

音楽理論暗意実現モデルに基づく
楽曲解析に関する研究

2016年 3月

矢澤 櫻子

音楽理論暗意実現モデルに基づく
楽曲解析に関する研究

矢澤 櫻子

システム情報工学研究科
筑波大学

2016年 3月

目次

第1章 序論	7
第2章 音楽理論とその計算機実装	10
2.1 音楽理論とは	10
2.2 音楽理論の歴史	11
2.2.1 古代ギリシャ	11
2.2.2 中世	12
2.2.3 ルネサンス	12
2.2.4 バロック	13
2.2.5 古典派	13
2.2.6 ロマン派	14
2.2.7 近代	15
2.3 現代音楽理論	16
2.3.1 12音技法	16
2.3.2 アルゴリズム音楽	16
2.3.3 ピッチクラスセット理論	17
2.3.4 Generative Theory of Tonal Music	17
2.3.5 Implication-Realization Model	18
2.4 音楽理論の計算機実装	19
第3章 メロディへの暗意実現モデルのシンボル付与	24
3.1 暗意実現モデルとは	24
3.1.1 ブラケット	25
3.1.2 音程方向	25
3.1.3 音程進行	26
3.1.4 基本類型	27
3.2 暗意実現モデルに基づくメロディ解析	32

3.2.1	システムの計算機実装における問題点	32
3.2.2	解析手順	32
3.3	暗意実現モデルの拡張	38
3.4	拡張暗意実現モデルのシンボルパーサー	39
第4章	暗意実現モデルに基づく楽曲間類似度	45
4.1	楽曲間類似度に関する先行研究	45
4.2	提案手法	46
4.3	評価実験	49
4.4	評価結果・考察	50
第5章	暗意実現モデルに基づくメロディ生成	57
5.1	メロディ生成に関する先行研究	57
5.2	提案手法	58
5.2.1	確率遷移モデル部	58
5.2.2	音列生成部	60
5.3	実験	61
5.4	結果・考察	62
第6章	結論	65
6.1	考察・まとめ	65
6.2	今後の課題・展望	66
	謝辞	68
	付録A 音楽史年表	69
	付録B 暗意実現モデルにおける連鎖構造	102
	付録C レジストラルリターン	109
	付録D retroprospective	110
	付録E 暗意実現モデルの新シンボル	112

目次

2.1	GTTMに基づく楽曲解析例	18
2.2	音楽理論の計算機実装による展望	19
2.3	楽曲に現れる跳躍進行	20
2.4	楽曲に現れる旋律の頂点	21
2.5	楽曲に現れる暗意実現モデルのシンボル例	21
2.6	暗意実現モデルでの分析と跳躍進行の現れる部分	22
3.1	暗意実現モデル提唱者 Eugene Narmour	24
3.2	暗意実現モデルに基づく分析例	25
3.3	音程 A と音程 B	26
3.4	音程方向の否定	26
3.5	音程方向の変化なし	26
3.6	シンボル P	28
3.7	シンボル IP	28
3.8	シンボル VP	29
3.9	シンボル D	29
3.10	シンボル ID	29
3.11	シンボル R	30
3.12	シンボル IR	30
3.13	シンボル VR	30
3.14	dyad の例	31
3.15	monad の例	31
3.16	シンボル付与対象となる 3 音の抽出の際の場合分け	33
3.17	暗意実現モデルによる解析手順	35
3.18	シンボル拡張例	38
3.19	拡張シンボル一覧	39
3.20	拡張暗意実現モデルのシンボルパーサーの概要	41

4.1	類似度計算例 (1)	47
4.2	類似度計算例 (2)	48
4.3	拡張シンボル実験結果 (類似度 0.95 から 1.00)	51
4.4	オリジナルシンボル実験結果 (類似度 0.95 から 1.00)	51
4.5	拡張シンボル実験結果 (類似度 0.65 から 0.95)	52
4.6	オリジナルシンボル実験結果 (類似度 0.65 から 0.95)	52
4.7	拡張シンボル実験結果 (類似度 0.30 から 0.65)	53
4.8	オリジナルシンボル実験結果 (類似度 0.30 から 0.65)	53
4.9	拡張シンボル実験結果 (類似度 0 から 0.30)	54
4.10	オリジナルシンボル実験結果 (類似度 0 から 0.30)	54
4.11	類似度上位比較結果	55
4.12	類似度下位比較結果	55
5.1	メロディ生成システム	59
5.2	確率遷移モデル	60
5.3	メロディ生成の評価結果 (1)	63
5.4	メロディ生成の評価結果 (2)	63
5.5	メロディ生成の評価結果 (3)	63
5.6	メロディ生成の評価結果 (合計)	64
B.1	連鎖構造分析例	103
B.2	連鎖構造と基本類型の関係	104
B.3	連鎖構造分析手順	106
B.4	連鎖構造抽出上位例	107
C.1	レジストラルリターンの例	109
D.1	(P) の例	110
D.2	(R) の例	110
D.3	(ID) の例	111
D.4	(IR) の例	111
D.5	(VP) の例	111
D.6	(VR) の例	111
E.1	分析のための定義	112

E.2 新シンボルの一覧	113
------------------------	-----

表 目 次

3.1 シンボル一覧	28
4.1 類似度計算例 (3) (比較)	48
B.1 定義された連鎖構造の一覧	105
B.2 連鎖構造抽出確率	108

第1章 序論

人間は音楽を聴いたときに、どの音楽が似ているかを判断したり、旋律の抑揚などの楽曲の構造を即座に理解することができる。また、新しいメロディを創造(作曲)したり、既にあるメロディを基にして編曲をすることもできる。しかしこのような人間の能力を計算機に持たせることは現在でも難しい課題である。

人間が作曲や編曲などのために既存の音楽の構造を分析・理論化する試みは、音楽理論と銘打たれて古くから行われている。例えば多旋律音楽を正確に記すために音価を厳格に定める定量記譜法が中世に成立したり、18世紀には小節単位で序奏・主題・展開・再現と旋律を区切り、主旋律と伴奏を区別して構築するソナタ形式が確立している。現代ではGTTM (Generative Theory of Tonal Music) と呼ばれる音楽理論が提唱されている。GTTMは人間の認知プロセスに基づいてルールベースで楽曲構造分析を行い、分析結果はメロディ内の音の関係を木構造状に表現することのできる音楽理論である。

音楽の構造を分析することのできる音楽理論であるGTTMを計算機上に実装することで、楽曲の類似度を算出したり、2つの旋律を融合するシステムが提案されている。しかし、GTTMを計算機実装するアプローチでは、音楽の抑揚などの人が感じる特徴を表現することは容易ではない。そのため、人間が楽曲の盛り上がりであると感じる個所を計算機に同定させるといったことを実現することは難しい。また、ある楽曲に対して、人間が似ていると感じる別の楽曲を探すことや、ある楽曲の雰囲気を保った別の新しい楽曲を創造する、といったことを計算機上で実現することも容易ではない。

この問題に対して、本論文では、現在までに計算機実装が検討されていない音楽理論として暗意実現モデル(英語名: Implication-Realization Model) と呼ばれる音楽理論に着目する。暗意実現モデルとはEugene Namourによって提唱された音楽理論で、音楽を構成する音高、音程、リズムや休符等の情報を用いて楽曲をシンボル列へと抽象化して表現する音楽理論である。暗意実現モデルは人間があるメロディを聴いたときに意識的もしくは無意識的に後続のメロディを予測しているという仮定に基づいて構築されている。そのため、人が感覚的に捉えているメロディの構造を表現しやすいと考えられる。

暗意実現モデルが持つ以上の特徴をふまえて、本論文では、まず、暗意実現モデルの計算機実装を実現する。そして、計算機上に実装された暗意実現モデルに基づいて、メロディ構造を分析する手法、楽曲間の類似度を算出する手法、およ

び、入力楽曲と類似するメロディを生成する手法の提案を行う。

暗意実現モデルを計算機実装するにあたり、本論文では、まず、暗意実現モデルの定義内の曖昧な部分を解消し理論に基づく分析の手順を実現した。具体的には、暗意実現モデルにおけるオリジナルの分析手順に対して、曖昧さを解消するための閾値を導入することによって、形式的実行可能な分析手順を実現した。特に、本論文では、オリジナルの暗意実現モデルに対して、楽曲の分析粒度を細分化する拡張暗意実現モデルを導入し、この拡張モデルに基づいて楽曲分析を行う方式を実現した。次に、楽曲に対して、暗意実現モデルに基づく分析を計算機上で行った結果の記号列に対して、楽曲間の類似度を測定する方式を確立した。楽曲間の類似度の測定においては、暗意実現モデルに基づいて記号列によって表現された楽曲に対して、記号列の n-gram 類似度を測定する方式を採用し、この方式の有効性を実証した。特に、オリジナルの暗意実現モデルに基づく分析結果と比較して、拡張暗意実現モデルに基づく分析結果によって、人間が感じる楽曲間類似度により近い類似度尺度を計算機上で実現することに成功した。さらに、入力楽曲と類似するメロディを生成する手法においては、暗意実現モデルに基づいて入力楽曲を分析した後、その分析結果によって学習された確率モデルに基づき、入力楽曲中で頻出するメロディを生成する方式を実現し、その有効性を実証した。

本論文は本章も含めて6章から構成される。

第2章では、音楽とともに発展をしてきた音楽理論そのものについて述べる。音楽理論とは音楽の構造を理論立てて説明するものである。音楽を知る上で音楽理論というのは切っても切れない関係にある。音楽理論は音楽そのものと共に発展したと言える。そしてその音楽理論の発展は、人間の文化史の発展とも深く関わっている。計算機上で音楽を理解する仕組みを構築するという目的をふまえて、本論文では、音楽理論の発展の歴史を概観する。具体的には、第2章では、古代ギリシャから2000年代の現代音楽理論までを概観する。

第3章では、音楽理論「暗意実現モデル」について、および、暗意実現モデルの計算機実装について述べる。暗意実現モデルとは「暗意-実現」の考え方をメロディに応用したものである。Eugene Narmourによって提唱され、知覚理解に従い、人間がメロディをどのように聴いているかを体系化することを目的としている。暗意実現モデルにおいては、音同士の連鎖関係をとらえてメロディを記述する。この連鎖関係の表現方式においては、人間があるメロディを聴いたときに意識的もしくは無意識的に後続メロディを予測しながら聴いているという仮定が含まれている。

第4章では、暗意実現モデルに基づく楽曲間類似度測定システムについて述べる。このシステムにおいては、楽曲をシンボル列へ抽象化する際に新たな閾値や定義を導入することによって、暗意実現モデルに対して、楽曲間類似度測定の観点をふまえた楽曲の抽象化を実現した。

従来より、楽曲同士の類似度を計算する方式としては、様々なものが提案されて

いる。例えば、楽曲をスペクトル解析し、その結果に対して距離ベクトルを定義する方法や、離散フーリエ変換を行った後フレーズのパターンを同定する手法等が提案されている。これらに対して、本論文で提案する暗意実現モデルに基づく類似度計算手法の長所として、暗意実現モデルにおいては、人間の音楽認知に基づく特徴量を考慮した楽曲分析を行うため、楽曲間の類似度測定においても、人間の音楽認知に基づく特徴量が反映される点が挙げられる。特に、人間の音楽認知に基づく特徴量の代表例として、楽曲の展開の仕方を表現したものが挙げられる。また、その他の長所として、スペクトル解析や離散フーリエ変換といった信号処理技術を用いる方式と比較して、音楽的な観点において抽象化された特徴を保持した楽曲間類似度計算が容易に実現できる点が挙げられる。

第5章では、暗意実現モデルに基づくメロディ生成システムについて述べる。従来研究におけるメロディ生成手法としては、音高の遷移確率を学習することによって、ユーザーが入力したメロディに続く次の音高を決定する手法や、進化論的計算に基づき既存のメロディから逸脱を含んだメロディを生成する手法が提案されている。これらの先行手法においては、メロディを抽象化せずにモデル化をしているため、学習データ中の出現頻度が小さい音列が出力されない点が欠点であった。一方、本論文で提案する手法においては、音楽理論暗意実現モデルに基づきメロディを抽象化することにより、学習データ中の出現頻度が小さい音列を出力できる点が大きな長所である。具体的には、暗意実現モデルにおいて定義された基本類型を用いて音同士の間隔を抽象化することにより、学習データ中の出現頻度が小さい音列を出力することが実現可能となる。

第6章では、結論、考察および今後の課題について述べる。

第2章 音楽理論とその計算機実装

2.1 音楽理論とは

音楽理論とは音楽の構造を理論立てて説明するものである。音楽理論という言葉を使辞書などで調べてみると以下のような記述が見受けられる。

- 音楽理論書において、演奏家が最も大切にすべきことと考えられていたのが、この「音楽を正しく読む」ことである [7].
- 音楽の諸要素に関する実践的経験を理論化したもの [15].
- 音楽を構成する諸要素の経験的・実践的認識を理論的に組織したもの。内容としては音楽通論、リズム論、和声学、対位法、管弦楽法、楽式論、ソルフェージュ、音声学などを含む [16].
- 作曲に関係する諸理論、演奏に関係する諸理論、音楽鑑賞に関係する諸理論は、狭い意味での音楽理論 (或いは実践的音楽理論) である。いわゆる啓蒙的な音楽入門書 (音楽通論、楽典、音楽概論、和声学或いは和声法、対位法、楽式論或いは形式学、管弦楽法) がこれに当たる [16].

このように、音楽を芸術的歴史的観点から解釈を与え分析したり、工学的観点から音楽を構成する要素を分析するために用いられる理論を音楽理論と総称する。音楽理論は音楽の持つ意図を解釈したり、適切に音楽を理解する上で無くてならない重要な意味を持つ。

音楽を分析する音楽理論を、もし計算機が音楽理論を扱えるようになったら、計算機上で音楽を音楽理論に基づいて分析することができたとしたらそれは人間と計算機が同じように音楽を扱えるようになる、その第一歩になるのではないかと考えられる。

2.2 音楽理論の歴史

音楽理論は音楽そのものと共に発展したと言える。その歴史は古く、紀元前まで遡る。詳しくは付録 A の年表を参照されたい。

音楽の起源は昨今に至るまで多々論じられている。19 世紀以前は宗教的側面から論じられ、19 世紀後半に言論起源説、感情起源説、恋愛起源説、魔術起源説、労働起源説、信号起源説、リズム衝動起源説と論じられている。しかし、これらの起源説には科学的根拠はなく思弁的考察にとどまっている。

人間と音楽の関わりと論じるときに「音楽理論」の存在は切り離すことができない。音楽の歴史は有史以前まで遡り、世界のどの地域・文化にも音楽が存在した。また、音楽を楽しむだけでなく、音楽を通して人間はコミュニケーションを行うことも確認されている。こう文化民族では、音楽の理論構造を意識的に把握し、音楽理論として構築しようとする努力がなされてきた。こういった意味で特に優れていたのは西洋である。西洋音楽に着目し、音楽理論の歴史を紐解く [8, 9]。

2.2.1 古代ギリシャ

西洋音楽を特徴づけているものの起源は古代ギリシャにある。古代ギリシャでは叙情詩や劇、舞といった文化が生まれた。劇文化の発達に伴い、劇音楽も発達した。劇音楽 (特に合唱隊) は劇を演じる俳優に重きを置かれるようになり、段々と軽視されるようになっていったが、音楽に対して思想的・理論考察がさかに行われるようになっていった。当時、ピュタゴラスとその弟子たちは宇宙の秩序や調和を一種の音楽 (天球の音楽) とみなし研究を行っていた。これは音楽をはじめとした事物は全て数 (数式) が内在し、そういった数は宇宙全体の構造原理にまで拡張することができるという考えである。具体的にはオクターブの概念、協和音を作り出す弦の長さの比といった考察を行っている。

ピュタゴラス派は数学的側面を持つのに対し、同時期に音楽を理論的に考察したアリストテレス・アリストクセノスはもう少し現実的な、芸術的観点から行っている。具体的にはどのような音楽が人々を熱狂させるのか、演者と聴き手の双方に音楽的教育が必要であるというものである。ピュタゴラス派の数的宇宙論的思想と、アリストテレス・アリストクセノスの経験的感覚的思想という音楽理論の基本概念が生まれ、これらが後の西洋音楽史、音楽理論の中に息づいていく。

2.2.2 中世

中世では聖書が生まれ礼拝の中で聖書を読むにあたり、文字が読めない人のために旋律にすることで聖書を読めるようにした。これが聖歌の起源当時の音楽を楽譜のような形で書き記した書物は皆無である。これは、当時音楽は口承で伝えられていたからである。聖書を旋律として捉えたときに、よりよく歌い伝えるためにどうすれば良いかという研究がなされた。研究で誕生したのが聖歌であり、それと共に完全5度や8度といった和音の理論、ゆっくり歌うなどのリズムの概念も誕生した。旋律に合わせて不協和音にならないように「旋律と和音を合わせる」和声学の基礎と言える理論が生まれた。

これらを後世に伝えるための記譜法の基礎も誕生した。この時期に歌われていたのがグレゴリオ聖歌で、グレゴリオ聖歌に他の旋律を重ねて歌うということが始まった。ここで「多旋律音楽」の概念が誕生した。多旋律音楽を正確に記すために定量記譜法(音価を厳格に定める)も成立した。

2.2.3 ルネサンス

聖歌、特にグレゴリオ聖歌後、教会(宗教、教会旋法)にとらわれないで人間の感情を歌おうとする動きが強まった。人々の自由な表現からルネッサンス音楽が始まった。音楽的側面、芸術的側面を含め芸術革命と呼ばれている。この時期、声楽と器楽を分離してより合理的に音楽を把握しようとした。ルターはドイツ語によるコラールを歌った。これは民謡風の単純な旋律で後世され、ルネッサンス以前の音楽とは一線を画すものでドイツを中心に国民に浸透していった。ルネッサンス音楽は従来の教会旋法を捨て、短調長調という2種類の音階生み、その2種類の音階において調性を音楽に持たせるという、より和声学に近づいた理論が確立されていた。

ルネッサンス期、音楽に関してはブルゴーニュ地方やフランドル地方が中心であった。ブルゴーニュ楽派のギョーム・デュファイによって開拓され、フランドル地方を中心に活躍したルネサンス中後期の音楽家たちであるフランドル楽派によって発展した。

フランドル楽派にはカノンの作曲家であるヨハネス・オケゲム、ミサ曲やモテットなどを作曲したジョスカン・デ・プレが存在し、循環ミサ曲、モテットや世俗曲が作られた。ルネサンス音楽後期には、フランドル楽派の最後となるオルランド・ディ・ラッソが出現する。

この時期に宗教改革が起こる。マルチン・ルターは、墮落した教会に対して「聖職者たるもの、信者に対して平等な信仰を与えよ」と異を唱えて決起し、ラテン語で書かれていた聖書を母国語のドイツ語に翻訳することで、当時聖職者しか歌うことが許されなかった聖歌の一般開放を行った。

また、音楽家でもあったルターは、ドイツ・コラールと呼ばれる賛美歌を多数作曲した。ブルゴーニュ楽派によって開拓されてフランドル楽派へと移行拡大したルネサンス音楽は、合唱音楽を中心に声楽音楽が栄え、人々の生活と深くかわりながら発展した。

2.2.4 バロック

ルネッサンル後、バロック音楽が誕生する。バロックとは歪んだ真珠を意味し、その時代に作られたヴェルサイユ宮殿など絢爛豪華な建築物や専制君主による絶対主義を揶揄して名付けられている。バロック音楽はルネッサンス期に比べ歪んだ印象を与えるものが多い。この時代にモノディ(伴奏つき単旋律音楽)、通奏低音(和音を数字で表す、現代のコードにつながる)、ソナタや協奏曲といった音楽の「型」とも言える理論がこの時代に生まれつつあった。長いバロック音楽の時代の中でイギリスではバッハやヘンデルが生まれ、フランスではヴェルサイユ学派(ルイ14世の時代に生まれた学派。リュリがフランスオペラを確立)、イタリアではナポリ派(イタリア歌劇に関わった作曲家の派閥、急緩急のイタリア風序曲の形式を生み出す)などの学派が生まれる。

バロック期に活躍した作曲家ゲオルク・フリードリッヒ・ヘンデル、ヨハン・セバスティアン・バッハ、ゲオルク・フィリップ・テレマン、ジャン＝フィリップ・ラモー、フランソワ・クープラン、アントニオ・ヴィヴァルディに代表される西洋音楽をバロック音楽と呼ぶ。

この時代の音楽の特徴は、王侯や貴族の意向から作曲を行っているため、大規模で豪華絢爛、感情の起伏も激しく劇的な曲が多い。ルネッサンス期は声楽音楽が栄えたが、バロック時代には、オペラなどの歌劇音楽が誕生し、ヴァイオリンやピアノなどの器楽の進歩により本格的な器楽音楽が作られた。また、このバロック期には、名器として名高いストラディヴァリのヴァイオリンが生み出され、ピアノが発明された。

2.2.5 古典派

バロック音楽後、古典派音楽が台頭。古典派音楽でソナタ形式及び和声音楽論が確立された。ソナタ形式では小節単位で序奏・主題・展開・再現と旋律が区切られており、さらに主旋律と伴奏を区別することができる。主旋律と伴奏を区別して組み立てることで音楽を作る理論を和声音楽という(バッハ、ハイドン、モーツァルト、ベートーベンが該当する)。

古典派音楽は、18世紀後半を中心とする、フランツ・ヨーゼフ・ハイドン、ヴォルフガング・アマデウス・モーツァルト、ルートヴィヒ・ヴァン・ベートーヴェン、

フランツ・ペーター・シューベルトに代表される音楽家がウィーンで活躍した事により、ウィーン古典派とも呼ばれている。

バロック時代から古典派時代に移るこの時期は、音楽家の世代交代が如実に見られ、多くのバロック音楽家たちは、時代遅れと評価されるようになっていた。古典音楽ではバロック音楽の特徴であった通奏低音がなくなり、バロック以前の音楽だったポリフォニー(多声音楽)からホモフォニー(和声音楽)に変わった。さらに、この時代の音楽は古典派以降の交響曲や管弦楽曲の基礎を成し、多くの交響曲や協奏曲などの作品が生み出された。

古典派音楽の業績として特筆すべきは、調性音楽の代表的な楽式であるソナタ形式の確立である。また、ソナタ曲の一種である交響曲(シンフォニー)や協奏曲(コンチェルト)、二重奏から五重奏の室内楽曲なども古典派時代に多数作曲されている。

2.2.6 ロマン派

古典派音楽後、ロマン派音楽が台頭する。ロマン派音楽の特徴は音楽の音楽以外のものとの融合で、ポエムと音楽の融合した歌曲、文学・美術・音楽の三つが融合した歌劇が栄えた。音楽外のことを標題とした標題音楽(情景や心象を書き起こす音楽)も生まれた。ロマン派音楽では複雑な拍節構造、転調の自由が音楽に許されたことも特筆すべきである。

ロマン派後、市民社会も落ち着いてきた頃(フランス革命)に新古典派、後期ロマン派が台頭。新古典派の音楽はロマン派とは違い静観的な古典形式を重んじるものである。後期ロマン派は素朴で退廃的な音楽を好んだ。

ロマン派音楽では、単独で自由に表現できるピアノが好まれ、ショパンやシューマン、リストに代表されるピアノ作品が多く作れた。さらに、交響曲は自己を表現できるとして、ベルリオーズやメンデルスゾーン他多くの作曲家が好んで作曲した。自己思想を表現するものとしてオペラも多数作られ、ウェーバーの「魔弾の射手」によってドイツオペラが確立する。

ロマン派の音楽家たちは、新しい音楽を開拓しつつ、ポリフォニー技法を復活させるといった従来の伝統的な音楽語法を復活させて作曲に活かし、新旧の調和の問題を解決しようと試みた。ブラームス、ブルックナー、マーラーなどは、ロマン派時代に古典派音楽の技法を採用した曲を作ったので新古典派と呼ばれた。

前期ロマン派を代表する作曲家としてルートヴィヒ・ヴァン・ベートーヴェン、カール・マリア・フォン・ウェーバー、フランツ・ペーター・シューベルト、ルイ・エクトル・ベルリオーズ、フェリックス・メンデルスゾーン、フレデリック・フランソワ・ショパン、ロベルト・シューマンらが挙げられる。後期ロマン派を代表する作曲家としてフランツ・リスト、リヒャルト・ワーグナー、アントン・ブルツ

クナー、ヨハン・シュトラウス2世、ヨハネス・ブラームス、グスタフ・マーラーらが挙げられる。

2.2.7 近代

ロマン派・新古典派・後期ロマン派を経て近代音楽へと移る。近代音楽では印象主義・表現主義が基盤となっている。印象主義とは主観を排して客観的に雰囲気を描こうとするものである。音楽における印象主義では六全音音階(1オクターブを6つの音階で表現)、機能理論(安定-終始を感じさせる和音, 不安定-途中を感じさせる和音の進行)といった音楽理論が誕生した。表現主義とは印象主義とは逆に主観と潜在意識を表出し描こうとするものである。表現主義では無調音楽(主音を持たない音楽)や12音技法(オクターブ内を12の音階で表現し, すべての音を平等に扱う)という理論が誕生した。

近代音楽以降を現代音楽と呼ぶ。現代の作曲においても音楽史の中で生まれた様々な型や理論が応用されている。コード進行の理論などは古くは多旋律音楽から様々な型や理論が研究されて和声学をベースに作られている。循環コードの概念も機能理論が発展し生まれたと言える。

2.3 現代音楽理論

近代以降にも音楽理論は様々に発展を遂げている。西洋音楽において発展した調性音楽から外れ、無調の音楽も生まれ受け入れられていった。その中でも代表的なものを紹介する [11, 67, 68].

2.3.1 12音技法

「12音技法」はオーストリア人のシェーンベルグによって提唱された。オクターブに含まれる12個の音を均等に扱うことで組織化する技法である。1つの音の繰り返しもなく12個の音を均等に使うことで基本となる音列(セリー、つまりメロディーであったり主題であるもの)を作り出す。セリーとは音列を指す。

12音技法における12音列に見られる。ピッチ、音価、強度、音色といった音楽における要素を組織的、論理的に扱うために作られた。これら音楽的な音響事象全てに適用したのがトータルセリエリズムと呼ばれる。これは今までは主音があって、その主音が存在することで調性を成していた音楽に対して、主音の概念を無くすことで無調とした。12音技法ではセリーを主題の代わりとして曲を展開する。

セリーの形を壊すことなく、あるセリーを基本形として基本形を逆行形、反行形、逆反行形とセリーを変形することで曲を作り出す。逆行形はセリーの始まりと終わりを反転し逆側から使用する。反行形はセリーをまるで鏡に映したような形にし使用する。逆反行形は反行形を逆行させたものである。厳密に作られた12音技法の作品のセリーの数は同じとなる。

12音技法によって創作された音楽は12音音楽と呼ばれ、新ウィーン学派の1920年以降の無調作品を指すことが多い。

2.3.2 アルゴリズム音楽

アルゴリズム音楽とは複雑な数学的機構に基づく作曲法である。計算機などの演算も考慮に入れられている。だが、必ずしも計算機に頼ることを前提とはされていないが、ある形式を持つ音列を作りそれを元に音楽を作り出す(カノンを作る、など)ことはある種アルゴリズムでこなすことができると考えられる。

対位法のルールにしたがった楽曲の声部進行を記譜することは、アルゴリズム的な作業によって生み出されると言っても過言ではない。これらルールを現代ではより理論的に、もしくは計算機上で扱えるようにした。アルゴリズム音楽の発展により、音楽に関連性があるとも思えないアルゴリズムでも、インスピレーションを得られる元として作曲家に利用されている。

2.3.3 ピッチクラスセット理論

ピッチクラスセット理論はアレン・フォートによって提唱された理論である [4]. 彼は音楽理論を歴史的美学的な観点からなるべく切り離し、できるだけ楽譜に書かれていることを主体とした客観的な分析を目指した. 音高に整数を割り当てることで、無調音楽における新たな音の組み合わせをセットとして分析できるようにした.

ピッチクラスとは音を数字に変換したもので機械的な変換が可能である. 数値で表されているので、音の移動幅が明確にわかる. ピッチクラスセットとは和音を表している. 例えば数字が三つ並んでいたとしたら、それは3音による和音を表現していることとなる. これらピッチクラスセットの集合を扱う理論である.

2.3.4 Generative Theory of Tonal Music

GTTM(Generative Theory of Tonal Music) は Fred Lerdahl と Ray Jackendoff によって提唱された人間の音楽の認知プロセスに基づいたルールベースで楽曲構造分析を行える音楽理論である [19].

GTTM の枠組みの中で三つの理論が定義されており、これらを組み合わせることでメロディの構造を抽出する. 三つの理論というのはグルーピング構造分析、拍節構造分析、タイムスパン簡約である. グルーピング構造分析はメロディを区切りの良い場所で分割する分析である. 分割は音高、音価、音の強弱が大きく変化する部分で行われる. グルーピング構造は階層的な構造となっている. 拍節構造分析はメロディの拍、小節内の強拍・弱拍の変化する部分を抽出する分析である.

タイムスパン簡約とは拍節構造とグルーピング構造の二つを組み合わせ、メロディにおける重要な音を選出す分析である. グルーピング構造分析によって得られたグループ全てにおいてボトムアップ的に重要な音が選ばれる. 下層のグループの音を secondary とし、上層のグループの音を primary として枝を定義し primary の枝に secondary の枝がぶらさがるようにして木を作る. このように全てのグルーピングに対して行うことにより最終的にメロディ全体を包括するタイムスパンツリーを作る. タイムスパンツリーを作る上で重要な音というのは見かけ上、そのグループ内の音の音価全てと同等の音価を持つとされている. それは全ての階層における重要な音も同様である. GTTM に基づいた分析例を図 2.1 に示す. GTTM ではこのように音楽を木構造のようにして階層的に表現することができる.

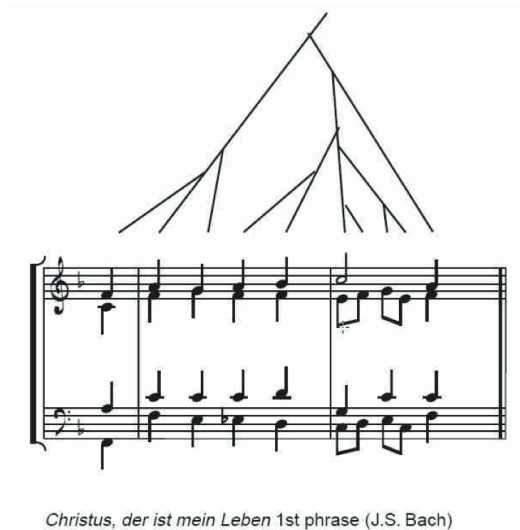


図 2.1: GTTM に基づく楽曲解析例

2.3.5 Implication-Realization Model

暗意実現モデルとは、「暗意-実現」の考え方をメロディに応用したものである [1, 2]. Eugene Narmour によって提唱され、人間がメロディを聴く際の知覚理解に従いメロディを体系化することを目的としている。人間の知覚のように曖昧な定義を含むとともに、音同士の連鎖関係を捉えることによりメロディを記述する。この連鎖関係を用いたメロディの捉え方においては、人間があるメロディを聴いたときに意識的もしくは無意識的に後続メロディを予測しながら聴いているという仮説が反映されている。この音同士の連鎖関係を解析・抽出することができれば、メロディ予測・編曲等への応用が期待できる。また、音の組み合わせの出現分布や頻度を分析することによって、作曲者の個性、年代の判定への応用も期待できる。暗意実現モデルに関しては、第 3 章で詳しく述べる。

2.4 音楽理論の計算機実装

人間は音楽を聴いたときに、どの音楽が似ているかを判断したり、旋律の抑揚などの楽曲の構造を即座に理解することができる。また、似ている曲を思い出したり、新たな音楽の創造(作曲)、既にあるメロディを基にして編曲をすることもできる。しかしこのような人間の能力を計算機に持たせることは現在でも難しい基本的な課題である。

新たな音楽を創造する(作曲)際に作曲家は、既存の楽曲の分析を行う。既存楽曲の分析は、新たな楽曲を作る時に役立つためである。こういった人々でなくても、作曲をしたい人は存在する。しかしたいていは、楽曲分析を行うことは困難である。楽曲分析には音楽的知識が必要となる。自動分析器があれば、そのような人を支援することができるであろう。さらに、それをさらに推し進めたら、似た構造のフレーズやメロディを検索してくることが可能となる。そうすることでフレーズやメロディを再利用して「商業音楽」の生産性向上に役立てることも可能となると考えられる。

図 2.2 は音楽理論を計算機実装した場合に、計算機がどのような恩恵をもたらすことができるかの示唆を示した図である。専門的に音楽学を学んだことのある人のみが用いることのできる音楽的知識を全て計算機に実装すると、専門家以外でも音楽的知識を活用することができるようになると考えられる。

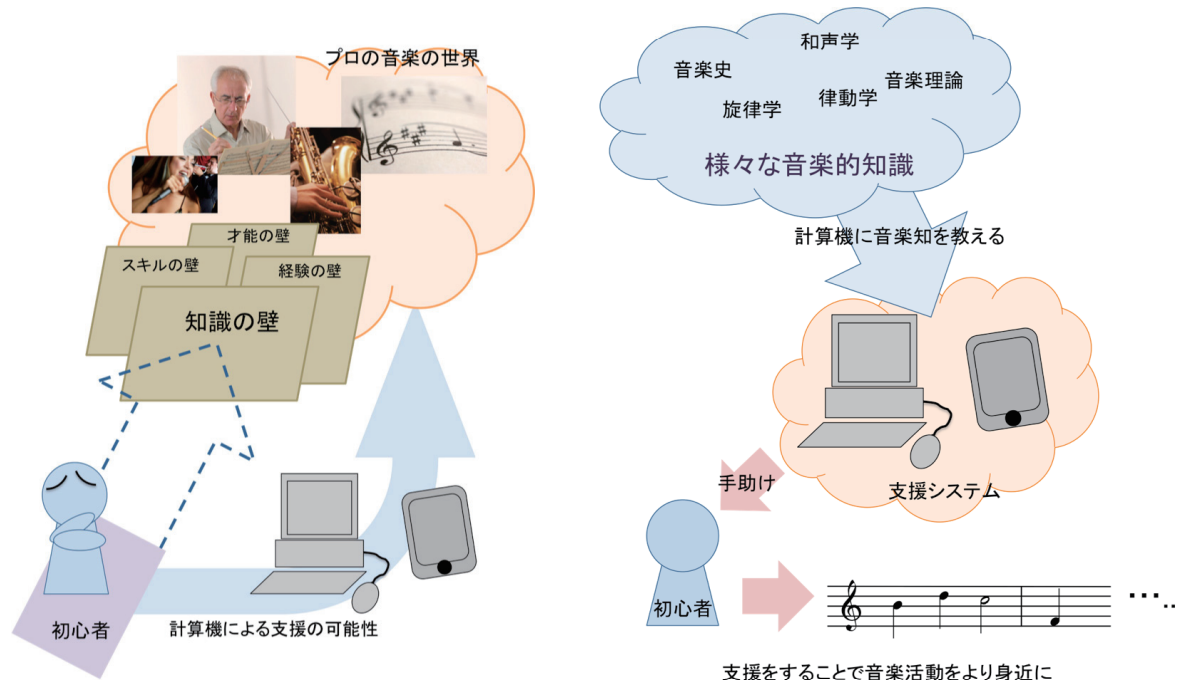


図 2.2: 音楽理論の計算機実装による展望

具体的には、作編曲家は音楽理論を用いて既存の楽曲を分析し、楽曲制作にその分析結果を応用している。例えば、音楽理論を学んだことのない人々が、楽曲が盛り上がっていると感じる部分（「跳躍進行が見られる」、「旋律の頂点はその飛躍進行の中に存在する」、「跳躍は8度以内に収まっている」等 [13, 14]）に対して、専門家と同等の分析をするのは困難である。一方、暗意実現モデルに基づいて、楽曲中に現れる特徴を抽出すると、楽曲中の盛り上がりは「R」に分類される。「R」に分類される音列を配置すると楽曲は盛り上がる傾向があるということを踏まえると、どのように音列を配置したら盛り上がるかを計算機が示すことが可能となり、専門家への手助けであったり音楽を学んでいる人への指針ともなる。

以上の分析をふまえて、既存の音楽理論での分析と暗意実現モデルでの分析を照らし合わせた例を図 2.3, 図 2.4, 図 2.5, および, 図 2.6 に示す。使用楽曲としては、sexy zone の 2011 年発売の楽曲「sexy zone」を用いる。本曲の作曲は馬飼野康二、編曲は CHOKKAKU, 作詞は Satomi となっている。楽曲は JASRAC の権利を侵害しない範囲で利用する [59, 60, 61]。

図 2.3 は楽曲「sexy zone」の一節中に現れる跳躍進行の箇所を示している。図 2.4 は図 2.3 と同じ一節の部分で、楽曲に現れる旋律の頂点の位置を示している。これらと同様の箇所を暗意実現モデルに基づいて分析した例を図 2.5 に示す。そして図 2.6 では、暗意実現モデルに基づいて分析した結果を、跳躍進行の現れる箇所と重ねて示している。図 2.6 より、暗意実現モデルで「R」と表現される部分が跳躍進行が現れる部分と多く重なっていることがわかる。

The image shows a musical score for the song "sexy zone" in G major. It consists of five staves of music with lyrics in Japanese. Chord progressions are written above the notes. Green boxes highlight specific intervals between notes, labeled as 6度 (6th), 5度 (5th), and 4度 (4th). The lyrics are: "Yeah Yeah", "まわって 195ヶ国", "夢を乗せながら", "裏側 Wild なるよ", "時代を創ろう Sexy Zone".

図 2.3: 楽曲に現れる跳躍進行

図 2.4: 楽曲に現れる旋律の頂点

図 2.5: 楽曲に現れる暗意実現モデルのシンボル例

50 A on B B on C# C# F#m IR R C# on F# VR
 Yeah Yeah 地球はいつでも
 54 D P dyad B on C# P Bm7 IR R IP F#m IP
 まわっている 195 ケ国の
 58 Bm7 P ID C# sus4 C# F#m IR R C# on F# VR
 夢を乗せながら Mild も地球の
 62 D P dyad Bm7 R F#m IP
 裏側じゃ Wild になるよ
 66 dyad C#m7 D E Fdim P F#m D
 時代を創ろう Sexy Zone

図 2.6: 暗意実現モデルでの分析と跳躍進行の現れる部分

そもそも音楽理論の計算機実装，計算機上で音楽理論を扱う研究はまだほとんど行われていない．計算論的音楽理論である GTTM (Generative Theory of Tonal Music) が提唱されたのが 1983 年で，現在に至るまでに計算機実装に関する様々な研究が行われてきている [20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 55, 34, 35, 36]．GTTM はもともと計算機実装を想定して構築された音楽理論ではあるが，分析に関するルールの優先順位が不確定なものであるのが現状であるので，計算機実装が完全に実現されたわけではない．これまでに，GTTM を計算機上に実装することによって，楽曲の類似度を算出したり，2つの旋律を融合するシステムが提案されている．しかし GTTM では，音楽の抑揚などの人が感じる特徴を表現することは困難である．

音楽の抑揚などの人が感じる特徴を表現できると考えられる音楽理論として、暗意実現モデル (英語名: Implication-Realization Model) がある。暗意実現モデルは Eugene Namour によって提唱された音楽理論で、音楽を構成する音高、音程、リズムや休符等の情報を用いて楽曲をシンボル列へと抽象化して表現する音楽理論である。暗意実現モデルは人間があるメロディを聴いたときに意識的もしくは無意識的に後続のメロディを予測しているという仮定に基づいて構築されている。そのため、人が感覚的に捉えているメロディの構造を表現しやすいと考えられる。

暗意実現モデルは未だ計算機実装の検討がなされていなかった。しかし、暗意実現モデルに基づいた分析を計算機上で実現できるとすると、音楽の抑揚などの部分について人間に近い分析を計算機が実現できると考えられる。そこで、本論文では、暗意実現モデルに着目し、

1. 暗意実現モデルの実装
2. 実装したシステムを用いた楽曲間類似度計算
3. 実装したシステムを用いたメロディ生成

の順序で研究を進めた。

第3章 メロディへの暗意実現モデルのシンボル付与

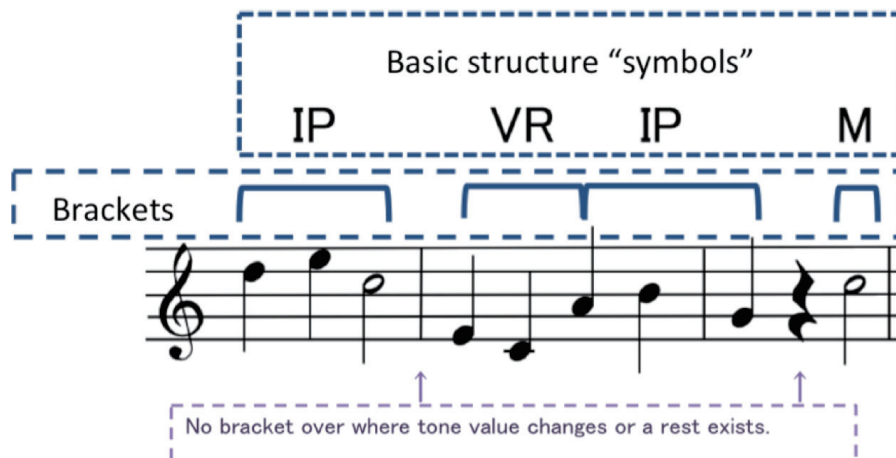
3.1 暗意実現モデルとは

暗意実現モデルとは、「暗意-実現」の考え方をメロディに応用したものである。Eugene Narmour(図 3.1) によって提唱された音楽理論であり、音同士の連鎖関係を捉えてメロディを記述する。この連鎖関係構築においては、人間があるメロディを聴いたときに意識的もしくは無意識的に後続メロディを予測しながら聴いているという仮説が反映されている。この音同士の連鎖関係を解析・抽出することができれば、メロディ予測・編曲等への応用が期待できる。また、また、音の組み合わせの出現分布や頻度を分析することによって、作曲者の個性、年代の判定への応用も期待できる。

暗意実現モデルに基づいて楽曲を解析した例を図 3.2 示す。暗意実現モデルはブラケットと呼ばれる音列を括弧でくくった構造に対して、そのブラケット内に存在する音列の特徴から基本類型と呼ばれる記号を付与し、旋律を基本類型の連続として表現することができる。暗意実現モデルでは基本類型による分析が最も基本的とされている。基本類型以外にも音列を表現する構造が存在するが、詳しくは付録 B, 付録 C, 付録 D を参照されたい。本論文において、「暗意実現モデルに基づく分析」とは、この基本類型を用いた分析を指す。



図 3.1: 暗意実現モデル提唱者 Eugene Narmour



IP *** Interval direction changes; small interval and small interval.

VR *** Interval direction changes; small interval and large interval.

M(monad) *** Only one tone in bracket.

図 3.2: 暗意実現モデルに基づく分析例

3.1.1 ブラケット

暗意実現モデルにおいてメロディはブラケットと呼ばれる構造の連続として捉えられる。ブラケットはメロディ内の連続する3つの音を括った単位のことである。暗意実現モデルによる解析はこのブラケットをベースに行われ、ブラケットで括られた音の特徴から基本類型という構造に分類される。分類に重要となる特徴は3点ある。

3.1.2 音程方向

連続する3音に存在する2つの音程である。1音目と2音目の音程を音程Aとする。同様に、2音目と3音目の音程を音程Bとする。この音程Aと音程Bのそれぞれが“どの程度広いか/狭いか、もしくは音程変化が無い”という情報が特徴となる。

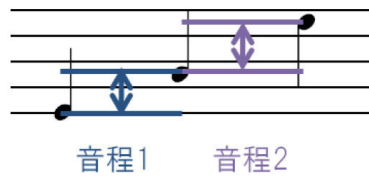


図 3.3: 音程 A と音程 B

3.1.3 音程進行

ブラケット内に存在する 1 音目に対して 2 音目が高い音になっているかもしくは低い音になっているか、同じように 2 音目に対して 3 音目が高い音となっているかもしくは低い音となっているか、という特徴である。

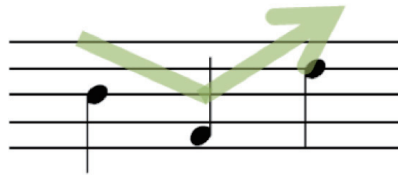


図 3.4: 音程方向の否定

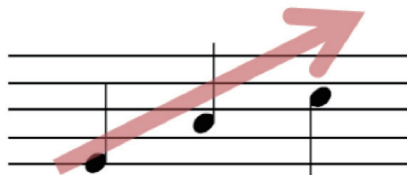


図 3.5: 音程方向の変化なし

3.1.4 基本類型

ブラケットによって括られた音に対して基本類型というものにまず分類される。基本類型にはシンボルと例外型の2種類が存在する。

シンボル

シンボルは

1. P (process)
2. IP (intervallic process)
3. VP (registral process)
4. R (reversal)
5. IR (intervallic reversal)
6. VR (registral reversal)
7. D (duplication)
8. ID (intervallic duplication)

の8種類が存在する。各シンボルの持つ基本的な特徴を表 3.1 に示す。これらのシンボルは、大きく P, R, D の3種類に分けることができる。P は Process (進行), R は Reversal (逆行), D は Dinal (否定, duplication) を表す。シンボルはこれらに大きく分けられた後に、さらに2つに分けられる。2つというのは音高の変化と音の進行方向に関する情報である。これらは記号で I: intervallic motion (音高の変化), V: registral direction (音の進行方向) と表現される。

表 3.1: シンボル一覧

P	ただの進行
IP	音高に変化をつけながらメロディが進行する
VP	音の進行方向に変化をつけながらメロディが進行する
R	メロディ展開に驚き(予期せぬような)を含意
IR	音高に変化をつけながら展開に驚きを含意
VR	音の進行方向に変化をつけながら展開に驚きを含意
D	メロディの展開を否定
ID	音高に変化をつけながらメロディの展開を否定

P (process) は類似の音程で同じ音程方向にメロディが進む。類似の音程で上がっていく、もしくは下がっていく場合である。P の例を下記に示す。

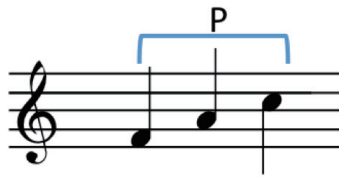


図 3.6: シンボル P

IP (intervallic process) は類似の音程で異なる音程方向にメロディが進む、だいたい同じ音程で上がって下がる、もしくは下がって上がる場合である。

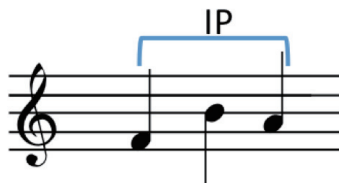


図 3.7: シンボル IP

VP (registral process) は差異の音程で同じ音程方向にメロディが進む。小さな音程で上がって大きな音程で上がる、もしくは小さな音程で下がって大きな音程

で下がる場合である.

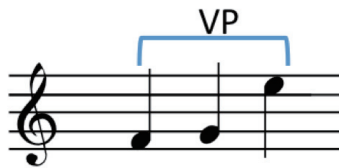


図 3.8: シンボル VP

D (duplication) は音程変化無しの場合である.

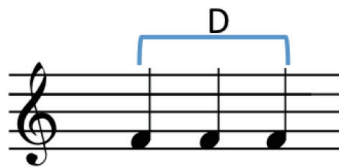


図 3.9: シンボル D

ID (intervallic duplication) は同じ音程の進行で異なる音程方向が進む. ある音から一度上がる, もしくは下がり元の音に戻ってくる場合である.

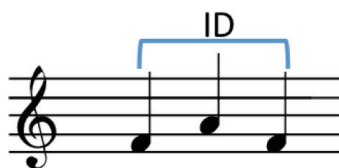


図 3.10: シンボル ID

R (reversal) は差異の音程で異なる音程方向が進む. 大きな音程で上がって小さな音程で下がる, もしくは大きな音程で下がり小さな音程で上がる場合である.

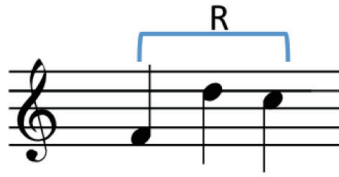


図 3.11: シンボル R

IR (intervallic reversal) は広い音程から狭い音程へ同じ音程方向でメロディが進む。大きな音程で上がり小さな音程で上がる、もしくは大きな音程で下がり小さな音程で下がる場合である。

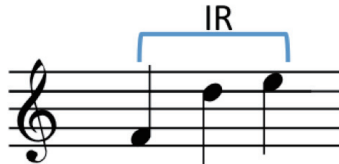


図 3.12: シンボル IR

VR (registral reversal) は狭い音程から広い音程へ異なる音程方向でメロディが進む。小さい音程で上がり大きな音程で下がる、もしくは小さな音程で下がり大きな音程で上がる場合である。

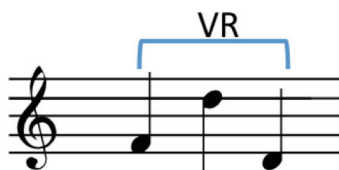


図 3.13: シンボル VR

例外型

例外型とは dyad, monad の 2 種類である。dyad は 2 音の音の組に対して、monad は単音に対して割り振られる。

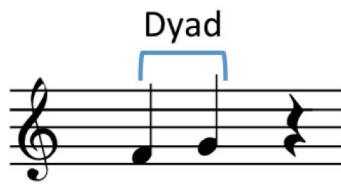


図 3.14: dyad の例

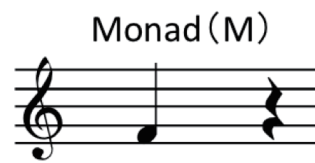


図 3.15: monad の例

3.2 暗意実現モデルに基づくメロディ解析

3.2.1 システムの計算機実装における問題点

暗意実現モデルに従った解析を計算機上で実現するのに当たって、いくつかの問題がある。まず、そもそも解析の手順が明示されていない。このため、原著を解読し、解析手順の構築を行った。

また、理論における定義内の曖昧な部分を無くす必要がある。曖昧な部分とは、基本類型への分類を行う際に、「各音程がどの程度広いか、もしくは、狭いか」が定数化されていないという点である。この曖昧さを解消するために閾値を導入し、解析を行えるようにした。具体的に、閾値による判定を導入した部分は、ブラケット内の音列の特徴を見る際に用いる音高差である。この音高差は、一つ目の音程と二つ目の音程(音程1と音程2)が「どの程度広いか、もしくは、狭いか」を示している。本論文では、原著に掲載されている分析例及び原著に示されている内容を解読した上で、この閾値を5度とする。

3.2.2 解析手順

解析の大まかな流れは図 3.17 の手順に従って行われる。音価(音の長さ)の変化する部分・休符の部分以外の連続する音列を3音ずつブラケット(図 3.17 中の青い括弧で示される構造)先で頭から区切り、そのブラケットに含まれる音列の特徴からシンボルを割り振る。

メロディに対して解析に用いる音を選別する前処理を行う。前処理が適用されるのは装飾音、連符、タイの部分である。装飾音は削除する。装飾音はブラケットによる音の組に入らないからである。連符は1音目以外を削除し、連符に相当する音価と1音目と同じ音高を持つ音に置き換える。連符は1音目で拍を数えるため、演奏する上で1音目が強調されることが多い。このため、1音目のみを残すという処理を行う。図 3.17 ではこの処理は不要な例を示している。

まず、音価が変化する部分と休符を切れ目として音列のグループを作る。そのグループの先頭から連続する3音ずつをさらに細かいグループとし、連続する2つの細かいグループは1つの音を共有する。つまり、連続する2つのグループに含まれる連続する5音のうち前半3音と後半3音に対してシンボルをひとつずつ割り振る。この音列をシンボル化する際の音列の音数 k の場合分けを行うと以下の4通りとなる。連続する音列から、シンボル付与対象となる3音を抽出する際の場合分けの様子を図 3.16 に示す。

(1) $k = 1$

(2) $k = 2$

(3) $k = 2n + 1$ ($n \geq 1$)

(4) $k = 2n + 2$ ($n \geq 1$)

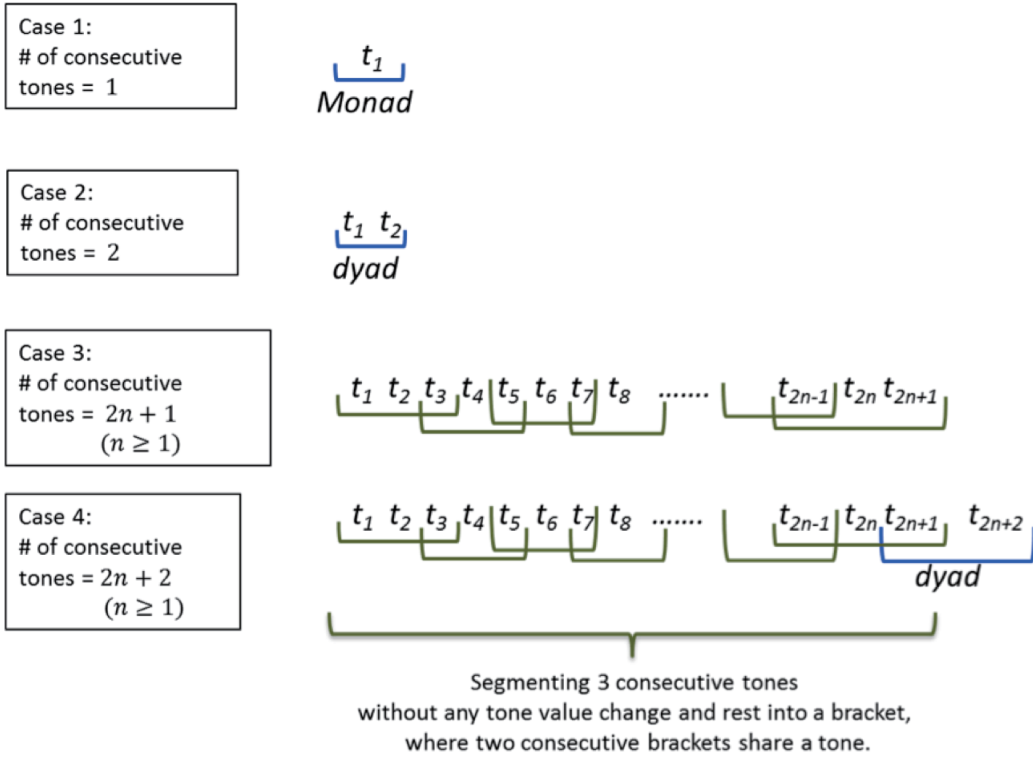


図 3.16: シンボル付与対象となる 3 音の抽出の際の場合分け

(1) と (2) の場合，含まれる 1 音もしくは 2 音に対して例外型と呼ばれるシンボルを割り振る．(3) の場合は全ての組み合わせにシンボルを割り振り，(4) の場合は最後の 2 音に対してのみ例外型を割り振る．

ブラケット一つに入っている連続する音列を順番に t_1, t_2, t_3 として，基本類型の例外型かシンボルかを判定する． t_1, t_2, t_3 が全て音であった場合はどのシンボルがこの 3 音に対して当てはめられるかを判定する．

3 音のうち音が 2 音のみであった場合は以下のように例外型の判定を行う． t_3 が休符の場合， t_1 と t_2 で dyad を当てはめる． t_1 が休符の場合，休符の次からつまり， t_2 から 3 音の取得するため例外型とはならない． t_2 が休符の場合，休符の次からつまり， t_3 から 3 音を取得するため例外型とはならない．

3 音のうち音が 1 音であった場合は以下のように例外型の判定を行う． t_1 のみ音の場合，一つ前の 3 音組の t_3 となっているので特別な処理はせず，次の音の取得を行う． t_2 のみもしくは t_3 のみ音の場合，その音で monad を当てはめる．そして休符の次にくる音から 3 音を取得する．

3音のうち t_1, t_2, t_3 が全て音だった場合、基本類型のシンボルとなる。シンボルは8種類あり、どのシンボルになるかは以下に示す2種類の特徴から判定する。特徴の一つ目は3音の中に存在する2つの音程がどのようになっているかである。3音の中の一つ目の音程を音程A、二つ目の音程を音程Bとする。音程Aを i_A 、音程Bを i_B とする。音の跳躍があるかどうかを判定する。広い、狭いの判定には t_1 と t_2 が5度以上離れている場合で判定を行う。狭い場合には -1 、広い場合には 1 とする。

特徴の二つ目は音の進行方向である。音の進行方向とは1音目に対して2音目つまり音程Aと、2音目に対して3音目つまり音程Bが高くなっているか、もしくは低くなっているか、変化が無いかの場合を評価する。音程が高くなっている場合をプラスの音程進行、音程が低くなっている場合をマイナスの音程進行、変化が無い場合を音程進行の変化が無いとする。音程Aの進行方向を r_A 、音程Bの進行方向を r_B とする。音程Aの音程進行がプラスの場合、 $r_A = 1$ 、マイナスの場合 $r_A = -1$ 、変化が無い場合 $r_A = 0$ と評価する。同様に音程Bについても評価する。得られた特徴を以下に示す評価式を用いてどのシンボルになるかを判定する。

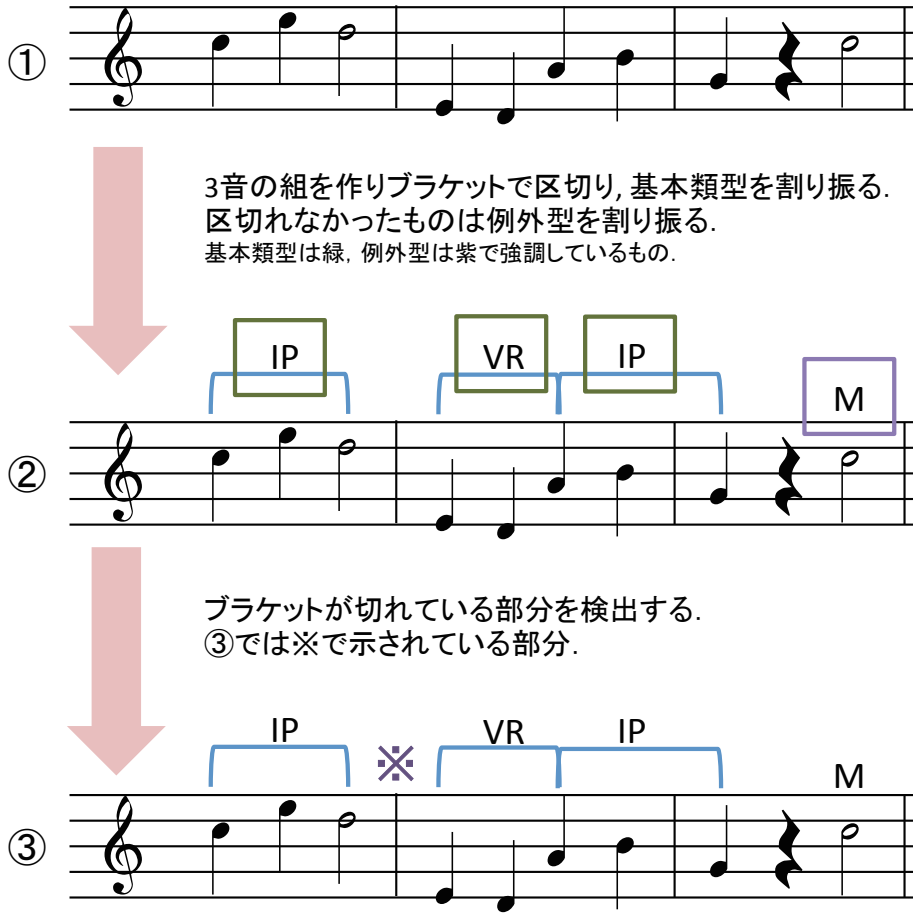


図 3.17: 暗意実現モデルによる解析手順

シンボル P

$$P = \begin{cases} i_A = -1 \\ i_B = -1 \\ r_A = 1 \\ r_B = 1 \\ OR \\ i_A = -1 \\ i_B = -1 \\ r_A = -1 \\ r_B = -1 \end{cases}$$

シンボル IP

$$\text{IP} = \left\{ \begin{array}{l} i_A = -1 \\ i_B = -1 \\ r_A = 1 \\ r_B = -1 \\ \text{OR} \\ i_A = -1 \\ i_B = -1 \\ r_A = -1 \\ r_B = 1 \end{array} \right.$$

シンボル VP

$$\text{VP} = \left\{ \begin{array}{l} i_A = -1 \\ i_B = 1 \\ r_A = 1 \\ r_B = 1 \\ \text{OR} \\ i_A = -1 \\ i_B = 1 \\ r_A = -1 \\ r_B = -1 \end{array} \right.$$

シンボル R

$$\text{R} = \left\{ \begin{array}{l} i_A = 1 \\ i_B = -1 \\ r_A = 1 \\ r_B = -1 \\ \text{OR} \\ i_A = 1 \\ i_B = -1 \\ r_A = -1 \\ r_B = 1 \end{array} \right.$$

シンボル IR

$$\text{IR} = \left\{ \begin{array}{l} i_A = 1 \\ i_B = -1 \\ r_A = 1 \\ r_B = 1 \\ OR \\ i_A = 1 \\ i_B = -1 \\ r_A = -1 \\ r_B = -1 \end{array} \right.$$

シンボル VR

$$\text{VR} = \left\{ \begin{array}{l} i_A = -1 \\ i_B = 1 \\ r_A = 1 \\ r_B = -1 \\ OR \\ i_A = -1 \\ i_B = 1 \\ r_A = -1 \\ r_B = 1 \end{array} \right.$$

シンボル ID

$$\text{ID} = \left\{ \begin{array}{l} T_1 = T_3 \\ T_1 \neq T_2 \\ r_A = 1 \\ r_B = 1 \\ OR \\ T_1 = T_3 \\ T_1 \neq T_2 \\ r_A = 1 \\ r_B = 1 \end{array} \right.$$

シンボル D

$$\text{D} = \left\{ T_1 = T_2 = T_3 \right.$$

3.3 暗意実現モデルの拡張

オリジナルの暗意実現モデルで定義されているシンボルにおいては音程の上下方向の仕方についての定義が無いために、類似度計算の精度が下がる点が問題であった。具体的には、例えば、音程が「下がって上がる」音列と音程が「上がって下がる」音列に対して、両者の傾向が全く異なる旋律であっても、同一シンボルが割り当てられる点が問題であった。そこで、本節ではオリジナルの暗意実現モデルのシンボルの拡張について述べる。

人間が楽曲を聴いた時の印象をより適切に反映させるために、先のような聴いた印象が全く違う旋律音列が同じシンボルと判定されると、楽曲の展開は同じでも実際に聴いた場合に似ていないと判定されてしまうという問題が発生する。この問題を解決するため、本論文では、音程の上下方向への定義の拡張を行った。

拡張の例を図 3.18 に示す。図 3.18 の例に示した拡張は連続する 3 音の進行方向が変化しない場合を、拡張によって「上がって上がる」「下がって下がる」の 2 パターンに拡張した例である。拡張は連続する 3 音の進行方向が 1 音目と 2 音目、2 音目と 3 音目での組み合わせで「変化する」「変化しない」であったところを、「上がって上がる」「下がって下がる」「上がって下がる」「下がって上がる」のようにしたものである。拡張シンボルの一覧を図 3.19 に示す。

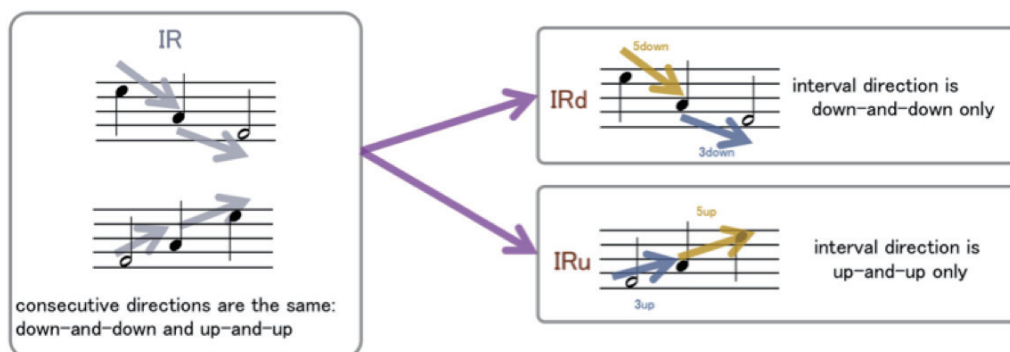


図 3.18: シンボル拡張例

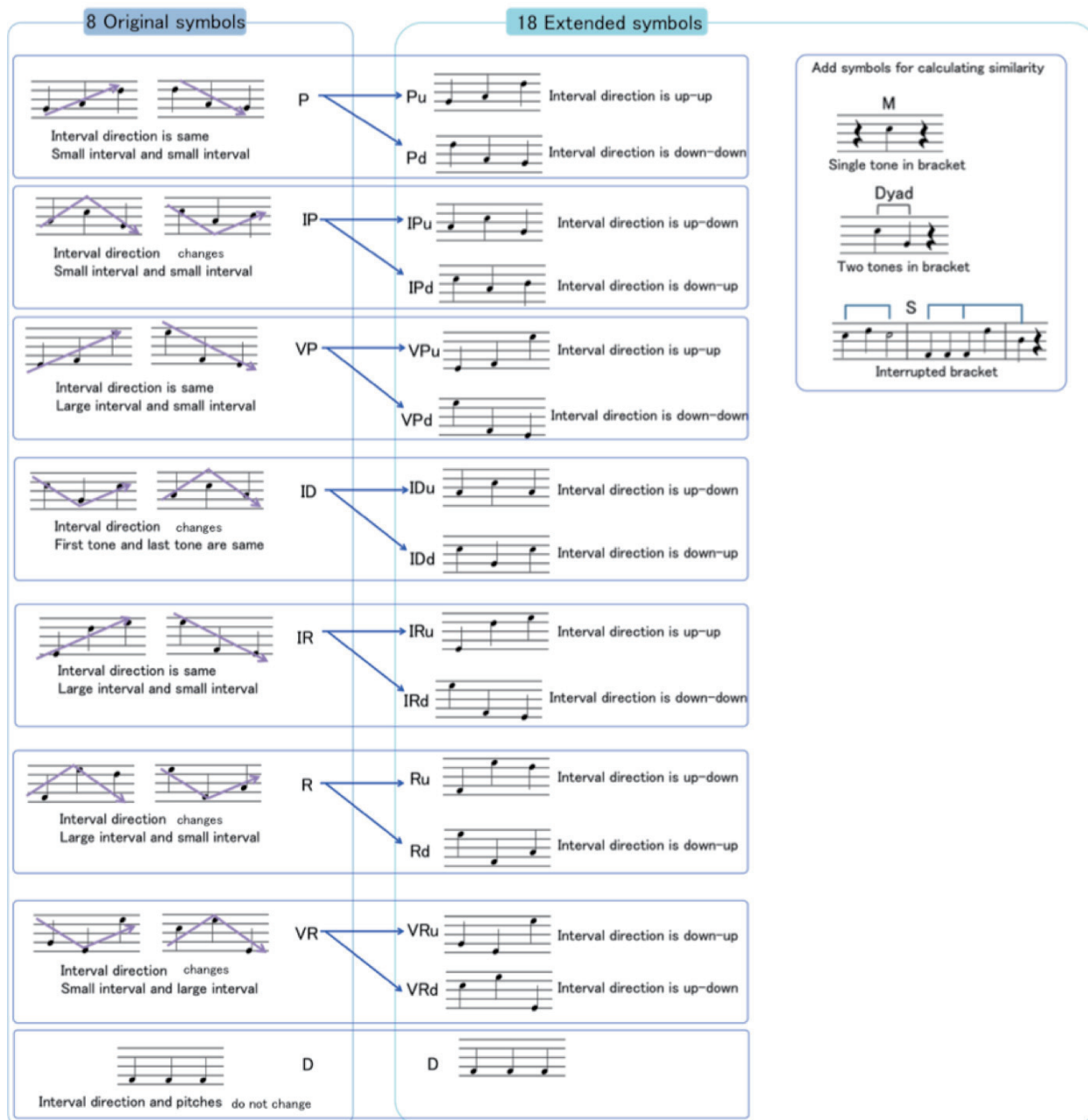


図 3.19: 拡張シンボル一覧

3.4 拡張暗意実現モデルのシンボルパーサー

拡張暗意実現モデルのシンボルパーサーの概要を図 3.20 に示す。図 3.20 の Melody separator の部分では、入力された旋律をブラケットにより区切る作業が行われている。まず、ブラケットが途切れる部分を抽出する。ブラケットが途切

れる部分というのは、音価が変化する部分 (図中の Tone value changes) と休符 (図中の Rest) が含まれる部分である。ここで一度途切れるような大きな音列グループを生成する。そしてその大きな音列グループの先頭から連続する3音をブラケットにより区切る。連続するブラケットは前半のブラケットに含まれる3音目と後半に含まれるブラケットの1音目は音を共有する。つまり、連続する5音で2つのブラケットを作ることができる。ブラケットの詳しい付与方法は図 3.20を参照されたい。この作業を全ての大きな音列グループに対して行う。そしてブラケットに分割できた音列全てに、その含まれる音列の特徴からシンボルもしくは例外型の付与を行う。

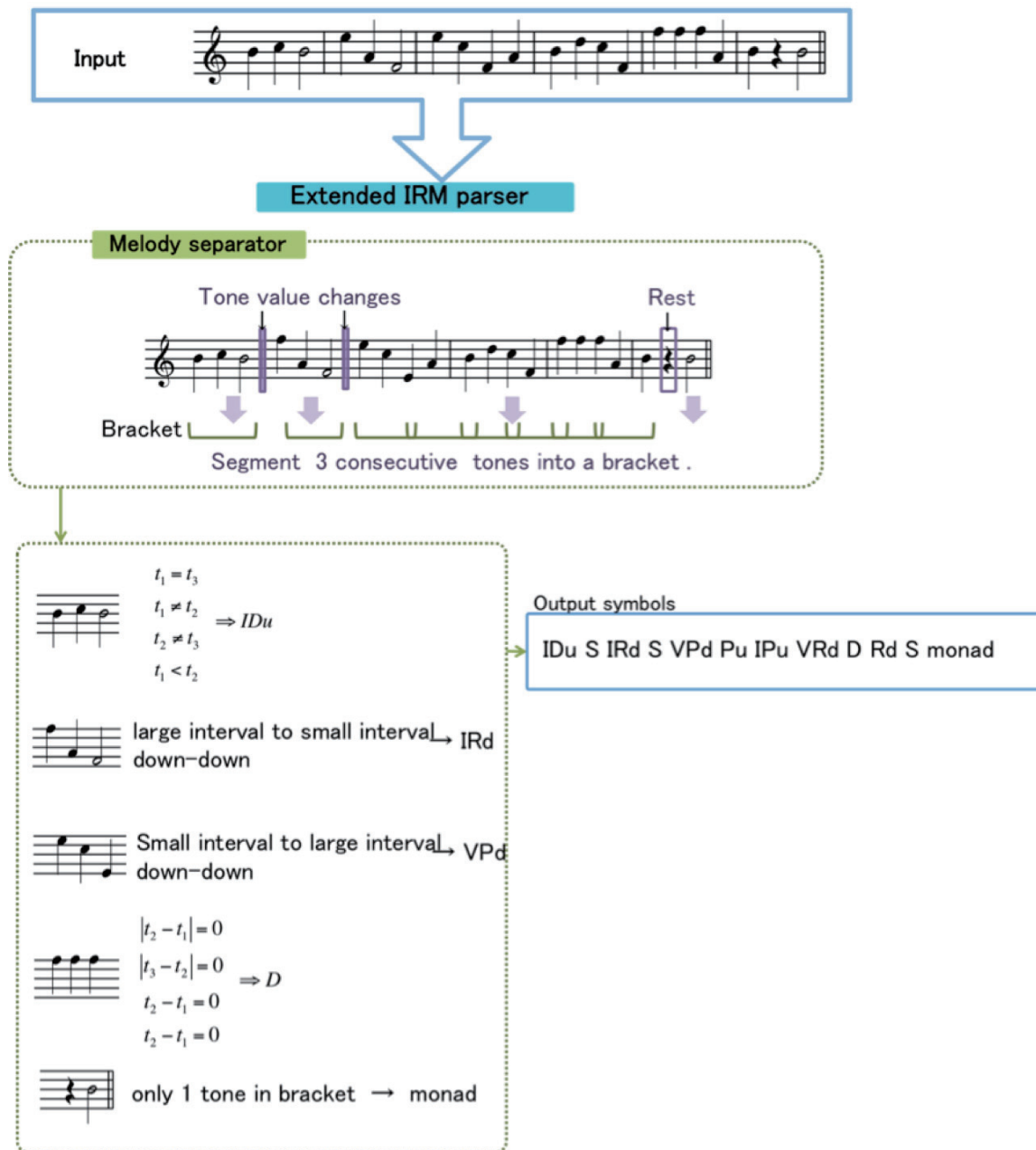


図 3.20: 拡張暗意実現モデルのシンボルパーサーの概要

拡張シンボルの定義式を下記に示す。拡張暗意実現モデルのシンボルパーサーにおいては、オリジナルの暗意実現モデルパーサーよりも多くの定義式を用いる。

シンボル Pu

$$P_u = \begin{cases} i_A = -1 \\ i_B = -1 \\ r_A = 1 \\ r_B = 1 \end{cases}$$

シンボル Pd

$$P_d = \begin{cases} i_A = -1 \\ i_B = -1 \\ r_A = -1 \\ r_B = -1 \end{cases}$$

シンボル IPu

$$IP_u = \begin{cases} i_A = -1 \\ i_B = -1 \\ r_A = 1 \\ r_B = -1 \end{cases}$$

シンボル IPd

$$IP_d = \begin{cases} i_A = -1 \\ i_B = -1 \\ r_A = -1 \\ r_B = 1 \end{cases}$$

シンボル VPu

$$VP_u = \begin{cases} i_A = -1 \\ i_B = 1 \\ r_A = 1 \\ r_B = 1 \end{cases}$$

シンボル VPd

$$VP_d = \begin{cases} i_A = -1 \\ i_B = 1 \\ r_A = -1 \\ r_B = -1 \end{cases}$$

シンボル Ru

$$R_u = \begin{cases} i_A = 1 \\ i_B = -1 \\ r_A = 1 \\ r_B = -1 \end{cases}$$

シンボル Rd

$$\text{Ru} = \begin{cases} i_A = 1 \\ i_B = -1 \\ r_A = -1 \\ r_B = 1 \end{cases}$$

シンボル IRu

$$\text{IRu} = \begin{cases} i_A = 1 \\ i_B = -1 \\ r_A = 1 \\ r_B = 1 \end{cases}$$

シンボル IRd

$$\text{IRd} = \begin{cases} i_A = 1 \\ i_B = -1 \\ r_A = -1 \\ r_B = -1 \end{cases}$$

シンボル VRu

$$\text{VRu} = \begin{cases} i_A = -1 \\ i_B = 1 \\ r_A = 1 \\ r_B = -1 \end{cases}$$

シンボル VRd

$$\text{VRd} = \begin{cases} i_A = -1 \\ i_B = 1 \\ r_A = -1 \\ r_B = 1 \end{cases}$$

シンボル IDu

$$\text{IDu} = \begin{cases} T_1 = T_3 \\ T_1 \neq T_2 \\ r_A = 1 \\ r_B = 1 \end{cases}$$

シンボル IDd

$$\text{IDd} = \begin{cases} T_1 = T_3 \\ T_1 \neq T_2 \\ r_A = 1 \\ r_B = 1 \end{cases}$$

シンボルD

$$D = \{ T_1 = T_2 = T_3 \}$$

第4章 暗意実現モデルに基づく楽曲間類似度

本章では暗意実現モデルに基づいた楽曲間類似度計算について述べる。暗意実現モデルでは楽曲をシンボルと呼ばれる記号列に抽象化し表現することができる。本章では特に、暗意実現モデルのシンボルを拡張した結果において、楽曲間類似度計算の精度が改善することを示す。

4.1 楽曲間類似度に関する先行研究

これまでも、楽曲間類似度計算の研究はいくつか行われており、ユーザーに好みの楽曲を選ばせ、その楽曲情報からユーザーの嗜好を表すベクトルを生成し好みの楽曲を類似楽曲として選ぶ手法 [37] や入力に音響特徴量を用いたニューラルネットワークを構築することで類似楽曲を抽出するシステム [38]、離散フーリエ変換をかけてフレーズのパターンを見いだす手法 [39]、楽曲に含まれる音符列を文字列に変換し、その文字列に対して N-gram を適用することで類似楽曲の抽出を行う試み [40] 等様々な手法が提案されている。

音楽理論を用いた従来研究としては、音楽理論 GTTM に基づいた楽曲間類似度計算方法があげられる。GTTM は、メロディに含まれる音の重要度を計算し、タイムスパンツリーと呼ばれる木構造を構築することによって、メロディを階層的に捉えて分析・理解する音楽理論である [22]。GTTM に基づく楽曲間類似度計算 [41] においては、GTTM におけるタイムスパンツリーが楽曲間で合致している部分に対して、そのタイムスパンツリーに付与された音の長さ・数の位置にある音の総数を用いて類似度を計算する。この手法では、ほぼ同じ曲の場合にのみ類似度計算が可能であり、ほぼ同等の曲を検索する場合に適した手法である。しかし、類似度計算における制約がとてつもないため、類似曲検索に用いるには不適合であった。その他、松原ら [42] によって、GTTM に基づく楽曲間類似度計算方法の再考も試みられているが、現時点では研究段階といえる。

4.2 提案手法

本論文では、楽曲間類似度判定システムを構築するにあたり、音楽理論暗意実現モデルに着目した。暗意実現モデルとは、音楽学者である Eugene Narmour によって提唱された理論である。暗意実現モデルにおいては、音同士の連鎖関係を捉えてメロディを記述しており、この連鎖関係を解析・抽出することにより、メロディがどのような構造になっているかを分析することができる。楽曲解析においては、楽曲を構成する音高、音程、リズムや休符等の情報を用いて、楽曲を記号列へと抽象化して表現する。

暗意実現モデルを用いた楽曲間類似度判定に関する先行研究 [43] においては、記号列比較によって類似度計算がある程度可能であることが示された。しかし、オリジナルの暗意実現モデルで定義されているシンボルにおいては、音程の上下方向の方向性に関する定義が無いため、類似度計算精度が下がる点が問題であった。具体的には、例えば、音程が「下がって上がる」音列と音程が「上がって下がる」音列に対して、両者の傾向が全く異なる旋律であっても、同一シンボルが割り当てられる点が問題であった。この問題を解決するため、第 3 章においては、音程の上下方向への定義の拡張を行った。本節では、この拡張されたシンボルを用いる楽曲間類似度を提案し、その評価を行う。

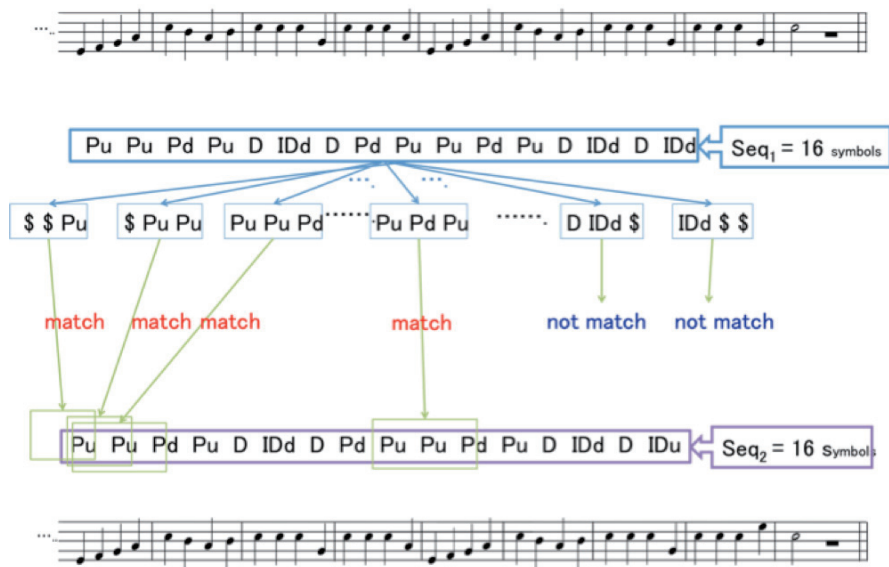
まず、各楽曲を表すシンボル列を Seq_1 、および、 Seq_2 とする。本論文では、楽曲間の類似度計算において、シンボル列の n-gram 間の類似度を測定するために、python の n-gram ライブラリ¹を使用した。同ライブラリにおける類似度の定義を次式に示す。ここで、楽曲のシンボル列の間で断片的照合を行う際の n-gram の長さを N とし、 Seq_1 と Seq_2 のうち一致した断片的 n-gram の個数を M とする。

$$Sim(Seq_1, Seq_2) = \frac{M}{A}$$

$$A = (|Seq_1| + 2(N - 1)) + (|Seq_2| + 2(N - 1)) - 2N - M + 2$$

類似度計算例を図 4.1, 図 4.2, および、表 4.1 に示す。このうち、赤文字になっている部分が Seq_1 と Seq_2 で差分が現れた部分である。

¹<https://github.com/gpoulter/python-ngram>



$$M = \text{\#number of match}$$

$$= 15$$

$$N = 3$$

$$A = (|\text{Seq}_1| + 2(N-1)) + (|\text{Seq}_2| + 2(N-1)) - 2N - M + 2$$

$$= (16 + 2(3-1)) + (16 + 2(3-1)) - 6 - 15 - 2$$

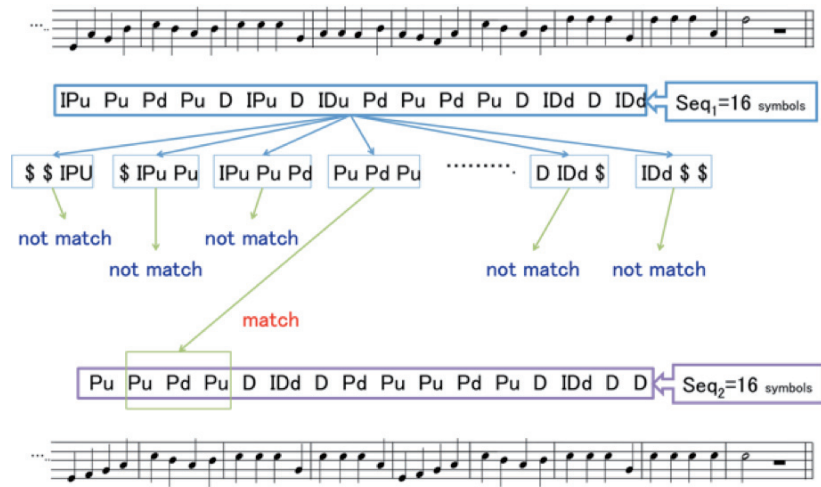
$$= 17$$

$$\text{Sim}(\text{Seq}_1, \text{Seq}_2) = M/A$$

$$= 15/17$$

$$= 0.882$$

图 4.1: 類似度計算例 (1)



M = #number of match

$$= 6$$

$$N = 3$$

$$A = (|Seq_1| + 2(N-1)) + (|Seq_2| + 2(N-1)) - 2N - M + 2$$

$$= (16 + 2(3 - 1)) + (16 + 2(3 - 1)) - 6 - 6 - 2$$

$$= 26$$

$$Sim(Seq_1, Seq_2) = M/A$$

$$= 6/26$$

$$= 0.23$$

图 4.2: 類似度計算例 (2)

表 4.1: 類似度計算例 (3) (比較)

Sim(Seq ₁ ,Seq ₂)	Extended Symbols	
0.8951	Seq ₁	Rd IDd IDd dyad Ru Pd monad ... Ru Pd IDd Pd Pu ... Pd Pu IDu IPu Pu Vpu Ru IPd
	Seq ₂	Rd IDd IDd dyad Ru Pd monad ... Ru Pd Pd IDd Pd Pu ... Pd Pu IDu IPu Pu Vpu Ru IPd
0.8224	Seq ₁	Ru Pd IDd Pd Pu IPu dyad Pu Pd IDd Pd IPu Pu dyad IPd Pd
	Seq ₂	Pd IDd Pd Pu IPu dyad VRu Pd Pd IDd Pd IPu Pu dyad IPd Pd
0.6941	Seq ₁	D IPd Pd monad IPd Pd ... IDd Pd IPd Pd IDd Pd ... IDd Pd Pu IPu Pu IPu Pd Pu IDu
	Seq ₂	D IPd Pd monad monad Pd ...IDd Pd IPd Pd IDd Pd ...IDd Pd Pu Pd IPu IPu Pd Pu IDu
0.6058	Seq ₁	...Pu IPu dyad VPu ...Pd IDu Pd Pu ... dyad Pd D D IPu Pd IDd Pd Pu monad IPd ...
	Seq ₂	...Pu IPu dyad VPu ...Pd dyad Pu Pu ... dyad Pu D D IPu Pd IDd Pd Pu monad VPd ...
0.5174	Seq ₁	D D monad IRd D IRd Ru Pu D D IDd Pd ...
	Seq ₂	D D monad IRd D dyad D D Pu Pd Pu monad D ...

4.3 評価実験

本論文では, Essen のフォークソングデータベースコレクション [46] から 5,000 曲を用いて評価実験を行った. 評価においては, 各楽曲の MIDI データを用いた.

5,000 曲を総当たりでの比較を行い, 類似度を全ての組みに対して算出した. 類似度は 0 ~ 1.00 で算出され, 類似度が

$$Similarity = 0$$

$$0.05i < Similarity \leq 0.05(i + 1) (i = 0, \dots, 18)$$

$$0.95 + 0.01i < Similarity \leq 0.95 + 0.01(i + 1) (i = 0, \dots, 4)$$

のように示される 25 レンジに振り分けた. レンジごとに 2 曲で 1 組とした 5 組ずつ, 合計 125 組の楽曲の組み合わせに対して主観評価実験を行った.

被験者は男女 15 人で, 各組み合わせを聴き比べてもらい「どの程度似ているか」を 5 段階で評価をしてもらうようにした. 「とても似ている」を 5 点, 「似ている」を 4 点, 「どちらでもない」を 3 点, 「似ていない」を 2 点, 「全く似ていない」を 1 点とした.

本論文では, 拡張暗意実現モデルとオリジナルの暗意実現モデルの両方で類似度計算を行い, 被験者実験の結果を比較した.

4.4 評価結果・考察

図 4.4, 図 4.6, 図 4.8, 図 4.10, に拡張暗意実現モデルを用いた場合とオリジナル暗意実現モデルを用いた場合の主観評価実験結果を示す. 実験結果は 5 点 (青)・4 点 (紫) で示されている部分が大きければ大きいほどそのレンジで似ている曲の組み合わせが多かったことを表している. 1 点 (茶)・2 点 (赤) はそのレンジの組み合わせで似ていなかった組み合わせ, 3 点 (緑) はどちらでもな組み合わせを示している.

図 4.4, 図 4.6 の高類似度のレンジでは拡張シンボルを用いた場合に紫・青といった似ている部分が多く, オリジナルのシンボルを用いた場合に赤の似ていない組み合わせが出てきてしまっていることが分かる. 図 4.10 の低類似度のレンジではオリジナルのシンボルを用いた場合に紫, 似ているとされている組み合わせが出てきてしまっていることがわかる. これより, 拡張シンボルを用いて類似度計算をしたときにオリジナルシンボルを用いて計算した場合よりも精度良く類似曲を抽出できていることがわかる.

また, 図 4.4, 図 4.6, 図 4.8, 図 4.10 の実験結果から, 高類似度の部分では青や紫の部分が多く, 低類似度になるとともに青や紫の部分が無くなり, 赤や茶の似ていないと主観評価される組み合わせが多くなっていくことが見て取れる. この結果から, 暗意実現モデルの拡張シンボルに基づいて類似度計算したときに算出される値は人間の主観評価を反映していると言える.

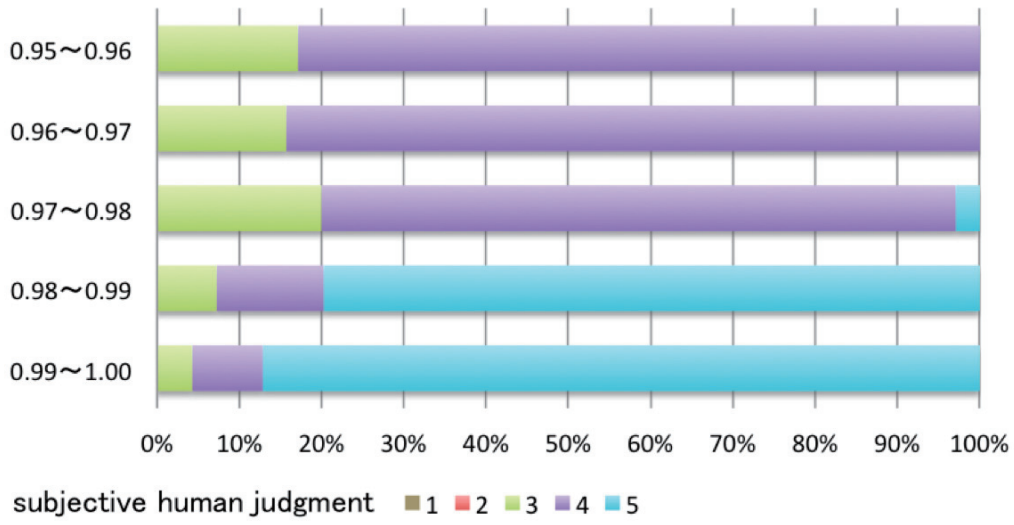


図 4.3: 拡張シンボル実験結果 (類似度 0.95 から 1.00)

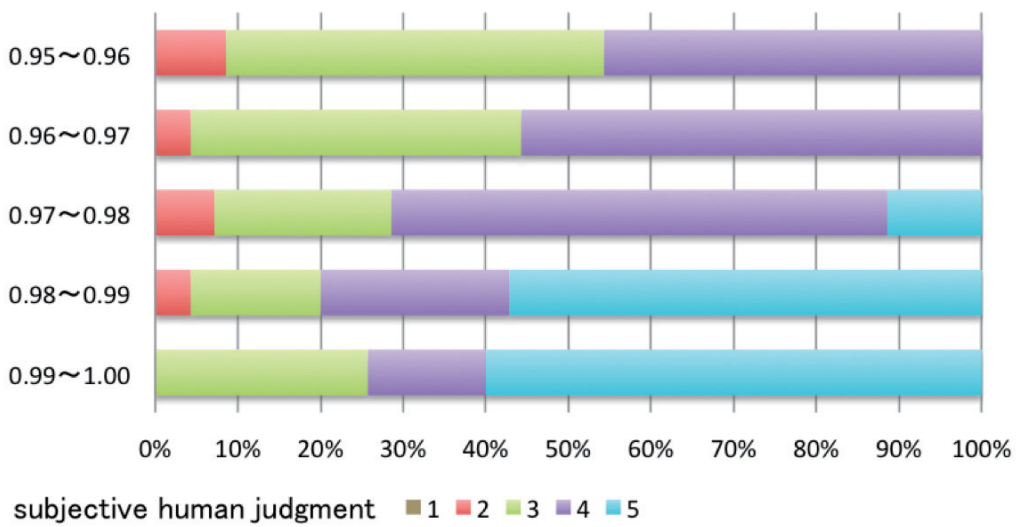


図 4.4: オリジナルシンボル実験結果 (類似度 0.95 から 1.00)

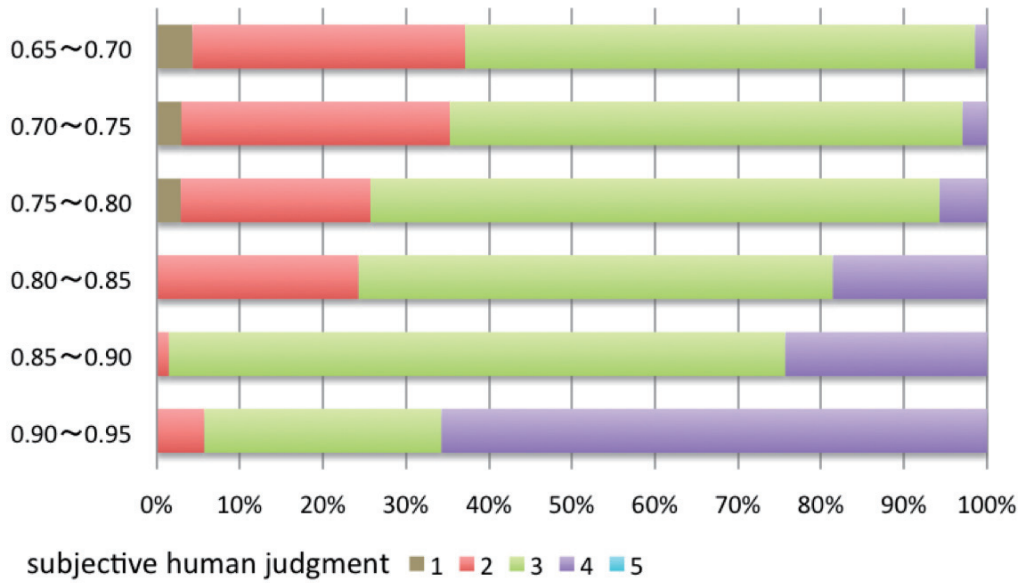


図 4.5: 拡張シンボル実験結果 (類似度 0.65 から 0.95)

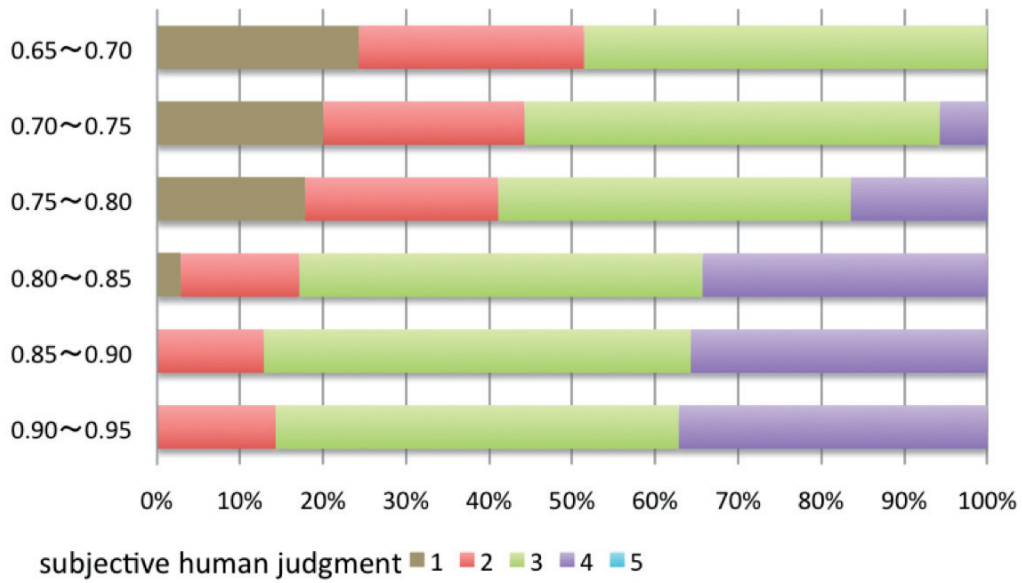


図 4.6: オリジナルシンボル実験結果 (類似度 0.65 から 0.95)

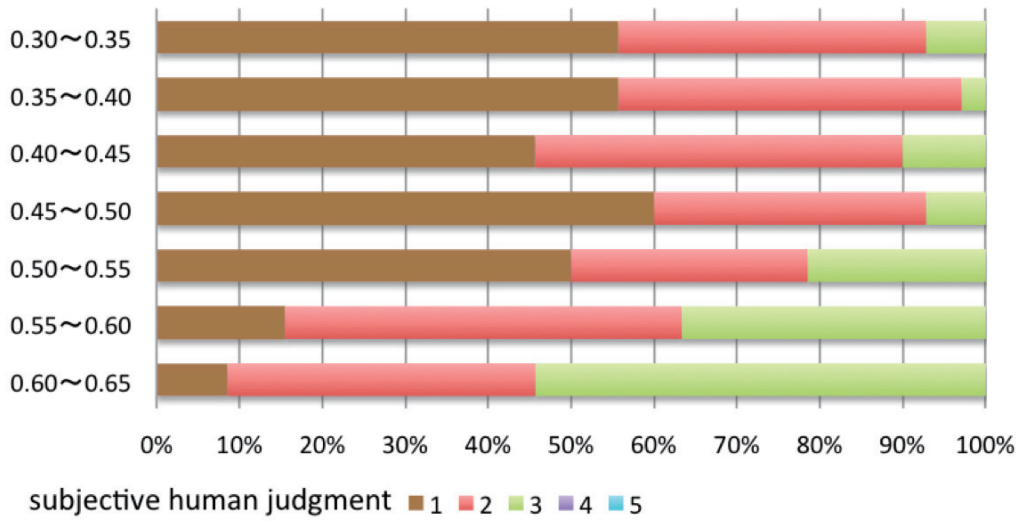


図 4.7: 拡張シンボル実験結果 (類似度 0.30 から 0.65)

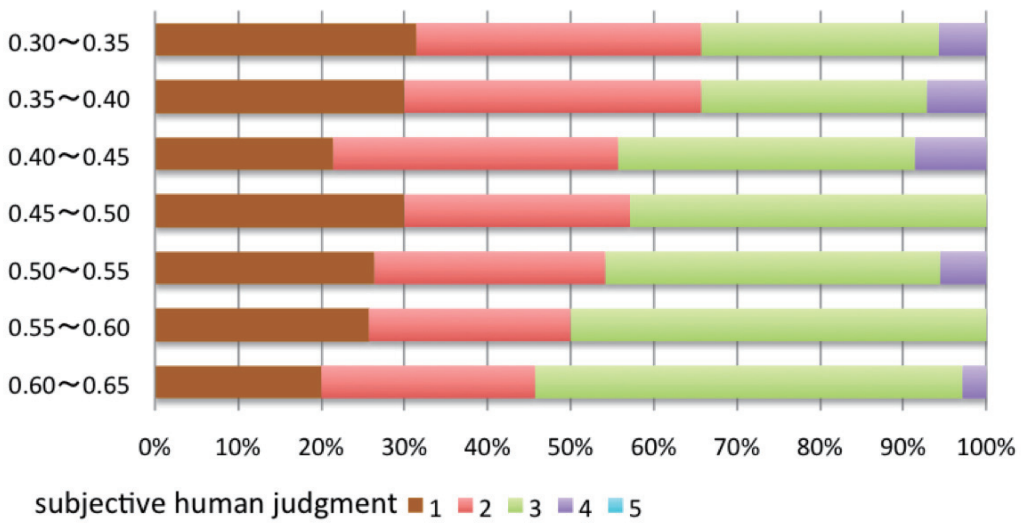


図 4.8: オリジナルシンボル実験結果 (類似度 0.30 から 0.65)

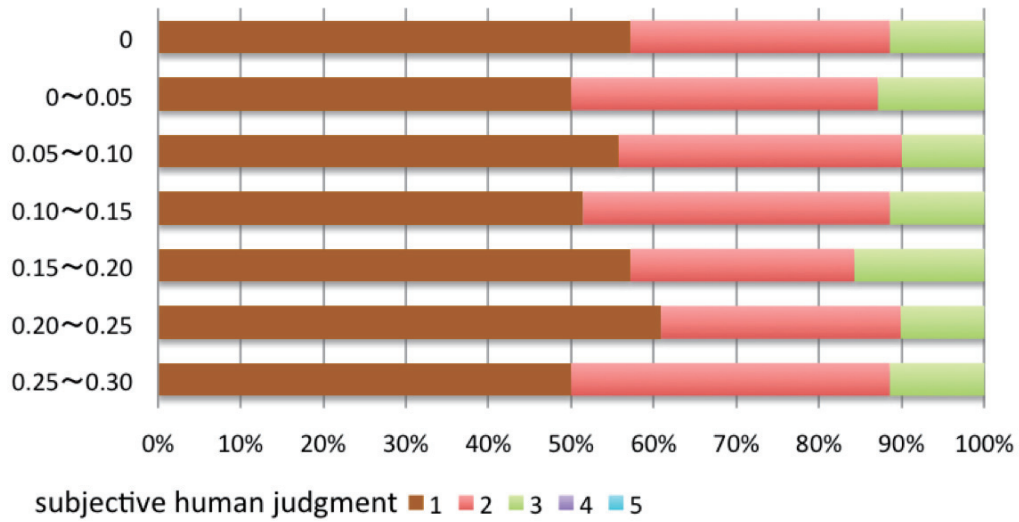


図 4.9: 拡張シンボル実験結果 (類似度 0 から 0.30)

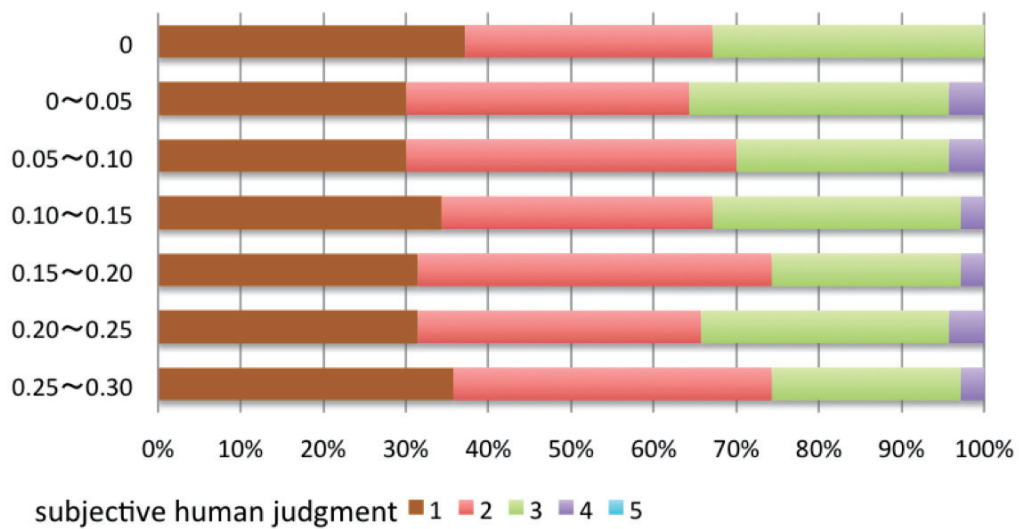


図 4.10: オリジナルシンボル実験結果 (類似度 0 から 0.30)

図 4.11, 図 4.12 は類似度上位と下位について詳しく示している。この結果からも拡張シンボルで計算を行った場合にオリジナルシンボルで計算を行うよりも精度よく計算できていることがわかる。

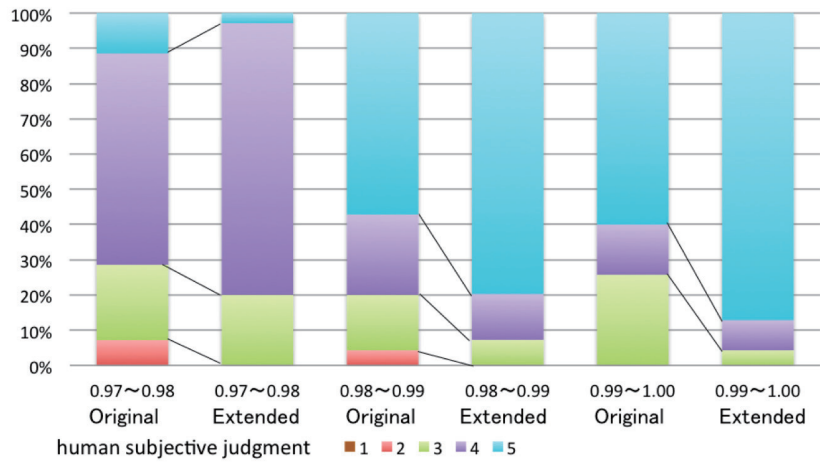


图 4.11: 類似度上位比較結果

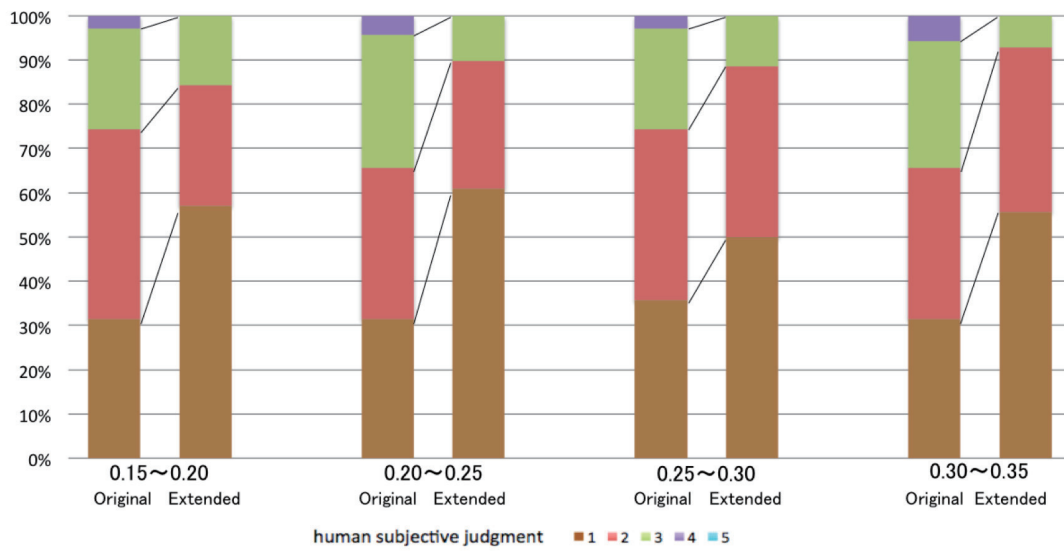


图 4.12: 類似度下位比較結果

本章では、暗意実現モデルに基づいた楽曲間類似度計算手法について提案した。提案は暗意実現モデルに拡張を行うというもので、オリジナル暗意実現モデルで定義されているシンボルに対して、音程変化を下げる/上げる方向で区別する行動の導入である。また、拡張暗意実現モデルとオリジナル暗意実現モデルでの分析を行える分析器(シンボルパーサー)を実装した。

本章で提案した拡張暗意実現モデルによって、オリジナルの暗意実現モデルよりも適切な楽曲間類似度算出が実現できた。実際に聴き比べを行う主観的類似度評価実験の結果より、拡張暗意実現モデルによって、オリジナル暗意実現モデルと比較して精度よく類似度計算ができることを示した。

本論文の評価において使用したデータベースは、Essenのフォークソングデータベースコレクションであった。音楽にはフォーク以外にも多種多様なジャンルが存在する。より人間の感覚に近いシステムを構築するためには、フォーク以外の音楽ジャンルでの実験及び考察も必要となる。このため、今後はロックやジャズ、ポップスといったデータを用いて実験することが必要となる。

また、本論文の評価実験における被験者は、20代の男女であった。20代の被験者に対しては、本システムはある程度その聴感覚に従っているという結果を得た。しかし、音楽を楽しむのは老若男女問わず多種多様である。また、被験者は全て日本人であった。音楽の歴史を紐解いたときに、音楽の起源は世界各地様々であることを考慮すると、被験者実験を今後行う場合に西洋出身者など、様々な人種の方をお願いすることができれば尚あらゆる人間の聴感覚に従ったシステムが構築できるのではないかと考えられる。

そこで、今後は、本論文で使用した音楽ジャンル以外の楽曲データベースを用いて、提案した類似度尺度が十分に機能するかどうかを検討する。また、広い範囲の構造を類似度計算に組み込むことでさらなる暗意実現モデルの拡張を検討する。また、現在のルールベースパーサーでは分析できない楽曲をカバーするために機械学習に基づいたパーサーの実装を行う。

第5章 暗意実現モデルに基づくメロディ生成

本章では、暗意実現モデルに基づいたメロディ生成システムを提案する。暗意実現モデルとは Eugene Narmour によって提案されたメロディに関する音楽理論である。暗意実現モデルはメロディをシンボルと呼ばれる記号列に抽象化して表現することができる音楽理論である。抽象化する際に音高、リズム、音価といった情報を用いる。メロディ生成に関する先行研究の多くは音高の確率遷移モデルに基づいたものである。確率遷移モデルを作る際にメロディを抽象化することを行っていないので、学習データ中にあまり出現しないメロディが生成の際に反映されない問題があった。本論文では、メロディシステムは暗意実現モデルに基づいてメロディを抽象化し、その結果を学習することでメロディを生成する。

本論文の提案システムは2つのユニットで構成されている。一つはシンボル遷移モデル構築部、もう一つは音列生成部である。シンボル遷移モデル構築部は暗意実現モデルに基づいて分析された楽曲のシンボル遷移モデルを作る。音列生成部ではシンボル遷移モデル構築部から生成されたシンボル列のシンボル一つ一つに対して音を当てはめていく部分である。

5.1 メロディ生成に関する先行研究

メロディ生成の先行研究は以下にあげられるようなものがある。ひとつは後続の音高を学習し、その音高の確率遷移モデルを構築し、ある音を入力したときに後続の音を予測することを繰り返すことで音列、即ちメロディを生成する手法 [47, 52, 53] や、進化計算を応用することでメロディを生成する手法 [48] がある。これらのアプローチでは学習データにあまり現れない音列を表現することが困難である。学習データにあまり出現しない特定のメロディが出力されなくなってしまう。また、既存のメロディをアレンジすることで新しいメロディを生成するシステムも研究されてきた [49, 50].

本論文では、この問題を解決するために、学習データ(メロディ)を暗意実現モデルに基づいて分析(メロディを抽象化)した後に確率遷移モデルを構築し、メロディを生成することで解決した。

5.2 提案手法

本論文のメロディ生成システムは，学習データを暗意実現モデルに基づいてシンボル列へと抽象化しシンボル列の遷移モデルを構築するユニット，シンボルに対して音列を当てはめるユニットの二部から成る．

図 5.1 は提案した暗意実現モデルに基づくメロディ生成システムの概要である．システムはまず，暗意実現モデルに基づいて入力メロディを分析つまりシンボル列へと抽象化を行う．そして，その分析結果であるシンボル列を用いて，シンボル遷移確率モデルを構築する．シンボル遷移確率モデルから尤もらしいシンボル列を生成し，その生成されたシンボル列のシンボル一つ一つに音列を当てはめることでメロディを生成する．

生成システムはメロディ分析部とメロディ生成部から成る．メロディ分析部は暗意実現モデルに基づいてメロディを分析する部分である．メロディ生成部は2つのモジュールから成る．確率遷移モデル部と音列生成部の2つである．

5.2.1 確率遷移モデル部

確率遷移モデル部は分析されたシンボル列のうち連続する2つのシンボル S_i と S_{i+1} からシンボル遷移確率 $P(S_{i+1}|S_i)$ を計算する．その遷移確率モデルからシンボル列を生成する際には，初期シンボルとして，無作為に生成したシンボル S_0 をモジュールに与える．各ステップ i ($i \geq 0$) においては，与えられたシンボル S_i から，遷移確率 $P(S_{i+1}|S_i)$ を最大にする S_{i+1} を選ぶことによって，シンボル列を生成する．

分析結果はシンボルと呼ばれる連続する数音単位で音列の特徴を表現している記号で出力される．その記号列を確率モデル構築部に，記号とその記号に含まれる音列を音列生成部に受け渡す．入力メロディにおいて，どの記号の後にどの記号がきやすいかをモデル化し，尤もらしい記号列を出力する．

$$S_0 : \text{randomly picked up}$$

$$S_{i+1} = \operatorname{argmax} P(S|S_i)$$

確率モデル構築部では，図 5.2 に示す記号列の遷移モデルを構築した．モデルは1次のマルコフ連鎖で，下記のような表に表すことができる．この遷移モデルは暗意実現モデルのシンボルの前後関係を表しており，ある記号のあとどの記号が来やすいかを重み付けしている．

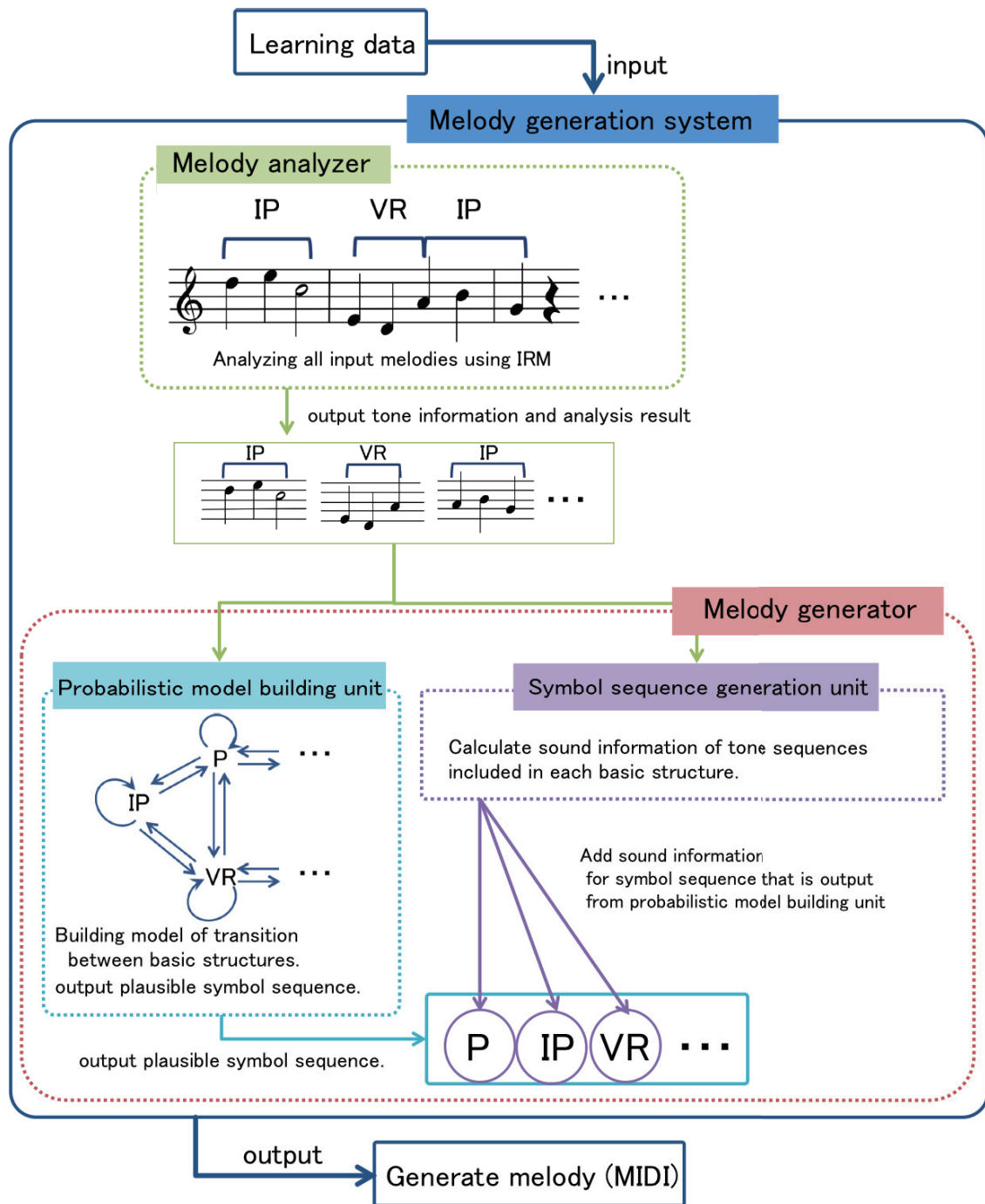


図 5.1: メロディ生成システム

Y

	P	IP	ID	D	VP	VR	R	IR	dyad	M	S
P											
IP											
ID											
D											
VP											
VR											
R											
IR											
dyad											
M											
S											

Transition probability

$$= P(Y | X)$$

図 5.2: 確率遷移モデル

5.2.2 音列生成部

確率モデル構築部から生成されたシンボル列のシンボルひとつひとつに対して音列をあてはめるのが音列生成部である。音列生成部ではシンボルひとつに対して3音を生成し、あてはめる。ここで、本論文では、音列生成部において音列の生成方式に関して二つのアプローチを試みた。一つ目はシンボルの種類ごとに入力メロディ中に現れる音列の平均値を計算することで1種類のシンボルに対して3音を生成する平均方式である。二つ目は、1種類のシンボルに対して入力メロディ中に現れるそのシンボルに含まれる3音をデータベース化し、ランダムにそのデータベースから抽出することで音列をあてはめる方式である。

音列生成部では記号に含まれる音列を生成している。生成方法は2種類あり、average方式とrandom方式となっている。

average方式は、記号に含まれる音列の音高の平均値を計算して新たな音列にしている。音高の平均値の計算方法は、例えばある記号に含まれる音列の音高が(60, 66, 60)で、同じ記号に含まれる音列の音高が(44, 50, 44)であった場合の平均値は

$$((60 + 44)/2, (66 + 50)/2, (60 + 44)/2) = (52, 58, 52)$$

となる。これと同じ計算を入力された記号の種類すべてに対して行う。

random 方式では、学習曲に含まれるある記号 1 種類に対して、含まれる音列の組み合わせのデータベースを生成する。average 方式のように音列同士を計算することなく、受け渡された音列をそのまま保持し、音列を出力する際にそのデータベースからランダムに音列を出力する。

5.3 実験

本節では、提案システムの評価実験について述べる。

評価実験を行うにあたり予備実験を行った。評価を行うにあたり学習曲を 1 曲選定し、学習回数を 1 回、15 回、60 回、100 回としてメロディを出力した。学習曲は Essen のフォークソングデータベースコレクション [46] からランダムに 1 曲選定した。生成されたメロディが暗意実現モデルに基づいて分析ができるか否か、出力されたメロディに含まれる記号の要素が学習曲のものと同じかどうか、という 2 つの評価を行った。

出力されたメロディは暗意実現モデルによって分析が可能であることが確認できた。また、学習回数を多くした場合の方が、生成されたメロディに原曲の音列をより反映できていることが確認できた。出力されたメロディに含まれる要素は学習曲と同じであることも確認ができ、構築したシステムは学習曲の要素をもったメロディを生成していると言える。予備実験の結果をふまえメロディの生成及び評価実験を行った。予備実験を踏まえ学習曲として Essen のフォークソングデータベースコレクション [46] から 2 曲を無作為抽出し実験を行った。

実験は 1 曲の学習曲から 4 曲を生成し、合計 12 曲を実際に聞いてもらい評価を行う被験者実験である。4 曲のうち、2 曲は音列の平均を用いて生成したもの、もう 2 曲はデータベースからランダムに抽出することで音列を生成するという方式である。20 代の男女 15 人に学習に用いた原曲と生成された曲を聞き比べてもらい、「似ている、やや似ている、どちらでもない、あまり似ていない、似てない」の 5 段階で判定を行った。

5.4 結果・考察

図 5.3, 図 5.4, 図 5.5 は学習曲 No.1, No.2, No.3 の評価結果, 図 5.6 は実験結果の総計を示している. 図中の青と赤で示される部分は被験者実験で 5 点または 4 点となった原曲と生成曲が似ているとされた部分, 水色と紫で示される部分は被験者実験で 1 点または 2 点となった原曲と生成曲が似ていないとされた部分, 緑で示される部分は被験者実験で 3 点とされたどちらでもない部分となっている. 青と赤の部分大きければ大きいほど原曲と生成曲が似ているということを示しており, 本論文の提案システムによって生成されたメロディは学習曲の要素を表していると言える.

音高の平均を用いてメロディを生成した場合と, データベースを用いてメロディを生成した場合には, データベースを用いてメロディを生成した場合の方が似ているという評価をより得ていることがわかる. このことからデータベースを用いてメロディを生成した場合の方がより学習曲を反映した, 学習曲の特徴をよりよく抽出したメロディを生成していると言える.

また短調の曲の方がよりよい実験結果を得ていることがわかる. これは, 短調のメロディの方が特徴を抽出しやすいのではないかと考えらる. 今回の実験で入力曲の印象に近いメロディが生成できることが確認できた. この結果より, 本手法および本システムで入力曲の印象を保持した変奏曲 (variations) を生成することができると考えられる. 変奏曲は原曲をモチーフとして, そのモチーフを変化させていく楽曲形式で, 楽曲のアレンジとも言える. 今後, クラシックの変奏曲を入力曲として変奏曲が生成できるかなどの検討も行う.

音楽理論暗意実現モデルに基づいたメロディ生成システムを構築した. 生成された曲は, 学習曲の要素が含まれていること, 暗意実現モデルに基づいたメロディが生成されていることの 2 点が確認できた.

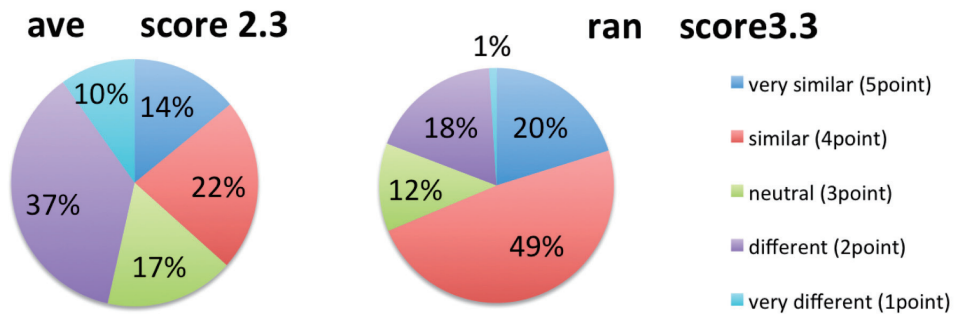


図 5.3: メロディ生成の評価結果 (1)

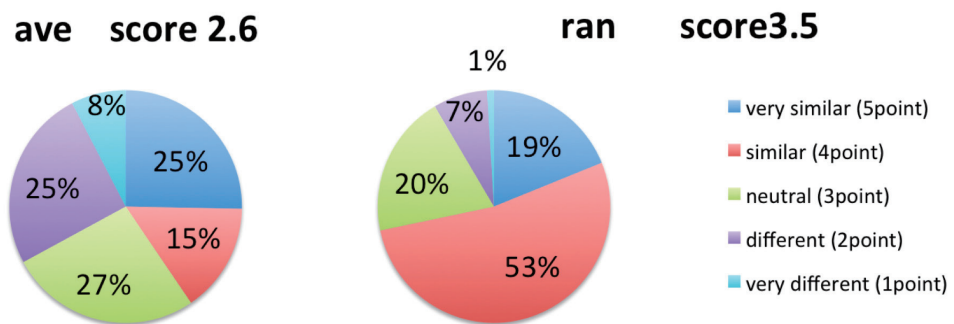


図 5.4: メロディ生成の評価結果 (2)

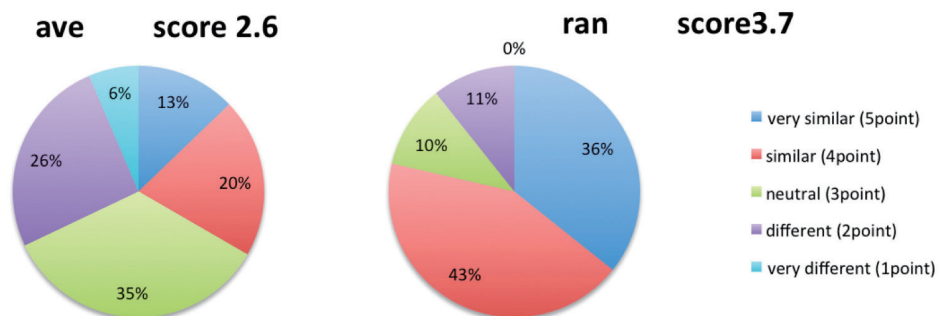


図 5.5: メロディ生成の評価結果 (3)

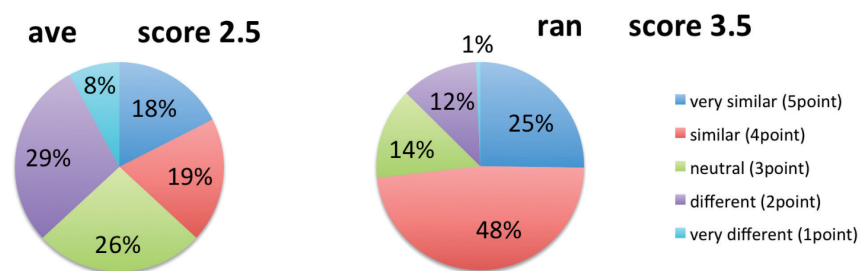


図 5.6: メロディ生成の評価結果 (合計)

第6章 結論

6.1 考察・まとめ

本論文では、研究の最終的な目標として、人間と計算機が同じように音楽を理解できるシステムの構築を掲げた。特に、人間と計算機が同じように音楽を理解するということの具体例として、i) 楽曲の盛り上がり個所を見つけることができる、ii) 似た曲を探すことができる、iii) 入力曲に似た新しい音楽を創造することができる、という三点を設定した。そして、楽曲の展開を記述することのできる音楽理論を計算機実装し、この音楽理論を用いて上記の三点を実現するシステムを構築した。本論文で採用した音楽理論は暗意実現モデルであり、この音楽理論においては、シンボルと呼ばれる記号列を用いて音楽の特徴を記述する。しかし、オリジナルの暗意実現モデルにおいては、計算機実装をするに当たって、理論の定義が曖昧な点、および、分析の手順が明示されていない点があり、計算機実装に際してこれらの点が問題であった。そこで、本論文では、計算機実装において必要となる定義部分を明確化するとともに、分析手順の定式化を行ったうえで、暗意実現モデルの計算機実装を行った。

暗意実現モデルを計算機実装し、その分析結果を用いたシステムの応用事例として、本論文では、暗意実現モデルに基づいて楽曲間類似度を測定するシステムを構築した。本システムでは、オリジナルの暗意実現モデルに対して、音列の進行方向に関してシンボルの定義を細分化する拡張を行い、楽曲間類似度の測定精度の改善を行った。さらに、主観評価実験を行い、拡張暗意実現モデルの有効性を確認した。

暗意実現モデルを計算機実装し、その分析結果を用いたシステムのもう一つの応用事例として、暗意実現モデルに基づくメロディ生成システムを構築した。本メロディ生成システムでは、入力曲に対して暗意実現モデルに基づく分析を行い、その分析結果に基づいて、暗意実現モデルのシンボルの前後関係の確率モデルを構築し、この確率モデルに基づいて、尤もらしいシンボル列を生成する。そして、生成されたシンボル列のシンボル一つ一つに対して音列を付与することによりメロディを生成した。主観評価実験の結果、本システムにより生成された曲において、入力曲の要素が含まれることが確認できた。また、入力曲と生成曲がどの程度似ているかに関する主観評価実験を行い、両者が似ているという結果が得られた。

6.2 今後の課題・展望

暗意実現モデルの計算機実装に関する今後の課題として、現在のルールベースパーサーでは分析できない楽曲をカバーするために、機械学習に基づくパーサーを実装することが挙げられる。また、楽曲間類似度計算に関する課題として、本論文において使用した音楽ジャンル以外の楽曲データベースを用いた評価を行うことが挙げられる。さらに、広い範囲の構造を考慮した類似度尺度を導入することが挙げられる。一方、メロディ生成手法に関する今後の展望として、入力曲の数を複数に増やした場合の手法を定式化すること、および、旋律だけでなく伴奏も併せてつけた場合のメロディ生成方式を定式化することが挙げられる。

音楽に対して「似ている」か否かは、人間が音楽に対する一番最初に行う直感的評価である。本論文で提案したシステムによって、似ている曲の候補が同定され、主観評価実験において被験者による評価結果に近い性能が達成できた。この点においては、本論文の方式によって、人間が音楽を理解する第一歩と同等のレベルが達成できたと言える。

これに対して、本論文の研究の次の段階としては、単に「楽曲が似ているかどうか」の判定にとどまらず、「楽曲がどう似ているのか」という課題に踏み込んだ研究を行う必要がある。例えば、「どこかで聴いたことのある」や「どこか懐かしい感じがする」という評価を人間が曲に対して直感的に行ったときに、人間が次に感じる事柄は、「その曲のどの部分が、その評価に繋がっているか」という事柄である。ここで、「その曲のどの部分が、その評価に繋がっているか」に対しては、人によって個人差が出る事項である。例えば、「暗い雰囲気や短調である部分が似ている」、「歌詞から受ける印象が似ている」、「楽器の音が似ている」等、多様な理由が考えられるが、このいずれの理由の場合であっても、それらの理由によって「それらの曲が似ている」という評価につながる。同様に、「いままで聴いたことの無いメロディ」という評価においても、「その曲のどの部分が、その評価に繋がっているか」という事項においては、人によって個人差が出ると考えられる。例えば、「ドラムパターンがこれだけ激しい音楽は初めて」であったり、「似たような明るい曲は聴いたことがあったが、ここまで突き抜けて明るい曲はいままで聴いたことがなかった」等、多様な理由が考えられる。そこで、人間が音楽を認識する能力を計算機上で実現するための次の課題としては、「楽曲がどう似ているか」という部分の計算機実装が不可欠となる。「楽曲がどう似ているか」の部分の計算機実装は、言い換えれば、「楽曲のどの部分に注目して類似性を評価しているのか」の計算機実装と行うことができる。ここでは、例えば、楽器に注目するのか、曲調に注目するのか、歌詞に注目するのか、等、多様な観点を考えることができる。今後は、それらの多様な観点をふまえて、「楽曲のどの部分に注目して類似性を評価しているのか」の計算機実装を行う必要がある。

本論文では、音楽理論暗意実現モデルを計算機実装し、暗意実現モデルに基づ

くメロディ分析結果を用いて、「楽曲検索」及び「楽曲生成」が実現可能であることを示した。一方、音楽分野においては、楽曲検索、楽曲生成以外にも、例えば、編曲、即興演奏、楽曲評価等、計算機実装が未だ実現されていない課題が多く存在する。これらのうち、編曲とは、メロディを生成する作曲とは異なる作業であり、目的に応じて楽曲の楽器編成などを書き換えたり、メロディを保持したままその他の部分の音色を作ること等を指す。編曲は、人間がその曲の雰囲気や、作曲家・作詞者の意図を汲み取った上で、メロディ以外の部分を生成する作業である。編曲を計算機実装するためには、その曲の持つ意図や雰囲気を適切に数値化あるいは言語化でき、かつ、楽器の持つ音色の雰囲気を理解することが不可欠である。これまでのところ、人間同士の間でも、楽曲の持つ意図や雰囲気を完全に伝え合うことは容易ではないため、これらを計算機実装することは、さらに困難であると考えられる。また、即興演奏とは、楽譜によることなく、演奏者と演奏者が即興で作曲・編曲を行ったり、アドリブを加えたりすることによって、盛り上がる音楽をその場で創作することである。適切に曲を作曲・編曲しながら、さらにアドリブを加えるというのは、上記で述べた編曲以上に困難な課題であると言える。さらに、そのうえ、リアルタイムでその音楽を理解することまでも必要とされるため、難易度はさらに高いと考えられる。

このように、編曲や即興演奏は、人間にとっても難易度が高く、現在でも一部の専門家のみが持つ技術であると言える。その実現においては、音楽の意図や雰囲気といった、人間の感性による部分が支配しており、それらは、これまでのところ、計算機上でも全く定量評価さえされていない要素であると言える。しかし、今後の研究の方向性として、本論文で実装した音楽理論を介すことにより、編曲、即興演奏、楽曲評価等のより難易度の高い音楽活動の計算機実装方式についても検討を進めたい。

謝辞

本稿執筆にあたり，温かいご指導を頂いた京都大学の浜中雅俊先生，はこだて未来大の平田圭二先生，北陸先端科学技術大学院大学の東条敏先生，ならびに音楽情報科学研究会の皆様にご心からお礼を申し上げます。また，筑波大学の宇津呂武仁先生，星野准一先生，星野聖先生，丸山勉先生，乾孝司先生にも謝辞を捧げたい。

また，日常の議論を通じて多くの知識や示唆を頂いた元音楽情報処理研究室所属のみなさま，ありがとうございました。音楽に関して，情報学の観点以外からのコメントや手助けをしてくれた友人らにも感謝を捧げる。

そして心が折れたときに言葉をくれた人々に心からの感謝を伝えたい。

付 録 A 音楽史年表

第 2 章では，古代ギリシャから 2000 年代の現代音楽理論までを概観した [66, 67, 8, 9]。本章では，第 2 章で説明した音楽史について，音楽史以外の歴史と併せて並べて示す [62, 63, 64, 65]。年表は大きく分けて紀元前，それ以降となっている。紀元前の部分は第 2 章の古代ギリシャの部分にあたる。それ以降は第 2 章の中世，ルネサンス，バロック，古典派，ロマン派，近代，そして現代音楽理論である。

年	作曲家名	西洋音楽関係	日本音楽関係	世界史	中国・日本史
AD8					前漢滅亡、王莽が新を建国（～23）
25					劉秀が後漢を建国、洛陽に都をおく（～220）
30				キリストが処刑される	
40				パウロの伝道活動（～60）	
57					
64				皇帝ネロがキリスト教徒を迫害	倭奴国王、後漢に使者
67					中国に仏教伝来
70		水圧オルガンがローマの劇場や家庭で使われる			
80				ローマにコロセウムができる	
96				ローマ五賢帝時代（～180）	
100		ローマで歌唱、器楽理論についての音楽教育が行われる。小アジアの初期キリスト教の礼拝では聖歌が歌われる。			北朝鮮に高句麗が起る
105					蔡倫、紙を発明
130頃		中央アジアでガンダーラ美術盛ん。大乘仏教興る。			
150				このころローマ帝国の全盛時代	
184					黄巾の乱
200頃		新約聖書編纂			
207					劉備、三顧の礼で諸葛亮を迎える
208					赤壁の戦
212				万民法（アントニヌス法）が全帝国内に及ぶ	
220					後漢滅亡、魏・呉・蜀の三国分立
226				ササン朝ペルシア成立（～651）	
239					卑弥呼が魏に使者
280		現存する最古のキリスト教聖歌「オクシリンコスの讃歌」			晋が中国を統一（～316）
284				ディオクレティアヌスが帝国4分治制を採用	
285					漢字が日本に伝来
300頃		東方キリスト教会でアンティフォナという詩篇合唱が発達。エジプトから伝えられたキロノミーが行われた。	魏志が邪馬台国の歌舞について言及		
313				ミラノの勅令（コンスタンチヌス帝がキリスト教を公認）	
325				ニケーア公会議 ～アタナシウス派を正統	
346		インドから天竺楽が中国に伝来（～353）			
350				朝鮮に高句麗・百済・新羅の三国が成立	大和政権が国内統一

中世

年	作曲家名	西洋音楽関係	日本音楽関係	世界史	中国・日本史
375				ゲルマン民族の大移動が始まる	
380頃		教皇ダマス1世がローマ典礼と聖歌の制度を定める。ミラノの司教アンブロシウス(～397)が東方讃歌をミラノに紹介、普及			
391					任那に日本府
392				ローマ帝国、キリスト教を国教とする ローマ帝国が東西に分裂	
395				5世紀の初め、ゲルマン人がヨーロッパ各地に建国	
420					宋、成立(南朝)(～479)
439					北魏が華北を統一(北朝)
453			新羅の楽人が允恭天皇の葬儀に楽を献上		
476				西ローマ帝国滅亡	
480頃		ローマのエボティウスの5巻の「音楽教程」(～524)			
485					北魏の孝文帝が均田制を実施
486				フランク王国建国 東ローマ皇帝ユスティニアヌス大帝(～565)	
527					
529			仏教と共に声明が日本に伝来		
533				ローマ法大全ができる	
537			百済の楽人の交代要員来日	セント・ソフィア聖堂完成 マホメット生まれる(～632)	日本に仏教が伝わる
570頃					
581					楊堅が隋を建国
587					物部氏が滅亡
589					十七条憲法 煬帝が即位(～618)
604					十七条憲法
605					煬帝が大運河を開く
610				マホメットのイスラム教成立	
612			伎楽が味摩之によって日本に定着		

年	作曲家名	西洋音楽関係	日本音楽関係	世界史	中国・日本史
618					隋が滅亡、唐が中国を統一（～907）
622				マホメットがメジナに逃れる（ヘジラ・回教紀元元年）	唐の太宗が即位 → 貞観の治（627～649）
626					
630		カンタベリーに聖歌の養成所創設		マホメット、アラブを征服（シリア、メソポタミア、イラン、エジプト）（～651）	遣隋使の派遣
645					大化の改新
661				ウマイヤ朝（サラセン帝国）成立（～750）	
663					百済が唐に滅ぼされる 白村江の戦い 高句麗が唐に滅ぼされる
668					天智天皇即位
672					壬申の乱
676					新羅が朝鮮半島を統一
600末		ローマで音楽上典禮上の発展（～800）			
701			宮廷に国立の演奏・教習の機関（雅楽寮）が設立		大宝律令
710		各地の修道院でグレゴリオ聖歌が歌われる「フランク王国（カロリング朝）」			平城京に遷都
711				サラセン人が西ゴートを滅ぼし、サラセン文化がヨーロッパに広まる	
712					唐の玄宗が即位 古事記
713					渤海が建国
726			吉備真備が雅楽の文献「楽書要録」を持ち帰る。唐の楽器、楽曲伝来（楽箏、琵琶、尺八）	東ローマ皇帝レオ3世が偶像崇拜禁止令を出す	
735					
750				サラセン帝国にアッバース朝成立、ウマイヤ朝滅亡	
751				中国から製紙法が西方に伝わる	

年	作曲家名	西洋音楽関係	日本音楽関係	世界史	中国・日本史
752			東大寺大仏開眼 供養		東大寺大仏
754					鑑真が来日
755					安史の乱 (~763)
768				カール大帝 (~814) このころから、ヨーロッパが封建制度の時代に向かう	
769					
774				カール大帝がロンバルド王国征服	
780			能楽戸が廃止され能楽の民間流出		唐、兩税法を施行
786				アップパース朝のカリフ・ハールーン・アッラーシード (~809) ~サラセン文化の全盛	
794					平安京に遷都
800頃		ポリフォニーの発達・多声音楽出現。グレゴリオ聖歌という言葉が使われ始める	外来雅楽の日本化		
826		オルガン建設やオルガン音楽に関する記録が増える			
842					承和の変
843				ベルダン条約でフランク王国が三分される	
862		フィドルが少しずつ普及。旅芸人達が民謡を広める。	管絃、催馬楽、朗詠が生まれる。円仁が中国天台宗の典礼音楽の組織的導入	ルーリックがノヴゴロド王国建設 →ロシアの起原	
870				メルセン条約でイタリア・ドイツ・フランスの基ができる	
875					黄巢の乱
900頃		ビザンティン・ネウマ譜による現存する最古の聖歌集。現存する最古のトロープス「誰を墓にもどめるか」サンクトガレンのトゥオティロ作	グレゴリオ聖歌統一		
905			譜表記譜法が起こる		古今集 唐滅亡、五代十国成立 (~960)
907					

年	作曲家名	西洋音楽関係	日本音楽関係	世界史	中国・日本史
918				朝鮮に高麗が起こる	
927					満州の渤海が滅ぶ
935				朝鮮の新羅が滅び、高麗が統一	
948			京都御所に雅楽の伝習機関「楽所」が設置		
960				神聖ローマ帝国、オットー即位 (~973)	太祖が後周を倒し、宋(北宋)成立 (~1127)
962					
965			源博雅が博雅笛譜を編纂		
969					
987				フランスにカペー王朝が起こる	
990頃		オルガンが次第に教会で使用されるようになる。 音高を明示したネウマ記譜が始まり、音符の種類が急速に増加。			
1000頃			芸能・文化史で中性的傾向。雅楽の国風歌舞における組曲形式の原型が整う		
1000頃		典礼劇が栄える ミサの形式がほぼ定まる			李朝大越国、成立 (~1225) 源氏物語
1010					
1010		グイード・ダレツォが新しい歌唱指導法を組織。 ソルミゼーション理論			
1020					
1022			上東門第で田楽が行われる		
1038				ベルシアにセルジューク朝、成立 (~1157)	
1053					平等院鳳凰堂
1054				ギリシア・ローマの両教会が完全に分裂 ノルマンジーがイングランドを征服	
1066					
1069					王安石の改革
1071		プロヴァンスのアキタニアの宮廷で俗語世俗歌曲がおこる			

年	作曲家名	西洋音楽関係	日本音楽関係	世界史	中国・日本史
1077				カノッサの屈辱 ～ ドイツ皇帝がローマ 法王に屈伏	
1083					後三年の役
1096				ウルバヌス2世が第1 回十字軍を派遣 (～ 1099)	
1099				十字軍がエルサレム 王国を建てる	
1115					中国東北部に金が建国
1125					金が遼を滅ぼす 宋が金の侵攻で南渡 (南宋) (～ 1279)
1127					
1130				イタリアにナポリ王 国が成立	
1142					紹興の和議 ～宋と 金の和議
1143				ポルトガル王国が成 立	
1147				第2回十字軍 (～ 1149)	
1150頃				カンボジアでアン コール・ワット建設	
1156					保元の乱
1158					
1160					
1100代 末					
1185					平氏が滅びる

トル
バ
ド
ウ
ー
ル

ミン
ネ
ゼ
ン
ガ
ー

中国で歌を中心とす
る劇音楽が発達

オルガンが教会音楽
の楽器として全ヨー
ロッパに普及

後白河法皇の梁
塵秘抄

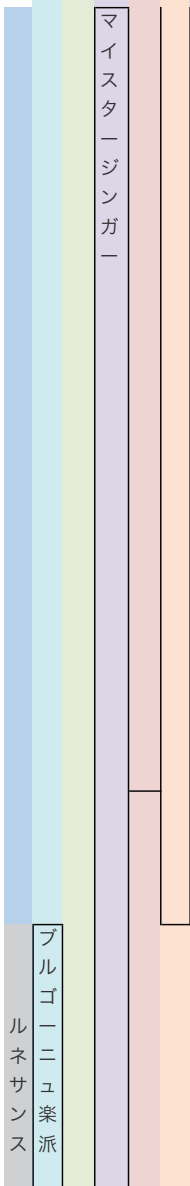
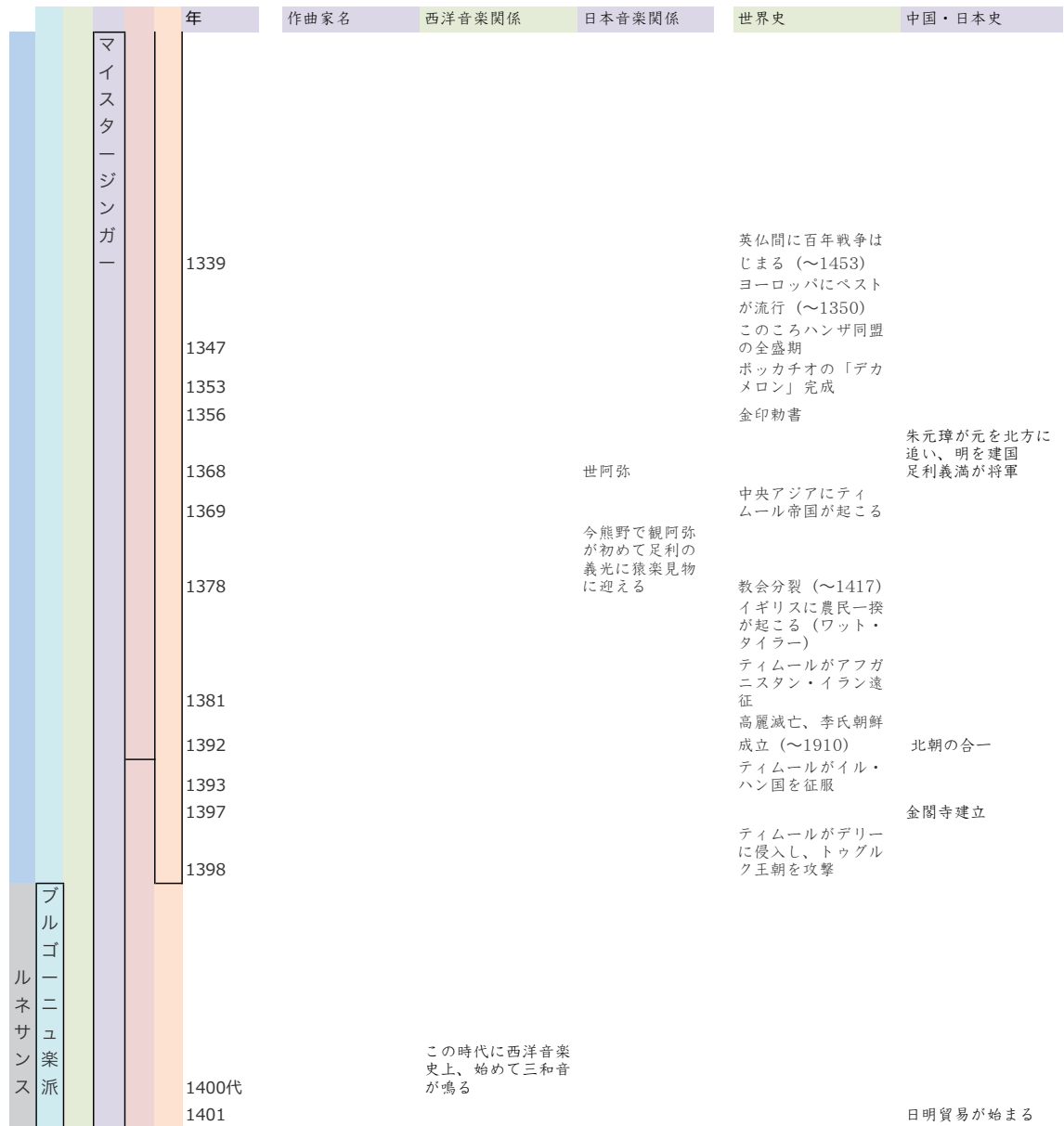
法学校の学生が結成
した組合団体
universitas
ミラノの教会聖歌集
(アンブロジーノ聖歌
集)の最古の写本が
成立

ノートルダム楽派の
多声音楽が栄える

年	作曲家名	西洋音楽関係	日本音楽関係	世界史	中国・日本史
1187				エルサレム王国が滅ぶ	
1189				第3回十字軍遠征 (~1192)	源義経が死去
1190				ドイツ騎士団が生まれる	
1192					鎌倉幕府成立
1195				イスラム教徒がスペインを占領	
1202		モード記譜法	平家琵琶が確立	第4回十字軍遠征 (~1204)、十字軍がラテン帝国を建設	
1204				第4回十字軍がビザンチン帝国を征服	
1206				奴隸王朝、成立 (~1290)	モンゴル帝国のチンギス・ハン即位
1215				ジョン王が大憲章 (マグナ・カルタ) を承認	
1219					チンギス・ハンの西征 (~1925)
1224				モンゴル帝国が南ロシアを征服	
1228				第5回十字軍	
1230頃		計量記譜法が始まる			
1232					御成敗式目
1233			日本三大楽書のひとつ、雅楽の楽書「教訓抄」(伯近真)成る		
1234					モンゴル帝国が金を滅ぼす
1241				モンゴル帝国がワールシュタットの戦いでヨーロッパ軍を破る	
1248				ドイツにハンザ同盟が成立	
				第6回十字軍	

トルヴェール
ノートルダム楽派

年	作曲家名	西洋音楽関係	日本音楽関係	世界史	中国・日本史
1260		フランコ式記譜法			フビライ・ハンがモンゴル帝国第5代皇帝に即位
1261				東ローマ帝国が再興	
1264					フビライ・ハンが大都（現在の北京）に遷都
1265				イギリス国会（下院）が創設される	
1268					北条時宗が執権
1270				第7回十字軍	
1271					フビライ・ハンが国号を元と称す（～1368）
1272				十字軍が聖地を退く	
1274					文永の役
1275					マルコ・ポーロが大都に来る
1279					元が南宋を滅ぼす。元的全盛期で東西交通が栄える
1280					郭守敬がイスラム暦をもとに絞時暦を作成
1281					弘安の役
1295				イギリスで模範会議	
1297					永仁の徳政令
1299				オスマン・トルコ帝国の建国	マルコ・ポーロの『東方見聞録』なる
1302				フィリップ4世が三部会を招集	
1303				アナーニ事件	
1309				教皇のバビロン捕囚 ドイツで火薬が発明される	
1313		ダンテの『神曲』 イタリアにルネッサンス（文芸復興）が始まる			
1333頃			観阿弥	アルハンブラ宮殿なる	鎌倉幕府が滅びる



年	作曲家名	西洋音楽関係	日本音楽関係	世界史	中国・日本史
1402				アンゴラの戦い ~ ティムールがオスマン・トルコを破る	明の永楽帝、即位
1403					朝鮮で活字ができる
1405					明の鄭和が第1回の南海遠征に出発
1414				コンスタンツ公会議 (~1418)	
1415		ヘンリー5世(~22)の治下のイギリスで多声教会音楽が発達。			
1419				ドイツでフス戦争が始まる (~1436)	
1420頃		イタリアでリュート伴奏の世俗音楽が盛ん			
1425					
1428					正長の土一揆
1429				フランスの少女ジャンヌ・ダルクがオルレアンの包囲を破る ドイツのグーテンベルクが活版印刷術を發明	
1450頃		白符定量記譜法			
1452		最古のオルガン教本「オルガン技法の基礎」(パウマン著)成る。ビザンツ聖歌が終息する。以降典礼において歌い継がれる。			
1453				オスマン・トルコが東ローマ帝国を滅ぼす	
1455				イギリスでばら戦争 (~1485)	
1467			応仁の乱により楽人が離散		応仁の乱
1470代		ドイツで楽譜の印刷が始まる オケゲム、オブレヒト、デ・ブレらフランドル楽派によるポリフォニー音楽の繁栄			
1477					
1480				モスクワ大公国独立	

フランドル楽派

年	作曲家名	西洋音楽関係	日本音楽関係	世界史	中国・日本史
1482		ボッティチェリの「春」『ヴィーナスの誕生』。			
1485		イタリアルネサンス全盛			山城の国一揆
1488				バートロミュー・ディアスが喜望峰を発見	
1491		ヴェネツィアで音楽が栄える。祝祭音楽が大規模化する。			
1492		レコンキスタ(国土回復運動)終わる		コロンブスが新大陸を発見	
1498		ペトルッチが活字による計量楽譜印刷法を開発。 マクシミリアン1世の宮廷楽団合唱団(後のウィーン少年合唱団)設立		バスコ・ダ・ガマがインド航路を発見	
1505	アルカデルト (イタリア：アヴェマリア)				
1506		ヴァイオリン族が北イタリアで完成		イタリアのセント・ピーター寺院が完成	
1509				エラスムスが「愚神礼賛」を著す	
1510				ポルトガルがインドのゴアを占領	
1516				トマス・モアが「ユートピア」を著す	
1517				ルター宗教改革	
1519				マゼラン船隊が世界一周 (~1522)	
1524		ヴァルターとルターによる「讃美歌集」刊		ドイツ農民戦争 (~1525)	
1525	バレストリーナ (イタリア：教皇マルチェルス6世のミサ)				
1526				インドにムガル帝国、成立 (~1858)	
1527		ヴィラールトによるヴェネツィア楽派の基礎づけ			
1528		ザクセン、チューリッゲンをはじめとするプロテスタント諸国で教会音楽が大いに発達			

年	作曲家名	西洋音楽関係	日本音楽関係	世界史	中国・日本史
1532				マキアヴェリが「君主論」刊行	
1533		新しいイタリア・マドリガーレが現れ、表現法、ハーモニー改革の実験の場となる		インカ帝国、滅亡 イグナティウス・ロヨラがイエズス会（耶穌会）創設	
1534				ヘンリ8世が首長令を發布、イギリス国教会を創設 カルバンがジュネーブで宗教改革 コペルニクスが「地動説」を唱える	
1541			日本に胡弓伝来		
1543					
1549		キリシタン音楽伝来			
1550頃		全ヨーロッパでリュート演奏	僧・賢順が筑紫流箏曲創始 山ロで宣教師トロレスら「歌ミサ」を行う		
1552		アウグスブルクの宗教和議。ルター派の承認。カルヴァン派が勢力伸ばす。			
1555				ムガル帝国のアクバル大帝が即位（～1605）	川中島の合戦
1556					
1557	ガブリエリ（イタリア：ピアノとフォルテのソナタ）		この頃九州で島津日新斎が薩摩琵琶を創始	アクバルがアグラに遷都 イギリスのエリザベス女王が即位（～1603）	
1558					
1560			豊後でヴィオラ・ダルコの授業		桶狭間の戦い
1562			琉球から堺へ三味線渡来	ユグノー戦争（～1598）	

年	作曲家名	西洋音楽関係	日本音楽関係	世界史	中国・日本史
1571				スペイン人がフィリピン群島を占領し、マニラ市をつくる	
1572				フランスでセント・パーソロミュー事件	
1573					室町幕府が滅亡
1575		バードとタリスが「カンツォーネス・サクレ(宗教歌曲集)」刊			
1576		ロンドンで最初の劇場開かれる			
1579		イタリアの宣教師ヴァリニャーニ、オルガン2台を携えて来日			
1580				スペイン、ポルトガルを併合	
1581		バリで最初の宮廷バレエ、ボジョワイユの「王妃のバレエ・コミーク」上演	織田信長、クラヴオ演奏を聴く	オランダ独立宣言 イヴァン4世がシベリア進出	
1582		ガリレイの「古代と今日の音楽に関する対話」		アクバルが新宗教「神聖宗教」(ディーン・イラーヒー) 宣布	本能寺の変
1583			三方楽所の制度	新しい暦法としてグレゴリウス暦(太陽暦)が採用される	
1584		中国の理論家朱載堉が12平均律を基礎づける		ガリレオ・ガリレイが振子の等時性を発見	
1588		イギリスで初めてマドリガル曲集が出版される		アルマダ海戦 ~イギリス艦隊がイスパニアの無敵艦隊を破る	秀吉が刀狩り
1596				オランダが東洋に殖民を始める	
1597		G・ガブリエル「サラ・シンフォニア第1集」刊			慶長の役
1598				ナントの勅令 ~フランスのヘンリー4世が信教の自由を認める	

年	作曲家名	西洋音楽関係	日本音楽関係	世界史	中国・日本史
1600		通奏低音(数字付き低音)が従来の演奏譜伴奏を駆逐。	日本で人形浄瑠璃始まる。三味線組歌成立。	イギリスが東インド会社を設立	
1603		シェークスピアの戯曲「ハムレット」	京都四條河原で出雲の阿国がかぶきおどりを披露	シェークスピアの『ベニスの商人』が出版される	関が原の戦い
1602		カッチーニの声楽曲集「新しい音楽」刊	地歌の始まり、八橋流箏曲の始まり	オランダが東インド会社を設立	江戸幕府成立
1604		近代五線記譜法		フランスが東インド会社を設立	
1607			江戸で観世、金春による勲進能。出雲阿国、江戸で歌舞伎踊を演じる		
1609				ガリレイが天体望遠鏡を発明	
1612				ドイツのケプラーが天体の三法則を発見	
1615					キリスト教禁止
1616		種々の舞曲(バグアス、ガイトなど)を変奏曲風に繋ぎ合わせたドイツ多声管弦楽用組曲が盛んになる			清、成立(～1912)
1618		ブレトリウスの「シントグマ・ムジウム(音楽大全)第2,3巻刊		三十年戦争が始まる(～1648)	
1620		ルーベンス、アントワープで大作多数製作		イギリスの清教徒がメイフラワー号で北米に移住	
1621				オランダが西インド会社を設立	
1624		イタリアでトリオ・ソナタが盛んになる		オランダが台湾を占領(～1661)	
1628				イギリスで「権利の請願」成立	

バ
ロ
ック

年	作曲家名	西洋音楽関係	日本音楽関係	世界史	中国・日本史
1629		フレ斯科バルディが活躍、バロック的な表現を開拓	女歌舞伎禁止		紫衣事件
1631		イタリアでカストラート(去勢された男性歌手)が盛ん			李自成の乱
ヴェネツィア派オペラ					
1633		歌舞伎で初めて三味線を使用 ヴェネツィアで最初の独立したオペラ劇場開場		ガリレイが宗教裁判をうける	
1637					島原の乱
1639					鎖国令
1642		カリッシミにより、宗教的な劇的オラトリオが確立された。モンテヴェルディの最後のオペラ「ポッペアの戴冠」がヴェネツィアで上演	江戸城紅葉山の楽人の設置	イギリスでピューリタン革命が始まる (~1649)	
1643				フランス、ルイ14世の治世 (~1715)	
ボローニャ楽派					
1648				ウェストファリア条約、三十年戦争を終結 フロンドの乱 (~1653)	
1649				イギリスの王政が倒れ、クロムウェルの共和制が始まる (~1660)	慶安の御触書
1651				イギリス航海条例	
1652			若衆歌舞伎の禁止		

年	作曲家名	西洋音楽関係	日本音楽関係	世界史	中国・日本史
1653	バッハヘルベル (ドイツ：カノン)	リュリが宮廷作曲家兼パリ宮廷管弦楽団指揮者となる。メヌエットの出現。		フランスのバスカルが「バスカルの原理」を発見	
1657		明暦の大火(振袖火事)によって浄瑠璃の中心が上方へ移る			明暦の大火
1659				ピレネー条約 イギリスの王政が復活	
1660				イギリスのボイルが「ボイルの法則」を発見	
1661		このころから歌舞伎に幕が使用される		フランスのルイ14世の親政が始まる ～ 絶対王政の最盛期	伊達騒動
1662					明が滅亡
1667				ネーデルランド継承戦争(～1668)	
1668	クーブラン (フランス：王宮のコンセール)				
1669					シャクシャインの戦
1671	アルビノーニ (イタリア：アダージョ)				
1672			普化宗の成立	オランダ侵略戦争(～1678)	
1673					中国で三藩の乱(～1681)
1675				イギリスのグリニッジ天文台設立	
1678	ヴィヴァルディ (イタリア：協奏曲集「四季」)				
1679				イギリス議会で人身保護法が成立	
1680				ベルサイユ宮殿が完成	綱吉が将軍に
1685	バッハ (ドイツ：G線上のアリア) ヘンデル (ドイツ：メサイヤ)		竹本義太夫が竹本座を創設	ルイ14世がナントの勅令を廃止	

年	作曲家名	西洋音楽関係	日本音楽関係	世界史	中国・日本史
1687		ハンブルクにオペラ劇場	生田検校が生田流箏曲創設。歌舞伎で和事と荒事が確立	イギリスのニュートンが「万有引力の法則」を発見 イギリスで名誉革命、ウィリアム3世が国王として招かれる	元禄文化
1688					
1689				イギリスで権利章典公布 イギリス・フランス間の植民地戦争（ウィリアム王戦争）	ネルチンスク条約～清とロシアが国境を画定
1700				北方戦争（～1721） スペイン継承戦争（～1713）	
1701				大ブリテン王国、成立	「奥の細道」
1707			長唄の成立		富士山が噴火
1709		最初のピアノ製作。フィレンツェのハーpsiコード製作家バルトロメオ・クリストフォリ			
1710					清で『康熙字典』が完成
1713				ユトレヒト条約 イギリスのジョージ1世が即位し、ハノーバー朝が始まる	
1714				ラシュタット条約	
1716					享保の改革
1720					広東に公行創設
1721					吉宗が目安箱を設置
1726				イギリスのスイフトが『ガリバー旅行記』を著す	
1727					キャプタ条約～清とロシアが国境を画定
1728					清がチベットを征服

ナポリ派
オペラ

前
古典派

年	作曲家名	西洋音楽関係	日本音楽関係	世界史	中国・日本史
1732	ハイドン (オー ストリア：交響 曲第94番「驚 愕」)				清の雍正帝が軍機処 を設置 享保の大飢饉
1734	ゴセック (ベル ギー：ガボッ ト)				
1735			人形浄瑠璃で3 人遣い創始		清の乾隆帝が即位
1740				オーストリア継承戦 争 (~1748)	
1741	マルティーニ (ドイツ：愛の 喜び)				
1743	ポッケリーニ (イタリア：メ ヌエット)				
1747			常盤津節が創設	アメリカのフラン クリンが電気の概念を 確立 アーヘン和約	
1748		人形浄瑠璃「仮名手 本忠臣蔵」初演(竹 田出雲・並木千柳・ 三好松洛合作)が空 前のヒット		モンテスキューの 『法の精神』なる	
1750			山田検校が山田 流箏曲創始	フランクリンが避雷 針を発明	
1751					吉宗が死去
1756	モーツァルト (オーストリ ア：交響曲第4 0番)			イギリス・フランス 植民地七年戦争 (~ 1763) ブラッシーの戦い	
1757					清の乾隆帝が、外国 船の来航を制限
1760				イギリスの産業革命 (~1840)	
1762		グルック「オルフェ オとエウリディー チェ」 ウィーン初 演		ルソーが『民約論』 を著す	

年	作曲家名	西洋音楽関係	日本音楽関係	世界史	中国・日本史
1763				パリ条約～英仏講和	
1765				イギリスのワットが蒸気機関を改良	
1767					明和事件
1770	ベートーヴェン (ドイツ：交響曲第9番)				
1772				プロシア・ロシア・オーストリア間で第一次ポーランド分割が始まる	
1773				プガチョフの乱 (~1775)	
1773				ボストン茶会事件	
1774		パリでグルック・ピッチニニ論争が起こる			「解体新書」
1775				アメリカ独立戦争 (~1783)	
1775				アメリカ独立宣言	
1775				イギリスのアダム・スミスが『国富論』を著す	
1776					
1782	パガニーニ (イタリヤ：主題による狂詩曲第18変奏)	モーツァルト「後宮からの誘拐」 K.384、交響曲第35番 二長調「ハフナー」 K.385			「四庫全書」なる
1782		モーツァルト「交響曲第36番 八長調 リンツ」 K.425、ミサ 八短調 K.427		パリ条約 ~イギリスがアメリカの独立を承認	天明の大飢饉
1783					
1786	ウェーバー (ドイツ：歌劇「魔弾の射手」)				
1786		モーツァルト「ドン・ジョバンニ」 プラハ初演、セレナーデ第13番 二長調 「アイネ・クライネ・ナハトムジーク」 K.525			
1787		モーツァルト「ピアノ協奏曲第26番 二長調 戴冠式」 K.537、交響曲第40番 二短調 K.550、交響曲第41番 八長調「ジュピター」 K.551		アメリカ憲法成立	寛政の改革
1788					

年	作曲家名	西洋音楽関係	日本音楽関係	世界史	中国・日本史
				ワシントン初代大統領、就任	
1789		モーツァルト「クラリネット五重奏曲イ長調」 K.581		フランス革命	
1792	ロッシーニ (イタリア:セピリアの理髪師)			エカチェリーナ2世がラクスマンを日本に派遣	
1795		パリ音楽院開校 ハイドン交響曲第100番ト長調「軍隊」、第101番ニ長調「時計」			
1794				テルミドールの反動	
1796					白蓮教徒の乱 (~1804)
1797	シューベルト (オーストリア:交響曲第8番「未完成」)				
1798		ベートーベン ピアノ・ソナタ第8番ハ短調「悲愴」 op.13			本居宣長の「古事記伝」
1799				ブリュメール18日のクーデター	
1800		ベートーベン 6つの弦楽四重奏曲 op.18 ベートーベン バイオリン・ソナタ第5番ハ長調「春」 op.24、ピアノ・ソナタ第14番嬰ハ短調「月光」 op.27-2、ハイドン オラトリオ「四季」、パガニーニ「24のカプリッチオ」 op.1		イタリアのボルタが電池を発明、ナポレオン戦争	
1801					
1803	ベルリオーズ (フランス:幻想交響曲) ヨハン・シュトラウス (オーストリア:ラデッキ行進曲)				
1804		ベートーベン 交響曲第3番変ホ長調「英雄」 op.55		ナポレオン皇帝が即位、ナポレオン法典制定	

ウィーン古典派

ロマン主義

年	作曲家名	西洋音楽関係	日本音楽関係	世界史	中国・日本史
1806	ブルグミュラー (ドイツ:アラ ベスク)	ベートーベン ピア ノ協奏曲第4番 ト長 調 op.58、バガニー ニ バイオリンとギ ターのための6つの ソナタop.2、op.3		神聖ローマ帝国滅亡 ティルジット条約。 シュタイン・ハルデ ンベルクの改革始ま る	
1807					
1808					間宮林蔵が樺太探検
1809	メンデルスゾ ン(ドイツ:交 響曲第4番「イ タリア」)				
1810	ショパン(ポー ランド:ノク ターン) シューマン(ド イツ:トロイメ ライ)				
1811	リスト(ハンガ リー:ハンガ リー狂詩曲)				
1812		ベートーベン 交響 曲第8番 ヘ長調 op.93、ロッシーニ デビュー		ナポレオンのロシア 遠征	
1813	ワーグナー(ド イツ:タンホイ ザー) ヴェルディ(イ タリア:アイー ダ)			ライプチヒの戦 イギリスのスチブン ソンが蒸気機関車を 発明 ナポレオン失脚、 ウィーン会議開催 (~1815)	
1814		ウィーン会議[cxcv]		ワーテルローの戦~ ナポレオンがセン ト・ヘレナへ流され る	
1815		バガニーニ バイオ リン協奏曲第6番ホ 短調、バイオリン 協奏曲第1番ニ長調		神聖同盟が成立	
1819	オッフェンバッ ク(ドイツ:ホ フマン物語)	バガニーニ「もう悲 しくないわ」の主題 による序奏と変奏 op.12、ロッシーニ の「モーゼ」の主題 による幻想曲、「こ んなに胸さわぎが」 の主題による序奏と 変奏op.13	長崎出島でオラ ンダ人がオペ レッタを上演	イギリスがシンガ ポールを占領	

年	作曲家名	西洋音楽関係	日本音楽関係	世界史	中国・日本史
1822	フランク (ベルギー：交響曲ニ短調)				
1823		ベートーベン ディアベリのワルツによる33の変奏曲 ハ長調 op.120、荘厳ミサ曲「ミサ・ソレムニス」ニ長調 op.123		アメリカの大統領モンローがモンロー宣言	
1824	スメタナ (チェコスロバキア：モルダウ) ブルックナー (オーストリア：交響曲第4番「ロマンティック」)				
1825	ヨハン・シュトラウス (オーストリア：美しく青きドナウ) フォスター (アメリカ：夢見る佳人)	メンデルスゾーン 弦楽八重奏曲 Op.20		ロシアでデカブリストの乱 ロバート・オーウェンが共産社会「ニュー・ハーモニー」設立	外国船打払令
1826					
1827			シーボルトが江戸にピアノを持参	ドイツのオームが「オームの法則」を発表	
1828		パリ音楽院演奏会が開始			シーボルト事件
1830				フランスに七月革命	
1831				ベルギーが独立 マッツイーニが青年イタリア党結成	
1833	ブラームス (ドイツ：ハンガリー舞曲第5番)				天保の大飢饉
1835				アメリカのモールスが電信機を発明	大塩平八郎の乱
1837					
1838	ビゼー (フランス：カルメン) ソムルグスキー (ロシア：展覧会の絵)				
1839				イギリスにチャーチスト運動が起こる	
1840	チャイコフスキー (ロシア：悲愴)				清・イギリス間にアヘン戦争 (~1842)

年	作曲家名	西洋音楽関係	日本音楽関係	世界史	中国・日本史
1841	ドヴォルザーク (チェコスロバ キア：新世界よ り)			ドイツのマイヤーが 「エネルギー保存の 法則」を発見	天保の改革 南京条約 → 香港島 をイギリスに割譲
1842		ヴェルディ「ナブ ッコ」			
1844	サラサーテ (ス ペイン：ツイゴ イネルワイゼ ン)				
1848		リストの最初の交響 詩		マルクス・エンゲル スの共産党宣言	
1849		ニコライ「ウイン ザーの陽気な女房た ち」ベルリン初演		フランスに二月革命 イギリスのリビング ストンがアフリカを 探検	
1850		ワグナー「ローエン グリン」ワイマー ル初演			洪秀全、広西省に挙 兵
1851		ヴェルディ「リゴ レット」ベネツィ ア初演			太平天国の乱 (~ 1864)
1852	タルレガ (スベ イン：アルハン ブラの思い出)				
1853		ヴェルディ「イル・ トロバトーレ」ロー マ初演	宇田川榕庵が西 洋音楽用語を翻 訳	イギリス・フラン ス・トルコがロシア と戦う (クリミア戦 争 ~1856)	ペリー来航
1856		「ニーベルングの指 輪」第1夜「ワル キューレ」(全3幕、 1856年完成、70 年ミュンヘン初演)	幕府が長崎で海 軍伝習に伴い、 洋式軍楽を導入		アロー戦争
1857	エルガー (イギ リス：威風 堂々)				
1859				イギリスのダーウィ ンが『種の起源』を 著す イタリア統一戦争 (1860)	安政の大獄 英・仏連合軍が北京 を占領 北京条約 (英・仏・ 露)
1860	マーラー (ウィーン：大 地の歌)		ロシア5人組結成		洋務運動おこる (同 治中興) 桜田門外の変

年	作曲家名	西洋音楽関係	日本音楽関係	世界史	中国・日本史
				アメリカ南北戦争 (~1865) イタリア王国が建国 される ロシアのアレクサン ドル2世が農奴解放令 発布	
1861	マクダウェル (アメリカ：野 ばらに寄せて)				
1862	ドビュッシー (フランス：月 の光)				
1863	マスカーニ (イ タリア：カヴァ レリアマルス ティカーナ)			アメリカ大統領リン カーンが黒人奴隷解 放宣言	薩英戦争
1864	リヒャルト・ シュトラウス (ドイツ：ばら の騎士)			ロンドンで国際労働 者協会 (第一回イン ターナショナル) が 結成される	第一次長州征伐
1865	シベリウス (フィンラン ド：フィンラン ディア)			オーストリアのメン デル「遺伝の法 則」を発見	
1866	サティ (フラン ス：ジムのペ ティ)			普墺戦争 アメリカがアラスカ をロシアから買収 スウェーデンのノー ベルがダイナマイト を発明	薩長同盟 大政奉還
1867					
1868	ジョブリン (ア メリカ：エン ターテイナー)				明治維新
1869		ブラームス ハンガ リー舞曲集、アルト ラブソディ op.53		スエズ運河が開通	
1870			太政官内に雅楽 局設置	普仏戦争 ドイツ帝国、成立 (~1918)、ヴィル ヘルム1世が初代皇帝 に、ビスマルクが初 代宰相に就任	
1871		ヴェルディ「アイー ダ」カイロ初演、 フランス国民音楽協 会設立 「ニーベルングの」 指輪 第2夜「ジー クフリート」(全3 幕、1871年完成)	陸海軍の軍楽隊 発足	パリ・コミューン	廃藩置県
1873	ラフマニノフ (ロシア：ピア ノ協奏曲第2 番)				キリスト教禁止令解 除
1874	ホルスト (イギ リス：組曲「惑 星」)				

年	作曲家名	西洋音楽関係	日本音楽関係	世界史	中国・日本史
1875	ラヴェル (フランス：ボレロ) クライスラー (オーストリア：愛の喜び)	モネ「印象・日の出」		イギリスがスエズ運河株を買収	
1876		ワグナー「ニーベルングの指環」バイロイト全4夜初演	雅楽「明治撰定譜」		
1877		ブラームス 交響曲第1番 ハ短調 op. 1		アメリカのエジソンが蓄音機を発明	
		サン・サーンス「サムソンとデリラ」ワイマール初演		イギリスがインド帝国をつくる	西南戦争
		チャイコフスキー「エフゲーニー・オネーギン」モスクワ初演		エジソンが白熱電灯を発明	
1879	レスピーギ (イタリア：シチリアーナ)	音楽取調掛(現東京芸術大学音楽学部前身)が設置	文部省音楽取調掛設置	独逸同盟	
1881	バルトーク (ハンガリー：管弦楽のための協奏曲)	オッフエンバック「ホフマン物語」パリ初演、チェコ国民劇場開場	芝公園紅葉山に能楽社結成		イリ条約 国会開設の詔
1882	ストラヴィンスキー (ロシア：春の祭典)	ワグナー「バルジファル」バイロイト初演	「小学歌唱集」刊行	独逸伊三国同盟	
1884		マスナー「マノン」パリ初演、ドビュッシー「牧神の午後への前奏曲」			清仏戦争 (~1885)
1885		ブラームス 交響曲第4番 ホ短調 op.98			伊藤博文が首相
1886			東京音楽学校設立	イギリスがヒルマを占領	
1887	ヴィラ＝ロボス (ブラジル：ブラジル風バッハ)	ヴェルディ「オテロ」ミラノ初演		フランス領インドナ成立	保安条例
			東京音楽学校卒業生の幸田延が初めて海外留学	第二インターナショナルがパリで結成される	明治憲法公布
1889				パリのエッフェル塔が完成	大日本帝國憲法
1890		マスカーニ「カバレリア・ルスティカーナ」ローマ初演			第1回帝國議会
1893			君が代ほか8曲の「祝日大祭日歌唱集」を制定公布		
1894				東学党の乱	日清戦争 (~1895)

年	作曲家名	西洋音楽関係	日本音楽関係	世界史	中国・日本史
1895				ドイツのレントゲンがX線を発見 イタリアのマルコーニが無線電信を発明	
1896		ブッチーニ「ラ・ボエーム」 トリノ初演		第1回近代オリンピック競技 朝鮮が国号を韓と改める	
1897		タンゴ「エントレリオス(州)の人々」 ロセンド・メンディサーバル作曲		ドイツのディーゼルがディーゼル機関を完成 アメリカがスペインと戦い、ハワイ、フィリピンを併合	戊戌の政変
1898	ガーシュイン (アメリカ：ラプソディーインブルー)			フランスのキュリー夫妻がラジウムを発見 オランダのハーグで万国平和会議が開催される アメリカが中国の門戸開放宣言	
1899			ペルー移民	南ア戦争 (~1902)	
1900			日本で蓄音機が普及		義和団事件 (北清事変)
1901	ロドリゴ (スベン：アランフェス協奏曲)		滝廉太郎が歌曲集四季などを作曲	第1回ノーベル賞	
1902		ドビュッシー「ペレアスとメリザンド」パリ初演 タンゴ「エル・チョクロ」 アンヘル・ヴィジョルド作曲	3世杵屋六四郎と4世吉住省三郎が長唄研精会創設		日英同盟
1903				ロシアが満州を占領 アメリカのライト兄弟が飛行機を発明	
1904		ブッチーニ「蝶々夫人」ミラノ初演		日露戦争 (~1905) ロシアで血の日曜日事件	
1905		リチャルト・シュトラウス「サロメ」ドレスデン初演	田中正平が邦楽研究所解説	ポーツマス条約 ベンガル分割令	孫文らが中国革命同盟会を結成 「吾輩は猫である」

年	作曲家名	西洋音楽関係	日本音楽関係	世界史	中国・日本史
1906	ショスタコー ヴィッチ (ソビエト：交響曲第5番)	バルトークらが蓄音機でハンガリー民謡の採集を開始		イギリス・フランス・ロシアの三国協商が成立	
1907		シューンベルグが無調の作品を書き始める	東京音楽学校に邦楽取調掛設置	アメリカで日本移民制限法が成立	
1910		プラテッラが未来派音楽宣言を発表 (騒音芸術)	文部省「尋常小学読本唱歌」「尋常小学唱歌」刊行		韓国併合 辛亥革命
1911				ノルウェーのアムンゼンが南極を探検	関税自主権回復 中華民国、成立
1912				イギリスのスコットが南極に到達	明治天皇が崩御
1913	ブリテン (イギリス：青少年のための管弦楽入門)	ストラヴィンスキー「春の祭典」 ルツロ「騒音芸術」 シューンベルグ「幸福な手」	山田耕筰がベルリンから帰国		
1914				サラエボ事件 第一次世界大戦が始まる (~1918) パナマ運河が開通	日本が中国に二十一か条要求
1915		サティ「バラード」		ドイツのアインシュタインが一般相対性理論を完成 ロシア革命 (三月革命・十一月革命)	
1917	バーンスタイン (アメリカ：ウェストサイドストーリー)		浅草オペラ		文学革命
1918			童謡運動		富山で米騒動 中国で五・四運動 中国国民党が発足
1919				パリでベルサイユ条約 ドイツがワイマール憲法制定	

年	作曲家名	西洋音楽関係	日本音楽関係	世界史	中国・日本史
1920		ストラヴィンスキー「プルチネッラ」初演	宮城道雄、吉田清風、本居長世「新日本音楽演奏会」開催	国際連盟、成立 ドイツにナチスがで きる	日本、国際連盟に加 入 中国共産党、成立
1921		シューンベルグが12 音技法を考案		イタリアにファシス ト党が結成される ワシントン条約 ムッソリーニがイタ リアのファシスト政 権を樹立 ソビエト社会主義共 和国連邦、成立	
1922					
1923		タンゴ「カミニエ ト」ファン・デ・ ディオス・フィルベ ルト作曲、国際現代 音楽協会が世界音楽 祭開始		ケマル・パシャがト ルコ共和国を建国	関東大震災 五・三〇事件 日本で普通選挙法
1925		ベルク「ウオツェツ ク」ベルリン初演			
1926			新交響楽団設立 (のちにNHK交 響楽団に改称)		NHK開局、昭和天 皇が即位
1927		コロムビア、ピク ター設立			蒋介石の上海クーデ ター 蒋介石が国民政府主 席に
1928				パリ不戦条約 スターリンによる第1 次5か年計画開始 世界経済恐慌はじま る	
1929					
1930			日本レコード産 業界最初の黄金 期。振興作曲家 連盟発足	ロンドン軍縮会議	
1931		ヴァレーズ「イオニ ザンオン」			満州事変
1932			東京音楽学校に 作曲家設置。日 本音楽コンクー ル始まる		「満州国」建国宣言 五一五事件
1933				ドイツにヒトラー内 閣が成立 ニュー・ディール政 策はじまる ナチスのユダヤ人迫 害が始まる	国際連盟脱退
1934				ドイツに総統ヒト ラー (~1945)	

年	作曲家名	西洋音楽関係	日本音楽関係	世界史	中国・日本史
1935			振興作曲家連盟が国際現代音楽協会に加入	エチオピア戦争 (~1936)	
1936					西安事件 二・二六事件
1937			国際現代音楽協会音楽祭で外山道子の作品が入賞		盧溝橋事件
1938		ナチスの類廃音楽展		ミュンヘン会談 独ソ不可侵条約 第二次世界大戦が始まる (~1945) ドイツがソ連に宣戦	国家総動員法
1939					
1941			東京フィルハーモニー交響楽団設立 山田耕筰「夜明け」上演	大西洋憲章 太平洋戦争が始まる (~1945) イタリアが降伏し、ファシスト党が解体	
1943				カイロ会談 ヤルタ会談 ドイツが無条件降伏 ポツダム会談 日本がポツダム宣言を受諾	
1945			ブリテン「ピーター・グライムズ」ロンドン初演 ダルムシュタット国際現代音楽夏期講習会が始まる ミルトン・ハビットの博士論文「The Function of Set Structure in the 12-Tones System」	国際連合、成立	
1946				インドシナ戦争 (~1954)	天皇の人間宣言
1947			「りんごの唄」NHKがラジオ番組「現代邦楽の時間」を開始		日本国憲法制定
1948			美空ひばりデビュー「東京キッド」	世界人権宣言 朝鮮が大韓民国と朝鮮民主主義人民共和国に分裂 インドのガンジーが暗殺される 北大西洋条約機構、調印	湯川秀樹がノーベル賞受賞
1949			うたごえ運動		中華人民共和国、成立。毛沢東が主席に

年	作曲家名	西洋音楽関係	日本音楽関係	世界史	中国・日本史
1950		ロックンロール ドナウエッシンゲン 音楽祭が始まる シェフェール「ミュ ジック・コンクレ ート」提案		朝鮮戦争 インドネシア共和国 が成立	中国国民政府が台湾 に移る 警察予備隊が発足
1951		巴里の空の下セーズ は流れる、ケージが チャンスオペレー ションを考案	入野義朗が12音 技法による「7 楽器のための協 奏曲」作曲	サンフランシスコ講 和会議	
1953			日本ジャズブ ーム 黛敏郎がミュ ジックコンク レート作品を制 作	エジプト共和国が成 立	
1954		トータルセリー音楽 が支配的な作曲技法 となる		朝鮮休戦協定	
1955		アメリカでバラード のポピュラー音楽流 行	NHK邦楽有成会 設立	ジュネーブ会議	
1956		ボサノバがリオデ ジャネイロで誕生		バンドン（アジア・ アフリカ）会議	日本、ソ連と国交回 復
1957		ブーレーズ「あれ あ」	20世紀音楽研究 所結成	スエズ戦争	
1958		トータルセリー音楽 の行き詰まり。イリ ノイ大学「イリアッ ク組曲」			
1959					チベット反乱
1960		ピッチクラスセット 理論の概念がハワー ド・ワトソンによて 調性音楽と結びつけ られて論じられる。 この頃、シェンカー 理論が西洋音楽にお ける楽曲分析理論の 標準理論となる。			
1962		アメリカでフォーク ソング流行		キューバ危機 米・英・ソが部分的 核実験停止条約に調 印	
1963				アメリカ大統領ケネ ディが暗殺される	
1964					東京オリンピック
1965		ヤングラ「ミニマル ミュージック」を生 み出す		アメリカが北ベトナム 爆撃開始	日韓基本条約
1966		前衛音楽最盛期	国立劇場が開場	第3次中東戦争	中国で文化大革命
1967					
1968					小笠原諸島復帰

年	作曲家名	西洋音楽関係	日本音楽関係	世界史	中国・日本史
1969				アメリカのアポロ11号が月面着陸	
1970		前衛音楽の退廃		核拡散防止条約、発効	日本万国博覧会
1971					中華人民共和国の国連参加、国民政府の追放、国連で決定
					ニクソン訪中、共同声明発表
					田中首相訪中、共同声明発表。国民政府、日本と断交
					札幌オリンピック
1972					
		ピッチクラスセット理論がアレクサンダー・フォートによって無調音楽と結びつけられて論じられる			
1973				第4次中東戦争	
1975				ベトナム戦争が終結	
1978					日中平和友好条約調印
				ソ連がアフガニスタンに侵攻	
1979			国立演芸場が開場		米中国交が正式に樹立。米、台湾と断交
1980		新ロマン主義の登場 作曲家・音楽学者のFred Lerdahlと言語学者のRay Jackendoffによって「Generative Theory of Tonal Music」が提唱される		イラン・イラク戦争	
1983			国立能楽堂が東京に開場		
1984			国立文楽劇場が大阪に開場		
1986				ソ連のチェルノブイリ原発事故	
1987				米・ソがIMF全廃条約に調印	
1988				イラン・イラク戦争停戦	リクルート事件
		カラヤン没			天安門事件
1989				マルタで米ソ首脳会談、冷戦終結宣言	昭和天皇崩御
1990		ノーノ没		東西ドイツが統合	バブル経済崩壊

年	作曲家名	西洋音楽関係	日本音楽関係	世界史	中国・日本史
				湾岸戦争	
1991		音楽学者である Eugene Narmour によって 「Implication-Realization Model (暗意実現モデル)」 が提唱される		ソ連邦、解体	
1992		メシアン、ケージ没		マーストリヒト条約、調印	
1994			音楽振興法制定		
1997			新国立劇場が開場		香港が中国に返還される
2000		シェンカーの遺稿をまとめた「演奏の技法」が出版			
2001		バレンボイムがエルサレムでワーグナーの音楽を演奏		アメリカ同時多発テロ	
2002		小沢征爾がウィーン国立歌劇場の音楽監督に就任		EU域内12カ国が通貨をユーロに制定	
2003		アップル社がインターネットによる音楽配信を開始。ペリオ没。		イラク戦争	

付録B 暗意実現モデルにおける連鎖構造

本章では Eugene Narmour が 1992 年に提唱したメロディに関する音楽理論「暗意実現モデル」中で定義されている連鎖構造を用いたメロディ解析について述べる。連鎖構造とは暗意実現モデルによる分析の結果、5 音以上の音列に発生する構造である。連鎖構造では、ある構造の次に来やすい構造とそうでない構造が分かっているため、メロディ予測への利用が期待される。連鎖構造の分析例を図 B.1 に示す。

現在までメロディ予測には音楽理論に基づくものと基づかないものが研究されてきた。その中で、本論文では、1992 年に Narmour が提唱した暗意実現モデルというメロディに関する音楽理論に基づくメロディ予測に注目をしている。メロディ予測に関してこの理論に注目した理由は以下の 3 点である。

「**暗意-実現の考え方**」この理論はそもそも、人間があるメロディを聴いたとき意識的もしくは無意識的に続きのメロディを予測しながら聴いているという仮定に基づいて構築された理論であるためメロディ予測への利用が期待できる。

「**階層的な構造**」暗意実現モデルによってメロディは階層的に表現される。音と音との関係を基本類型と呼ばれるもので記述し、その基本類型同士の関係を連鎖構造と呼ばれるもので記述する。連鎖構造に含まれる基本類型の組み合わせは 47 種類のみであるため、これを使いメロディ予測が可能になることが期待される。

「**メロディの抽象化**」メロディを予測する際に現在までのメロディを適切に抽象化してメロディを学習させ予測のためのデータベースを作る必要がある。暗意実現モデルではメロディを 8 種類の抽象化された基本類型に分類できる。

基本類型は楽譜上ではブラケットと呼ばれる括弧を用いて記述される。ブラケット内の音が 3 音の組であれば基本類型、そうでなければ例外型を当てはめることで分析が行われる。そして基本類型が続いている場合、連鎖構造という構造で記述が可能となる。図 3 において紫で示されているものがブラケットである。そのブラケットによって区切られた音の特徴から図中では青で示されているように基本類型が割り振られる。さらに基本類型が連続している部分には図中赤で示され

るように連鎖構造が割り振られる。またブラケットによって区切られなかった音には、図 B.1 において M と示されている例外型が割り降られる。基本類型と連鎖構造の関係は図 B.2 に示される。ある基本類型に対してまたある基本類型が暗意(予測)される。

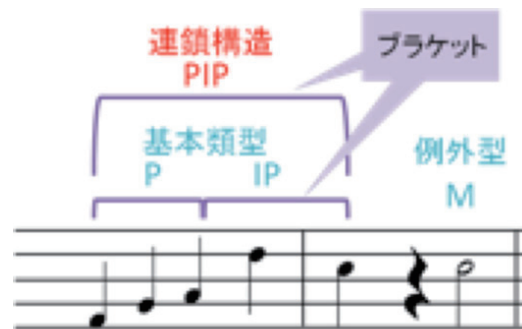


図 B.1: 連鎖構造分析例

連鎖構造とは基本類型が続く限り現れる構造である。その一覧を下記表に示す。基本類型が続く場合というのはメロディが non-closual であるときである。ここでの non-closual とは一般的な音楽におけるクロージャではなく Narmour によって定義されたクロージャである。これは「低レベルクロージャ」と言われており、例えば音価が変化した場合や休符があった場合を示している。また、音価が変化したり休符が挟まれたりすると基本類型を作るブラケットが一回切れる。メロディ内で低レベルクロージャが発生しない限り基本類型は続き、連鎖構造が発生する。連鎖構造と基本類型の関係を図 B.2 に示す。

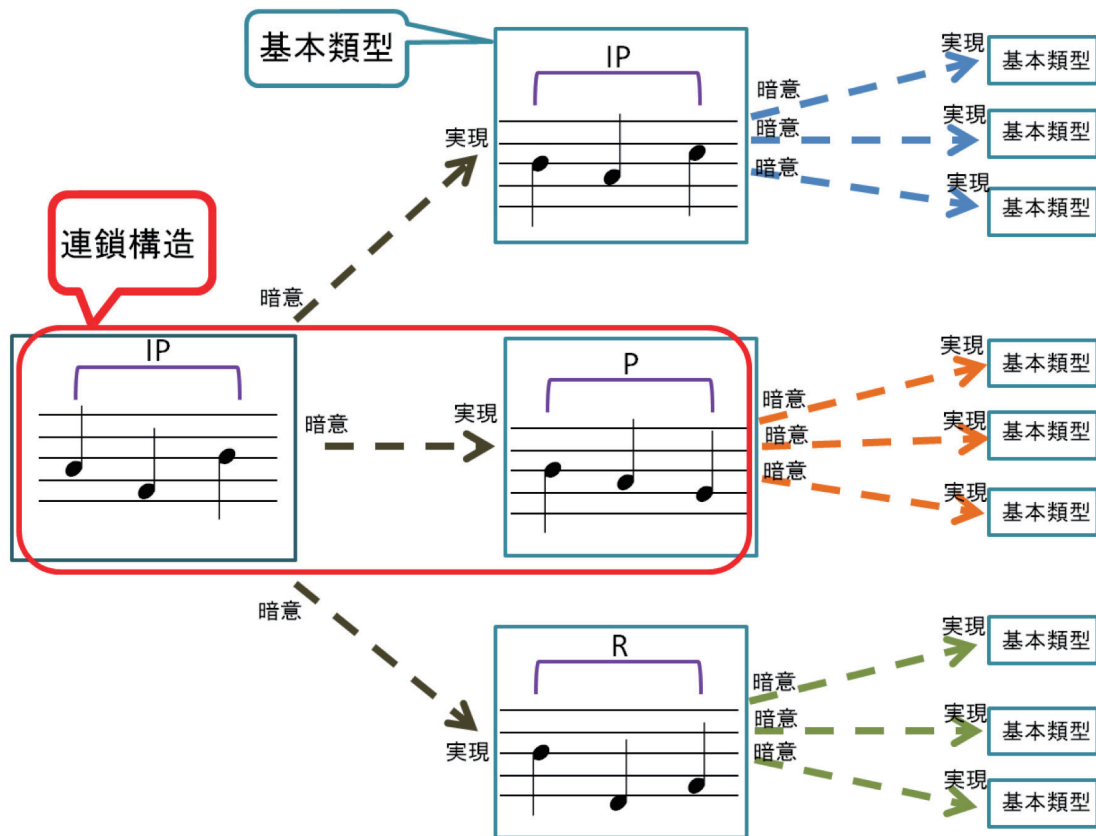


図 B.2: 連鎖構造と基本類型の関係

連鎖構造は全部で47種類定義されている。下記にその一覧を示す(表 B.1)。例えば VRIP という連鎖構造は Various Reversals Joined to Various Process and Various Duplication と呼ばれるグループに属する。VRIP とは基本類型の VR と IP が続くような構造である。

表 B.1 で示した構造は原則的にメロディ中に現れることができるとされている。しかし暗意実現モデルの中で DIR, IRD, DVR, VRD, PP, DD, PD, DP, DR, DIR, IDID, DID, IDD はメロディ中にあまり出現しない構造とされている。反対に PID, PIP, IPID, IPIP, RR, VRVR, RVR, VRR, VPVP はメロディ上によく現れる構造と暗意実現モデルの中で定義されている。

表 B.1: 定義された連鎖構造の一覧

名称	属する連鎖構造
Process Reversed	P/R
Process Registrally Reversed	P/VR
Duplication Registrally Reversed	D/VR
Process Intervallically Reversed	P/IR
Closural Reversal of Intevallic Process	IP/R , IP/VP , IP/IR
Intervallic Duplication	ID/R , ID/VR
Registral Process	VP/R , VP/VR , VR/IR
Various Reversals Joined to Various Process and Various Duplication	R/P , R/VP , R/IP , R/D , R/ID , IR/P , IR/VP , IR/IP , IR/ID , VR/P , VR/IP , VR/ID
Process and Duplication Combined with Intervallic Duplication and Intervallic Process	P/ID , P/IP , IP/ID , D/IP , VP/ID , VP/IP
Intervallic Process and Intervallic Duplication Combined with Process and Registral Process	IP/P , ID/P , IP/VP , ID/VP
Process Combined with Registral Process	P/VP , VP/P
Intervallic Process Combined with Itself	IP/IP
Same Parentage Combinations of Reversal Intervallic Reversal , Registral Reversal	VP/R , R/VR , VR/IR , IR/VR , R/IR , IR/R , R/R , IR/IR , VR/VR

連鎖構造の抽出の手順は以下に示す通りである。

図5の1のようなメロディがあったときの解析手順を図 B.3 記す。

1. 連続する3音の組を作り2のようにブラケットで区切る。
2. ブラケット内の音列の特徴から3のように基本類型を割り振る。また、3音組を作れなかった後の音に対して例外型を割り振る。ここでは monad(図中では M) が割り振られている。
3. ブラケットが切れている部分、つまり音長が変化する低レベルクロージャが発生している部分を検出する。4では※の部分に当たる。
4. ※の部分から休符までブラケットが切れていないので、その間にある二つのブラケットを5のようにひとまとめにする。

5. 連鎖構造 VRIP を割り振る. 図中では赤で囲まれている部分である.

①

連続する3音の組を作りブラケットで区切る.
※の部分でブラケットが切れているのは音価が変化するため.

②

ブラケット内の音列の特徴から基本類型を割り振る.
区切れなかったものは例外型を割り振る.
基本類型は緑, 例外型は紫で強調しているもの.

③

ブラケットが切れている部分を検出する.
③では※で示されている部分.

④

※から休符までブラケットが続いているので
その間にあるブラケットをひとまとめにする.
まとめた部分に連鎖構造を割り振る.
赤で強調しているものが連鎖構造.

⑤

図 B.3: 連鎖構造分析手順

120曲のメロディの解析を行った. 解析ではメロディから暗意実現モデルにおける基本類型及び連鎖構造の抽出を試みた. 解析対象のメロディはクラシック曲から8小節を切り出したものである. システムにメロディを入力し, そのメロディ基本類型および連鎖構造の抽出を試みた. この実験の目的は Narmour によって示さ

れた連鎖構造以外の構造が出現しないことを確認することと、出現しやすい連鎖構造があるかを確認することである。

120曲の楽曲から基本類型及び連鎖構造の抽出が確認された。抽出された連鎖構造は総数1168個である。実験結果より基本類型が続く限り連鎖構造から外れるということはないという結果が得られた。抽出結果は例えば

- P, VR, VR, IR, P, IP, P, IP, P, IP, P

というようなものである。このような基本類型群に対して基本類型二つ分の連鎖構造の抽出を行うとPVR, VRVR, VRIR, IRP, PIP, IPPのように連鎖構造が抽出される。

連鎖構造の出現頻度は下記のグラフ及び表2に示す通りである。出現頻度が0の構造であったPVR, DVR, IPR, IDR, IDVR, RD, RID, IRID, VRID, PID, IRID, VRID, PID, IPID, DIP, VPID, IDP, VPID, IDP, IDVP, RIR, IRR, IRIRは表に載せていない。抽出結果よりIPIP, PIP, IPP, RP, RIP, PR, VRIP, VPPの連鎖構造が全体の8割を占めていることがわかった。上位を占める連鎖構造の例を図B.4に、各連鎖構造の出現確率を表B.2に、それぞれ示す。



図 B.4: 連鎖構造抽出上位例

表 B.2: 連鎖構造抽出確率

連鎖構造	出現確率 (%)
IP/IP	26.0
P/IP	18.3
IP/P	15.9
R/P	8.2
R/IP	5.8
P/R	5.3
VR/IP	3.6
VP/P	2.6
VR/P	1.9
P/VP	1.4
R/R	1.4
P/IR	1.2
VR/IR	1.0
IP/VP, IR/VP, IR/IP	0.9
VP/R, R/VP, IR/P, R/VR, IR/VR, VR/VR	0.3
IP/IR, VP/VR, VP/IP	0.2

また暗意実現モデル中であまり出現しないとされている連鎖構造はメロディ中に出現していないことが確認できた。これより、暗意実現モデルの連鎖構造にである限り音楽的観点から不自然なメロディとはならないと考えられる。また今回解析した楽曲のジャンルがクラシックであったことから、上記の連鎖構造はクラシック曲に多く見られると考えられる。これより学習データベースを構築する上で曲のジャンルごとに連鎖構造を抽出する必要がある。また今回の実験では8小節の短いメロディに対して解析を行った。今後は8小節以上の楽曲に対してもデータベースを作る上では実験を行う必要があると考えられる。

実験結果からメロディ中で連鎖構造が発生することが確認できた。またクラシックの楽曲の場合 IPIP, PIP, IPP, RP, RIP, PR, VRIP, VPP という連鎖構造がおきやすいことがわかった。これより学習データベースを作る際にはクラシック以外のジャンルに対しても解析を行い、学習データを作成する必要があると考えられる。

今後、連鎖構造の結果より予測のための学習データベースを構築していく。連鎖構造から基本類型同士の繋がりやすさが判定できるためである。また本実験で解析したクラシック以外のジャンルの楽曲に対しても連鎖構造を抽出していくことにより、多様なジャンルの楽曲の学習データがあることにより、より多様なメロディ予測が可能になると考えられる。

付録C レジストラルリターン

レジストラルリターンとはある特徴を持った音同士をつなぎ連鎖関係を作る構造である。レジストラルリターンには2種類あり、[aba]と[aba']というものがある。[aba]は最小単位IDで発生する。レジストラルリターンによる解析は、基本類型や連鎖構造とはまた別のものとして考えられる。文献にはまだ詳しい記述は無く、詳しい解析方法等は明示化されていない。しかし、レジストラルリターンによる解析が可能になれば、メロディ全体を俯瞰するような解析ができるようになると思われる。これはGTTMに基づいた解析を行う際に作られるタイムスパン木に構造が似ている。下記図にレジストラルリターンの例を示す。

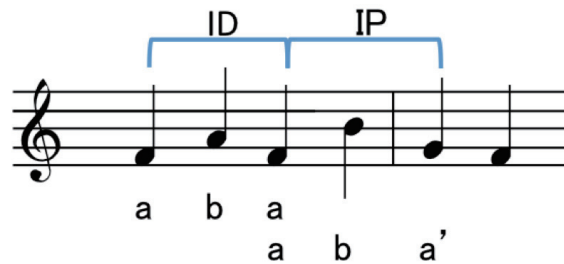


図 C.1: レジストラルリターンの例

付録D retroprospective

シンボルは基本8種のP(process), IP(intervallic process), VP(registral process), D(duplication), ID(intervallic duplication), R(reversal), IR(intervallic reversal), VR(registral reversal)の8種類と、それらのretroprospective系8種類というものが存在する。

レトロプロスペクティブは大きな音程方向動作もしくはとても小さな音程方向動作が発生したときに用いられる。シンボルに対して付け加えられるもので、シンボルに括弧をつけて表す。例えばPのレトロプロスペクティブ型は(P)というように表記される。レトロプロスペクティブの例を下記に示す。



図 D.1: (P) の例



図 D.2: (R) の例



図 D.3: (ID) の例



図 D.4: (IR) の例



図 D.5: (VP) の例



図 D.6: (VR) の例

付録E 暗意実現モデルの新シンボル

Narmour によって 2014 年に暗意実現モデルの新しいシンボルが提案されている [3]. 提案シンボルの一覧を図 E.2 を示す.

新シンボルでの分析方法を提案する. まず, 簡略化するために最小単位の連続する 3 音組に対して

- 1 音目: T1
- 2 音目: T2
- 3 音目: T3

T1 と T2 の音程を *intervalA* と定義する. *intervalA* は *implicate* を表す. T2 と T3 の音程を *intervalB* と定義する. *intervalB* は *realized* を表す.

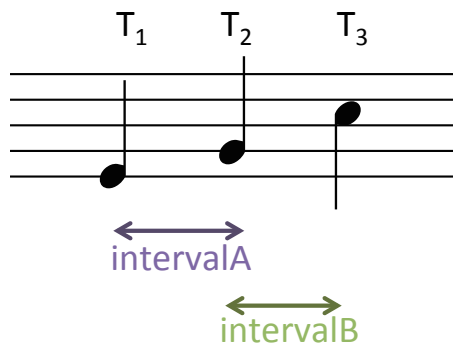


図 E.1: 分析のための定義

新シンボル早見表

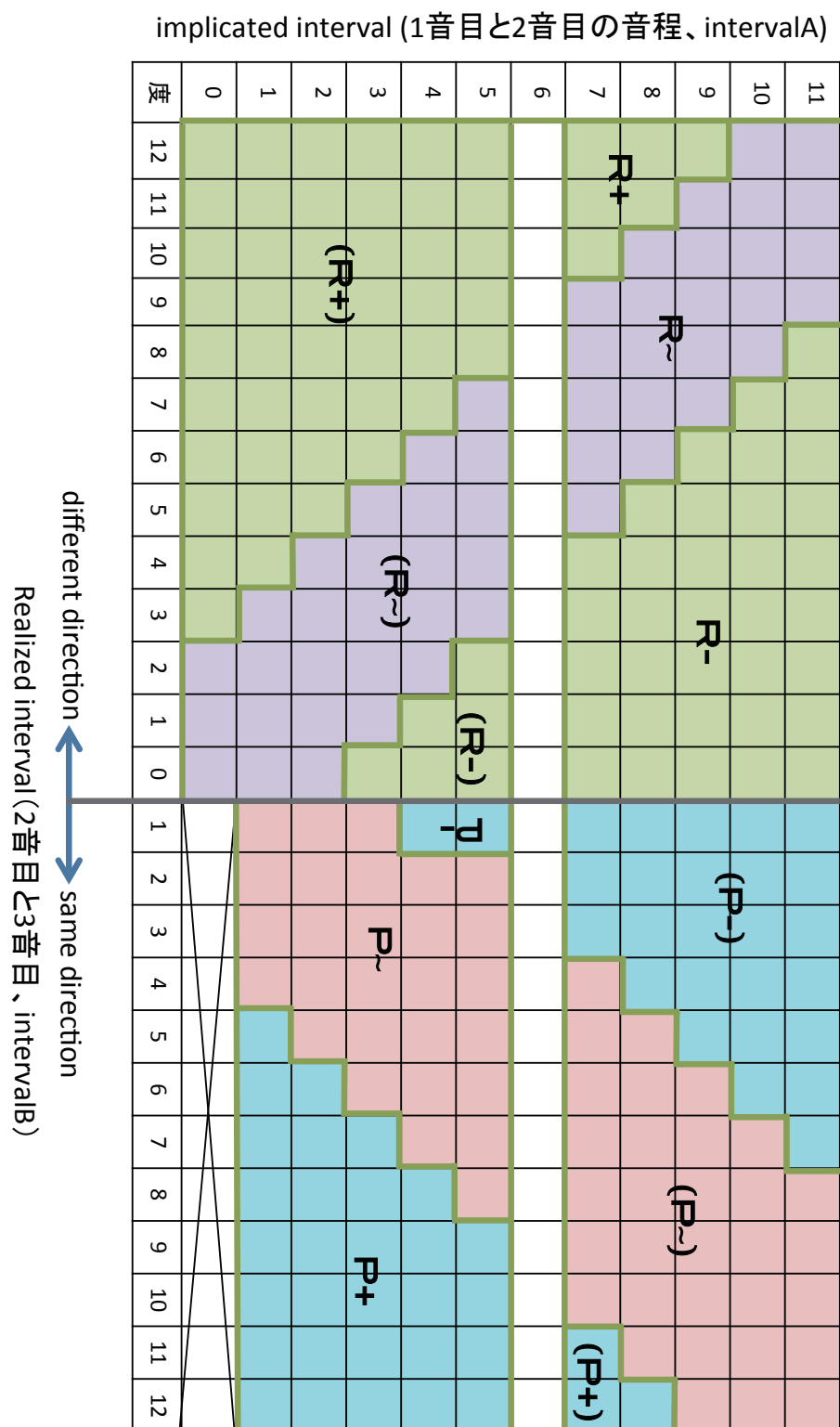


図 E.2: 新シンボルの一覧

これをふまえ、新シンボルに基づいた分析方法を提案する。新シンボルは大枠として Process と Reversal の 2 種類が存在し、Process の中に 6 種類、Reversal の中に 6 種類のシンボルが存在する。

Process は音程方向が変化しない音列に対して適応される。3 音が上がり続けるもしくは下がり続ける場合で same direction と定義される。

Reversal は音程方向が変化する音列に対して適応される。3 音が上がって下がるもしくは下がって上がる場合で different direction と定義される。

- P~ : Process
- P- : Strongly Articulates Process
- P+ : Escalated Process
- (P~) : Strong Process
- (P-) : Strong Articulated Process
- (P+) : Strong Escalated Process
- R~ : Similar Interval Reversal
- R- : Strong Articulated Reversal
- R+ : Escalated Reversal
- (R~) : Moderately Interval Reversal
- (R-) : Moderately Articulated Reversal
- (R+) : Moderately Escalated Reversal

Process 側の分析方法は以下に示す通りである。

- *intervalA* が 6 度より大きい場合

$$(\textit{intervalA} - \textit{intervalB}) \geq 4 : (\text{P-})$$

$$(\textit{intervalB} - \textit{intervalA}) \geq 4 : (\text{P+})$$

その他の場合 : (P ~)

- *intervalA* が 6 度よりも小さい場合

$$(\textit{intervalA} - \textit{intervalB}) \geq 3 \text{ AND } \textit{intervalB} = 1 : P-$$

$$(\textit{intervalB} - \textit{intervalA}) \geq 5 : P+$$

その他の場合 : P ~

P+ と (P+) の + については *intervalB* と *intervalA* の差に 1 オクターブ含まれるごとに + が一つ増える, というように分析される.

(例 : $\textit{intervalB} - \textit{intervalA} = 11$ 度だった場合, P++ となる)

Reversal 側の分析は以下に示す通りである.

- *intervalA* が 6 度よりも大きい場合

$$(\textit{intervalA} - \textit{intervalB}) \geq 3 : R-$$

$$(\textit{intervalB} - \textit{intervalA}) \geq 3 : R+$$

その他の場合 : R ~

- *intervalA* が 6 度よりも小さい場合

$$(\textit{intervalA} - \textit{intervalB}) \geq 3 : (R-)$$

$$(\textit{intervalB} - \textit{intervalA}) \geq 3 : (R+)$$

その他の場合 : (R ~)

R+ と (R+) の + については *intervalB* と *intervalA* の差に 1 オクターブ含まれるごとに + が一つ増える, というように分析される.

(例 : $\textit{intervalB} - \textit{intervalA} = 11$ 度だった場合, R++ となる)

- Reversal 側の分析で *intervalB* が 0 の場合

$$\textit{intervalA} \geq 6 : R-$$

$$2 \leq \textit{intervalA} \leq 6 : (R-)$$

$$\textit{intervalA} = 1 \text{ or } 2 : (R \sim)$$

R- の場合, *intervalA* 側がオクターブ音程が飛ぶごとに - が 1 つずつ増えて行く, というように分析される.

(例 : $\textit{intervalA} = 11$ 度だった場合, R-- となる)

3 音で変化のない場合, 今まで同様に D というシンボルが割り振られる.

$$\textit{intervalA} = \textit{intervalB} = 0 : D$$

参考文献

- [1] Eugene Narmour, “The Analysis and Cognition of Basic Melodic Structures”, The University of Chicago Press, 1990.
- [2] Eugene Narmour, “The Analysis and Cognition of Melodic Complexity”, The University of Chicago Press, 1992.
- [3] Eugene Narmour, “Extensions and revisions of the Implication-Realization model: Toward an omnibus theory of analogical structures from perception to social psychology”, BKN25, Jul., 2014.
- [4] アレン・フォート, 森あかね訳, “無調音楽の構造 ピッチクラスセットの基本的な概念とその考察”, 音楽之友社, 2012
- [5] 波多野諠余夫 著 “音楽と認知”, 東京大学出版会, 1989
- [6] アレン・キャドウォーラダー, デイヴィッド・ガニエ, 角倉一朗訳, “調整音楽のシェンカー分析”, 音楽之友社, 2013
- [7] 岡田暁生, “音楽の聴き方 聴く型と趣味を語る言葉”, 中公新書, 2009
- [8] 岡田暁生, “西洋音楽史 「クラシック」の黄昏”, 中公新書, 2005
- [9] 久保田慶一ほか, “初めての音楽史”, 音楽之友社, 2009
- [10] 青島広志, “究極の楽典 ー最高の知識を得るために”, 全音楽譜出版社, 2009
- [11] ジャン＝イヴ・ボスール, 栗原詩子訳, “現代音楽を読み解く 88 のキーワード”, 音楽之友社, 2008
- [12] 島岡譲, “和声と楽式のアナリーゼ”, 音楽之友社, 1964
- [13] 山口博史, “パリ音楽院の方式による厳格対位法”, 音楽之友社, 2012
- [14] 彦坂恭人, “コード メロディで理解するポピュラー対位法”, 自由現代社, 2015
- [15] “標準音楽辞典”, 音楽之友社, 1966

- [16] 中山明慶, ”音楽理論についての一考察：新しい音楽理論を求めて (その1)”, 相愛女子大学相愛女子短期大学研究論集, 1973
- [17] 酒井醇, ”音楽を理解することについて”, 相愛女子大学相愛女子短期大学研究論集, 1965
- [18] ”Harvard Dictionary of Music. Second Edition”,1969
- [19] Fred Lerdahl, ”A Generative Theory of Tonal Music”, The MIT Press, 1983
- [20] 平田圭二, 平賀讓, ”GTTMに基づく音楽表現手法再考”, 情報処理学会研究報告音楽情報科学, May, 2002
- [21] Masatoshi Hamanaka, Keiji Hirata, Satoshi Tojo, ”ATTA: Automatic Time-span Tree Analyzer based on Extended GTTM”, Proceedings of the International Conference on Music Information Retrieval Conference, pp. 358-395, 2005
- [22] Masatoshi Hamanaka, Keiji Hirata, Satoshi Tojo : “FATTA: FULL AUTOMATIC TIME-SPAN TREE ANALYZER”, Proceedings of International Computer Music conference, pp.153-156, 2007
- [23] Masatoshi Hamanaka, Keiji Hirata, Satoshi Tojo : “Interactive GTTM Analyzer”, Proceedings of the 10th International Conference on Music Information Retrieval Conference, pp. 291-296, Oct., 2009
- [24] Y. Miura, M. Hamanaka, K. Hirata, and S. Tojo, “Use of Decision Tree to Detect GTTM Group Boundaries”, Proceedings of the 2009 International Computer Music Conference, pp. 125-128, Aug., 2009.
- [25] Kohei Kanamori, Masatoshi Hamanaka, Junichi Hoshino, ”METHOD TO DETECT GTTM LOCAL GROUPING BOUNDARIES BASED ON CLUSTERING AND STATISTICAL LEARNING ”, Proceedings ICMC—SMC—2014, pp.1193-1197, Sep., 2014.
- [26] 平田圭二, 東条敏, ”旋律の逆行とタイムスパン木に対する flip 操作”, 人工知能学会全国大会 2015, May, 2015
- [27] 平田圭二, 東条敏, 浜中雅敏, 長尾確, 北原鉄朗, 松原正樹, 吉井和佳, ”木構造に基づく時系列メディア表現法の提案とその操作系の実現に向けて”, 情報処理学会音楽情報科学研究会, March, 2015.
- [28] 平田圭二, 東条敏, 浜中雅俊, 平賀讓, ”計算論的音楽理論について”, 情報処理第49巻第7号, July, 2008

- [29] 平賀謙, "音楽理論の諸相 - 伝統的音楽理論と認知的音楽理論", 情報処理第49巻第8号, Aug, 2008
- [30] 東条敏, "音楽と認知構造", 情報処理第49巻第9号, Sep, 2008
- [31] 平田 圭二, 浜中 雅俊, "計算の視点から音楽の構造を眺めてみると:音楽理論 GTTM の定式化と実装の試み", 情報処理第49巻第10号, 情報処理学会, Oct, 2008
- [32] 浜中 雅俊, 平田 圭二, 東条敏, "計算論的音楽理論の応用", 情報処理第49巻第11号, 情報処理学会, Nov, 2008
- [33] 浜中 雅俊, 平田 圭二, 東条敏, "タイムスパン木に基づくメロディモーフィング法", 情報処理学会音楽情報科学研究会, Feb, 2008
- [34] 大島知之, 浜中雅俊, 平田圭二, 東条敏, 長尾確, "音楽理論に基づくディスカッションマイニングのための議論構造エディタの開発", 情報処理学会デジタルコンテンツクリエーション研究会, Jan, 2013.
- [35] 竹内星子, 浜中雅俊, "音楽理論に基づく映画の構造化", 人工知能学会全国大会2014, May, 2014
- [36] 三浦寛也, 富樫健太, 浜中雅俊, 長尾確, 東条敏, "音楽理論を応用したディスカッションマイニングにおけるタイムスパン木と延長木の自動生成について",
- [37] Hoashi K, Matsumoto K, Inoue N., "Personalization of User Content-based Music Retrieval on Relevance Feed Back", Proceedings of ACM Multimedia, pp110-119, Nov., 2003
- [38] Lampropoulos A S, Sotiropoulos D N, Tsihrintzis G A, " Individualization of Music Similarity Perception via Feature Subset Selection ", IEEE, International Conference on System, Man and Cybernetics, pp.552 - 556 ,2004
- [39] Gissel Velardea, Tillman Weydeb, David Mereditha, "An approach to melodic segmentation and classification based on filtering with the Haar-wavelet " Journal of New Music Research Volume 42, pp. 325-345, Dec., 2013
- [40] Shyamala Doraisamy, Stefan Ruger " A Polyphonic Music Retrieval System Using N-Grams ", Proceedings of t International Conference on Music Information Retrieval Conference, pp39-45, 2004.

- [41] Keiji Hirata, Satoshi Tojo, Masatoshi Hamanaka, “Cognitive Similarity grounded by tree distance from the analysis of K. 265/300e”, Proceedings of CMMR, pp. 589-605, Dec., 2003
- [42] 松原正樹, 東条敏, 平田圭二, ”音楽理論 GTTM に基づく木構造を用いた旋律の認知的類似度の導出 バッハ BWV582 パッサカリアとフーガの分析を例に ”, 人工知能学会全国大会 2014, May, 2014
- [43] Maarten Grachten, Josep Lluís Arcos and Ramon Lopez de Mantaras, “Melody Retrieval using the Implication/Realization Model”, MIREX Symbolic Melodic Similarity Results, Oct., 2012.
- [44] <https://googleblog.blogspot.jp/2012/06/using-large-scale-brain-simulations-for.html>
- [45] <http://deepdreamgenerator.com/>
- [46] <http://www.esac-data.org/>
- [47] Ames, C., “The Markov Process as a Compositional Model: A Survey and Tutorial”, Leonardo, Vol. 22, pp. 175-187, 1989
- [48] Todd, P. M., Werner, G. M.: “Musical Networks”, MIT Press, pp. 313-339, 1999
- [49] PGMusic: Band in a Box <http://www.pgmusic.com/index.html>
- [50] UJAM:<http://www.ujam.com/>
- [51] Musicshake: <http://eng.musicshake.com/about>
- [52] Shigeki Sagayama, Shinji Sakou, Gen Hori, Satoru Fukayama: “Automatic Song Composition from Japanese Lyrics Based on a Probabilistic Approach”, Institute of Systems, Control and Information Engineers, Vol.56, No.5, pp.219-225, 2012
- [53] 深山寛, 中妻啓, 米林裕一郎, 酒向慎司, 西本卓也, 小野順貴, 嵯峨山茂樹: Orpheus:歌詞の韻律に基づいた自動作曲システム, 情報処理学会 音楽情報処理科学研究会, 2008-MUS-76-30, pp.179-184, Aug., 2008.
- [54] Makiko Katsura, Tetsuro Kitahara, Haruhiro Katayose, Noriko Nagata: “A Chord Voicing Reasoning System with Bayesian Network”, IPSJ special interest group on music and computer, 2008-MUS-74, Vol.2008, No.29, pp.163-168, 2008

- [55] 平田圭二, 松田周:”パピプーーン: GTTMに基づく音楽要約システム”, 情報処理学会音楽情報科学研究会, 29-36, 2002
- [56] 石田克久, 北原鉄朗, 武田正之, ”N-gramによる旋律の音楽的適否判定に基づいた即興演奏支援システム”, 情報処理学会論文誌, Vol46 No.7, pp1548-1559, 2005
- [57] 松原正樹, 深山覚, 奥村健太, 寺村佳子, 大村英史, 橋田光代, 北原鉄朗, ”創作過程の分類に基づく自動音楽生成研究のサーベイ”, コンピュータソフトウェア, Vol. 30, No.1, pp. 101-118, 2013.
- [58] 藤岡定, 中村滋延, 栗原詩子, ”Cubie-パズル・ゲームをモチーフとした「思考型」演奏ソフトウェア”, 情報処理学会音楽情報科学研究会, pp.73-77, 2007.
- [59] JASRAC 一般社団法人音楽著作権協会 http://www.jasrac.or.jp/info/dl/gaide_chart.pdf
- [60] CIRI 公益社団法人著作権情報センター http://www.cric.or.jp/db/domestic/a1_index.html
- [61] 著作物が自由に使える場合について文化庁 http://www.bunka.go.jp/seisaku/chosakuken/seidokaisetsu/gaiyo/chosakubutsu_jiyu.html
- [62] がんばれ高校生!世界史年表 <http://www.h3.dion.ne.jp/~urutora/sene.htm>
- [63] がんばれ高校生!日本史年表 <http://www.h3.dion.ne.jp/~urutora/nen1.htm>
- [64] NHK 高校講座日本史 <http://www.nhk.or.jp/kokokoza/tv/nihonshi/>
- [65] NHK 高校講座世界史 <http://www.nhk.or.jp/kokokoza/tv/sekaishi/>
- [66] 生年順クラシック作曲家名 <http://www.asahi-net.or.jp/~mf4n-nmr/sakkyokuka.html>
- [67] YAMAHA 音楽史について学ぶ http://jp.yamaha.com/services/teachers/music_pal/study/history/
- [68] 現代音楽を分析する両極のアプローチ http://www.ongakunotomo.co.jp/web_content/senmonsyo/16.html
- [69] 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”, 情報処理学会音楽情報科学研究会, Oct, 2010

- [70] 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連鎖構造を用いたメロディ構造分析”, 情報処理学会音楽情報科学研究会, Feb, 2012.
- [71] Sakurako Yazawa, Yuhei Hasegawa, Kohei Kanamori, Masatoshi Hamanaka: ”Melodic Similarity based on Extension Implication-Realization Model”, MIREX Symbolic Melodic Similarity Results, Nov, 2013.
- [72] Sakurako Yazawa, Masatoshi Hamanaka: ”Extension of Implication-Realization Model for Subjective Melodic Similarity”, BKN25 Milestones in Music Cognition, July 2014.(poster session)
- [73] Sakurako Yazawa, Masatoshi Hamanaka, Takehito Utsuro; ”Melody Generation System based on a Theory of Melody Sequences”, International Conference on advanced Informatics: Concepts, Theory and Applications ,pp347-352, Aug., 2014
- [74] Sakurako Yazawa, Masatoshi Hamanaka, Takehito Utsuro; ”A Novel Approach to Separation of Musical Signal Sources by NMF”, The 12th IEEE International Conference on Signal Processing, pp.610-615, Oct., 2014.
- [75] Sakurako Yazawa, Masatoshi Hamanaka, Takehito Utsuro, ”Subjective Evaluation of Correlation of Melody Length and Melodic Similarity based on a Music Theory”, International Journal of Signal Processing Systems, pp.269-275, Aug., 2016
- [76] 矢澤櫻子, 浜中雅俊: ”主観的類似度を反映した暗意実現モデルの拡張”, 情報処理学会音楽情報科学研究会, Feb, 2014
- [77] 矢澤櫻子, 浜中雅俊: ”音楽理論に基づくメロディ生成システム”, 人工知能学会全国大会 2014, May, 2014
- [78] 矢澤櫻子, 宇津呂武仁, 浜中雅俊, ”暗意実現モデルの拡張に基づく楽曲間類似度の評価”, 人工知能学会全国大会 2015, May, 2015
- [79] 櫛部義幸, 瀧田寿明, 浜中雅俊, 矢澤櫻子, 星野准一; ”楽曲構造解析への統計的機械学習法の適応”, 電子情報通信学会 ITS 研究会, March, 2015.
- [80] 瀧田寿明, 櫛部義幸, 矢澤櫻子, 星野准一, 浜中雅俊: ”深層学習に基づく入力楽器音響信号の MIDI 音色パラメータ値推定”, 第13回情報科学技術フォーラム, Sep, 2014

- [81] 木村峻介, 松本卓人, 矢澤櫻子, 星野准一, 李昇姫, 浜中雅俊, 屋内位置検出を利用した子ども見守りサービスシステム, 情報処理学会論文誌, Vol.56, No.3, 2015
- [82] 秋元和久, 矢澤櫻子, 星野准一, ”リズムゲームをモチーフとした作曲支援アプリケーションの開発”, 情報処理学会エンターテイメントコンピューティング研究会, Dec., 2015