

非調構成音を含む和音への対応を目的とした TPS (Tonal Pitch Space) の拡張 —ジャズ音楽理論への適用を目指して—

山口直彦^{†1} 管村昇^{†1,†2}

既存の音楽理論を計算機科学の立場からとらえなおし、理論化しなおそうとする「計算論的音楽理論」の研究が進められてきたが、これらはいずれもクラシック音楽理論を中心に考えられてきた。ジャズ音楽理論に基づいて作曲された楽曲が数多く流通する昨今、ジャズ音楽理論を計算論的音楽理論として再構築する試みが必要であると考えられる。

そこで筆者は F.Lerdahl の提唱した TPS(Tonal Pitch Space) に着目した。TPS は和声学の知識を和声間距離という概念を用いて定式化し、計算機上実装できるようにした興味深い理論である。しかしながら TPS もまたクラシック音楽理論を基礎としており、そのままではジャズ音楽理論が扱う複雑な和音に対応することができない。

本発表では、TPS を拡張する形で、ジャズ音楽理論を計算論的音楽理論として記述する手法を提案する。

Improving TPS to Tackle Non Key Constituent Note

NAOHIKO YAMAGUCHI^{†1} and NOBORU SUGAMURA^{†1,†2}

Reconstruction of “Music Theory”, namely from traditional music theory to computational music theory, has become important in recent years. However these theories are based on classical music.

Nowadays, popular music are composed using jazz music theory. Reconstructing computational music theory from jazz music theory is required.

In this paper, computational music theory from jazz music theory, by extending TPS(Tonal Pitch Space) proposed by F.Lerdahl, is described.

1. はじめに

1.1 音楽理論

音楽とは複数の音が時間軸方向、周波数軸方向に分布することによって出来ている。しかしながら、音が複数ランダムに集まっただけでは、音楽とは知覚されない。音の集合体が音楽として知覚されるためには一定の秩序（文法、語彙、構造）に基づいて音が配置される必要がある。

この音楽を音楽たらしめる秩序は、一般に「音楽理論」と呼ばれる知識体系によって説明されており、作曲家や演奏者は音楽理論の知識に基づいて作曲や、楽曲分析活動を行っている。どのような秩序をもって音楽とするかについては、文化圏や時代によって異なるものであるが、現在の音楽大学で中心的に教えられているのはおおよそ 19 世紀後半あたりまでのドイツなどで体系づけられたものが中心となっており、「楽典」「和声学」「対位法」「楽式論」などに細分化することができる。

この 19 世紀後半に構築された理論を基本とし、その後、クラシックの世界においては近代・現代音楽の時代になるにつれ、シェーンベルクによる十二音技法などの新しい理論を生み出していく。

また、アメリカにおいては黒人霊歌などの文化と融合し、ブルースを経てジャズ音楽が生まれる。ジャズ音楽を形作る「ジャズ音楽理論¹⁾」は独自の発展を遂げた。体系的に整理されたジャズ音楽理論として「パークリーメソッド」が挙げられる。現在流通している多くのポップス音楽が、このジャズ音楽理論に基づいて作曲されている。^{*1}

1.2 計算論的音楽理論

自動作曲・作編曲支援、音楽検索、楽曲解析などを試みるにあたり、音楽とは何であるかを規定する知識として、音楽理論の役割は大変重要なものである。しかし旧来の音楽理論は経験則の集合体であり、計算機による定量的な処理はほとんど考慮されていない。

このような背景から、現代においては既存の音楽理論を改めて考え直し、音楽理論を数学

^{†1} 工学院大学大学院 工学研究科 情報学専攻修士課程

Graduate School of Engineering, Major in Informatics, Kogakuin University.

^{†2} 工学院大学 情報学部 情報デザイン学科

Department of Information Design, Faculty of Informatics, Kogakuin University.

^{*1} ポップス音楽を規定している理論をポップス音楽理論として区別することもあるが、本稿ではジャズ音楽理論に統一して表記する

的な手法を用いて記述しようとする「計算論的音楽理論」と呼ばれる分野の研究が進められている。これにより、計算機上でプログラムとして実行するのに適した形式の音楽理論が模索され、活用されている。

1.3 先行研究

計算論的音楽理論で特に有名なのは F.Lerdahl らによる GTTM(Generative Theory of Tonal Music)²⁾ と E.Narmour による暗意実現モデル (Implication-Realization Model) である。両者は共に計算機への実装・自動作曲システムへの応用が試みられており (例えば GTTM の実装研究例として浜中らによる exGTTM³⁾, 暗意実現モデルを利用したメロディ構造分析として矢澤らの研究⁴⁾ がある) 計算論的音楽理論でも有用なものと考えられる。

両理論は共に、主として旋律の構造分析を主たる目的とした理論となっているが、和声に着目した理論も存在する。GTTM を提唱した F.Lerdahl による TPS(Tonal Pitch Space)⁵⁾ がそれである。TPS は GTTM の内容を補完するために作られた理論であるが、独立した一つの理論として扱われている。国内では、坂本らが TPS を実装する研究を行っている^{6),7)} 詳細な内容は次節以降で説明する。

1.4 本研究の目的

現在流通している音楽の多くはジャズ音楽理論に基づいて作曲されている。これまでの計算論的音楽理論で、ジャズ音楽理論に焦点を当てて検討されたものは少ないため、今後より実用的な研究を進めるにあたっては、ジャズ音楽理論を計算機上に実装することが不可欠であると筆者は考える。

そこで本研究では「ジャズ音楽理論」を計算機上に実装することを試みる。ジャズ音楽理論はコード(和声)進行を中心に考える理論であるため、先行研究の TPS が大きな参考となる。しかし TPS は取り扱える和音の種類が限定されているため、そのままではジャズ音楽理論に適用することができない。本稿ではこの制限を緩めることで、TPS の考え方を十分活かしたまま、ジャズ音楽理論へ適用する方法について検討する。

2. TPS の概要

2.1 ベーシックスペースによる和音の表現

TPS では、TPS は 1 つの和音を 12 次元のベクトルで表現し、これをベーシックスペースと呼ぶ。本稿では以後、音名は英語表記、音度はローマ数字表記とする。ベーシックスペースの各要素は C~B までの半音階にそれぞれ対応し、Level.a~Level.e の重みを持っている。ベーシックスペースは調名と根音の音度のペアで一意に表現でき、以下根音の音度と

表 1 ベーシックスペースの各レベル
Table 1 Meaning of the Each Level in Basicspace

レベル	解説
Level.a	和音構成音のうち、根音が含まれる (図 1 の例では I/C なので、根音は C)
Level.b	和音構成音のうち、根音及び 5 度音が含まれる (図 1 の例では I/C なので、根音は C, 5 度音は G)
Level.c	和音構成音が含まれる (図 1 の例では I/C なので、構成音は C,E,G)
Level.d	調を構成する音が含まれる (図 1 の例では調は C なので構成音は C,D,E,F,G,A,B)
Level.e	C~B まで全ての半音階が含まれる

太字の英語表記による調名(長調は大文字, 短調は小文字)をスラッシュではさんで表記する。図 1 に、I/C(コードネームでは Cmaj) を表したベーシックスペースを示す。

Level.a	C											
Level.b	C									G		
Level.c	C			E						G		
Level.d	C		D		E	F		G		A	B	
Level.e	C	Db	D	Eb	E	F	Gb	G	Ab	A	Bb	B

図 1 I/C のベーシックスペース
Fig. 1 Basicspace of I/C

図 1 では横軸が各音、縦軸方向のラベルの数が和音内における音のヒエラルキーに対応したレベルを表している。各レベルの意味は表 1 の通りである。ここで、あるレベルとなっている音名は、それよりも下位のレベルも含まなくてはならないとされている。すなわち、和音構成音(Level.a~c) は必ず調構成音(Level.d) である必要がある。そのため、図 1 は 2 次元のマトリクス状として表記されているが、実際には各音に付されたラベルの数を数え、式(1)のように表記することも可能である。

$$BS(I/C) = [5, 1, 2, 1, 3, 2, 1, 4, 1, 2, 1, 2] \quad (1)$$

2.2 和音間距離

TPS の中心となる概念が「和音間距離」である。与えられた 2 つの和音 x, y が $x \rightarrow y$ の順番で鳴らされた(和声進行)した際、その進行の自然さに相当する指標を「和音間距離」という値で定式化する。これにより、和声学でカデンツ(終止形)と呼ばれるパターンを基礎として理論づけられてきた和声進行が、数式によって表されることとなる。

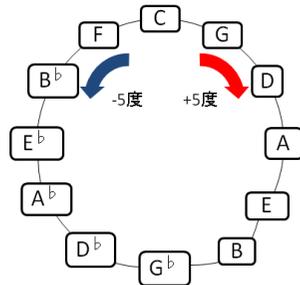


図 2 調の 5 度圏
Fig.2 Region circle

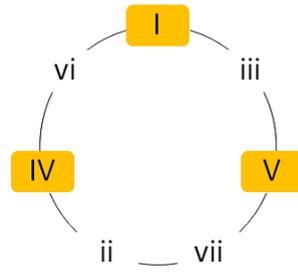


図 3 和音の 5 度圏
Fig.3 Chord circle

和音間距離を式 (2) で表す．なおここで x, y はそれぞれ与えられた和音, $\delta(x \rightarrow y)$ は和声進行 $x \rightarrow y$ の和音間距離を表す．表記は原著⁵⁾ではなく, 先行研究^{6),7)}に基づく．

この値が小さければ小さいほど, $x \rightarrow y$ の進行は自然であるとされる．

$$\delta(x \rightarrow y) = \text{region}(x, y) + \text{chord}(x, y) + \text{basicspace}(x, y) \quad (2)$$

式 (2) で示された和音間距離は, $\text{region}()$, $\text{chord}()$, $\text{basicspace}()$ という 3 つのサブ関数の和となっている．

2.2.1 region 関数

region 関数は, 和音 x, y がそれぞれ置かれている調を比較し, 図 2 に示すような調の 5 度圏⁸⁾*1 上でどれだけ離れた位置に存在するかを region 距離として返す関数である．

調の 5 度圏は C ~ B までの各調の主音が, 隣同士完全 5 度の関係になるよう, 円環状に配置したものである．図 2 では時計回りに 1 ステップ進むと完全 5 度上昇, 反時計回りに 1 ステップ進むと完全 5 度下降するようになっている．これにより, ある調 (例えば G) の右隣は属調 (G に対する D), 左隣は下属調 (G に対する C) を表す．

region 関数は, この調の 5 度圏上で, x, y の置かれている調が何ステップ離れているかを返す．なお, 図 2 に書かれた調は全て長調であり, 短調の場合は平行調^{*2}の関係を用いて長調に変換する必要がある．

なお, この方法では与えられた和音の置かれた調が遠隔調の関係にある場合, 求められる和声間距離が小さくなりすぎるため, さらに調性空間と呼ばれる空間を考慮した算出を行う

必要があるが, 本研究では省略している．

2.2.2 chord 関数

chord 関数は, 和音 x, y が図 3 に示す和音の 5 度圏^{*3}上で, どれだけ離れているかを chord 距離として返す関数である．

和音の 5 度圏は調を構成する音それぞれを根音とする三和音 (ダイアトニックコード) を円環状に配置したものである．図 3 は調の主音を I とした音度で表記している．

ダイアトニックコードの中でも I (主和音, トニック), IV (下属和音, サブドミナント), V (属和音, ドミナント) は和声進行の根幹を成す重要な和音であり, 主要三和音と呼ばれる．和音の 5 度圏は, 主要三和音の間を, 副三和音 (ダイアトニックコードのうち, 主要三和音でないもの) を, 隣同士が代理和音の関係となるように並べられている．

和音 x, y が同じ調である場合は, 単純に和音の 5 度圏上の距離を求めれば良いが, 両者の置かれている調が異なる場合は, 一方を他方の調へ転調した上で距離を比較する必要がある．またその際, 距離が求められない場合があり, その場合は十分に大きな値を返すこととする (すなわち, 異常な和声進行とみなす)

2.2.3 basicspace 関数

basicspace 関数は, 和音 x, y を表すベーシックスペース同士を比較し, 異なっている部分の数を basicspace 距離として返す関数である．和音の構成音がどれだけ変化したかを表す指標となる．

例として, $\text{basicspace}(I/C, V/C)$ を求めてみる．V/C のベーシックスペースを書くと, 図 4 のようになる．図 1 に示した I/C のベーシックスペースと比較すると, *で示された 4 つのセルが消え, 代わりに太字で示された 4 つのセルが増えている．この場合, 和音が I/C \rightarrow V/C と進行するに伴い, ベーシックスペースの 4 つのセルが移動したと考え, basicspace 関数の結果は 4 となる．

2.3 TPS をジャズ音楽理論に適用するにあたっての問題点

TPS をジャズ音楽理論に適用しようとする際, 大きく以下の問題点が指摘できる．

問題点 1 あるレベルとなっている音は, それよりも下位のレベルも含まなくてはならない

- すなわち, 「和音構成音は調構成音でなくてはならない」ため, ダイアトニックコードや I_7 といった限定的なコードにしか対応できない．

*1 一般には単に 5 度圏と呼ばれるが, 後述の和音の 5 度圏と区別するため, このように呼ぶこととする

*2 同じ調号を用いる長調と短調の関係

*3 先述の調の 5 度圏と違い, 隣り合う音同士の関係は 5 度ではないため, この図を 5 度圏と呼ぶ妥当性にいささか疑問が残るが, ここでは文献 6), 7) の表記に沿っている

表 3 与えられたノン・ダイアトニックコードと各ダイアトニックコードの basicspace 距離
Table 3 Basicspace distance between given chord(non diatonic) and each diatonic chord

x	C	Dm	Em	F	G	Am	Bm
$\text{basicspace}(\text{IIIm}_7/\text{C}, x)$	9	1	10	4	8	6	8
$\text{basicspace}(\text{V}_7/\text{C}, x)$	8	7	5	9	1	10	5

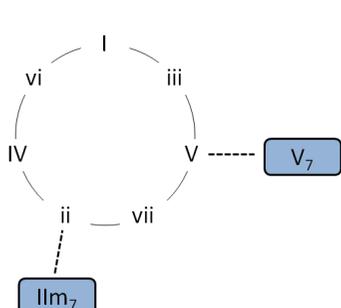


図 7 拡張された和音の 5 度圏
Fig.7 Extended chord circle

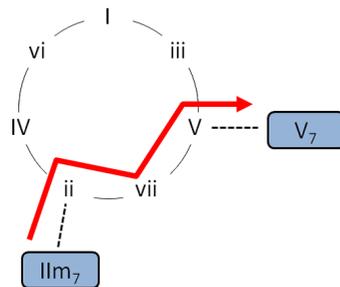


図 8 拡張された和音の 5 度圏での距離算出
Fig.8 Distance on extended chord circle

部分) と、与えられたコードとを連結し、図 7 のように和音の 5 度圏を拡張する。

拡張された和音の 5 度圏上で、与えられた和音間の距離を求め、 $\text{chord}(\text{IIIm}_7/\text{C}, \text{V}_7/\text{C}) = 4$ と出力する (図 8)

4. 提案手法による和音間距離計算の例

一例として、和声進行 $\text{I}/\text{C} \rightarrow \text{IV}_7/\text{C} \rightarrow \text{IIIm}/\text{C} \rightarrow \text{V}_7/\text{C} \rightarrow \text{I}/\text{C}$ (コードネームで表せば $\text{C} \rightarrow \text{A}_7 \rightarrow \text{Dm} \rightarrow \text{G}_7 \rightarrow \text{C}$ ⁹⁾ を示す。この進行の構造は、 VI_7 を除けば、クラシック和声理論でも典型的なカデンツとして扱われる和声進行 $\text{I} \rightarrow \text{IV} \rightarrow \text{V} \rightarrow \text{I}$ の IV を代理和音である IIIm に変えたものである。^{*1}

A_7 は調 C の上ではダイアトニックコードではないが、調 C の下屬調平行調 d においては V_m/d であり、続く Dm と合わせることで、下屬調平行調上の $\text{V}/\text{d} \rightarrow \text{I}/\text{d}$ という「導

*1 V に短 7 度の音が付加されて V_7 に変化しているが、機能的な差異はないとされる。また、 V_7 はクラシック音楽理論でも利用される

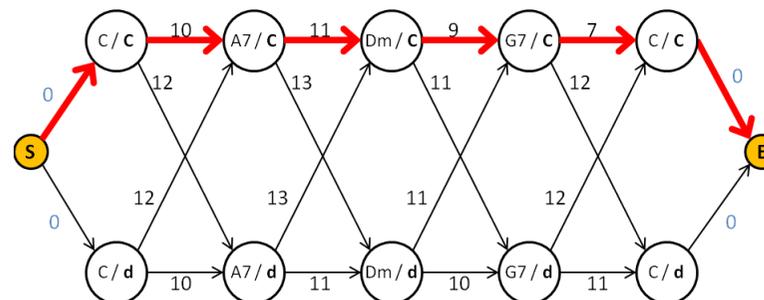


図 9 和声進行 $\text{C} \rightarrow \text{A}_7 \rightarrow \text{Dm} \rightarrow \text{G}_7 \rightarrow \text{C}$ を解析した例
Fig.9 Example analysis of chord progression $\text{C} \rightarrow \text{A}_7 \rightarrow \text{Dm} \rightarrow \text{G}_7 \rightarrow \text{C}$

音の解決」「ドミナント・モーション」と解釈できる。この平行調の関係を用いて、代理和音として登場した Dm に先だて、調 d の上で自然に進行する A_7 を挿入^{*2}したのが、今回例とした $\text{C} \rightarrow \text{A}_7 \rightarrow \text{Dm} \rightarrow \text{G}_7 \rightarrow \text{C}$ という進行である。

図 9 はこの和声進行が調 C から途中で平行調 d に部分的転調をしたとみなした方が良いのか否かを、提案手法を用いて計算したものである。調 C と d 上の $\text{C}, \text{A}_7, \text{Dm}, \text{G}_7, \text{C}$ をノードとして網目状のグラフを作り、提案手法によって各枝の距離を計算してダイクストラ法により最短路を求めた。便宜上、開始ノード (S) と目的地ノード (E) に繋がる枝の距離は 0 として計算している。

得られた最短路は図 9 上に太線によって示した。計算の結果、転調はせず、全て C の上で和音になっていると解釈された事がわかる。

5. 今後の課題

5.1 提案手法の妥当性評価

現在、提案手法により和音間距離を求めるプログラムを Ruby 言語を用いて構築中である。今後、ジャズ音楽理論で常用されるコードパターンについて詳細な分析を行い、提案手法の妥当性について評価する必要がある。

5.2 スケール理論の導入

提案手法の節で示した「和音とスケール」の関係について解説する。

*2 これをジャズ音楽理論で「セカンダリー・ドミナント」という

一般にクラシック音楽理論においてはまず調が定められ、その調の上に作られる主要三和音が音楽の和声進行を支配すると考えられている。

一方、ジャズ音楽理論においては、まず和音が定められ、その和音が、メロディを構成する音階（スケール）を決定する、という考え方が導入される（スケール理論）。そのスケールはコードネームと単純に一对一に対応するものではなく、三種の短音階（自然的短音階・和声的短音階・旋律的短音階）や教会旋法、ブルーススケール等が使い分けられる（図 10）後にこの考え方は調に代わる概念としてバロック時代の教会旋法に再注目したモード理論として発展し、ジャズ音楽理論の一部を担っている。

本研究で提案した「調構成音でない音が和音構成音となった場合は、一時的にその音を「調構成音」であるとみなす」という手法は、ジャズ音楽理論における「和音がスケールを決める」という考え方を簡易的に実現したものであるといえる。

ただし、この手法はあくまでも簡易的な方法でしかない。より正しくジャズ音楽理論を記述するためには、鳴っている和音から、それにふさわしい「スケールを推定する」処理が必要になると考えられ、今後その手法を検討する必要がある。同様の考え方で、民族音階（例えば日本の四七抜き音階など）を扱える可能性もある。

5.3 さらになる応用・発展

本研究はジャズ音楽理論に限らず、十二音技法などの近現代音楽理論や、また微分音程が用いられた楽曲の理論的解析に発展させる事が可能ではないかと考えている。今後さらになる応用を検討したい。

謝辞 本研究を進めるにあたり、プロベーシストである山口康広氏に音楽理論について多くのご教示を頂きました。感謝いたします。

参 考 文 献

- 1) 小山大宣：JAZZ THEORY WORKSHOP 初級編，東京楽譜出版社（1983）。
- 2) Lerdahl, F. and Jackendoff, R.: *A Generative Theory of Tonal Music*, MIT Press (1983).
- 3) 浜中雅俊，平田圭二，東条 敏：ATTA：exGTTM に基づく自動タイムスパン木獲得システム，情報処理学会研究報告。[音楽情報科学]， Vol.2005, No.82, pp.19-26 (2005-08-04)。
- 4) 矢澤櫻子，寺澤洋子，平田圭二， 東条敏，浜中雅俊：暗意実現モデルにおける基本類型を用いたメロディ構造分析，情報処理学会研究報告。[音楽情報科学]， Vol.2010, No.87 (2010-10-14)。
- 5) Lerdahl, F.: *Tonal Pitch Space*, Oxford Univ Pr (Sd) (2004)。

自然的短音階



和声的短音階



旋律的短音階(上行型)

(下行型)



ブルー・ノート・スケール



C イオニア旋法

C ドリア旋法



C フリギア旋法

C リディアン旋法



C ミクソリディアン旋法

C エオリア旋法



C ロクリアン旋法



図 10 ジャズ音楽理論で扱われるスケールの一例

Fig. 10 Example of musical scales

- 6) 坂本鐘期，東条 敏：Tonal Pitch Space を用いた楽曲の和声解析，情報処理学会研究報告， Vol.2009-MUS-80 (2009)。
- 7) 坂本鐘期：Tonal Pitch Space を用いた楽曲の和声解析，修士論文，北陸先端科学技術大学院大学 (2010)。
- 8) 小方厚：音律と音階の科学，講談社ブルーバックス (2007)。
- 9) 藤井英一：基本の基本シリーズコードプロGRESSION，ヤマハミュージックメディア (2006)。