確に対応していることを示すだけでなく, 本手法はその変動を引き起こす, 楽曲の訴求力を適切に再構成できたと考えられる。

また定性的な分析から, 振幅が大きいのは, 歌(人の声による表現)が含まれる部分であり, 特に歌の反復箇所であることが明らかになった。今後の研究では, 表現に含まれる音楽的要素のうち, 何が人の心を動かすことに寄与しているのかを, 統計的因果推論を用いて定量的に明らかにすることが課題である。

本手法を応用すれば, 訴求力を確認しながら再編集することも可能である。これは, 経験と勘に依らず, 初心者でも訴求力の高い曲を創作

することを支援する技術として応用できる。

本研究で示した, 複数試行に渡り同一のシステムに同一の入力を加える手法は, 複数のシステムに共通入力を一斉に印加することと数理的には全く同じ構造を有する (cf. Ref. [3])。それゆえ, 本研の知見は, 反復聴取の状況だけを説明するものではなく, ある演奏が多く聴衆の心が一斉に動かす現象についても示唆を与える。すなわち, 劇場における集合的感情とは, 共通入力としての表現によって感情が同期する現象であり, 必ずしも観客間相互作用がなくても生じうることを示唆する。また, 本研究の知見から, 音楽という共通入力の作用が(日々の個人内変動や観客の個人差に比べて)十分に強ければ, 観客間で身体状態が同期しうることを予測する。この理論的予測の妥当性は, 多くの観客を対象とした今後の研究において検証することが求められる。

謝辞 本研究は, 科学研究費助成事業(代表: 野村亮太, 基盤研究(C), 21K12093)の支援を受けた。

引用文献

[1] Nomura, R. (2019). A computational and empirical study on blink synchronization induced by performer's inputs. Doctoral Thesis submitted for Tokyo University of Science.
 [2] Hirata, Y., Horai, S., & Aihara, K. (2008). Reproduction of distance matrices and original time series from recurrence plots and their applications. *The European Physical Journal Special Topics*, 164(1), 13-22.
 [3] Mainen, Z. F., & Sejnowski, T. J. (1995). Reliability of spike timing in neocortical neurons. *Science*, 268(5216), 1503-1506.

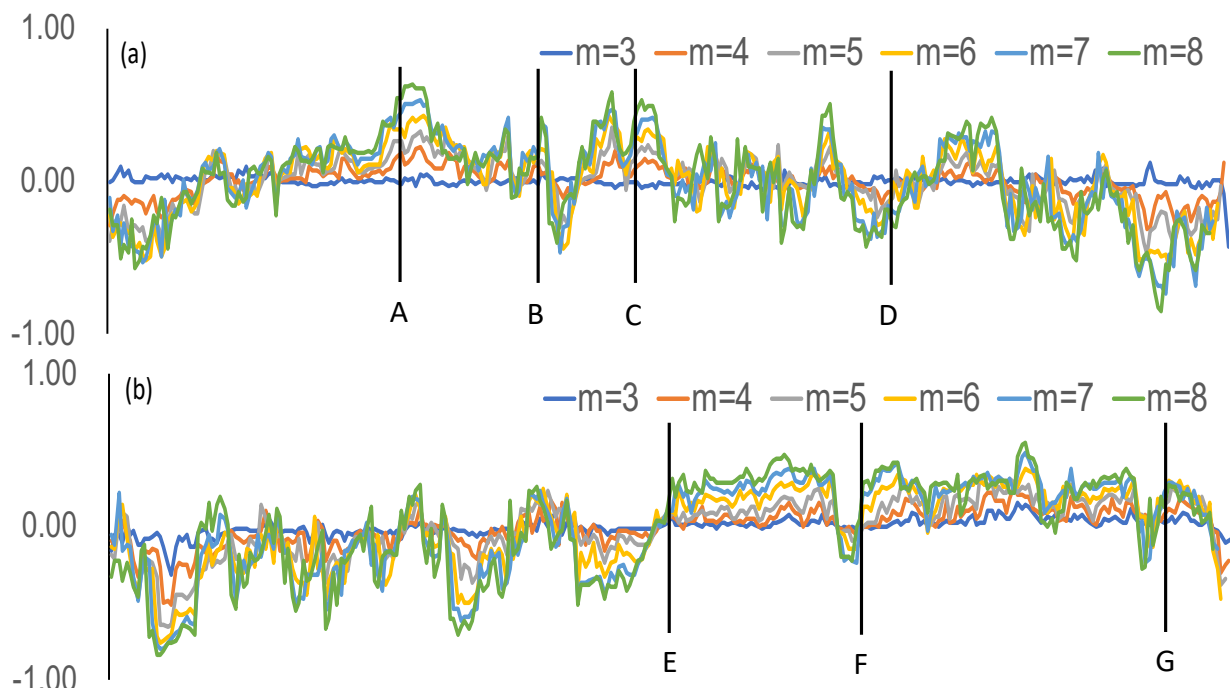


図 1 再構成された共通入力. 横軸は時間 (s), 縦軸は入力の強度 (a.u.).