

旋律と「和声進行の緊張感」を入力する対話型和声付け支援システム

高橋 拓椰^{1,a)} Christoph M. Wilk^{1,b)} 嵯峨山 茂樹^{2,c)} 宮下 芳明^{1,d)}

概要：本稿では、旋律とともにその「緊張感」を入力することによって、和声進行を出力するシステムを提案する。単旋律に対する和声付けは専門性を要し、特に音楽初学者にとって難解であるため、直接和声を入力させることは難しい。これまで、コーパスと HMM に基づいて和声進行を自動作曲システムは存在する。しかし、コーパスに従う最も尤もらしい和声進行というのは概して「平均的」なものであるため、こうした自動作曲システムが出力するものがユーザの求めるものである保証は全くない。そしてユーザが生成結果に納得できなかった場合、これを修正するためには結局、専門的な音楽知識が必要となってしまう。本稿での提案は、音楽初学者が専門的な知識なしに自動作曲システムと対話を行い、対話を通じて「本当に求める音楽」に到達していくことを目指している。着目したのは「緊張感の変化」である。音楽初学者であってもこのパラメータの入力は比較的容易であり、かつシステム側からはこのパラメータからユーザの意図を推定しやすいことが、本研究から明らかになった。そして、最終的な評価実験の結果、緊張感の変化を入力とするインタラクションが、最終的に初学者の満足度を向上させることも示した。

1. はじめに

作編曲には、多くの専門知識、経験が必要である。そのため、音楽の初学者にとって、知識や経験なしに作編曲することは難しい。しかし、音楽にはルールがあり、いくつかの規則性を持っているため、作編曲をコンピュータに代行させる研究は盛んに行われている。例えば、鼻歌で歌った思いつきのメロディなどに豪華な伴奏を付けたいという要望を叶えるためには、通常、音楽理論が必要になる。

そこで、川上ら [1] は、音声認識の分野で盛んに用いられていた隠れマルコフモデル (HMM) を用いて、旋律に対する和声付けをコンピュータに代行させる手法を提案した。川上ら [1] の手法では、ユーザが入力可能な情報は旋律のみで、得られる出力も 1 つの和声進行である。よって、自動生成の結果は一意に定まってしまうが、生成結果が全てのユーザを満足させる和声進行である保証はない。もし、従来研究によって自動的に生成された和声進行に納得がいかなかったとき、音楽理論の知識を持っていないユーザがそれを修正することは極めて困難である。そこで、ユーザが、コンピュータとインタラクションすることで、ユーザの意

図をコンピュータ伝え、ユーザの意図と旋律に対して最も尤もらしい和声進行を生成する手法が提案されている。このような手法を本研究では、旋律に対する和声付け支援手法と呼ぶ。

旋律に対する和声付け支援手法の具体例として、著者ら [2] は、歌詞の意味に基づいた、旋律に対する和声付け手法を提案した。著者ら [2] は、入力された歌詞の意味と事前に統計的に得られた和声進行の意味が最も近く、旋律に対しても最も尤もらしい和声進行を生成するシステムを提案した。また、Simon ら [3] は、HMM に基づいて、入力された歌声に対して自動で和声付けを行うユーザインタフェースにおいて、ユーザの好みに応じて生成される和声進行を多少変えられるように、HMM の確率パラメータに重み付けをするためのパラメータを設けた。さらに、Wilk ら [4] は、入力された一部の和声進行や 4 声体の情報を基に、和声進行及び 4 声体を補完した。その際に、Wilk ら [4] は、いくつかの音楽理論的なパラメータをユーザに操作させ、そのパラメータにも基づき補完を行った。

本研究では、特に音楽初学者に焦点を絞り、従来 [4] のように音楽理論に精通していることを前提として作られたパラメータを用いるのではなく、音楽初学者にとって理解が容易であるパラメータを用いて旋律に対する和声付けを支援することが目標である。そこで、本研究では特に「和声進行の緊張感の変化」のみに焦点を定め、旋律に対する和

¹ 明治大学

² 東京大学/電気通信大学

a) takuya082132@yahoo.co.jp

b) wilk@meiji.ac.jp

c) sagayama@ieee.org

d) homei@meiji.ac.jp

声付け支援を実現した。本研究では、和声進行の緊張感の変化を和声進行の緊張感と呼称する。つまり、音楽初学者ユーザに、「和声進行の緊張感」を入力させることで、「和声進行の緊張感」と旋律に対して最も尤もらしい和声進行をコンピュータが自動生成することで和声付けを支援するシステムを提案する。また、本研究によって提案された和声付け支援システムとの対話によるユーザの満足度の変化も調査した。

2. 和声進行の緊張感に基づく旋律に対する和声付け支援システムのシステムデザイン

図1は、和声進行の緊張感に基づいた旋律に対する和声付け支援システムの全体図を表している。ユーザが入力することができるのは、旋律と和声進行の緊張感である。旋律の入力には、ピアノロールを用い、緊張感の入力には図1に示されているような横並びのスライダを用いる。

コンピュータがユーザの意図を和声進行の緊張感から理解するためには、自動計算が可能な和声進行の緊張感のデザインモデルが既知である必要がある。なぜなら、既知に得られる各和声進行の緊張感とユーザの入力した和声進行の緊張感の誤差に基づいて、ユーザの意図を推定するためである。よって、デザインモデルは、ユーザモデルの近似でなければならない。具体的には、ユーザの入力した和声進行の緊張感に近い和声進行ほど生成される確率を高く設定する。

さらに、ユーザの意図（和声進行の緊張感）と旋律に対して尤もらしい和声進行がシステムから生成される必要があるため、図1のようにユーザの意図と旋律に基づいて和声進行を生成する和声進行生成モデルを構築した。和声進行生成モデルは、ユーザの意図と旋律に基づいて確率的に最も尤もらしい和声進行を生成する。最終的に、生成された和声進行と入力された旋律を合わせた音源をユーザは試聴することができる。さらに、結果を聴いて、旋律を変えたり、緊張感を変えたりして再度和声進行を生成するというように、インタラクションが行われることも期待される。

3. 和声進行の緊張感のデザインモデル

3.1 和声進行の緊張感の概要

Meyer[5]は、調性音楽内において、聴取者は音楽的期待に基づいて緊張と弛緩を感じると報告している。音楽的期待に沿った和声進行であった場合には、緊張感が少なく、音楽的期待に沿わない和声進行であった場合、強い緊張を感じるとMeyer[5]は、報告している。また、Bharucha[6]によると、音楽初学者も、音楽的訓練を受けている人同様、音楽的期待を持ちながら音楽を聴取していることが示されている。つまり、音楽初学者であっても、楽曲内の緊張の変化を理解することができることを意味している。本研究では、音

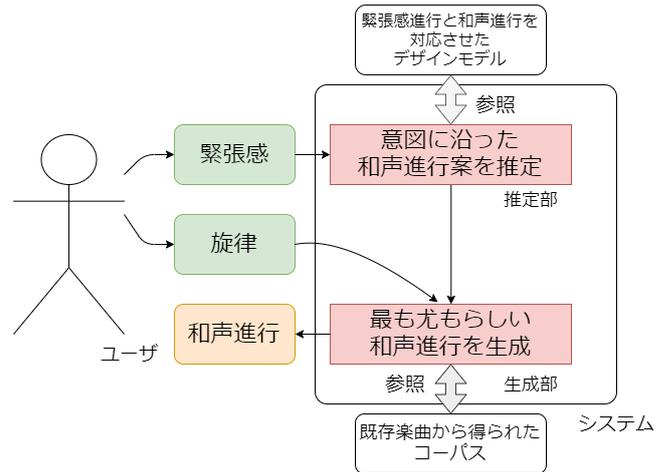


図1 和声進行の緊張感に基づいた旋律に対する和声付け支援システムの概略図

楽聴取者が、和声進行の変化に応じて感じた緊張を和声進行の緊張感と呼ぶことにする。また、ある和声進行に対して、期待通りであった場合もしくは期待が裏切られた場合、どのくらい緊張を感じたのかというユーザモデルを和声進行の緊張度と呼ぶ。

和声進行の緊張度は、感覚的な尺度であり、単純にデザインモデルを構築することはできない。しかし、Lerdahl[7]は、Tonal Pitch Spaceにおける和音間の距離を認知心理学的根拠から算出する方法を提案した。そこで、本研究では、Tonal Pitch Space[7]における和声進行の緊張感をコンピュータによって自動的に計算するための近似手法を提案し、その近似解が音楽的訓練を受けていない音楽初学者のユーザモデルにどれくらい適合しているかを評価した。

3.2 Tonal Pitch Spaceにおける和音間距離を用いた和声進行の緊張感のデザインモデル

Tonal Pitch Spaceは、Lerdahl[7]が提案した和音間の距離を認知心理学的側面から定式化し、和声進行の緊張や引力のデザインモデルを構築するための手法である。ただし、和声進行の引力は、和音間の距離とは違い、あとに続く和音にどれくらい遷移したがるかを表す指標である。

Tonal Pitch Spaceでは、二種類の和声進行の緊張度を算出するためのルールを提案している。一つは、音楽的経験の少ない聴取者が順次的に音楽を理解する傾向にあると仮定し、定義された順次緊張感ルール、もう一つは、音楽的経験のある聴取者が階層的に音楽を理解する傾向にあると仮定し、定義された階層緊張感ルールである。Lerdahlら[8]は、音楽的訓練を受けている聴取者を対象に各ルールに基づくモデルの適合度を調査したが、階層緊張感ルールと和音の引力に基づく場合が最もユーザモデルに適合すると報告している。しかし、Tonal Pitch Space[7]の階層緊張感ルールに基づいて和声進行の緊張感を算出するためには、GTTM[9]の延長簡約木が必要である。GTTM[9]のコン

ピュータによる自動化の研究として、浜中ら [10] は、タイムスパン木までの自動生成を実現しているが、階層緊張感ルールに必要な延長簡約木の生成を自動化した研究例は存在しない。よって、GTTM[9] の延長簡約木をコンピュータで自動的に算出することは困難であるため、和音の緊張や引力は Lerdahl のオリジナルの理論では算出することができない。

そこで、GTTM[9] の延長簡約木のいくつかの仮定を基にして、近似的に和声進行の階層性を考慮した緊張度を算出するデザインモデルを考案する。まずは、調内における全区間における絶対的な緊張感を考えることで、その区間内の和音の緊張感の階層レベル（どのくらいの高さの階層に位置する和音であるか）を近似する。つまり、ある調の中で、ある和音に対して絶対的に感じる緊張感があると仮定している。本研究では、この絶対的な緊張感を調の引力と呼ぶ。そこで、調内で最も安定している和音を I であるとしたときに、I からの和音間距離を調の引力とする。ただし、機能と和声間の距離を算出する際に、ダイアトニック円環 [7] ではなく共通音円環 [7] を用いた。なぜなら、絶対的な緊張感は、順次的な進行の変化度合いを表すわけではなく、I からの絶対的な変化を表しているため、音高の変化を指標にした。ただし、階層緊張感が順次的な進行の影響も受けることは、Lerdahl[7] も言及しているため、順次緊張感と調の引力の積を調の引力に基づいた緊張感とした。なぜ積を用いたかという点、値をスパースに分布させるためである。

また延長簡約木のルールから、転調した場合、より区間が長い方が緊張感が低く、より区間が短いほうが緊張感が高くなる。順次的に調の影響度を更新し、調ごとの調の引力の総和によって、調の引力を算出する。よって、 D_S を共通音円環を用いた、和音間距離 [7] を求めるための関数であるとすると、調の引力 $A_K(y_i, x_i)$ は、

$$A_K(y_i, x_i) = \sum_{n=0}^N a_n \times D_S(y_i, I, x_i, x_n) \quad (1)$$

によって算出される。ただし、 a_n は調の影響度を表し、 N は、調の種類（major 調のみを考慮した場合は 12）を表している。影響度 a_n は、調の継続時間が長引くほど大きくなり、調が変化すると別の調の影響度が増大していく代わりにそれ以外の調の影響度は減少していくものとする。よって、 D_N をダイアトニック円環に基づいた和音間距離を算出するための関数であるとし、 D_{diss} を和音の表面緊張を求める関数であるとしたとき、ある状態 i の調 x_i における和音 y_i の和声進行における転調も考慮した調の引力に基づいた緊張感 $T_{\text{KeyAtt}}(y_i, y_{i-1}, x_i, x_{i-1})$ は、

$$T_{\text{KeyAtt}}(y_i, y_{i-1}, x_i, x_{i-1}) = D_N(y_{i-1}, y_i, x_{i-1}, x_i) A_K(y_i, x_i) + D_{\text{diss}}(y_i, x_i) \quad (2)$$

によって計算可能である。ただし、このデザインモデルの

限界として、和音の継続時間による緊張感はモデル化されていない。

3.3 和声進行の緊張感のデザインモデルに対する評価実験

3.3.1 実験条件

前節にて、言及したいくつかの緊張感ルールに基づいた和声進行の緊張感のデザインモデルがどのくらいユーザモデルに適合しているかを評価した。音楽経験のない 10 人に、システムが生成することを想定した和声進行 11 種類を試聴させ、小節ごとに和声進行の緊張度合いを最小値 0～最大値 100 の整数値を用いて回答させた。実験参加者は、音源を何度も聞くことができた。ただし、和音ラベルが変わらない場合は、緊張感を保持し続けるものとした。

また、「順次緊張感ルールに基づくデザインモデル」、「順次緊張感ルール+和音の引カルールに基づくデザインモデル」、「調の引力を考慮した順次緊張感ルールに基づくデザインモデル」、「調の引力を考慮した順次緊張感ルール+和音の引カルールに基づくデザインモデル」のそれぞれを比較し、ピアソンの相関係数と残差平方和 (RSS) によって適合度合いを評価した。

3.3.2 実験結果

図 2, 3 には、デザインモデルごとに全ての和声進行に対するユーザモデルとの RSS の合計と相関係数をそれぞれ計算した結果をまとめた。これらの結果から、本研究によって提案された「調の引力を考慮した順次緊張感ルール」の誤差値が最も小さく、相関係数が高いため、ユーザモデルに最も適合していることがわかる。さらに、初学者ユーザは、和音の引カルールには、着目していないことがわかる。また、Lerdahl[7] では、音楽初学者が順次的に緊張感を覚えるかと仮定していたが、音楽初学者でも繰り返し音源を聴くことが許された環境では、階層的な構造まで把握する事ができることを示している。よって、本研究では、調の引力を考慮した順次緊張感ルールに基づいたデザインモデルを用いて和声進行の緊張感を算出する。

4. 和声進行の緊張感に基づいた和声付け修正

4.1 和声進行の緊張感に基づく和声付けモデル

Bharucha[6] や Lerdahl[7] によると、人は文脈的に和声進行の緊張感を捉えていることが言及されているため、和声進行の緊張感を和声生成の HMM のトップダウン部によってモデル化できると考えた。よって、ユーザの入力した和声進行の緊張感に応じて、和声生成 HMM の遷移確率を決定することで、ユーザの意図に応じた HMM のパラメータ修正を実現する。例えば、ユーザが高い緊張感を指定した場合、今までの進行から音楽的期待の小さい和音への遷移確率が高くなる。よって、 $P(t_i|c_i, c_{i-1})$ は、ユーザの入力とデザインモデルから算出された和声進行の緊張度の差を用いて、

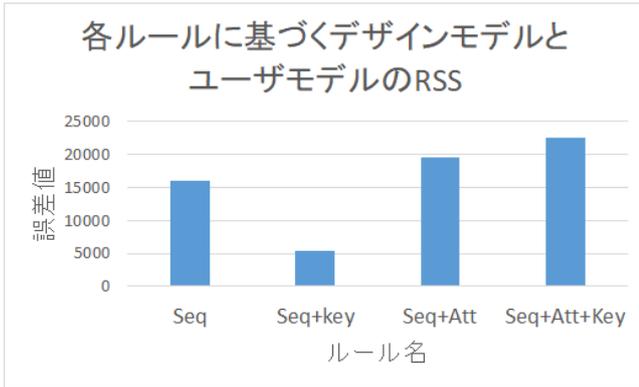


図 2 デザインモデルごとの全ての和声進行に対するユーザモデルとの RSS. Seq は、順次緊張感ルール, Seq+Key は調の引力を順次緊張感ルール, Att は和音の引力を考慮した場合を表している。

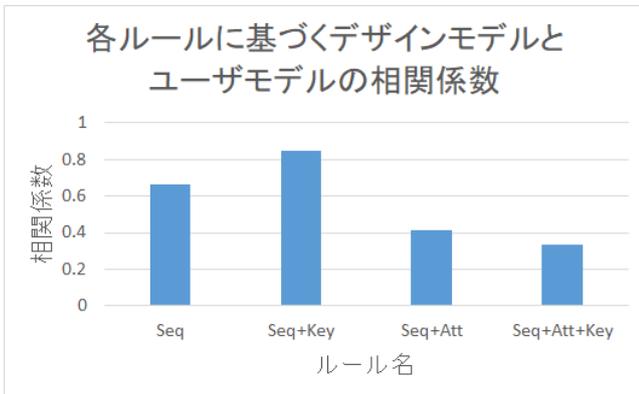


図 3 デザインモデルごとの全ての和声進行に対するユーザモデルとの相関係数. Seq は、順次緊張感ルール, Seq+Key は調の引力を順次緊張感ルール, Att は和音の引力を考慮した場合を表している。

$$P(t_i|c_i, c_{i-1}) = \exp(-(t_i - T_{\text{KeyAtt}}(c_i, c_{i-1}, k_i, k_{i-1}))^2) \quad (3)$$

によって算出されると仮定する。さらに、ある時刻 i における、ユーザの入力した緊張度を t_i とし、ある調 k_i の和音 c_i の緊張度は、調の引力を考慮した順次緊張感ルールのデザインモデルに基づく $T_{\text{KeyAtt}}(c_i, c_{i-1}, k_i, k_{i-1})$ で得られるとすると、HMM の遷移確率 $P(c_i|c_{i-1}, t_i)$ は、ベイズの定理より、

$$P(c_i|c_{i-1}, t_i) = P(t_i|c_i, c_{i-1})P(c_i|c_{i-1}) \quad (4)$$

によって定式化される。式 4 により、ユーザの意図した緊張度に基づいて、HMM の遷移確率を操作可能になった。ただし、 $P(c_i|c_{i-1})$ は、 n -gram から統計的に事前知識を得た場合と、 $P(c_i|c_{i-1}) = 1$ とした事前知識なしの場合を評価実験で比較する。

4.2 実装

インタラクティブなシステムには十分に早いレスポンスが必要なため、HMM の最尤経路探索には、ダイクストラア

ルゴリズムを用いた。さらに、和声進行の緊張感を算出するために、和音に含まれる構成音の音圧の情報が必要となるため、和音のボーシングが事前に決まっている必要がある。しかし、本研究は、自動ボーシングの研究ではないため、ボーシングが不自然に聴こえないように、以下の条件に基づいて、自動でボーシングを行った。

- 和音の初期ボーシングは、ベース音、ルート音、サード音、フィフス音、もしもあればセブンス音なければルート音のオクターブ上の音高を順にあわせた形 5 つの音高をもつボーシングとした。
- 和音が変化する際に、ベース音は、C2~B2 の範囲で変化させた。
- 和音が変化する際に、ベース音以外の音は、前のボーシングから最も移動距離の小さいボーシングを選択した。
- 音圧は、ベース音のみ 1 を与え、それ以外の構成音には、0.8 を与えた。

この、規則に従うことで、なめらかなボーシングを完全自動で行うことができる。実装された旋律に対する和声付け支援システムは、web 上*1にて試すことができる。

4.3 主観評価実験

4.3.1 実験目的と条件設定

ユーザの入力した和声進行の緊張度に基づく和声付け支援手法が、完全自動製背手法よりもユーザを満足させる和声進行を生成できるかを評価した。また、和声進行の緊張感パラメータによってどのくらい思い通りに意図を伝達することができるかを調査した。

実験参加者は、20 代の男女 10 名であり、いずれも音楽的訓練を受けていない音楽初学者である。実験参加者には、拍ごとに用意された緊張感スライダを操作させ、3 つの旋律に対して和声付けをさせた。ただし、緊張度パラメータは、0~500 の値を取るものとした。なぜなら、緊張度の最大値によって正規化したとき、整数値において十分にスパースに和音が配置されるようにするためである。さらに、実験参加者が、パラメータを設定しシステムが結果を生成したら、その結果について以下のアンケート項目を 5 段階で回答させた。

- 旋律に対して、システムが生成した和声進行はどのくらいあなたを満足させましたか？
 - パラメータを操作することで、どのくらい思い通りにあなたの意図をシステムに伝えられましたか？
- ただし、初期状態として、全てのパラメータが 0 である状態で生成された結果を評価した後、実験を開始させた。

和声進行生成 HMM のノードは、拍ごとに各メジャー調のスケール内音で構成可能な和音のみで構成される。なぜなら、Tonal Pitch Space[7]における和音間距離は、調外の

*1 <http://27.83.54.254/PsychoaousticHarmonizerUI/>

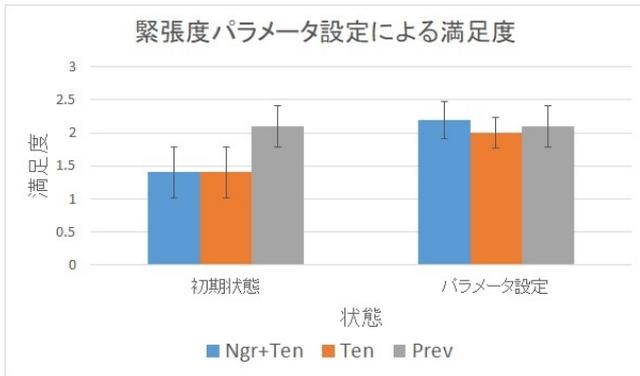


図 4 初期状態とユーザにパラメータ入力させた場合の各実験参加者の満足度の平均値と 95 %信頼区間。ただし、Ngr は n -gram を事前確率として考慮した場合で、Ten は、和声進行の緊張感に基づいた場合で、Prev は完全自動生成の場合を表している。

スケール音を含む和音に対しては、算出することができないからである。ただ、事前確率に基づいた遷移確率の決定には、 n -gram が必要となるため、Isophonics の Beatles データセット [11] から得られる unigram 及び bigram を用いた。ただし、Isophonics の Beatles データセット [11] は、調ごとにデータの量が異なり、調によっては生成が安定しない可能性がある。そこで、Isophonics の Beatles データセット [11] の和声ラベルを 12 すべての調に転調したデータを用いることで、 n -gram の調変化にする頑健性を保証した。よって、旋律の単純な調のシフトであれば、和声付け結果は、単純な移調しかしないので、実験旋律がどの調で実施されたとしても、結果に影響はない。また、出力確率 $P(m_i|c_i)$ も決定することはできないため、KSN データ [12] から統計的に得た各調の各和音における旋律の出力確率 $P(m_i|c_i, k_i)$ をを出力確率として用いた。

また比較対象として、川上ら [1] の手法を基にした、完全自動生成手法から得られた和声進行の満足度も同様に 5 段階で評価させた。比較対象の完全自動生成手法には、和声進行の緊張感に基づいた和声進行生成と同じ和声進行生成 HMM を用いたが、統計から得た出力確率 $P(m_i|c_i)$ 及び遷移確率 $P(c_i|c_{i-1})$, $P(c_i)$ をそのまま用いた。

4.3.2 実験結果

図 4 は、初期状態とユーザにパラメータ入力させた場合の各実験参加者の評価の平均値と 95 %信頼区間をまとめたものである。図 4 からわかるように、ユーザはパラメータで和声進行の緊張感を入力することで、完全自動和声付け手法とほぼ同等な満足度の和声進行を得ることができた。つまり、特に事前確率に統計を用いていない場合も完全自動生成の場合と有意な差がない満足値が得られることがわかったことから、音楽文脈の統計データなしに、完全自動生成手法とほぼ同等な和声付けを実現した。

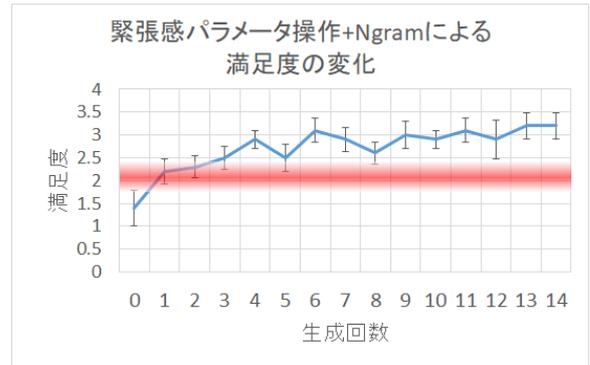


図 5 n -gram とユーザの緊張度パラメータ操作による満足度の変化の平均と 95 %信頼区間。赤色のグラデーション部は完全自動生成手法の平均と 95 %信頼区間を表す。

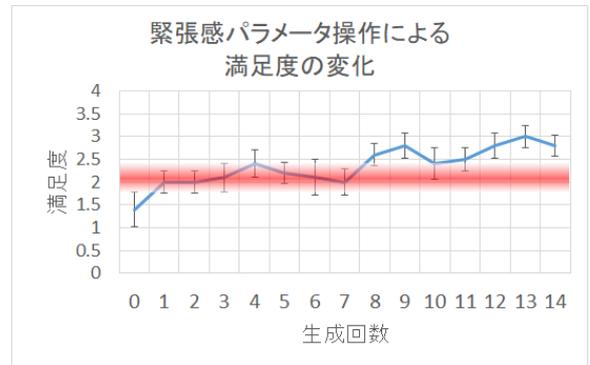


図 6 ユーザの緊張度パラメータ操作による満足度の変化の平均と 95 %信頼区間。赤色のグラデーション部は完全自動生成手法の平均と 95 %信頼区間を表す。

5. インタラクシオン主観評価実験

5.1 実験目的と条件設定

第 4 章と同様の条件で、さらにユーザは気に入らない箇所を修正したり、異なるパターンの和声進行の緊張度を設定するなどシステムとのインタラクシオンを通じて満足度がどのように変化するかを調査した。生成は対話的に各旋律ごとに 15 回ずつ行わせた。また、生成のたびに、実験参加者には前章と同様のアンケート項目に回答させた。

5.2 実験結果

図 5, 6 に、 n -gram を事前確率とした場合とそうでない場合をそれぞれ、3 つの旋律に対して和声付けした際の全ての実験参加者の生成された和声進行に対する満足度評価の対話回数ごとの平均と 95 %信頼区間を時系列的に表した。また、赤色のグラデーションで示されているのは、全ての実験参加者の 3 つの旋律において完全自動生成 HMM によって生成された和声進行に対する満足度の平均と 95 %信頼区間である。また、意図の伝達度合いに対する質問に対する評価結果の平均値は、 n -gram を事前確率とした場合、約 3.0 であり、事前確率としなかった場合、約 2.5 となった。

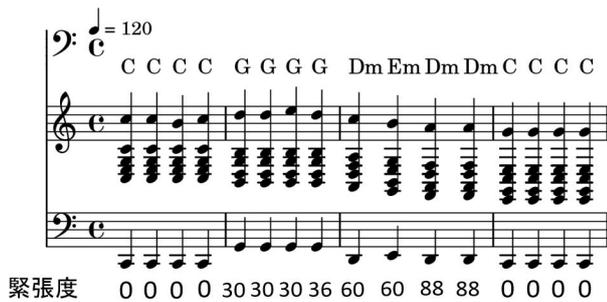


図 7 n -gram を事前確率として用いた場合の旋律 2 に対するユーザが入力した緊張感と生成結果

具体的にシステムが生成した和声付け例を図 7 に示す。

6. 議論

主観評価実験の結果から、緊張感パラメータは、生成される和声進行に対するユーザの満足度を有意に向上させることがわかった。特に、 n -gram を事前確率として用いた場合、前半を除き満足度の平均はほとんどの場合、比較された完全自動生成手法より下回ることはなかった。図 5, 6 の時系列的な変化から、実験参加者が、システムとの対話の結果、満足度を向上させていることがわかる。よって、多くの統計データを用いずに、少なくとも 15 回ほどのインタラクションを通せば、音楽初学者ユーザの緊張感に基づいても、従来手法の自動生成手法よりも有意に満足度の高い和声進行を生成可能であることがわかった。

7. 結論

7.1 総括

本研究では、音楽初学者の旋律に対する和声付けを支援するシステムを提案した。特に、我々は和声進行の緊張感に着目し、和声進行の緊張感のユーザモデルをデザインモデルにし、それぞれが妥当なモデルであることを示した。そのデザインモデルとユーザの入力した緊張感（意図）に基づいて、和声進行生成 HMM のパラメータをインタラクティブに操作可能なモデルを構築し、それらのモデルがユーザの満足度に与える影響や意図の反映度合いを調査する実験を実施した。結果、ユーザの入力した和声進行の緊張感に基づいた生成手法は、完全自動和声付け手法に比べ、有意にユーザの満足度を向上させることがわかった。特に、統計的に得られた n -gram を事前確率として、HMM の確率パラメータに統計を考慮した場合、より高い満足度が得られた。

7.2 今後の課題と展望

本研究での根源的な思想は、自動作曲のみならず、TeX やジェネレーティブデザインなど、様々な分野に展開可能なものである。TeX は文章や画像の情報をもとに自動でレイアウトを行い、それはとても優秀である。しかし、それ

でも意図と異なることがあり、その場合には、ソースコード (CUI) に立ち返り、細かな試行錯誤によって修正を行わなければならない。3DCG のジェネレーティブデザインにおいても、生成されたものが意図と異なる場合のインタフェース設計については方法論が定まっていない。さながらサイコロを振るかのように、意図通りのものが出るまで生成し続けるのが基本となっている。

今日、アルゴリズムや機械学習の高度化により、かなり高いレベルの創作やデザインをコンピュータが自動で行えるようになってきた。しかし、今でもそれが一発でユーザの意図に沿うことはないし、これからもそれは続くと考えられる。とすると、今日求められるのは、自動生成されたコンテンツを「出発点」として、専門知識をもたないユーザでも直感的にそれを「修正」していくインタフェースであると筆者らは考えている。そして、そうしたインタフェースのあるべき姿を探る使命を担うのは、インタラクション研究者であるべきだと考えている。

参考文献

- [1] 川上隆, 中井満, 下平博, 嵯峨山茂樹. 隠れマルコフモデルを用いた旋律への自動和声付け. 情報処理学会研究報告音楽情報科学 (MUS), No. 19 (1999-MUS-034), pp. 59–66, 2000.
- [2] 高橋拓椰, ウィルククリストフ, 保利武志, 嵯峨山茂樹. 歌詞の意味重み付け hmm による旋律への和声付け. 第 81 回全国大会講演論文集, 第 2019 巻, pp. 423–424, feb 2019.
- [3] Ian Simon, Dan Morris, and Sumit Basu. Mysong: automatic accompaniment generation for vocal melodies. In *Proceedings of the SIGCHI conference on human factors in computing systems*, pp. 725–734, 2008.
- [4] Christoph M. Wilk and Shigeki Sagayama. A parameterized harmony model for automatic music completion. *Journal of Information Processing*, 2020 (under review).
- [5] Leonard B. Meyer. *Emotion and Meaning in Music*. University of Chicago Press, 1961.
- [6] Jamshed J. Bharucha and Keiko Stoelckig. Reaction time and musical expectancy: Priming of chords. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, Vol. 12, No. 4, pp. 403–410, 1986.
- [7] F. Lerdahl. *Tonal Pitch Space*. Oxford University Press, 2001.
- [8] Fred Lerdahl and Carol L. Krumhansl. Modeling tonal tension. *Music Perception: An Interdisciplinary Journal*, Vol. 24, No. 4, pp. 329–366, 2007.
- [9] F. Lerdahl and R. Jacken. A generative theory of tonal music. 1983.
- [10] 浜中雅俊, 平田圭二, 東条敏. タイムスパン木獲得システムの完全自動化. 情報処理学会研究報告音楽情報科学 (MUS), Vol. 2007, No. 81 (2007-MUS-071), pp. 93–98, 2007.
- [11] Matthias Mauch, Chris Cannam, Matthew Davies, Simon Dixon, Christopher Harte, Sefki Kolozali, Dan Tidhar, and Mark Sandler. Omas2 metadata project 2009. In *Proc. of 10th International Conference on Music Information Retrieval*, p. 1, 2009.
- [12] 金子仁美, 川上大輔, 嵯峨山茂樹. 機能と声解析データの作成とその統計解析. 研究報告音楽情報科学 (MUS), Vol. 2010, No. 7, pp. 1–8, 2010.