

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 28 年 6 月 19 日現在

機関番号：32657

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25350029

研究課題名(和文) 未来を指向する推論モデルによる音楽表現のデザイン

研究課題名(英文) Designing musical expression from models of future-oriented reasoning

## 研究代表者

柴山 拓郎 (Shibayama, Takuro)

東京電機大学・理工学部・准教授

研究者番号：80366385

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：この研究では、音楽情動を定量的に扱うため、対称性認知バイアスを用いたシステムと、情報エントロピーの多寡を制御するシステムを開発した。前者は、音楽的期待感を二つの事象間に生じる因果関係とその推論として捉え、既存の旋律の音高の遷移確率に緩い対称性モデルを適応した。後者は、音楽構造の生成を、情報エントロピーを基盤とし、音楽的出来事の生起の可能性の確定度を制御可能にしたシステムである。これらの研究成果を国際会議および国内学会にて発表した。また、これらの研究の諸段階において得られた知見や制作したモデルを、実際の電子音響音楽作品の作曲に逐次適用し、国内外におけるコンサートで発表した。

研究成果の概要(英文)：We developed two systems based on a) symmetrical human cognitive biases and b) control of the amount of information entropy for the quantitative treatment of musical emotion. The former system was designed by the application of the loosely symmetrical biases model to the pitch element in existing melodies by regarding musical expectations as causal relationships; its inference is formed by preceding and succeeding events. The latter system was designed by controlling the degrees of certainty of musical events based on the information entropy to generate the musical structures. We presented these achievements at international conferences and to Japanese societies. Additionally, we presented successively applied knowledge and models as steps of this research practically to the composition of electroacoustic music pieces presented at worldwide concerts.

研究分野：作曲，サウンド・アート，サウンド・デザイン，コンピュータ音楽

キーワード：音楽情動 音楽生成 電子音響音楽 コンピュータ音楽 対称性認知バイアス 情報エントロピー

1. 研究開始当初の背景

(1) 情動を基盤とする音楽構造：

音楽は、聴き手が次に聴く音楽的情景に対する期待感の連続とみなすことができる。この期待感は、音楽聴取時の情動の基盤となる認知的機能である。音楽が聴き手の情動をいかに引き起こすのかについては、Hevner が 1930 年代に自己報告による先駆的な実証研究を行っている(Hevner, 1935)。後に Meyer は、音楽は次に訪れる音楽的情景について抱く期待感の「実現/裏切り」により聴き手の情動を引き起こすと主張した。この主張は、後に Narmour の IR 理論や(Narmour, 1990)、Huron の ITPRA 理論(Huron, 2007)などの情動を基盤とした音楽情動の理解の基礎となっているが、この音楽情動を実際に音楽生成のためのモデルとして実現した事例はまだない。

(2) 推論と認知バイアス：

事象「P」と事象「Q」が連続し、事象「P」が生じた要因が事象「Q」にある状況、「 $P \rightarrow Q$  (P ならば Q)」という因果関係が成立するとき、人間のみが「 $\neg P \rightarrow \neg Q$  (P でないならば Q でない) (=相互排他性バイアス)や、「 $Q \rightarrow P$  (Q ならば P) (=対称性バイアス)といった、非論理的な推論パターンを用いた思考プロセスを持つ。このような動物には見られない人間特有の推論の偏りは「認知バイアス」と呼ばれており、論理的な積み重ねによる推論パターンよりも素速い認知や意志決定など、ヒューリスティックな思考プロセスの基盤となっていると考えられる。この  $P \rightarrow Q$  という前提に対して、 $Q \rightarrow P$  と推論する後件肯定の誤謬と、 $\neg P \rightarrow \neg Q$  であると推論する前件否定の誤謬をモデル化した「緩い対称性モデル (loosely symmetry = LS)」は強化学習、教師あり/なし学習に有効であることが確認されている。

(3) 期待感の心地良い裏切り：

期待感の実現が続くと、その刺激に慣らされてしまい、新たな刺激を求める(Minsky, 2006)。その刺激への要求は、適度な期待感の裏切りによって満たされる。研究代表者は、期待感の裏切り/実現の両方をバランスよく組み込んだ単純なメロディを生成するシステムを作り、そのシステムによって生成されたメロディの情動への影響について心理実験を行い、LS モデルの音楽生成への有用性を明らかにした。このシステムは、音楽を、連続する二つの音の間にある因果関係の連続体として構造を極限まで単純化して捉え、ある先行音から後続音への遷移確率に LS モデルを適用したものである。LS モデルは適度な期待感の裏切りを可能にするのに対し、完全な対称性を持ったモデルでは、全ての連続する二つの音に対して双方向の因果関係を創り出してしまうため、期待感の裏切りが

過度になり、あらゆる音へ遷移可能なランダムに近い音楽を生成してしまう。この適度な期待感の裏切りは、人間が普段意識することがない自身の推論に近いプロセスによって生み出されたと考えることができる。

2. 研究の目的

現在計算機を用いた実験的音楽表現が盛んに行われている。その多くは演奏行為やボタンの押下など、人間の行為をきっかけとして、計算機が演奏や作曲の支援を行うものである。本研究では、まだ生じていない(=未来に生じる)音楽的情景を生成するプロセスをデザインする。そのために、人間の未来形成に関する意志決定に大きな影響を与える、人間特有の非論理的な推論パターンに着目した。また、音楽は次に訪れる音楽的情景に対する期待感の連続として捉えることが可能であり、この期待感の「裏切り/実現」によって引き起こされる情動は、未来に対する推論を基盤として形成されていると捉えることができる。したがって本研究で可能となるのは、推論を軸に計算機と人間とが共に未来に対する期待感を抱きながらその相互性が奏者・作者の意志決定に影響を与える、音楽情動を基盤とする音楽生成システムの創出である。

私達は本研究に先立ち、LS モデルを、既存の楽曲の旋律の先行音から後続音への遷移確率に適応し、人間の想像に近いバリエーションを構成するための音程要素の生成を実現した。その過程で、完全な対称性をもったモデル(rigidly symmetry = RS)の適応では、ほとんどランダムに近い音程要素を生成した。LS モデルによる生成結果が人間の期待感を反映しているのに対し、RS モデルのようにほとんどランダムに近い(=より複雑性の高い)状態を作りだしたモデルについても、何らかの「面白さ」が感じられた。

私達は、このより複雑性の高い状態に着目した。Berlyne は、音楽の複雑さと聴き手の満足感を「逆 U 字関数」で表した(Berlyne, 1971)。この「逆 U 字関数」は、音楽の複雑さが低すぎると聴き手の満足感が満たされないのに対し、徐々に複雑性が高まると満足性も高まり、さらに一層複雑になると再び聴き手の満足感は低下するというレンジを可視化している。そのため、情報エントロピーの多寡を調整することで、期待感の連続の制御に基づく音楽構造を作り出すことができると考えた。これにより、本研究を機械学習モデルとして想定する際の、教師不在によるプロトタイプ生成も可能となるほか、より大きな期待感の達成/逸脱を実現するためのモデルを設計することが可能となった。

この研究は、このような音楽を人間の期待感の連続として扱う方法を定式化し、一般化する

ることを目的とするほか、実際にそのモデルに基づくシステムが、単なるシステムによる出力結果であることや、ある種の実験用試聴サンプルであることに留まらない、実際の楽曲生成への実践応用を目的としている。そのため、通常の音楽理論に基づく楽曲から、電子音響音楽のようにより複雑性の高い構造をもった楽曲までを捉えることが必要であり、生起する確定度の多寡を情報エントロピーの多寡によって制御するシステムは、その目的を達成するために最適なものであると考えられる。

### 3. 研究の方法

(1) 音楽情動を喚起するシステムの制作  
期待感の逸脱が生じる状況は、生じる事象の予測が困難な状況として考えることができる。言い換えると、複雑性を不確実性として見なすことができるため期待感の逸脱／実現の多寡を情報理論のエントロピー（平均情報量）を用いて定量的に扱うことが可能になる。エントロピーは生じるイベントの確率から計算できることから、音楽情動を喚起するシステムでは各音楽的イベントの出現確率を決定することにより期待感の逸脱／実現をコントロールする。制作したシステムでは、音楽イベントの音高および音価の相対的な関係性の配置を横軸とした正規分布を用いた。正規分布の分散をコントロールすることによって期待感の逸脱／実現の多寡をコントロールする。

### (2) 音楽作品の作曲

この研究の特徴は、制作するシステムをそれぞれの進展段階に応じて逐次作品創作へと実践応用し、その作品の創作から得られた知見を再度システム設計へと反映させるという循環的な進め方を行った点である。音楽情動の生成を基盤とした創作のうち、電子音響音楽のようなより複雑性の高い表現領域に踏み込んだものは、未だ萌芽的な分野と位置づけることが可能であり、音楽の実際に聴くことができる構造の背後にある、実際に聴くことができない構造の意識化は、今後のコミュニケーションツールとしての音楽創作分野への大きな寄与が期待される。

### 4. 研究成果

この研究では、それぞれの研究段階において得られた知見をもとに逐次作品へと実践応用し、発表を行った。2013年には初期段階のモデルを応用し、**Residual Recollection 3**を作曲し、同年10月パリで初演を行った。この初演はフランス国立視聴覚研究所の招聘によるもので、同作品は翌年2014年に、**SMC-ICMC2014**の作品公募にも入選し、アテネでの再演を行った。

また、2014年からは楽曲全体を通じてより複雑性が高い状態が持続する作品である、**Imaginary Universe + Omni Points**を新たに制作し、サウンド・ライブ・トーキョーにおける「東京初耳区サウンドインスタレーション」からの招聘をうけ、24チャンネル・マルチ・スピーカーシステムを用いたサウンド・インスタレーション作品として**SuperDeluxe**で展示された。同年度には、このインスタレーション作品の複雑性を減らし、一つの楽曲として再構成した作品**Imaginary Universe for eight speakers**を作曲した。この作品は2015年9月、**ICMC2015**コンサートにプログラムされ、北テキサス大学で上演した。この作品は、サウンドライブ・トーキョー2015においても、さらに複雑性を増加して内容を充実させた改訂版の展示も行った。



サウンドライブトーキョー2015「東京初耳区」における**Imaginary Universe + Omni Points 2015**サウンド・インスタレーション展示の様子、2015年12月8日(火)–10日(木)、**SuperDeluxe, Tokyo**. ©Shibayama



**ICMC2015**コンサートにおける**Imaginary Universe for eight speakers**再演時のコンピュータ・システム、2015年9月27日(日)、**Lyric Theater of University of North Texas, Denton**. ©Shibayama

また、同年6月には「**Danza Española**」を作曲し、10月マラガで開催された**ISMIR2015**において初演を行った

2016年2月には、この研究を総括する作品として、**Metrix2016**を作曲し初演を行った。この初演は、**SuperDeluxe**の協力によって実現した「電子音響ピープル・プロジェクト2015-2016」との共催とすることで、幅広い多くの聴き手を得ることができた。



ISMIR2015 コンサートにおける Danza Española 初演の様子, 2015年10月28日(水), Sala Unicaja de Conciertos Maria Cristina, Málaga. ©Shibayama



Metrix2016 初演の様子, 電子音響ピープルプロジェクト 2015-2016 スペシャルライブ, 2016年2月27日(土), SuperDeluxe, Tokyo. ©Shibayama

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計1件)

- [1] 大村英史, 柴山拓郎, 寺澤洋子, 吹野美和, 星(柴)玲子, 川上愛, 岡ノ谷一夫, 古川聖, 音楽情動研究の動向 -歴史・計測・理論の視点から-, 日本音響学会, 音響学, Vol.69, No.9, pp.467-478, 2013.

〔学会発表〕(計7件)

- [2] 大村英史, 柴山拓郎, 高橋達二, 澁谷智志, 太原育夫, 音の高さと音の長さの相対的な物理的関係性と情報理論に基づいた音楽生成モデルの提案," 情報処理学会, 第109回音楽情報科学研究会 (SIGMUS), 2015年11月8日, 金沢大学 サテライトプラザ (石川県, 金沢市).
- [3] H. Ohmura, Transformation model of sensory information based on information theory, International Workshop on Time Series Data Sonification (TSDS 2015), 2015年9月29日, 筑波大学 (茨城県, つくば市).
- [4] 大村英史, 柴山拓郎, 片上大輔, 人工的雰囲気生成のための分布関数のデザイン, ファジイシステムシンポジウム講演

論文集, 31, 364-367, 2015年9月2日, 東京電気通信大学 (東京都, 調布市).

- [5] 大村英史, 柴山拓郎, 高橋達二, エントロピーに基づいた音の構造化による音楽生成システムの開発, 第28回人工知能学会全国大会, 2014年5月13日, 愛媛県県民文化会館 (愛媛県, 松山市).
- [6] 大村英史, 柴山拓郎, 高橋達二, 澁谷智志, 二藤宏美, 古川聖, エントロピーに基づいた音の構造化による音楽生成システムの開発, 第28回人工知能学会全国大会, 2014年5月13日, 愛媛県県民文化会館 (愛媛県, 松山市).
- [7] H. Ohmura, T. Shibayama, S. Shibuya, T. Takahashi, K. Okanoya, K. Furukawa, Modeling of melodic rhythm based on entropy toward creating expectation and emotion, Proceedings of Sound and Music Computing Conference 2013, SMC 2013, Stockholm, Sweden, 69-73, 2013年7月31日, ストックホルム王立工科大学 (スウェーデン, ストックホルム).
- [8] 大村英史, 柴山拓郎, 高橋達二, 澁谷智志, 岡ノ谷一夫, 古川聖, 複雑性の変化による期待的情動のモデリングに基づいた音楽的雰囲気生成の生成, 第27回人工知能学会全国大会, 2013年6月4日, 富山国際会議場 (富山県, 富山市).

〔その他論文〕(計1件)

- [9] 二藤宏美, 大村英史, 古川聖, 岡ノ谷一夫, 音楽の時間的構造と情動の関係~心理実験を通じた検討~, 秋草学園短期大学紀要31号, pp.97-116, 2014.

〔作品発表〕(計14件)

- [10] 柴山拓郎, 濱野峻行, 大村英史, Danza Española 8ch version, 再演, CCMC2016, 音と音楽・創作工房116および東京日仏学院主催, 2016年3月6日, 東京日仏学院 エスパスイマージュ (東京都, 新宿区).
- [11] 柴山拓郎, 高橋達二, 澁谷智志, 濱野峻行, 大村英史, Metrix2016, 初演, 電子音響ピープルプロジェクト, 電子音響ピープルスペシャルライブ, 2016年2月27日, SuperDeluxe (東京都, 港区).
- [12] 柴山拓郎, Imaginary Universe for eight speakers (installation version), サウンドインスタレーション展示, SMFアートの宝船@MOMAS展, 2016年1月11日-18日, 埼玉県立近代美術館地下展示室 (埼玉県, さいたま市).
- [13] 柴山拓郎, Imaginary Universe 2015 + Omni Points, 改訂初演, 24チャンネルマルチスピーカーシステムによるサウンドインスタレーション作品展示, New Sound Sanctuary (東京都初耳区), NPO 法人国際舞台芸術交流センター(PARC)

- 主催, 平成27年度東京都文化創造プロジェクト, 平成27年度文化庁国際芸術交流支援事業, 2015年12月7日-11日, SuperDeluxe (東京都, 港区).
- [14] 柴山拓郎, *Imaginar Universe*, 柴山拓郎, 濱野峻行, 大村英史, *Danza Española*, 再演, FAF(富士電子音響芸術祭) annex, 2015年12月2日, AERA (静岡県, 富士宮市).
- [15] T. Shibayama, T. Hamano, H. Ohmura, *Danza Española*, premier, International Society of Music Information Retrieval (ISMIR) 2015, 2015年10月28日, Sala Unicaja de Conciertos María Cristina, (スペイン, アンダルシア, マラガ).
- [16] 柴山拓郎, *Imaginary Universe for eight speakers*, 再演, Media Project 2015, 東京電機大学未来科学部情報メディア学科主催, 2015年10月15日, 墨田トリフォニー小ホール (東京都, 墨田区).
- [17] T. Shibayama, *Imaginary Universe for eight speakers*, repeat performance, International Computer Music Conference (ICMC) 2015, 2015年9月27日, Lyric Theater of University of North Texas, United States (アメリカ合衆国, テキサス州, デントン).
- [18] 柴山拓郎, *Imaginary Universe 8ch version*, 再演, CCMC2015, 音と音楽・創作工房116および東京日仏学院主催, 2015年3月1日, 東京日仏学院エスパイマージュ (東京都, 新宿区).
- [19] 柴山拓郎, *Imaginary Universe 8ch version*, 改訂版初演, SMFアートのまつり, 8chマルチスピーカーシステムによるサウンドプロジェクト発表, 2015年1月12日, 進修館小ホール (埼玉県, 宮代町).
- [20] 柴山拓郎, *Imaginary Universe + Omni Points*, *New Sound Sanctuary* (東京都初耳区), 24チャンネルマルチスピーカーシステムによるサウンドインスタレーション作品展示, NPO法人国際舞台芸術交流センター(PARC)主催, 平成26年度東京都文化創造プロジェクト, 平成26年度文化庁国際芸術交流支援事業, 2014年12月2日-4日, SuperDeluxe (東京都, 港区).
- [21] T. Shibayama, *Residual Recollection 3 Short Version*, repeat performance, SMC -ICMC (Joint Sound and Music Computing - International Computer Music Conference) 2014, 2014年9月14日, National Bank of Greece Building, Athens (ギリシャ, アテネ).
- [22] 柴山拓郎, *Airscape rev.2*, *Residual Recollection 3*, 再演, CCMC2014, 音と音楽・創作工房116および東京日仏学院

- 主催, 2014年3月2日, 東京日仏学院エスパイマージュ (東京都, 新宿区).
- [23] 柴山拓郎, *Residual Recollection3*, 再演, FAF2013, 2013年10月20日, 大月ピラミッドメディテーションセンター (山梨県, 大月市).
- [24] 柴山拓郎, *Residual Recollection3*, 初演, *Multiphonie2014*, INA-GRM (フランス国立視聴覚研究所音楽研究グループ) 主催, 2013年10月4日, Maison des Pratiques Artistiques Amateurs - Auditorium Saint Germain (フランス, パリ).

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

柴山拓郎 (SHIBAYAMA, Takuro)  
東京電機大学・理工学部・准教授  
研究者番号: 80366385

### (2) 研究分担者

高橋達二 (TAKAHASHI, Tatsuji)  
東京電機大学・理工学部・准教授  
研究者番号: 00514514

### (3) 研究分担者

澁谷智志 (SHIBUYA, Satoshi)  
東京電機大学・理工学部・講師  
研究者番号: 20553530

### (2) 研究分担者

大村英史 (OHMURA, Hidefumi)  
東京理科大学・理工学部・助教  
研究者番号: 90645277