

マルチ・エージェント学習モデルを用いた音楽的構造の創発

○竹中 毅, 鈴木晋太郎, 布袋田由理子, 上田完次

東京大学人工物工学研究センター

本研究では楽音をエージェントとし、感覚的協和理論に基づいたエージェント間の相互作用により、一定の長さの和音列を得る計算機実験を行い、音楽理論との比較および、被験者による聴取実験を行った。結果、感覚的協和と短期記憶を考慮した生成条件において、エージェントは12平均律から選択的に西洋長音階を用いることを学習し、聴取実験においても聴取者がそれぞれの生成条件ごとに異なる印象を聞いていることが明らかになった。

Emergence of musical structure using a multi-agent learning model

○ Takeshi Takenaka, Shintarou Suzuki, Yuriko Hoteida, Kanji Ueda

Research into Artifacts, Center for Engineering (RACE), University of Tokyo

In this paper, we proposed a multi-agent composition model in which the musical note agent decides the next position on the musical sheet-like environment, interacting with other agents. The agent decides its action with reinforced learning according to Sensory Consonance Theory. We verified the generated chords, compared with music theory and using psychological experiment. Results showed that the generated chords had a tonality, and showed that the participants felt different impressions according to the production methods.

1. はじめに

作曲を音符の時空間的配置決定問題と捉えてみると、そこでの要求課題は個々の音符間の局所的な関係を築きながら、同時に曲全体の構造的秩序を実現することである。また、聴取者は一つひとつの音を個別に聴いているわけではなく、時間軸に沿って変化していく音楽的なまとまり（メロディーやリズムといった大域的な秩序）を認知しているため、要素である個々の音と望まれる全体の秩序の関係性を動的に設計することは極めて複雑な問題である。このような複雑性にも関わらず、人間はこれまでに実際に作曲をすることで発見的、暗黙的にこの問題を解き、その一部を音楽的断片や音楽理論として受け継いできた。

例えば西洋調性音楽を対象とした古典的機能
和声法は、和音を3つの機能に分類し、それら
をトップダウンな方法で記号的に操作する
事で、調性音楽を創作する際の簡便な方法の
ひとつを提案してきた。しかしながら、そも
そもそのような音楽の構造や機能がどのよう
な心理学的な必然性から生まれてきたのかは
明らかでない。また、音楽にみられる記号論
的な側面[1]は、音楽の複雑性を考える上でも、
また心理学的な対象を明らかにする上でも詳
細に検討する必要があると考えられる。また、
工学における自動作曲に関する研究の多くは、
主に既存曲や音楽理論をデータベース化し、
創発的計算論等を用いて再構築するという、
いわば人間が生成した部品の組み合わせを行
ってきた[5][6]。従って、そのような部品がそ

もそもどのように創造されてきたかという人間の暗黙的な作曲活動の理解につながるものとは言い難い。

筆者らはこれまで音楽を創発現象と捉え、認知的特性を考慮した音符間の相互作用から音楽の基礎的な構造や秩序がボトムアップに創発される過程を実験的に検証してきた[2-4]。また、これまでも音楽の構造や形式が身体性や認知の必然性から自然発生的に生まれたのではないかという視点はいくつかの先行研究にみられる。例えば、文化的に異なるいくつかの音律から、類似した音階が使用されてきたことは古くから比較文化研究の中でも指摘されており[7]、また、マルチ・エージェントによる音階発生に関するシミュレーションを行った研究がある[8]。本研究では音符間の相互作用として音楽認知の中で最も基礎的な要因である感覚的協和や記憶に着目し、個々の音符の相互作用から音楽的構造が創発される過程を実験的に検証した。また、基礎的な音楽構造自体の創発を対象とするため、既存曲の音楽的断片や音楽理論から抽出したルール群は用いていない。以下に、我々が行ってきた計算機実験の一部とその結果得られた音刺激に対する聴取実験を紹介する。

2. 強化学習を用いたマルチ・エージェントによる和音列生成

2.1 モデルの概要

提案手法のモデルの構成をFig. 1に示す。学習器を有する楽音エージェントは、横軸が時間、縦軸が音高である2次元空間という五線紙のような環境において、離散的な時間ステップごとに他の2エージェントとの位置関係（半音を単位として、上下にどれだけ離れているか）を観測し、どれだけ移動するか（半音を単位として、何音上がるか下がるか）を行動として出力する。

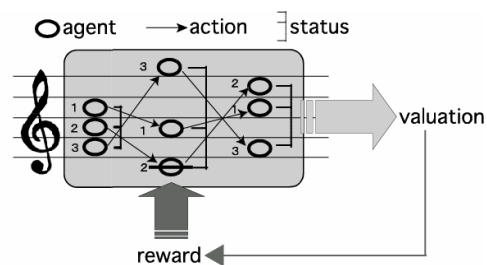


Fig.1. Composition Model with Multi-agent System

各エージェントの行動の結果生成された配置を感覚的協和に基づいて評価したものを得点化し、報酬としてエージェントに与えることで、協和な和音列を生成する行動を獲得させた。また、強化学習はQ学習を用いた。

2.2 感覚的協和による行動の評価方法

感覚的協和理論は協和の概念を説明する理論として現在、最も支持されているものであり、音高・音色・音の強さによって決定される「うなり」がもたらす粗さ（roughness）を不協和の原因とみなすものである。本研究では12平均律を対象とし、不協和度の計算モデルとしてSetharesのモデル[9]を評価に用いた。さらに、本研究では、本来同時に存在する2音に生じる感覚である協和(時間的協和)を時間的にも拡張することを提案した(時間的協和)。聴取時における短期記憶(Short Term Memory: STM)モデルとして生じた音が配置された時間・音高平面上に、現在からある一定期間の過去にわたる「記憶の窓」を想定し、その記憶の窓内の音と現在の音の間に生じる不協和に時間経過の割引率を考慮したものを、時間的不協和と定義した(Fig.2)。音楽の聴取時の動的特性を考慮すると、短期記憶の導入は妥当であると考えられる。また、時間的協和度の算出の際に参照する音については、それぞれのエージェントの動きを旋律と見なし、あるエージェントは記憶の窓内の自分の過去の音に関してのみ協和の評価が行

われた。

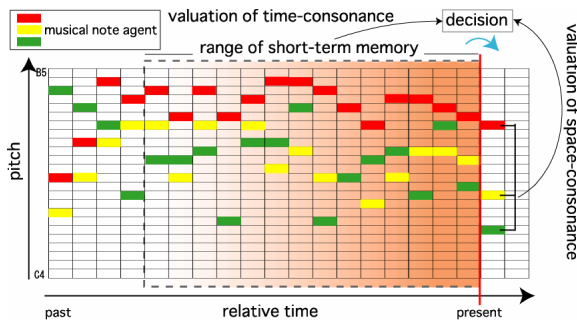


Fig.2. Valuation of Consonance with STM

2.3 実験設定

前節で述べたモデルを用いて以下の4つの条件で実験を行った。各エージェントの開始音はそれぞれF4, A4, C6とした。

- (1)空間的協和と時間的協和と割引率を用いた評価
- (2)空間的協和と一つ前の過去のみを考慮した時間的協和を用いた評価
- (3)空間的協和のみを考慮した評価
- (4)エージェント間の音高の交差を禁じたもの。評価は(1)と同じものを用いた

2.4 計算機実験の結果と考察

各条件において、収束パターンを10個ずつ得た。縦軸を報酬、横軸を学習回数とした学習曲線の一例をFig.3に、収束パターンの一例を楽譜に直したものをFig.4に示す。Fig.3では、学習を繰り返すうちに、最初の和音から順に和音が決定され、最後の7個目の和音で収束している様子が見られる。得られた音列はすべて異なっていた。以下、収束パターンとして得られた和音列の分析結果を述べる。Fig.5の(a)は(1)で、(b)は(2)で得られた和音列の構成音の度数分布を円グラフで表したものである。条件(1)の記憶の窓を用いた時間的感覚協和を考慮した評価方法を用いたときに、生成された和音の構成音が長音階のそれと一

致した。一方、条件(2)では個々の協和な和音は保たれているが、4度展開の繰り返しなどによって、転調するパターンがみられた。また、(3)では転調のパターンが安定せず無調性な印象を持つようなパターンが多く得られた。(4)では各エージェントが交差することなく、高,中,低音部に分かれた。

これらの結果は空間的協和に加え、時間的協和を評価に加えた事で、12平均律の中から選択的に長音階に相当する音集合を用いることを学習したことを示しており、空間的、時間的に協和な音程関係を保つ事で必然的に調性が創発された可能性を示唆している。調性の成立に関しては18世紀初頭のラモアの和声論を初めとして、これまで多くの説がある[10]。現時点では調性の概念を協和理論だけに基づいて説明する事は尚早であるが、今後、このようなシミュレーションを通して、音楽の基礎的な理論について創発論的な検証ができることは重要であると考えられる。

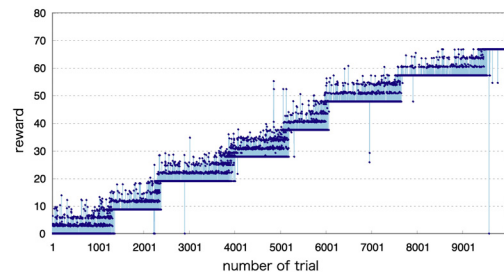


Fig. 3. Example of Learning Curve

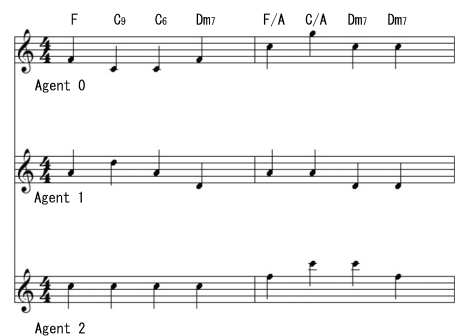


Fig. 4. Example of Convergence Pattern

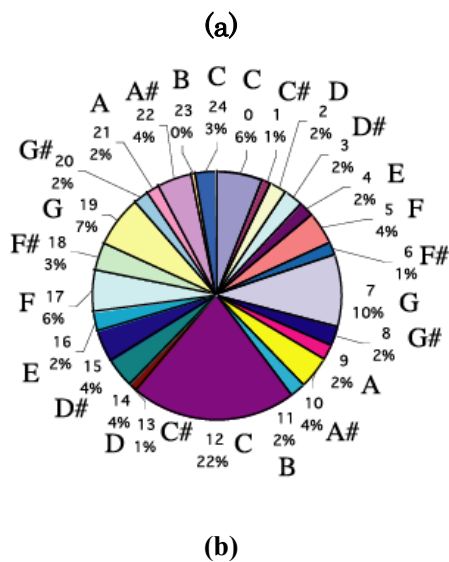
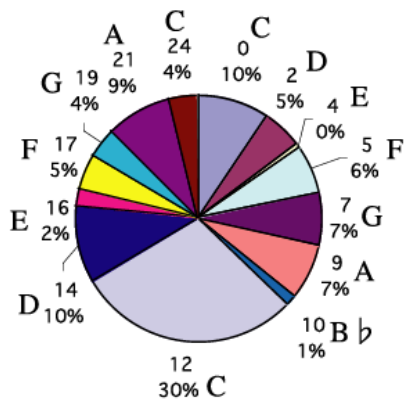


Fig.6 Frequency Distribution of State of Agent
(a) :condition(1) (b): condition(2)

3. 被験者による聴取実験

2章での計算機実験で得られた和音列を刺激として、被験者による聴取実験を行った。

3.1 方法

計算機実験で得られた5種類の生成手法25の和音列を刺激として被験者(18名)に聴取させ、その印象について、14の形容詞対を用いたSD法による5段階評価を行わせた。

- Md: 時間的協和と割引率を考慮. 計算機実験の条件(1)に相当
- Next: 一つ前の過去に対してのみ時間的協和を考慮. (2)に相当

- notM: 空間的協和のみを考慮. (3)に相当
- notCross: 時間的協和を考慮+交差禁止の制約条件. (4)に相当
- Random: 学習初期のランダム状態

3.2 結果と考察

集計したデータから、まず各刺激の各評価項目における評価について、全被験者の評価値の平均をとり、その刺激のその評価項目の評価値とした。それらを5つの条件ごとに分類したものをFig.7に示す。生成手法の違いによって、各印象項目の評価値の違いがみられる。特にMd条件ではほとんどの項目で評価値が高い。

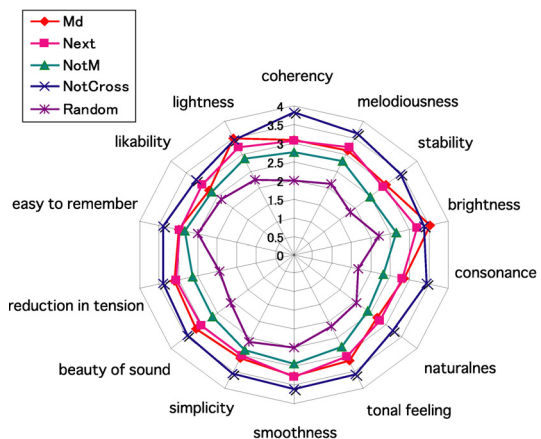


Fig.7. Averaged point of each experimental condition

さらに、刺激ごとの評価値を用いて因子分析による因子抽出を行った。因子抽出は、主因子法、値の変換は直交・バリマックス回転を用いた。因子分析の結果(Fig.8)から、被験者は刺激を‘親しみやすさ’と‘響きの明確さ’の主に2つの軸によって評価していたこと、生成手法ごとに異なる印象を持っていたことが示され、本研究で扱ってきた時間軸を考慮した感覚的協和に基づく和音列は、響きの明確さに関する印象を与えることがわかった。また、親しみやすさは、旋律の聴えやすさや

終止感と強く関係しており、これらを考慮した和音列生成の必要性が示された。

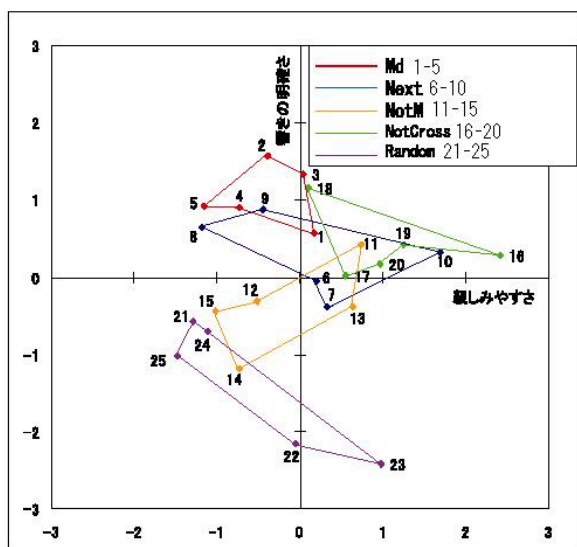


Fig.8. Mapping of stimuli

4. 結論と今後の展望

本研究では楽音をエージェントとし、感覚的協和理論に基づいたエージェント間の相互作用により、一定の長さの和音列を得る計算機実験を行い、また得られた和音列を用いた聴取実験を行った。結果、短期記憶を想定した時間的協和の概念の導入により、12平均律から長音階に相当する音集合が選択されること、聴取時には聴取者がモデルの違いによって異なる印象を聞いていることが明らかになった。

しかしながら、本研究で対象とした認知的特性は極めて限定されている。現時点では協和理論だけに基づいているので、結果的に4度、5度の音程関係が過度に強調され、旋律らしさが失われている。今後、旋律線の認知におけるゲシュタルト性や旋律の律動的側面を考慮する必要がある。また、和声進行の動的特性を明らかにし、さらに既存の音楽における暗黙的な側面を創発論的立場から解明することを目指したい。

参考文献

- [1] ジャン・ジャック・ナティエ：音楽記号学，足立美比古訳，春秋社(1996)
- [2] 鈴木晋太郎 竹中毅 上田完次，強化学習を用いた和音列生成による共創的作曲，第49回システム制御情報学会研究発表講演会講演論文集 117-118, (2005)
- [3] 鈴木晋太郎 竹中毅 上田完次，強化学習を用いた和音列生成による共創的作曲，第15回設計工学・システム部門講演会講演論文集 162-165, (2005)
- [4] Shintaro Suzuki, Takeshi, Takenaka and Kanji Ueda. Co-creative Composition Using Multiagent Learning: Toward Emergence of Musical Structure. Intelligent Autonomous System 9 (IAS9), IOS press., 479-486, (2006)
- [5] 梅本あずさ，内山幹乃扶，河合敦夫，椎野努：音楽理論と経験的知識を整合活用した作曲支援システム，情報処理学会研究報告No.122, 57-62, (1997)
- [6] 山田拓志，椎塚久雄：遺伝的アルゴリズムを用いた自動作曲について情報処理学会研究報告No.96, 7~14, (1998)
- [7] 黒沢隆朝：音楽起源論.音楽之友社(1978)
- [8] 中山功一 下原勝憲：人の身体性に着目した音階の生成過程に関する考察，処理学会研究報 (82),59-64,(2005)
- [9] Sethares, W.A : Local consonance and the relationship between timbre and scale ,Journal of the Acoustical Society of America, Vol.94,1218-1228, (1993)
- [10] オリヴィエ・アラン：和声の歴史. 永富正之訳. 白水社 (1969)