

暗意-実現モデルに基づく旋律情報量の予備的検討

山内拓真¹ 能登楓¹ 竹川佳成¹ 平田圭二¹

概要: 本論文では、期待と逸脱を表現する旋律の複雑さという心理量の定量化として、暗意-実現モデルに基づいたシンボル列に対する旋律情報量を検討する。暗意-実現モデルは、音楽聴取における期待の発生とその逸脱をシンボルで表現する音楽理論である。期待実現のシンボルに対しては予測の容易性をもとに音数や音価、シンボルの傾きを考慮した定式化を行う。期待逸脱のシンボルに対しては、音程の大きさや方向に基づく原理を基準とした逸脱の程度を考慮した定式化を行う。そして、旋律の複雑さの定量化として認知的リアリティをもった情報量に向けての課題点について議論する。次に、情報量適用の対象として、音楽理論 GTTM に基づく旋律簡約に着目する。旋律簡約で失われた情報を音高差分の旋律として捉え、失われた情報の複雑さを暗意-実現モデルに基づく情報量で表現することを検討する。その結果から、GTTM と暗意-実現モデルを簡約により結びつける概念 **Reduction flex** を定義する。

キーワード: 音楽理論 GTTM, 旋律簡約, 期待と逸脱

1. はじめに

現在、一般的に用いられている旋律表現は音高と時間の関係である。そこにはスケールの関係など、音高の背後に存在する構造が表現されておらず、単に音高番号順の関係性が独立事象としてみなされる。また、時間方向においても拍節構造やオンセットなどの概念が表現されていない。つまり、譜面という二次元上でのユークリッド距離をもって音楽の距離としており、音楽的な認識や概念が記号設置されていない。そのような物理的な距離ではない、人間の認知と記号接地した距離の導入は、音楽を対象とした工学タスクに対して有効だと考えられる。自動盗作判定を例にとると、より聴取者の感覚に即した盗作判定が可能になり、システムとしての質の向上が期待される。その他にも、楽曲推薦など音楽どうしの類似度を必要とするタスクへの貢献が期待される。

音楽認知過程に基づく距離尺度として、旋律の複雑さの違いを考える。普段日常で聴取するような一般的な旋律と、「ドレミファソラシ」という旋律を比較すると、前者の方が複雑な旋律といえるだろう。これは、一般的な旋律は後者のような単純な音列に加え、期待からの逸脱を上手く活用して作曲されているためである。仮に、後者の旋律の直後に「ド」が加わった場合と、脈絡のない音を加わった場合を考えると、前者は期待通り、後者は期待が逸脱することによって複雑さが変化する。よって、期待と逸脱の情報を定量化することができれば、認知過程に基づく旋律の複雑さを距離尺度として利用することが可能となる。

本研究では、認知的音楽理論である暗意-実現 (I-R) モデル [1] を利用し、期待と逸脱に基づく旋律の複雑さの定量化を試みる。I-R モデルは、Narmour によって提唱された、音

楽聴取における期待の実現と逸脱を音程パターンに基づくシンボル列で抽象化する認知的音楽理論である。背景には Meyer の理論が存在する [2]。Meyer は、ゲシュタルト理論を旋律に適用し、音楽の構造により期待が生じ、期待の逸脱に対して情動が引き起こされるとしている。期待からの逸脱に対しては、ミスマッチ陰性電位と呼ばれる脳内発火現象が生じることが確認されている [3]。よって、期待と逸脱に基づく理論である I-R モデルを利用した複雑さの定量化は、認知的リアリティの観点から妥当であることが期待される。

期待と逸脱から聴取者が受ける旋律の複雑さという心理量を、物理量として表すのは容易ではない。期待の実現と逸脱の計算論的定式化を試みた例としては、大村らの研究がある [4]。大村らは、複雑さを定量的に扱うために、複雑さを予測の容易性として捉えている。特定の音に対する期待が存在せず音の予測が難しい状態は複雑性が上昇しているとして、音高と音価に関する確率構造を情報理論におけるエントロピーに対応した定式化を行った。

本研究の目的は、I-R モデルに基づく旋律の複雑さを定量化する旋律情報量の検討である。ここでいう情報量とは、情報学における確率のみに依存する情報量とは異なる構造をもち、暗意-実現モデルによる分析結果に基づく値である。I-R 分析結果に基づく情報量がどのような構造をもつべきなのかは明らかでない。よって検討段階として、期待からの逸脱の程度と、大村らと同様に予測の容易性を考慮した定式化を行い、認知的リアリティをもつ定式化に向けた議論を行う。次に、I-R モデルとは異なる認知的音楽理論 **Generative Theory of Tonal Music** に着目し、旋律簡約による複雑さの減少に対し定式化した情報量を適用する。

¹ 公立はこだて未来大学 大学院
Future University Hakodate

2. 暗意-実現モデル

I-R モデルでは、隣り合う 3 音の関係を期待の実現および逸脱に基づき、8 つのパターンへと分類する。付与されるシンボルは、1. 音程の大きさ、2. 同じ方向、3. 方向原理 (PRD) および、4. 音程原理 (PID), 以上 4 つのルールによって決定される (表 1)。表 1 に記載されている S は小さい音程、L は大きい音程をさし、本項において S は 5 半音以内の音程とし、L は 6 半音以上の音程とする。

I-R 分析によって付与されるシンボルには、3 つの暗意-実現のシンボル、5 つの暗意-否定シンボル (逸脱のシンボル) がある。各シンボルの音列例を図 2 に示す。暗意の実現/否定を決定するルールは、パターン分類において用いる PRD および、PID である。

方向原理 (PRD)

第 1 音と第 2 音の音程が小さいとき、第 3 音で同じ方向の間隔が暗意される。第 1 音と第 2 音の音程が大きいとき、第 3 音は異なる方向の間隔が暗意される。

音程原理 (PID)

第 1 音と第 2 音の音程が小さいとき、第 2 音と第 3 音の間にも同程度の音程が暗意される。第 1 音と第 2 音の音程が大きいとき、第 2 音と第 3 音の間はそれより小さい音程が暗意される。

実現のシンボルおよび逸脱のシンボルの具体例を図 1 に示す。「ドレ」という旋律が聴取された場合、PRD と PID に基づき同方向かつ類似した音程を満たす「ミ」が期待される。その期待がどちらも満たされる 3 音には、実現のシンボルであるシンボル P が付与される。一方、実際に聴取した旋律が「ドレド」の場合、PID を満たすものの PRD は満たされないため、逸脱のシンボルであるシンボル ID が付与される。このように、I-R モデルでは、PID、PRD を同時に満たす 3 音には、実現のシンボルである P、D、R が、一方、PID のみを満たす 3 音には、逸脱のシンボル ID、PRD のみを満たす 3 音には否定のシンボル VO が付与される。

旋律中のどの音列にシンボルが付与されるかは、クロージャと呼ばれる概念により定まる。クロージャとは、これまで聴取した音列から暗意が鈍化・抑制される点であり、旋律を分割する点である。具体的には、拍の強さや音価の変動などにより定まる。

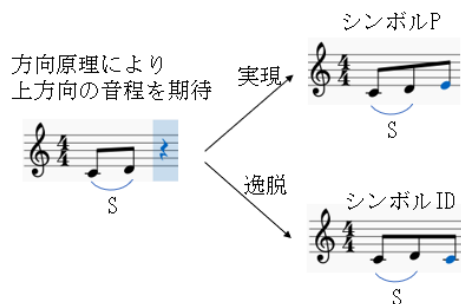


図 1 期待の発生と実現/逸脱の例

表 1 暗意-実現パターンの分類

パターン名	音程の大きさ	同じ方向	PID	PRD
D	00	Yes	Yes	Yes
ID	SS (=)	No	Yes	No
P	SS	Yes	Yes	Yes
IP	SS	No	Yes	No
VP	SL	Yes	No	Yes
IR	LS	Yes	Yes	No
R	LS	No	Yes	Yes
VR	LL	No	No	Yes

図 2 I-R シンボルの音列例

3. 暗意-実現モデルに基づく情報量の提案

本章では、I-R モデルに基づく旋律情報量の定式化について検討する。I-R 分析によって得られるシンボル列に対し、期待の実現と逸脱をもとに旋律の複雑さを定量的に表現する。前述の通り、I-R モデルには実現のシンボルと逸脱のシンボルの二種類が存在する。これは、期待からの逸脱に対し情動が生じるという Meyer の考えが反映されている。また、期待からの逸脱に対しミスマッチ陰性電位の存在が確認されている。よって、逸脱のシンボルに対しては、逸脱の程度が情報量の指標として考えられる。しかし、実現のシンボルには逸脱が存在しないため、逸脱のシンボルと同様の方向性では複雑さの実態を掴めない。よって、実現のシンボルは逸脱のシンボルとは異なるアプローチを用いて定式化を試みる。

3.1 実現のシンボルの情報量

実現のシンボル (D, P, R) の複雑さを定量化するために、予測の容易性に関する変数を導入する。これは、情報理論におけるエントロピーに対応する考え方である。大村らのアプローチ [4]と同様に、複雑な状態は予測が困難な状態と捉え、予測が容易な音例は情報量が低く、予測が困難な音列は情報量が高いと定義することで定式化を試みる。ここで、実現のシンボルの複雑さを定量化するためのパラメータとして傾き、音数、シンボル区間における総音価を導入する。以下、シンボルごとに事例を交えながら定式化の方法を記述する。

最も単純なシンボルである D に関する事例から、シンボル構成音の音数について述べる。シンボル D は、シンボル区間における音高が全て同一の場合に付与されるシンボルであることから、予測の容易性に関するパラメータとしては音数が考えられる。シンボル D を構成する音数が 3 音の

場合「ドドド」と4音「ドドドド」の場合を例に説明する。I-R モデルにおいて、暗意を生じさせる音はシンボル構成音のうち末尾以外の音であるため、前者において暗意を強める音符は2音、後者においては3音となり、より暗意が強くなる音列は後者と考えるのが妥当であろう。これは、同じ音が反復することで、継続の暗意が高まるためである。つまり、構成音の多いシンボルほど予測が容易であり、情報量は低下すると定義する。

同様に、シンボルDをもとに音価の扱いについて考える。シンボル構成音の総音価は旋律中にそのシンボルが支配する時間の長さである。聴取する音価の違いが期待や逸脱にどのような影響を与えるかは現時点では大きな課題である。そのため、本稿では単純に、8分音符3つからなるDと4分音符3つからなるDを区別するための意味として、シンボルの総音価を特徴量として使用する。なお、シンボルの最終が聴取された段階で実現や逸脱が決定するため、シンボルの総音価からは最終音の音価は除いて考える。

シンボルPは構成音が同方向かつ同程度の音程に付与されるシンボルである。つまり、シンボルPはシンボルDに方向に関する特徴が加わったシンボルとみなすことができる。音列「ドレミ」と「ドミソラ」を例にみると、シンボルDと同様に上昇や下降の反復によってPが継続する期待が高まり、後者の方が予測は容易であり情報量は低下する。一方で、シンボルPの複雑さを定量化するためには、シンボルDの情報量計算方法に加え、音列の方向に関する特徴量を反映させるような定式化を行うべきである。

ここで、I-R モデルにおいて付与するシンボルを決定する原理PRDに基づき、音列の傾きに関する特徴量を提案する。NarmourはPIDとPRDにおいて小さい音程Sと大きい音程Lに境界を定めて区別している。PIDとPRDの上では、音程の大きさがその境界を超えると、暗意される音程方向が反転するなど期待の対象範囲が変化する。図3にそのイメージを示す。例えば、シンボルPの1-2音目の音程Sが境界を超えLになってしまうと、PRDに従い同方向でなく逆方向の音程が暗意されシンボルPは成立しない。このことから、聴取する音程の大きさがSとLを区別する境界に近づくほど期待の方向が定まらず、期待の対象が分散することで、特定の音に対する予測が困難になると仮定する。

つまり、旋律を音程、発音タイミングの2次元における図形とみなした際に、シンボルの構成音から計算可能な傾きを特徴量として使用することができるだろう。 t_n をn番目のシンボル構成音として、図4を用いて説明する。シンボルPを構成する音は全部でn音あるが、各音程が大きいほど、 t_n の音高は上昇するため、各音程の境界への近さは結果的に最終音 t_n に内包されている。よって、特徴量として単純である t_1 と t_n の音程のみを考慮する。そこで、 t_1 と t_n の音程を反映させるような傾きを計算するために、 t_n か

ら下ろした垂線と横軸の交点である t'_n を使用する。これにより、シンボル構成音 t_1, t_n の音程を線分 $t_1 t_n$ と $t_1 t'_n$ のなす角 θ として表現することができる。

次に、シンボルRに着目する。シンボルRは1-2音目の音程が大きい音程Lであり、PIDとPRDにより、逆方向の小さい音程Sが暗意される。シンボルRは必ず3音で構成されるシンボルのため、シンボルDやPのように反復による暗意の継続は起こらない。よって、シンボルPと同様にPRDに基づく境界への接近を反映したシンボルの傾きを利用する。1-2音目の音程がLのため、Sとは逆にLが小さいほど境界へ接近し、逆方向への予測が困難になると仮定する。ここで、2-3音目の音程を考える。PIDによると1-2音目の音程Lに対してそれより小さい音程が暗意される。2-3音目の音程Sが大きい場合、異なる逸脱のシンボルVPに遷移することから、この曖昧性を2-3音目の音程Sは小さければ小さいほど予測が容易だと仮定する。以上をまとめ、1-2音目の音程Lは大きく、2-3音目の音程Sは小さいほど予測が容易だと仮定する。すると、条件を満たす角は図5に示すように、シンボルPとは異なり線分 $t_1 t_2$ と $t_1 t_3$ のなす角となる。

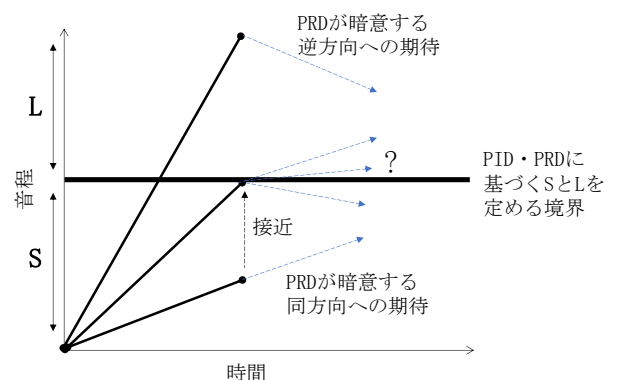


図3 PRDに基づく期待の方向変化のイメージ

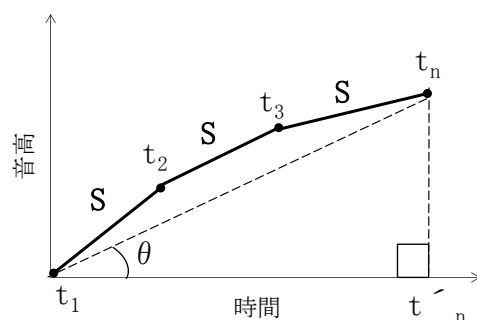


図4 シンボルPにおけるシンボルの傾き

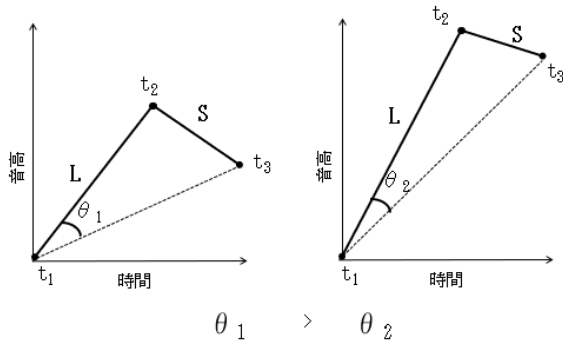


図5 シンボル R において利用するシンボルの傾き

3.2 実現のシンボルにおける情報量の定式化

以上の事例をもとに、提案した特徴量を組み合わせることによって、実現のシンボルがもつ情報量 $E_{Realization}$ を、

$$E_{Realization} = \frac{\sum_{n=1}^{N-1} t_{n_duration}}{N} * (\tan\theta + 1)$$

と定義する。ここで、 N はシンボル構成音の個数、 $t_{n_duration}$ を n 番目のシンボル構成音の音価、 θ はシンボル P, D の場合には、線分 $t_1 t_n$ と $t_1 t'_n$ のなす角を、シンボル R の場合には、線分 $t_1 t_2$ と $t_1 t_3$ のなす角を表す。この定義によって音数の増加に反比例し、音価の和と傾きに比例するような定式化が可能となる。また、項 $(\tan\theta + 1)$ によって、シンボル P は常に同一の音数、および音価をもつシンボル D よりも高い値となることが保証される。

3.3 逸脱のシンボルの情報量

次に、逸脱のシンボルの情報量について検討する。期待からの逸脱に対し情動が生じるという Meyer の考えから、予期される音高からの逸脱が大きくなるほど複雑であるという仮定のもと、情報量を定義する。そのために、逸脱の大きさを表す特徴量として逸脱量をシンボル構成音 t_1, t_2, t_3 および、PID と PRD に基づき期待される音高 $t_{implicate}$ の4音を用いて定義する。ここで、仮想的な期待音 $t_{implicate}$ を固定することで t_3 と $t_{implicate}$ の物理的な距離を逸脱量とする。逸脱のシンボルの情報量は、 t_3 と $t_{implicate}$ の物理的な距離に比例するような値として定める。また、実現のシンボルと同様に、旋律中の支配領域として音価も考慮する。

前述の方針に基づき、逸脱量と音価を変数とした上で、一貫性のある情報量定式化を行うために、シンボル構成音が作る図形の面積を採用する。図6に各逸脱のシンボルの逸脱量と面積を示す。逸脱量の大きさと音価に比例する面積として、 t_1, t_2, t_3 が作る三角形が考えられる。シンボル IP, ID, VP の場合は、 $t_{implicate}$ を固定した場合逸脱量と音価の増加に比例して三角形の面積も増加する。しかし、シンボル IR (図6(b)) のみ、逸脱量である t_3 の音高の増加につれ三角形の面積が小さくなってしまふ。この問題を回避するため、情報量に採用する面積を、仮想的な期待音 $t_{implicate}$ を含めた4点から求まる面積まで拡大する。

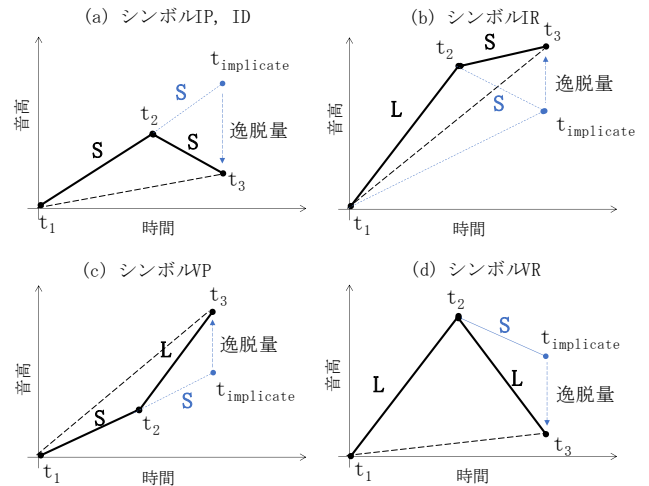


図6 逸脱のシンボルにおける逸脱量と面積

3.4 逸脱のシンボルにおける情報量の定式化

3.3 に挙げた事例に基づき、逸脱のシンボルの情報量を定義する。逸脱のシンボルで考慮するのは、期待に対する逸脱量である。逸脱が大きければ大きいほど複雑な音列とみなすことで、情報量は、シンボルを構成する音 t_1, t_2, t_3 および、PID と PRD に基づき期待される音高 $t_{implicate}$ の4音を直線によって結んだ図形の面積とすることができる。点 a, b, c を頂点とする三角形の面積を $S(a, b, c)$ として表す場合、逸脱のシンボルがもつ情報量 E_{denial} を以下のように定義する。

$$E_{denial} = \begin{cases} S(t_1, t_2, t_3) + S(t_1, t_2, t_{implicate}) & (IR \text{ を除く逸脱シンボル}), \\ S(t_1, t_2, t_3) + S(t_1, t_3, t_{implicate}) & (\text{シンボル} IR). \end{cases}$$

ここで、 $t_{implicate}$ は、1-2 音目および PID, PRD に基づき決定される仮想的な期待音である。ここでは、1-2 音目の音程が S の場合、PID に基づくと音程 S の同程度の音程が暗意されることから、 $t_{implicate}$ は t_3 と同じ発音時刻かつ、2 音目の音高に 1-2 音目の音程を足した音と仮定する。1-2 音目の音程が L の場合、PID に基づくとそれより小さい音程が暗意されることから、 $t_{implicate}$ は t_3 と同じ発音時刻かつ 2 音目の音高から 1-2 音目の音程と逆方向に $S_{interval}$ 半音離れた音高とする。ここで、 $S_{interval}$ は音程の大きさを表すハイパーパラメータであり、I-R モデルにおける大きい音程 L より小さい条件を満たす値である。

3.5 ケーススタディ

3.2 節で定式化した I-R 情報量を、人工的に作成した 8 つのテストケース旋律に対し適用した結果を表2に示す。テストケースの旋律および付与されるシンボルを図8に示す。情報量の計算では、音価の値は 16 分音符の長さを最小単位として1と設定した。逸脱のシンボルのパラメータ $S_{interval}$ は4半音と設定した。情報量は小数第2位を四捨五入した。



図7 テストケース旋律

表2 テストケース旋律に対する I-R 情報量

旋律	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)
情報量	3.0	4.3	3.5	32.0	24.0	16.0	40.0	48.0

4. 旋律簡約に伴う音高差分の旋律に対する情報量

本章では、提案した I-R 情報量のふるまいを確認するために具体的な旋律に対するケーススタディを行う。本稿では実験的に、認知的音楽理論 Generative Theory of Tonal Music (GTTM) [5]に基づき簡約された旋律を対象とした、I-R 情報量の計算を行う。GTTM は、I-R モデルと同様に人間の音楽認知過程に基づく旋律分析手法であるが、楽曲の階層性を仮定しているという点で異なる。GTTM の本質は、各階層のレベルにおける旋律から重要な音のみ残すように抽象化する簡約操作である。ここで、GTTM において上位の階層になるほど簡約が進むことから、簡約に伴い旋律の情報量は減少していくという仮説を立て、各階層において簡約された情報を、提案した I-R 情報量によって定量化することを試みる。これにより、旋律簡約に伴う旋律の複雑さの変化を、期待と逸脱に基づく情報量で定量的に捉えることが可能になる。これは、認知過程に基づく旋律の距離尺度実現に向けての検討である。

4.1 Generative Theory of Tonal Music

聴取者は重要な音とそうでない音とを判別して、音楽の骨格を心理的に構成しながら音楽を聴取するという仮説に基づく。GTTM では、隣接する2つのピッチイベントを比較し、より重要でない方は重要である方に従属する挿入音であると考え、いくつかのルールに基づき隣り合う音の重要度に上位と下位を定義する。この重要度を構造上重要な音が幹になるように階層的に整理して構成される二分木をタイムスパン木と呼ぶ。

タイムスパン簡約とは、重要でない方のタイムスパン木の枝を削除する操作である。タイムスパン木及びタイムスパン簡約の様子を図8に示す。図のタイムスパン木は GTTM Database [6]の分析結果に基づく。元旋律を簡約していくとレベル1, 2, 3 という順序でタイムスパン木、および音列

が得られる。元旋律からレベル1への簡約が行われる場合には、最も下位の音(2音目や6音目)が捨象されることがわかる。簡約を繰り返すにつれ音の捨象が行われ、元旋律から抽象化された音列が得られる。

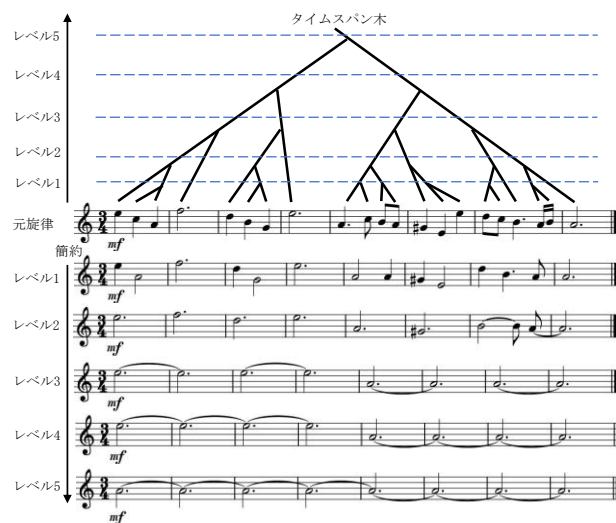


図8 タイムスパン簡約の様子

(Menuet in A Minor by Johann Philioo Krieger)

4.2 旋律簡約に基づく音高差分の旋律の導出

GTTM に基づく旋律簡約により失われる情報を計算するために、音高差分の旋律を利用する。簡約に伴う情報量の変化をみるためには、簡約後の旋律に直接 I-R 分析を行う方法が考えられる。しかし、簡約に伴い I-R 分析に必要な隣り合う音が捨象されてしまうためシンボルを付与できない。そこで、簡約された旋律と元旋律の音高列を半音単位で減算した結果得られる差分列を旋律とみなすことによって、失われた情報に対する I-R 分析を可能にする。具体的な音高差分の導出方法を音列「ドレド」を用いて説明する(図9)。タイムスパン木による簡約では、2分木において下位の要素を捨象する。つまり、「ドレド」に対し、1度簡約を行った結果得られる旋律は「ドド」となる。この時、旋律簡約により失われる情報を計算するために、捨象された音を上位の音によって置き換えた仮想的な旋律「ドドド」を作成する。元の音列との音高差分はドの音を0として表すと、 $[0, 0, 0]$ から $[0, 2, 0]$ を減算した値であり、差分列は半音単位で $[0, -2, 0]$ となる。

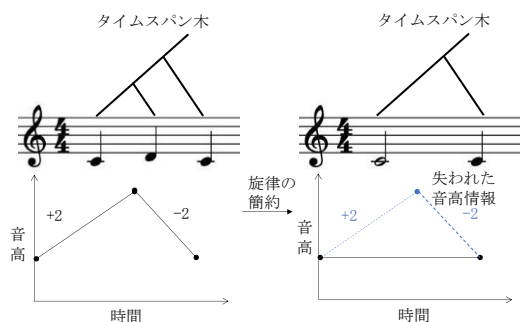


図9 音高差分の導出イメージ

4.3 音高差分の旋律に対する情報量適用結果

図8における元旋律に対する各簡約レベルの音高差分の旋律および、差分列に対するI-R分析結果を図10に示す。簡約レベル0は未簡約の状態であるため、音高差分は全て0として表現される。音高差分中の青い縦線はクロージャとなるピッチイベントを差す。音高差分を図形としてみやすくするために、クロージャで分割された区間の始点と終点のピッチイベントを結ぶ補助線を引いている。ここでは、音高差分の旋律のクロージャの位置として元旋律のクロージャ位置を利用した。クロージャの推定及びIRシンボルの付与には、自動クロージャ推定器[7]を用いた。

簡約に伴う情報量の遷移を、逸脱のシンボルの情報量と実現のシンボルの情報量に分けて図11に示す。図11をみると、簡約レベル3から実現、逸脱ともに情報量がほぼ変化していない。この理由について音高差分の旋律から考察する。簡約レベル0からレベル1への変化をみると、簡約に伴って音高差分の図形が大きく変化し、シンボル列が変化していることがわかる。レベル1からレベル2、レベル2からレベル3においても、変化は緩やかだが図形とシンボル列が変化している。しかし、レベル3からレベル5にかけては図形の位置が並行移動するだけで形状自体は変わっておらず、シンボル列も変化していない。

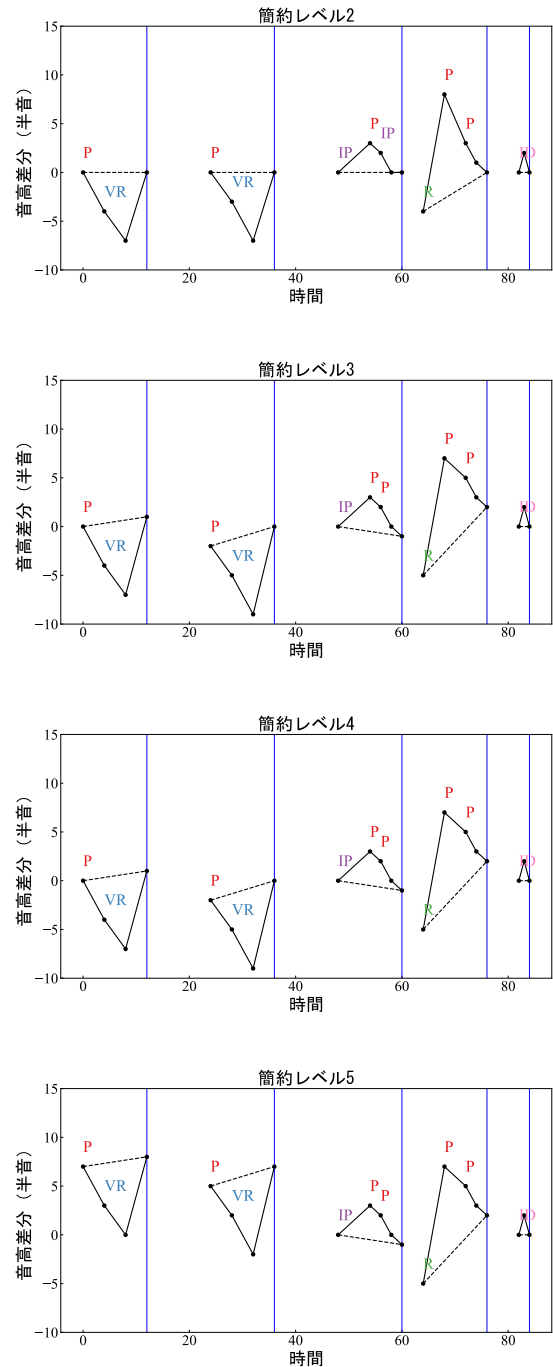
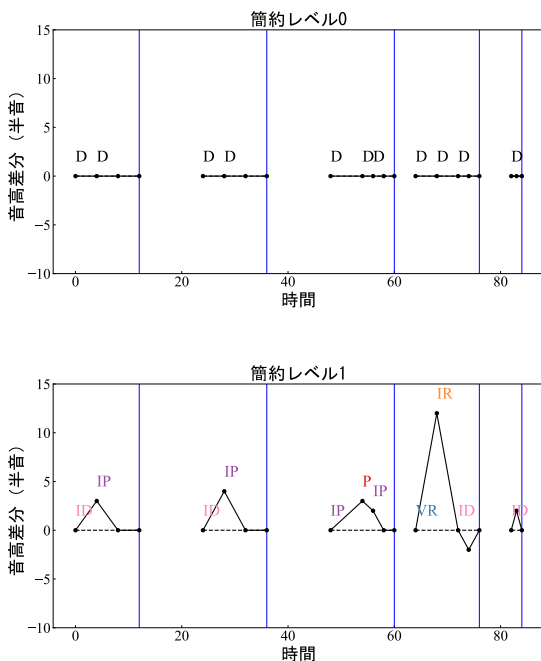


図10 旋律簡約に伴う音高差分の旋律とIR分析結果
 (Menuet in A Minor by Johann Philioo Krieger)

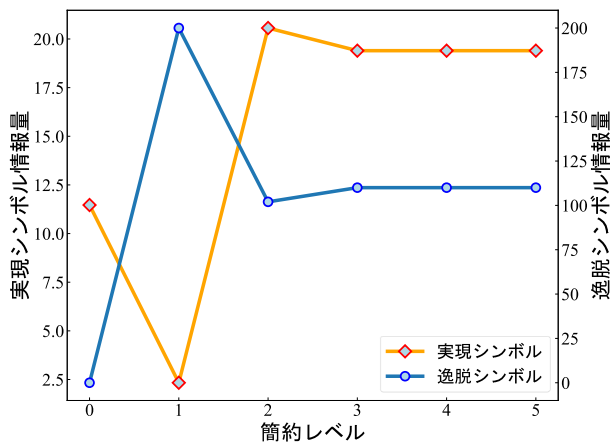


図 11 旋律簡約に伴う音高差分の旋律に対する I-R 情報量の遷移

5. 考察

5.1 I-R 情報量定式化の妥当性と課題

シンボル VR (図 7 (h)) とシンボル VP (図 7 (f)) を比較すると、VR の情報量は 48、VP の情報量は 16 と大きな差が生じている。逸脱のシンボルの式に面積を使用している以上、シンボルの構造上 VP の情報量はこのように他の逸脱のシンボルと比較して大きくなってしまふ。このようなシンボル間の差が、人間が感じる複雑さの距離と正しく対応しているかは明らかでない。PRD や PID に基づいた仮定についてはさらなる検討が必要である。

シンボル ID (図 7 (d)) とシンボル IP (図 7 (e)) を比較すると、シンボル ID の情報量は 32 でありシンボル IP の情報量 24 よりも高い。ここで、シンボル ID の性質に着目する。シンボル ID はシンボル IP のうち、1-2 音目の音程と 2-3 音目の音程が等しい場合である。音列「ドレドレドレ」を 1 つのシンボル ID とすると、シンボル D のように反復による暗意の高まりが起こる。よって、直感的にはシンボル ID は IP よりも単純なシンボルとも捉えられる。そのため、シンボル ID にはシンボル D の性質をもたせる定式化が考えられる。

今回提案した定式化の方法は、実現のシンボルと逸脱のシンボルで異なるため、両情報量の値の範囲が異なり 1 つのスカラー値として統合することができない。この問題に対し、シンボルの複雑さに関する階層構造を考える。階層構造については、すでに実現のシンボルにおいて定式化した通り、シンボル D と P の関係のようなものである。同一の音高が繰り返されるシンボル D に対し、同一の音程が繰り返されるシンボル P は階層構造があるとみなすことができる。この関係はすでに述べた実現の定式化に反映されており、図 7(a) と図 7(b) のように、シンボル D は常に同一の音価、音数からなる、あらゆるシンボル P よりも情報量が小さくなる。

実現のシンボルと逸脱のシンボルに関しても同様の階層構造を考えることによって、両情報量の統合を目指す。前述の通り、シンボル ID はシンボル D の反復する性質をもつとすると、シンボル ID はシンボル D がもたせており、その差として逸脱が生じていると捉えられる。階層構造をもたせるには、シンボル ID の情報量はシンボル D や P の情報量にシンボル ID の性質分を加えたような定式化が必要である。全てのシンボル間にそのような階層構造を定義したうえで定式化を行うことができれば、実現と逸脱のシンボルの境界を取り払うことができる。また、定式化の一貫性も担保されるだろう。

認知的リアリティを持つ期待と逸脱の定量化を行うためには、スケール概念は無視できない。I-R 分析の結果得られる I-R シンボル列は、旋律の形状に関する抽象化を行っている。そのため、今回の定式化では、シンボル種類間の情報量を比較することは可能であっても、同一シンボル内の比較は、音高、時刻からなる 2 次元平面上の面積による比較にとどまっている。そのため、同一のシンボル P が付与される音列「ドレミ ♭」と「ドレミ」の情報量を計算した場合には前者の情報量の方が小さくなってしまふ。このように、同一のシンボルが付与された音列同士の情報量に認知的リアリティを持たせるにはスケールも考慮したアプローチが必要だと考えられる。

本稿で提案した定式化は、あくまでシンボルが付与された領域内の情報量を計算しているだけに過ぎない。すなわち、旋律情報量としてシンボルの前後関係は無視し各シンボルを独立に扱っている。しかし、実際には I-R シンボルよりも大きな区間における期待と逸脱/実現が存在するだろう。例えば、音列「ドレラ」は逸脱のシンボル VP であるが、この音列が何度も繰り返された場合、その逸脱は予測可能な逸脱であり逸脱の効果は徐々に薄まるだろう。よって、シンボルが連続で聴取された場合の期待の変化を考慮する必要があるだろう。この課題に対しては、期待感を事前分布とし、シンボル聴取後の期待感を事後分布とするベイズ的アプローチなどが考えられる。

5.2 Reduction flex

図 11 の結果から、簡約を進めるに連れて、情報量に変化しなくなった地点が存在することがわかる。音高差分の旋律は元旋律から失われた情報であるため、音高差分に対する I-R 情報量は簡約に伴い徐々に増加するような振舞いをする。仮説を立てたが、仮説とは異なる結果となった。このように簡約の前後で音高差分に対するシンボル列が変化しなくなる階層のレベルを、Reduction flex と呼び定義する。図の旋律は簡約レベル 3 に到達するとシンボル列の変化が止まるため、Reduction flex は簡約レベル 3 である。

Reduction flex が生じた理由は、簡約の順序にあると考えられる。GTTM では構造上重要でない音から順に簡約される。図 9 のタイムスパン木に基づくと、はじめの簡約では

音が局所的に捨象されるため、音高差分も細かく変化する。しかし、簡約が進むにつれ局所的ではなく大域的な変化が生じるため、音高差分も大域的に変化し平行移動が発生する。また、クロージャ分析と GTTM の階層を定めるルールは、両者とも音価や拍節構造に基づいているため、クロージャとなる音と簡約で生き残る音にはある程度類似性があることがわかる。クロージャを跨ぐようなシンボルは付与されず、クロージャが分割する区間とタイムスパン木の部分木が一致しているため、シンボル列が変化しなかったと考えられる。

Reduction flex は、GTTM と I-R モデルを結びつける概念であり、旋律簡約の意味が変わるタイミングであると考えられる。音高差分の旋律を仮定すると、Reduction flex 以降は旋律簡約で失われた複雑さの情報は I-R 分析では捉えることができないことを示している。GTTM と I-R モデルはそれぞれ異なる認知過程の側面を表現する音楽理論であるため、GTTM と I-R モデルのそれぞれの利点を活かすような旋律分析手法が考えられる。仮に、GTTM の分析を I-R モデルで補う形での統合を想定すると、Reduction flex は何らかの意味をもつと考えられる。GTTM と暗意-実現モデルの関係性について、さらなる検討を行う必要があるだろう。

6. おわりに

本研究では、暗意-実現モデルに基づく旋律情報量について検討を行った。期待実現のシンボルには予測の容易性を考慮し、期待逸脱のシンボルには、逸脱の程度を考慮した定式化を行った。また、GTTM に基づく旋律簡約で失われる情報を I-R 情報量で捉えるために、音高差分の旋律に対し情報量を計算した。その結果から、GTTM と I-R モデルを結びつける Reduction flex を定義した。今後の研究計画として以下の点が挙げられる。

(1) I-R 情報量の再定式化と妥当性の検証

認知的リアリティをもつ情報量として、連続したシンボル聴取による期待の変動を表現するベイズ的アプローチや、シンボルの階層構造を考慮した定式化など、多くの課題検討が必要である。また、定式化した情報量が人間の認知過程とどのような対応関係をもつか、被験者実験による検証も行っていく。

(2) GTTM と I-R モデルの関係性

GTTM と I-R モデルという 2 つの認知的音楽理論を情報量により結びつけるために、異なるタイムスパン木の形状をもつ多くの旋律に対して分析を行う必要がある。また、音高差分の旋律に対する I-R 分析が妥当かという問題もある。Reduction flex がもつ意味についても考察を行っていく。

謝辞 本研究は、JSPS 科研費（16H01744）の助成を受けたものです。

参考文献

- [1] E. Narmour, The analysis and cognition of basic melodic structure: The implication-realization model, The University of Chicago Press, (1990).
- [2] B. Leonard Meyer. Emotion and meaning in music, University of Chicago Press, (1956).
- [3] Koelsch, S.: Brain and Music, Wiley-Blackwell (2012). (S. ケルシュ, 佐藤正之 (訳), 音楽と脳科学 -音楽の脳内過程の理解を目指して-, 北大路書房 (2016).
- [4] 大村英史, 柴山拓郎, 音高と音価の情報量操作による音楽と言語の構造, The 30th Annual Conference of the Japanese Society for Artificial Intelligence, (2016).
- [5] F. Lerdahl, and R. Jackendoff, A generative theory of tonal music, The MIT Press (1983).
- [6] 浜中 雅俊, 音楽理論 GTTM に基づく音楽構造解析研究用データベース, 人工知能学会全国大会 (第 29 回), (2015).
- [7] 能登楓, 竹川佳成, 平田圭二, 旋律の音価, 遷移, 拍節構造に関するルールに基づく IR 分析器実現方式の検討, Vol.2021-MUS-130 No.10, (2021).