

研究概要報告書【サウンド技術振興部門】

(1 / 3)

研究テーマ	エキスパートのような分析的音楽聴取能力を疑似体験できるソフトウェアの提案	報告書作成者	山口直彦
研究従事者	山口直彦・北原鉄朗		
研究目的	音楽の嗜好の幅を広げることは QoL の向上に効果的だが、聞きなじみのない曲を聴くのは、時として退屈や苦痛を伴う。一方、音楽家は、楽曲の進行を予測しながら聴くことで、未知の音楽に対しても新たな発見をしながら聴くことができる。楽曲をただ受動的に聞くのではなく、一定程度の知識をもとに分析的な姿勢で聴取することで、より密度の高い音楽体験を得ることができる。 本研究では、筆者が提唱する計算論的音楽理論 TPS-ExJ を拡張することにより、音楽のコード進行に対する意外性の定量化を可能とする。同理論は、F. Lerdahl が提唱する Tonal Pitch Space (TPS) を拡張し、非ダイアトニックコードの分析を実現すると同時に、ジャズ音楽の分析を可能にすることを目的とした理論である。またその応用として、音楽的意外性を発見しながら音楽鑑賞できるソフトウェアを実現することを目標とする。これにより、音楽家が行うような音楽理解を、専門知識のない人でも疑似体験することができ、音楽の嗜好の幅を広げるきっかけ・分析的な音楽聴取経験の体験を提供する。		

研究内容	上述の「音楽の進行に対する意外性の定量化」を、ジャズ音楽のコード進行を例にとりて進める。 コード進行の意外性の計算モデル(計算論的音楽理論)としては Tonal Pitch Space (TPS) [F. Lerdahl, 2001]が有名である。しかし TPS は、扱えるコード(和音)が、基本的な三和音(ダイアトニックコード)に限定されているため、ノンダイアトニックコードが多用されるジャズやポピュラー音楽の分析には使用できない。 そこで筆者らは、ジャズの分析に耐えうるよう TPS を拡張した TPS-ExJ の開発を進めている。本研究では TPS の拡張を次の考えに基づき、さらに推進する (1)【非ダイアトニックへの対応】 TPS はダイアトニックコードを前提とするため、非ダイアトニックコードが頻出するジャズの楽曲には、ほとんど適用できない。現状の TPS-ExJ はノンダイアトニックコードを扱えるようになっているものの、暫定的な処理方法で実現しているため、音楽的な解釈との整合性に乏しかった。本研究ではスケールの概念を計算モデルに導入することで、ジャズ音楽理論と整合性のとれた分析を可能にする。 (2)【パラメータの統計的探索】 TPS には根拠のないパラメータが多数あり、数理的な妥当性を欠く原因となっていた。大量の楽曲データを統計的に学習することで、統計的な根拠のあるパラメータによる、精度の高いモデルを実現する。 (3)【音楽家による検証】 TPS が提唱された書籍で皆無であった音楽家による検証実験を行うことで、心理学的・認知科学的に妥当性のあるモデルを実現する。 (4)【音楽鑑賞ソフトウェアの実現】 このモデルを用いた音楽進行の意外性の計算結果をリアルタイムに描画しながら音楽鑑賞できるソフトウェアを実装し、試用実験により、このコンセプトの有望さを検証する。

研究のポイント	コード進行の分析(計算)モデルとして Tonal Pitch Space(TPS)を基礎としている。TPS が算出する和音間距離は非常に単純な計算式でありながらも、人間の和音解釈にある程度沿った結果を出す点が興味深い。その一方で、基本的な三和音(ダイアトニックコード)にしか対応していない・算出結果の粒度が粗く、同じ和音間距離になってしまう和音進行が多く存在するなどの問題がある。 本研究のポイントは、単純な計算式かつ人間に理解しやすい計算モデルという TPS の良さを最大限に残しつつ、非ダイアトニックコードへの対応・計算モデルの妥当性向上を図り、より実用的な計算論的音楽理論モデルとして完成度を実応用レベルまで引き上げていくことにある。
研究結果	研究の過程で、そもそも(TPS の開発者である)Lerdahl 自身が、TPS で算出する「和音間距離」が、音楽的にどのような意味を表す距離と考えているのかを明確に言語化しておらず、「和音間距離の音楽的な解釈」について深く検討した先行研究もないことが判明した。そこで、TPS(及び TPS-ExJ)の拡張に先立って、「和音間距離の音楽的な解釈」を明確にする試みを行い、国内会議 2 回、国際会議 1 回の発表を実施した。 図付きの簡易な説明を説明書に記載した。また各会議にて公表した予稿の PDF を別添資料として提出する。
今後の課題	「和音間距離の音楽的な解釈」に関しては、2026 年中にさらにもう 1 回国内会議発表を計画している。またこれら発表の成果を論文にまとめて英語論文とし、2026 年中に英文ジャーナルへ投稿することを目指し、研究を進めている。 およそ 1 年間をかけて研究の基礎固めを行う作業を行ってきたため、次年度は本題である TPS 及び TPS-ExJ の改良を進めていく作業に着手したい。2027 年 7 月に東京で開催される IEEE COMPSAC 2027 では、共同研究者の北原と共に音楽情報科学に関する Workshop を新規開催する準備を進めている。当該 Workshop で本研究に関する発表も行う予定である。

(1)TPS が算出する和音間距離の解釈に関する仮説

- ・「遷移仮説」(典型的な和音遷移であるほど距離が短い)
- ・「置換仮説」(文脈を損なわずに置換可能な和音であるほど距離が短い)

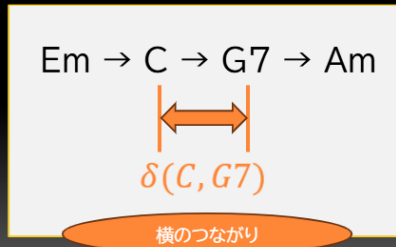
という 2 つの仮説を検討した

(2) 仮説検証方法

和音間距離が、(数学における)距離公理を満たす値であると仮定すれば、「和音遷移の典型さ」(遷移仮説の指標)または「和音の置換可能性」(置換仮説の指標)と和音間距離の間に、単調減少の関係性が見えるはず

仮説

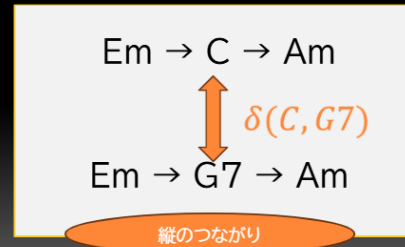
- 遷移仮説
 - 和音間距離が「遷移の典型さの逆概念」を示す
- 置換仮説
 - 和音間距離が「和音の置換可能性の逆概念」を示す



TPSによる和音間距離の音楽的解釈 (C) Naohiko Yamaguchi 2024

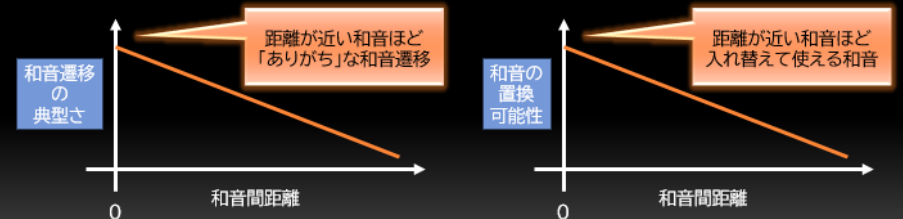
2025/09/02

15



仮説

- 遷移仮説
 - 和音間距離が「遷移の典型さの逆概念」を示す
- 置換仮説
 - 和音間距離が「和音の置換可能性の逆概念」を示す



TPSによる和音間距離の音楽的解釈 (C) Naohiko Yamaguchi 2024

2025/09/02

16

(3)和音進行コーパスを用いた検証

既存楽曲の和音(コードネーム)が集積されたコーパスを利用し、コードネームのトライグラム(Chead-X-Ctail)を抽出。同一の Chead・Ctail をもつトライグラムの集合を「同一のコンテキスト(文脈)」と定義した。コーパスに登場するコードネームのトライグラムをコンテキストごとに集計し、和音遷移の典型さを示す指標として出現頻度(OR)、和音の置換可能性を示す指標として相対出現頻度(ROR)を算出した。またそれに対応する和音間距離 CDtr と CDsb を定義して比較を行った。

Method: Define Occurrence Ratio(OR)

- Occurrence ratio (OR) is the estimated value of chord's contextual likelihood of appearance
– We will use OR to verify the "transition" hypothesis.
- OR is the simple appearance ratio of a chord X , calculated with conditional probability:

$$OR(c_1, x, c_2) = P(X = x_i | C_{head} = c_1, C_{tail} = c_2)$$

Method: Define Relative Occurrence Ratio(ROR)

- Relative occurrence ratio (ROR) is the estimated value of chord's substitutability within the context.
– ROR is used to verify the "substitutability" hypothesis.
- ROR calculated using the occurrence count of x_{max} (the most frequent chord X) within the same context as the denominator:

$$ROR(c_1, x, c_2) = \frac{P(X = x_i | C_{head} = c_1, C_{tail} = c_2)}{P(X = x_{max} | C_{head} = c_1, C_{tail} = c_2)}$$

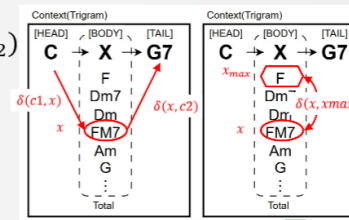
Method: Two Type Chord Distance(CD)

- Chord Distance to verify the "transition" hypothesis

$$CD_{tr}(c_1, x, c_2) = \delta(c_1, x) + \delta(x, c_2)$$

- Chord Distance to verify the "substitutability" hypothesis

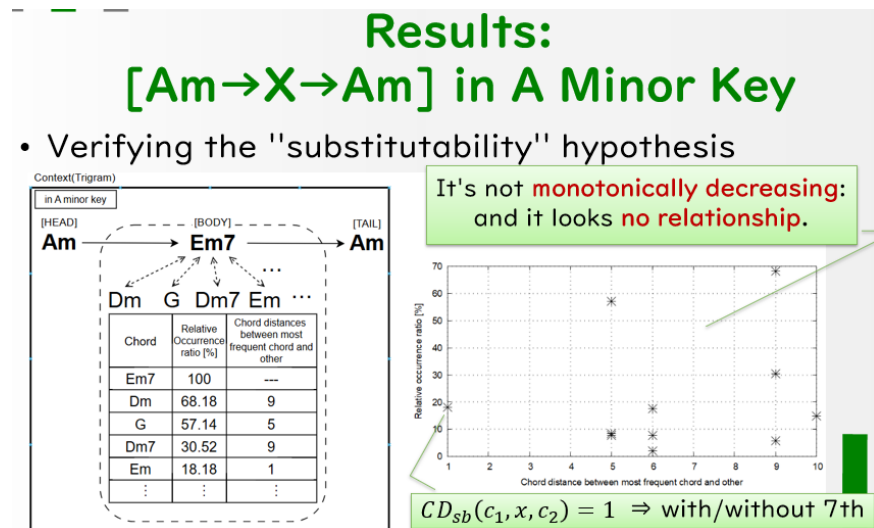
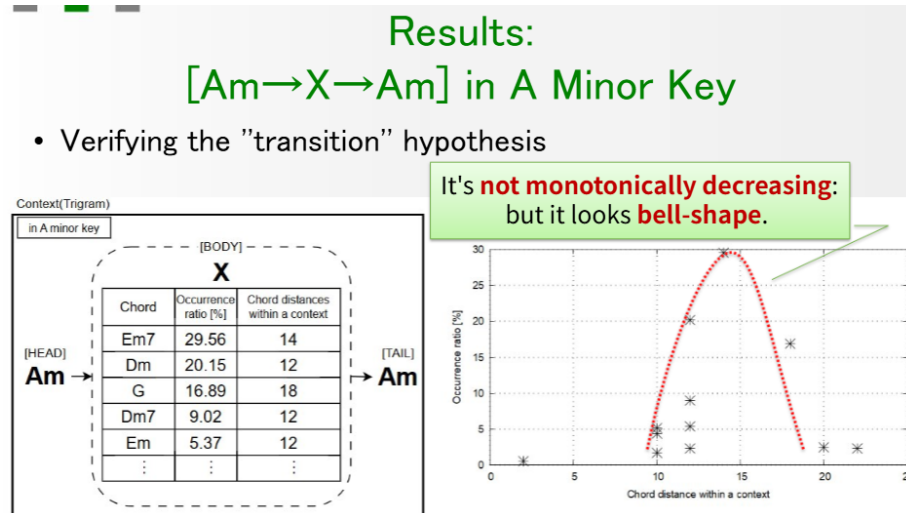
$$CD_{sb}(c_1, x, c_2) = \delta(x, x_{max})$$



(4)検証結果

「OR と CDtr の 散布図」「ROR と CDs_b の 散布図」を作成して遷移仮説と置換仮説の検証を行った。結果として、両者とも期待していた単調減少の関係は見られず、明確な結論は得られなかった。

ただし「OR と CDtr の 散布図」にはベル(逆 U 字)状の関係性が見える傾向にあった。知覚心理学では感覚の快適さと刺激の強さに逆 U 字状の関係性(Wundt Curve)があるとされており、遷移仮説の検証課程でベル(逆 U 字)状の関係性が見えたことは、知覚心理学上意味のある指標になっている可能性がある。



(5)第 2 報

第 2 報として、第 1 報とは異なるコーパスを使用し、コードネームだけでなく、同時に演奏されるメロディを考慮に含めることで、新たな結果が得られることを期待し、コードネームと共に、コードネームの範囲に相当する部分のメロディで使用されるピッチクラスの集合を加えたトライグラムを生成して同様の分析を試みたが、この方法でも明確な結論は得られなかった。

またそもそも、HEAD・BODY・TAIL すべてにメロディを加味したことで、トライグラムの出現数が少なくなってしまう、統計的な傾向を確認するにはデータ数が不足する状況となってしまった。そこで次回は、HEAD・TAIL をコードネームのみとし、メロディを考慮するのは BODY だけにすることでデータ不足を改善することを検討している。

Tonal Pitch Spaceによる 和音間距離の音楽的解釈 —第2報—

山口 直彦（東京国際工科専門職大学）
北原 鉄朗（日本大学）

A. はじめに

F. Lerdahl の TPS (Tonal Pitch Space) は、和声学（コード進行理論）を数式化した計算論的音楽理論（2001 年）。
⇒ **ダイアトニックコードしか対応せず**

ノン・ダイアトニックコードに対応し、ジャズ音楽への適用を目指して TPS を拡張した “TPS-ExJ” を山口が提案（2011 年）。さらなる改良を進めている

B. 疑問点

TPS は 2 和音の関係性を「和音間距離」という単一スカラーで表現する。
⇒ **和音間距離の音楽的意味は何？**
⇒ **和音間距離の音楽的意味を理解しておく必要がある**

C. 解釈案（仮説）

パターン A 連続仮説

$$E_m \rightarrow C \rightarrow G7 \rightarrow A_n$$

$$\delta(C, G7)$$

パターン B 置換仮説

$$E_m \rightarrow C \rightarrow A_n$$

$$\delta(C, G7)$$

D. 検証方針

コード進行コーパスから得られた（実際に音楽で使用されている）コード進行の出現頻度と和音間距離を比較する

E. 予備知識：和音間距離の計算

$$\delta(x, y) = \text{region}(x, y) + \text{chord}(x, y) + \text{basicpace}(x, y) +$$

調関係性の距離 和音機能の距離 和音構成音を機能別に重みづけした 12 次元ベクトルの成分変化量

計算例： $x = B \flat$ [in B ♭ major Key] $y = Dm$ [in B ♭ major Key]
 $\delta(x, y) = 0 + 3 + 4 = 7$

F. 検証方法

連続する 3 つの和音（コード）を切り出したトライグラムを集め、HEAD・TAIL が同じトライグラムの集合を「コンテキスト」とする。
 遷移仮説が成立：コンテキスト内の各 BODY の出現率 (OR) が和音間距離と相関するはず
 置換仮説が成立：コンテキスト内で最も多く出現する BODY を基準とした、その他 BODY の相対出現率 (ROR) が和音間距離と相関するはず
今回は新たな試みとして HEAD・BODY・TAIL に、コードネームだけでなく、当該コード区間で鳴るメロディ音を加味した。

方法 1
コードネーム
+ メロディ構成音

方法 2
コードネーム
+ メロディ構成音
+ 相対音価

G. 実験結果

前回同様、明確な相関関係は見えなかった。
 またそもそも使用したデータセット (openEWLD, 483 曲) ではデータ不足で、最も多く出現した “C[C]” → X → C[C] のコンテキストでも 45 回しかあらわれなかった。

G. 結論

提案手法により和音間距離を算出することができた。
 得られた距離の妥当性について今後詳しく精査していく必要がある。

脚注 本研究はカワイサウンド技術・音楽振興財団 2025 年度 研究助成金、及び JSPS 特別研究 23K24966, 24H00748, 25H01169 の支援を受けて行われた。

主筆 考査者 氏名
 Lerdahl, F.: Tonal pitch space, Oxford University Press (2001).
 Yamaguchi, N. and Kitahara, T.: Interpreting Chord Distances of Tonal Pitch Space: A Correlation Study with Corpus-based Chord Progression Frequencies, TENOR 2025.
 Simonetta, F., et al.: Symbolic music similarity through a graph-based representation, Proceedings of the Audio Mostly 2018 on Sound in Immersion and Emotion, (2018).