

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

○矢澤櫻子[†] 寺澤洋子^{††}
平田圭二^{†††} 東条敏^{††††} 浜中雅俊[†]

本稿では Eugene Narmour が提唱した暗意実現モデルを用いたメロディ構造分析システムについて報告する。暗意実現モデルは旋律中に現れる 3 つの音のパターン (シンボル) を発見し楽曲を分析する。シンボル全部で 8 つの基本類型と 2 つの例外型が定義されている。我々は、与えられた旋律の中からその 8 つの基本形を発見する分析器を実装した。本発表では分析器の構成と実行結果について報告し、問題点や今後の改良点などを議論する。

Identifying the basic structures of Implication-Realization Model in a melody

○Sakurako Yazawa[†] Hiroko Terasawa^{††}
Keiji Hirata^{†††} Satoshi Tojo^{††††} Masatoshi Hamanaka[†]

This paper describes a melody analysis system based on Implication Realization Model (IRM), which was proposed by Eugene Narmour. In IRM, melodies are segmented into sets of three notes or two notes, which are attributed to eight basic melody archetypes and two other exceptional types. Our melody analysis system segments a melody and then identifies the archetype for the three- or two-notes sets according to IRM. This paper describes structure of the system, reports the experimental results, and discusses the current problems and future directions.

1. はじめに

本稿では Eugene Narmour が 1992 年に提唱したメロディに関する音楽理論である「暗意実現モデル」(Implication-Realization Model)に基づきメロディを構造分析するシステムについて述べる。本研究の最終的な目的は、音楽的知識に乏しいユーザでも手軽に作曲を楽しめるようになるための作曲支援システムを構築することである。例えば音楽初心者は作曲中にしばしば次のメロディが浮かばない状況に陥ることがある。このとき作曲支援システムが適切な次のメロディを提示できればユーザの作曲を支援することができるであろう。

従来の作曲支援システムには、メロディに対して和声付けを行って作曲支援をするシステム[1], 入力された歌詞をもとに全自動でメロディを生成するシステム[2], 複数人で共有したメロディを組み合わせる作曲を行うシステム[3]があった。しかし、これら[1-3]はいずれも入力データに対応したメロディを自動生成することが目的で、作曲中のメロディの次のメロディを提示するような作曲支援はできなかった。

これに対し、作曲中のメロディの次のメロディを提示可能な手法として、後続音を予測するメロディ予測生成手法[4,5]が提案されていた。音楽理論 GTTM (Generative Theory of Tonal Music[6])に基づくメロディ予測手法[4]では一連のメロディ全体の安定度を音楽理論に基づき定義し、メロディが安定するように後続音の候補の予測をしていた。この手法では常に安定するように曲が進行するため、変化に乏しいメロディが生成されやすいという問題があった。一方、N-gramを用いたメロディ予測システム[5]では、複数の N-gram モデルを用意することで、メロディの予測結果が単調になることを防いでいた。しかし、学習データ中に出現しなかった音の組み合わせが入力された場合、適切な予測が行えないという問題があった。つまり、あるメロディとその後続音との入出力関係を生の MIDI データなどで学習した場合、スパースすぎて適切な出力が得られることが保証できないという問題が生じる。したがって学習結果を次のメロディを提示するような作曲支援に用いることは困難であった。

そこで我々は、メロディの特徴を理論的なモデルに基づいて抽象化すれば、先行するメロディと後続するメロディの関係が適切に学習できるようになるので、メロディ予測に基づく作曲支援が可能になると考えた。ここでメロディのモデルとしては様々な方法が考えられるが、我々はメロディに関する音楽理論である暗意実現モデルを用

[†] 筑波大学
University of Tsukuba
^{††} 筑波大学先端学際領域センター
Tsukuba Advanced Research Alliance
^{†††} NTT コミュニケーション科学基礎研究所
NTT Communication Science Laboratories
^{††††} 北陸先端科学技術大学院大学
Japan Advance Institute of Science and Technology

いることにした。その理由は、暗意実現モデルが人間があるメロディを聴いたときに次にどのようなメロディが来るかを予想しているという前提に基づいて構築された理論であり、先行するメロディと後続するメロディの関係性を記述するのに適しているからである。暗意実現モデルでは音がゆっくり上がる、急激に下がるというような音の動きを数種類の記号によってメロディを記述することで抽象化を行う。我々はその記号の列を用いてメロディ予測を実現することを目指している。

本稿では、メロディ予測に基づく作曲支援システムを構築する第一歩として暗意実現モデルによるメロディ構造解析を行うシステムの構築を試みる。

以下、2 節では暗意実現モデルについて述べ、3 節では暗意実現モデルの実装について説明する。そして4 節では実験結果について述べ、第4 章ではまとめと今後の課題について報告する。

2. 暗意実現モデルとは

暗意実現モデルとは1992年にEugene Narmourが提唱したメロディに関する音楽理論である。この理論は音の動きの特徴を表したシンボルと呼ばれる記号でメロディ構造を記述する理論である。シンボル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。

2.1 音程方向と差異もしくは類似の音程

暗意実現モデルを説明するに当たり音程方向 (registral direction) と差異もしくは類似の音程 (similarity or difference interval) という言葉の定義されている。“音程方向”は、1音目に対して2音目が上がっているか、下がっているかという音の進行方向を指す(図1)。

類似の音程というものは3音のうち、1音目2音目の音程を音程1、2音目と3音目の音程を音程2としたとき、音程1と音程2の幅がほぼ同じくらいのものを指す(図2)。逆に差異の音程というものは音程1と音程2の幅が異なるものを指す。

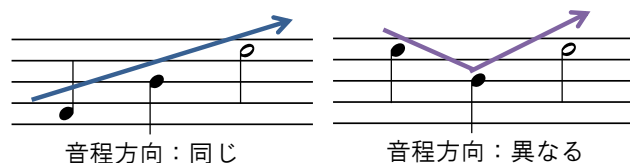


図1, 音程方向について

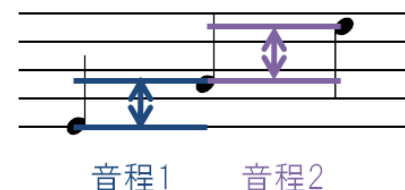


図2, 音程1と音程2について

2.2 ブラケット

暗意実現モデルでメロディを分析する際に、初めに行うのが音の組を作ることである。音の組は、メロディの連続する3音をひとつの単位として表現される。

この組をブラケットという括弧で区切り、区切られた音の組の特徴からシンボルを当てはめる。あるシンボルの始まりは強拍、特に小節の1拍目と3拍目と音長が切り替わるとき、シンボルの終わりに発生に発生する。このため暗意実現モデルでは、ブラケットの先頭の音が小節の区切りであるか、あるいは小節内で何拍目であるか、ということが重要となる。

2.3 基本類型と例外型

ブラケットによって区切られるシンボルには基本類型の8種類と例外型の2種類がある。基本類型とはブラケット内に3つの音が存在する場合で、例外型というものはブラケット内に2音存在する場合もしくは単音でブラケットによる区切りが行えなかった場合を指す。

基本類型には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、例外型は dyad, monad という2種類が存在する。

以下、各シンボルに振り分けられるための音の組み合わせの特徴を説明する。

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。基本類型 P の例を図 3 に示す。

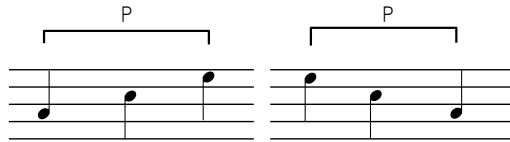


図 3, 基本類型 P の例

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 (図 4)。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。

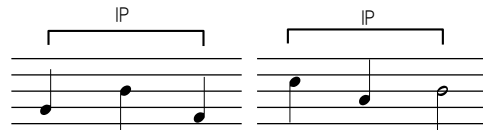


図 4, 基本類型 IP の例

VP (registral process) は差異の音程で同じ音程方向にメロディが進む (図 5)。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って大きな音程で下がる場合である。

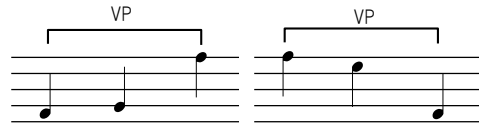


図 5, 基本類型 VP の例

D (duplication) は音程変化無しの場合である (図 6)。

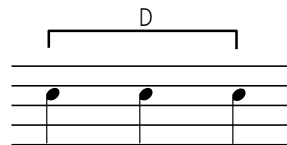


図 6, 基本類型 D の例

ID (intervallic duplication) は同じ音程の進行で異なる音程方向が進む (図 7)。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 7, 基本類型 ID の例

R (reversal) は差異の音程で異なる音程方向が進む (図 8)。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って小さな音程で上がる場合である。

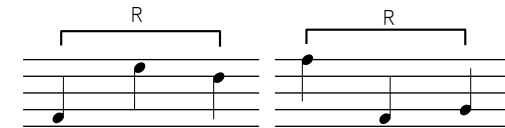


図 8, 基本類型の R の例

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 (図 9)。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 9, 基本類型 IR の例

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 (図 10)。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 10, 基本類型 VR の例

上記で説明してきた基本類型以外の例外型について説明する。

dyad とはシンボルパターンを形成しない 2 音で、音高差の度数で表現される (図 11)。例えばメロディの始まりがアウトタクトである場合に振り分けられる。

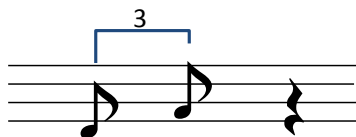


図 11, 例外型 dyad の例

monad はシンボルパターンを形成しない単音で、代表される音の度数で表現される (図 12)。例えば前後が休符となっている場合の中央の音を代表される音として振り分けられる。



図 12, 例外型 monad の例

これら基本類型の振り分けルールをまとめたものを表 1 に示す。例えば、P と IP は音程の度合いは同じだが音程方向が異なる。V と VR も音程の度合いは同じだが、音程方向が異なる。逆に R と IR は、音程方向は同じだが音程 1 と 2 が異なる。

表 1, シンボル振り分けルール

	音程 1	音程 2	音程方向
P	類似の幅		同じ
IP	類似の幅		異なる
V	Short	Long	同じ
D	D は特殊ケース		
ID	等しい幅		異なる
R	Long	Short	異なる
IR	Long	Short	同じ
VR	Short	Long	異なる

表 1 に示されるシンボル振り分けのルールと例外の処理を用いることで、どのようなメロディ (モノフォニー) でも暗意実現モデルにより抽象化を行うことが可能である。

2.4 分析

シンボル振り分けを行う具体的な手順を以下に示す (図 13)。

図 13 の①のようなメロディがあったとき、まず連続する 3 音の組を作り②のようにブラケットで区切る。ここで②の第 1 小節と第 2 小節の間 (※の部分) でブラケットが切れているのは、音長が変化するためである。また、3 音組を作れなかった最後の音に対して **monad** を割りふる。

そして、ブラケット内の音の特徴から基本類型を割りふる。③の i のブラケット内は一度違う音に飛んでまた同じ音に戻っているため **ID** となる。ii のブラケットは音程変化が無いので **D** となる。iii のブラケットは大きな音程で上がり小さな音程で下がっているため **R** となる。

暗意実現モデルでは上記のような手順で構造解析を行う。

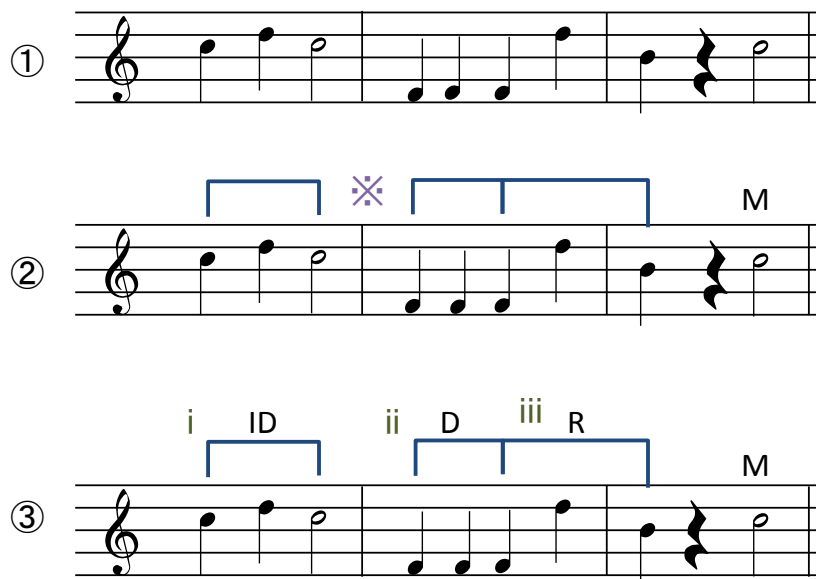


図 13, 解析手順

3. 暗意実現モデルの実装

本稿では入力データをブラケットで区切り基本種類の 8 種類と例外の 2 種類を分類するシステムを実装した。解析対象はモノフォニーの小節線が既知の 4 拍子の曲とした。今回このような制約条件とした理由は、文献[7]での分析例にはこの前提条件に合うもの以外の分析例がなかったためである。

3.1 実装上の問題点

暗意実現モデルは音楽学の立場からメロディの成り立ちを理解・表現するために提案されたものであり、本来計算機上へ実装することを前提にたてられた理論ではない。この理論は、計算機科学の視点からすると曖昧で定量化されていない定義が多いという問題があった。例えば表 1 において類似の音程の幅・short の音程幅と記されているが、これらを分離する有効な手段は文献[7]には記載がない。

3.2 解決法

この問題を解決するために本稿で我々は曖昧な定義を出来る限り定量的に扱うため、曖昧性を含む部分をパラメータ化することにした。具体的には表 2 に表される分析に用いた変数のうち `arv_long` と `arv_short` に曖昧性があったため、`x` と `y` という 2 つの変数を導入することにした。`x` は音程が広いかどうかを判定するためのパラメータ、`y` は音程が狭いかどうかを判定するパラメータである。これらのパラメータを曲ごとに適切に設定することで、分析が可能になる。

本稿では、これらのパラメータを手動で調節することで正しい分析結果が出力されるか実験により確認する。

表 2, 構造分析に用いた変数

変数	内容
T_1	音の組のうち、1 音目の音高
T_2	音の組のうち、2 音目の音高
T_3	音の組のうち、3 音目の音高
I_1	1 音目と 2 音目の音高差。表 1 の音程 1 に同じ。
I_2	2 音目と 3 音目の音高差。表 1 の音程 2 に同じ。
R_1	<code>interval1</code> の音程方向を表現。1 で上昇、-1 で下降、0 で変化無し
R_2	<code>interval2</code> の音程方向を表現。1 で上昇、-1 で下降、0 で変化無し
<code>arv_long</code>	音程が <code>x</code> 以上の時 1、それ以外で 0
<code>arv_short</code>	音程が <code>y</code> 以上の時 1、それ以外で 0
IL_+	音程 1 を表現。1 で long, -1 で short, それ以外で 0.
IL_-	音程 2 を表現。1 で long, -1 で short, それ以外で 0.

3.3 処理の流れ

暗意実現モデルのシンボルでメロディを抽象化する流れは以下の通りである。流れを示すフローチャートを図 14 に示す。

- ① 楽譜データの音符、休符を数値化する。
- ② 楽譜の先頭から 3 音をとる。ただし、休符も 1 音と数える。
- ③ その 3 音について 3 つとも音、1 つの休符と 2 つの音、2 つの休符と 1 つの音、と分類を行う。
- ④ 1 つの休符と 2 つの音だった場合、`dyad` を割り当てる。
- ⑤ 2 つの休符と 1 つの音だった場合、`monad` を割り当てる。
- ⑥ 3 つとも音だった場合、すなわち休符を含まない場合、各音高を求める。

表 3, 評価式

基本類型	評価式
P	$\begin{cases} 1 : R_1 = R_2 \text{ and } IL_1 = IL_2 \\ 0 : \text{otherwise} \end{cases}$
IP	$\begin{cases} 1 : R_1 = R_2 \text{ and } I_1 = -1 \ I_2 = 1 \\ 0 : \text{otherwise} \end{cases}$
VP	$\begin{cases} 1 : R_1 \neq R_2 \text{ and } IL_1 = IL_2 \\ 0 : \text{otherwise} \end{cases}$
D	$\begin{cases} 1 : T_1 = T_2 \text{ and } T_2 = T_3 \\ 0 : \text{otherwise} \end{cases}$
ID	$\begin{cases} 1 : T_1 = T_3 \text{ and } T_1 \neq T_3 \\ 0 : \text{otherwise} \end{cases}$
R	$\begin{cases} 1 : R_1 = R_2 \text{ and } IL_1 = 0 \text{ and } IL_2 = -1 \\ 0 : \text{otherwise} \end{cases}$
IR	$\begin{cases} 1 : R_1 = R_2 \text{ and } IL_1 = 1 \text{ and } IL_2 = -1 \\ 0 : \text{otherwise} \end{cases}$
VR	$\begin{cases} 1 : R_1 \neq R_2 \text{ and } IL_1 = -1 \text{ and } IL_2 = 0 \\ 0 : \text{otherwise} \end{cases}$

- ⑦ 1つ目と2つ目, 2つ目と3つ目の音符の音高差を求める
- ⑧ この音高差が“広い”, “狭い”, “それ以外”を判定する
- ⑨ 1つ目の音符に対して2つ目の音符が, 2つ目の音符に対して3つ目の音符の音高が上昇しているか下降しているか, もしくは音高の変化が無いかを求める
- ⑩ 以上を下記の式(表3)と比較し基本類型を当てはめる. 表3の評価式において1であればその基本類型と出力され, 0であれば異なる類型となる. これにより8種類の基本類型のうちの1つが選択される.
- ⑪ 楽譜から次の3音をとり, ③番以降を曲のメロディの最後まで繰り返す.

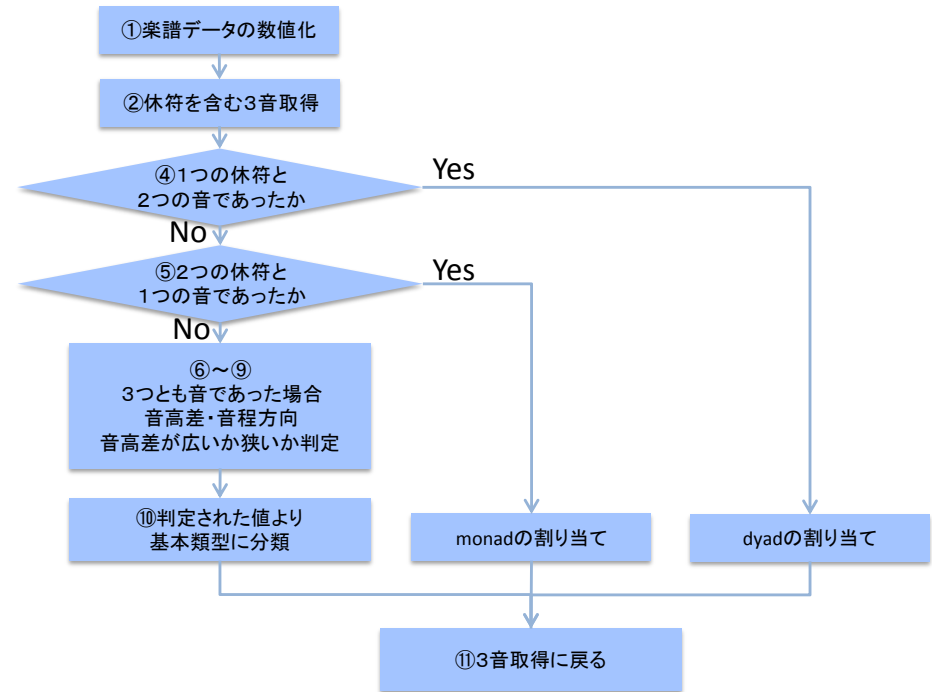


図 14, フローチャート

4. 実験結果

構築したシステムを用いて小節線が既知のモノフォニーのメロディに対して実験を行った. 暗意実現モデルによる解析例は非常に少ないため, 文献[8]の7ページに記載されている解析例とその楽譜を実験に用いた. 手動でパラメータを調節して2つのメロディに対して分析を行ったところ, 出力結果は正解データ(文献[8]の解析例)と一致した. このときパラメータ x (音程が広いかどうかを判定するためのパラメータ) は7度, y (音程が狭いかどうかを判定するためのパラメータ) は5度であった.

一方, 様々な楽譜の分析を試みたところ下記の図15のように3音の組の2音目と3音目で音高が変化しなかった場合に音程方向が同じか異なるかというどちらになるかの分析がうまくいかない場合があった. つまり音程1が long で音程2が short とな

るが、2音目と3音目の音高が同じなので音程方向が同じか異なるかのどちらかを判定すべきか曖昧である。例えば基本類型 R は音程 1 が long, 音程 2 が short で、音程方向が異なる場合である。一方、基本類型 IR は音程 1 が long, 音程 2 が short であるのは R と同様であるが、音程方向は同じである。したがって図 15 のような場合には R と IR のどちらにも分類することが困難である。上記のことから、我々は暗意実現モデルにおいて、1音目と2音目もしくは2音目と3音目で音高の変化がなかった場合(図 15)についての定義が不足しているのではないかと考えている。



図 15, 振り分けが困難な例

5. まとめ

本研究では暗意実現モデルの基本類型を用いてメロディ構造分析を行うシステムを構築した。そして、構築したシステムを用いて、小節線が既知でモノフォニーのメロディの解析を行った。評価実験を行った結果、“広い”とされる音高差が7度、“狭い”とされる音高差が5度ということがわかった。また、ブラケット内に3音あるときに1音目と2音目もしくは2音目と3音目の音高が同じである場合にどちらのシンボルを振り分けるべきか曖昧な部分があり、暗意実現モデルで定義されておらず基本類型を割り振ることが困難な音列があることがわかった。今後はそれらの処理をどのように行うか、検討していく。

参考文献

- 1) 吉原一期, 近山隆: “Web 上の演奏データを利用した作曲支援システム”
情報処理学会大 65 回全国大会, 2P-2, 2003.
- 2) 深山覚, 嵯峨山茂樹: “日本語 歌詞からの自動作曲” オペレーションズリサーチ,
Vol. 54, No. 9, pp. 546-553, 2009.
- 3) 大澤直哉, 木村昌樹, Papon Yongpisanpop, 高井雄治, 大平雅雄, 松本健一: “コミュニティベースドリアルタイム協調作曲支援システム”
「マルチメディア, 分散, 協調とモバイル(DICOM2010)シンポジウム」,
pp. 1101-1107, 2010.
- 4) 西田智, 浜中雅俊, 平田圭二, 東条敏: “類似した楽曲構造を持った旋律のインタラクティブな生成方式”, 情報処理学会 音楽情報科学研究会, 2010-MUS-84, No. 4, 2010.
- 5) 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, Vol. 46, No. 7, pp. 1549-1559, 2005.
- 6) Lerdahl, F., and R. Jackendoff.: A Generative Theory of Tonal Music., MIT Press, 1983.
- 7) Eugene Narmour 著 “The Analysis and Cognition of Basic Melodic Structures”
The university of Chicago press, 1996.
- 8) 波多野誼余夫 著 “音楽と認知”, 東京大学出版会, pp. 1-40, 1989.