

旋律中の 2 音間の時間間隔による近接性と音高差による近接性の比較について

福岡 祐一¹ 平田 圭二² 松本 裕治¹

1 奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科

2 NTT コミュニケーション科学基礎研究所

あらまし

本発表では、人間が音楽を聴取する際のグルーピングの認知についての実験結果を述べる。人は楽曲を複数のメロディ断片に分節して聴取している。その際、様々な要因によって旋律内の音がグルーピングされ、また一方では分節が生じる。それらの代表的な要因として時間間隔による近接と音高差による近接が考えられる。我々はこれら二つの要因が競合する旋律におけるグルーピング認知を観察し、どのような状況でいずれの要因が優先するかを調べた。

The comparison between the time proximity and the pitch proximity

Yuichi Fukuoka¹ Keiji Hirata² Yuji Matsumoto¹

1 Graduate School of Information Science, Nara Institute of Science and Technology

2 NTT Communication Science Laboratories

Abstract

The paper presents experimental results of grouping perception of human. People listen to music, while segmenting music into many fragments. At that time, there are various factors that govern segmenting a melody and grouping notes within a melody. The factors typically include temporal proximity and pitch proximity. We observe grouping perception of a melody where the two proximities conflict with each other and discuss the relationship between grouping perception and the proximities.

1. はじめに

音楽の階層的な構造分析を行う理論の一つとして GTTM(Generative Theory of Tonal Music)[1]があげられる。GTTM では、楽曲をまとまりのあるフレーズごとに分割するグルーピング構造分析が行われる。グルーピングの主要因は、楽曲を聴取する際のゲシュタル

ト原理であると考えられており、時間間隔の近い音どうし、音高の近い音どうし、類似した動きをする音どうしの方がグループを作る傾向が強い。GTTM におけるグルーピング規則にも音の近接性に基づくものが含まれる。主要なグルーピングルールとして時間間隔が大きくなることによりグルーピングを行う GPR2b(Attack-point)や、音高差が大きくな

ることによりグルーピングを行う GPR3a(Register)があげられる。これらのルールを実際の楽曲に適用すると、例えば打点時刻の近接性によるグルーピングと音高差による分節のいずれを優先すべきか判断できない場面に多岐遭遇する。

本研究の目的は、GTTM における GPR2b(Attack-point)と GPR3a(Register)という二種類のグルーピングルールが競合した際の優先度を求め、実際の楽曲にどのように適用できるかを検討することである。その際、区切れの優先度を類似性という新たな観点からのアプローチから調べるとともに、楽曲の分離という現象を同じく区切れの強さの相互作用と考えそれらの相関性の比較を行う。

2. 関連研究

GTTM におけるグルーピングルールの優先度に関する研究は多数行われている。被験者が複数の境界を含む旋律を聞き、最も自然なグルーピングを行う実験[2][3][4]や、GTTM におけるグルーピングルールを定量化することによりそれぞれの区切れの強さを相対的に比較する実験[5]があげられる。

また 4 章で詳しく述べるが、旋律が複数の音高領域からなる際に、その旋律のテンポと音高領域間の音高差の影響で旋律が分離して聞こえる現象がある[6]。こちらも音高の近接と時間の近接によりおこる現象である。聴取者が旋律を聞く際の意識や、どのような旋律においてこの現象が起こりやすいかの実験が行われている[7]

3. 旋律の類似性を利用した判定

我々は類似した区切れを持つ旋律どうしは似て聞えるという仮説を立てた。この仮説に基づいて、旋律の類似度を利用して区切れの程度を判定する実験を行った。まず基本刺激となる旋律を一つ用意する (M)。次に比較刺激として、音高差による区切れをより強くしたもの(A)、時間間隔による区切れをより強く

したもの(B)を用意する。

被験者が M と A そして M と B を聞き、いずれの対が類似していると知覚したか判定する。

すると次に我々の仮説では、音高差による区切れにせよ時間間隔による区切れにせよ、区切れが強くなればなるほど基本旋律から離れて類似しなくなるので、基本刺激に似ていると判定された比較刺激に含まれる区切れの方が、もう一方の区切れより弱いと考えられる。

3.1 繰り返しを含まない基本刺激を用いた類似性の測定

実験 1 では基本刺激として図 1 に示す旋律を用意する。



図 1. 実験 1 における基本刺激

比較刺激として、区切れ x における音高差を基本刺激より 1 半音～4 半音大きくした旋律(A1～A4)と、区切れ x に休符を 1 拍～4 拍挟んだ旋律(B1～B4)を用意する。全刺激のテンポは 120 である。

被験者に A_i と B_j の全ての組み合わせを聞かせ、どちらが基本刺激に類似しているかを判定させる。

被験者 10 人の実験を実施し、得られたデータの一部を表 1 に示す。表 1 は、B の比較刺激を $t=2000\text{ms}$ に固定し、 $p=1\sim 4$ 半音に変化させた時に B がより似ていると回答した人数を示す。

表 1. 実験 1 のある比較における回答人数

	1 半音	2 半音	3 半音	4 半音
人数	0	4	7	8

この実験より、A と B のいずれが M により類似しているかの判断がほぼ半分に分かれるのは 2.2 半音付近であることが推測できる。

実験 1 では 4 つの時間間隔に対してそれぞれ拮抗する音高差の点を求めた。その際、この実験結果が正規分布に従うと仮定し、正規分布の累積分布に対するフィッティングにより各点の値を求めた。図 2 の△の点で実験 1 全体の結果を示す。

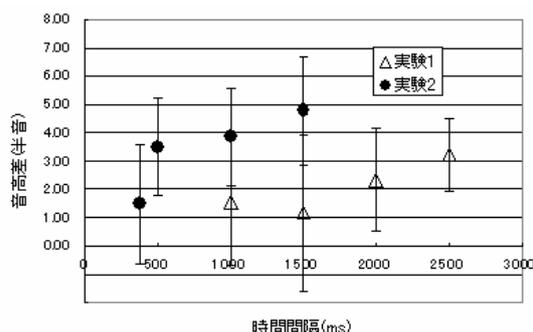


図2. 実験1.2における音高差と時間間隔の対応点

この 2000ms と 2.2 半音という拮抗する点が、音高差と時間間隔による区切れの強さが同等であると判断された点に対応すると考えられる。

3.2 繰り返しを含む基本刺激を用いた類似性の測定

実験 1 では、知覚上類似して聞こえる範囲が狭かったため、より大きな音高差や時間間隔でも類似性が判定できるような基本刺激を用意する。実験 2 では基本刺激として図 3 に示す旋律を用意する。基本刺激のテンポは 600 とする。



図 3. 実験 2 における基本刺激

比較刺激として、基本刺激の C の音を固定し前半低音部の音高を全て 1~10 半音低くし、後半高音部の音高を全て 1~10 半音高くすることにより C との音高差を大きくした旋律 (A1~A10) と、基本刺激のテンポを 480, 360, 240, 160, 120, 60, 40 と変化させることにより BC 間、CC#間の IOI を大きくした旋律

(B1~B4)を用意する。

被験者に Ai と Bj の全ての組み合わせを聞かせ、どちらが基本刺激に類似しているかを判定させる。

実験 1 同様に、実験 2 全体の結果も図 2 に示す。これは、音高差と時間間隔の区切れの強さが同等であると判断された点に対応する。

図 2 のグラフでは、実験 1 の結果の方が実験 2 の結果より、右よりに移動しているように見える。これは、同じ音高差に対してより長い時間間隔でないと、同じ区切り強さを持ってないことを意味している。つまり、時間間隔による区切りの程度が弱くなっている。

3.3 判定に影響するその他の要因

前述の二つの実験結果の違いを検討するために、以下のような補助実験をあわせて行った。実験 1 と実験 2 の結果に影響を与えている可能性があるのは、

- ・ 区切れの前後の音の個数の影響
- ・ 旋律の繰り返しの影響
- ・ 時間間隔を絶対時間で考えるか相対時間で考えるかの差異

である。

まず、実験 1 では区切りの前後における音の数がそれぞれ 5 音ずつであるのに対し、実験 2 ではすべて 1 音ずつである。区切りの前後における音の数の影響を調べるために、実験 1 における区切れ前後の音の数を変化させ、2 音ずつ、8 音ずつにした旋律を用いて、実験 1 同様の実験を行った(図 4)。



図 4. 音の数を変えた基本刺激

次に、実験 1 では判定する区切れが旋律において一箇所のみであるのに対し、実験 2 では区切れが一音ごとに繰り返される。区切れが繰り返されることによる影響を調べるために、4 音ごと、1 音ごとに区切れが現れる旋律

を用いて、実験 1 同様の実験を行った(図 5).



図 5. 区切れが繰り返される基本刺激

しかし、これらの実験結果からは、区切れの前後における音の数の影響及び区切れが繰り返されることの影響は、それ程大きくないことが確かめられた。

また、実験 1, 2 では基本刺激における区切れの時間間隔を絶対時間で表記した。ここでは基本刺激での時間間隔に対する割合を求め、さらにその対数をとった値で考える(図 6).

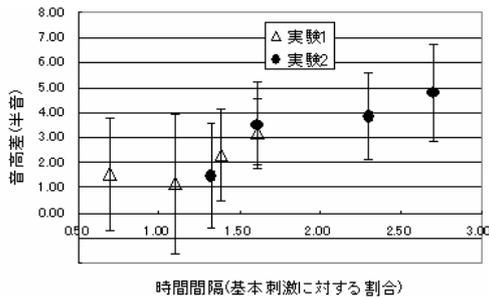


図6. 実験1,2における音高差と時間間隔の対応点

2 つの実験結果が比較的揃っているように見える。さらに詳細な実験が必要である。

4. 旋律の分離による近接性の判定

ある二つの異なる音高領域からなる旋律を聴取する場合を考える(図 7).

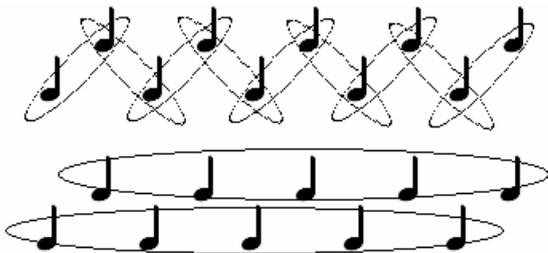


図 7. 旋律の知覚の違い

旋律の速さによって人の認知に相違が生じる。旋律をより遅いテンポで聞いた際は全ての音が順に結びつき、一つの流れとして知覚される(図 7 上), より速いテンポになると、二つの領域の音が独立してそれぞれの流れが並行して流れているように知覚される(図 7 下). この現象は旋律の速さと二つの音高領域における音高差の相互作用により決定される。

我々は、この知覚現象においても音高差による区切れの強さと時間間隔による区切れの強さが競合していると考える。つまり、二つの異なる音高領域の音高差による区切れがより強い場合は二つの領域の音が独立して聞こえるのに対し、同じ領域における音間の時間間隔による区切れがより強い場合は、全ての音が順に結びつき、一つの流れとして知覚される。

本実験では、実験刺激として複数の異なる音高領域からなる旋律を用意する。そこで、音高領域間の音高差と旋律のテンポを変化させた際に、被験者が旋律を複数の流れが並行しているように聞こえるか一つの流れとして聞こえるかの判定を行う。

4.1 音が上下する単純な旋律

ここでは、実験刺激として図 8 に示すような低音部と高音部の音が一音ごとに順番に繰り返される旋律を用意する(実験 3).



図 8. 実験 3 における実験刺激

低音部の音は常にCとし、高音部の音はC#から順に半音ずつ高くし(図 8 ではF), 1 オクターブ上のCまでの 12 種類(N₁~N₁₂), それぞれの旋律に対してテンポを 60, 120, 240, 360, 480, 600 とした 6 通りを用意する。被験者は全ての実験刺激をランダムに聞き、旋律が分離し複数の流れが並行して聞こえるか、あるいは分離せずに一つの流れとして聞こえるかを判別する。

結果を図 10, X 点として示す。

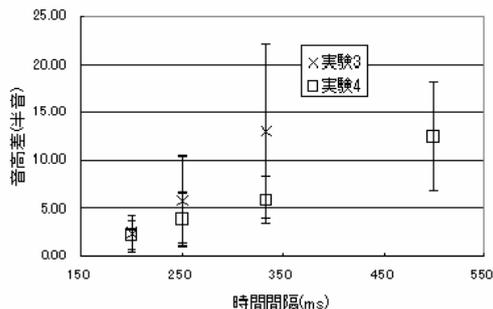


図10. 実験3.4における音高差と時間間隔の対応点

Xが3点しかないのはN₁~N₁₂と変えても、すべての被験者が分離している、あるいは分離していないに偏ってしまい、結果が出なかったためである。

4.2 同一の旋律で聴取方法の違う実験

実験4では実験2で用いた旋律と同じ旋律を実験刺激とする(図9)。



図9. 実験4における実験刺激

低音部と高音部の音が一音毎に繰り返され、前半と後半でその音高が変わる。前半の高音部、後半の低音部を常にCとし、前半の低音部と後半の高音部のCとの音高差が同じで、1半音から12半音となる12種類(図9では1半音)、それぞれの旋律に対してテンポを40, 60, 120, 160, 240, 360, 480, 600とした8通りを用意する。

被験者はすべての実験刺激をランダムに聞き、旋律が分離し複数の流れが並行して聞こえるか、分離せずに一つの流れとして聞こえるかを判定する。

実験3, 実験4全体の結果を図10に示す。

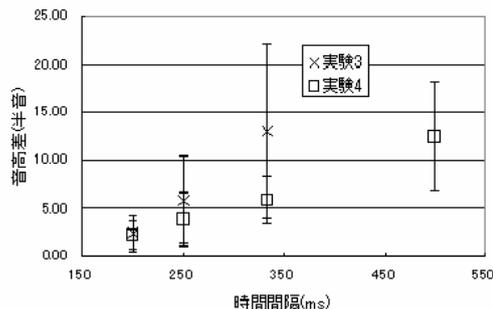


図10. 実験3.4における音高差と時間間隔の対応点

実験1, 実験2の結果(図2)同様に、分離して聞こえる人とそうでない人が拮抗している点だが、ちょうど時間間隔による区切れと音高差による区切れの強さがほぼ等しい点であると考えた。

5. 考察

実験1, 2, 3, 4の結果を比較するためにすべての実験結果を併せて図11に示す。

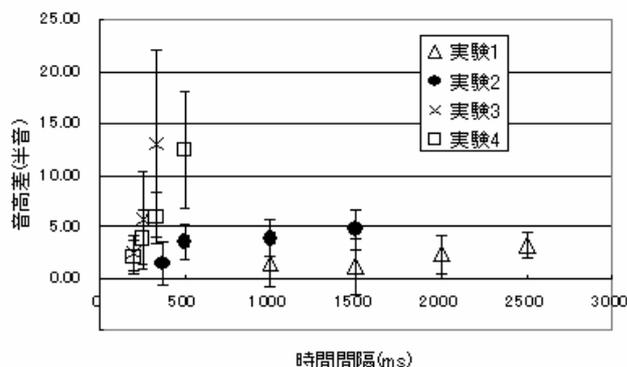


図11. 実験1~4における音高差と時間間隔の対応点

このグラフから、実験1, 2ではより音高差による区切れが強く、実験3, 4ではより時間間隔による区切れが強いという結果が得られた。

5.1 実験結果の違いについて

図12で、実験1, 2と実験3, 4で扱った音高差と時間間隔の関係を、音高差を縦軸、時間間隔を横軸として現した。

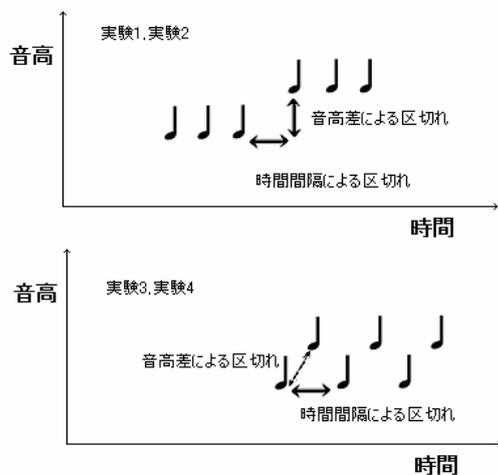


図 12. 競合する区切りの関係

実験 1, 2 では時間軸的に隣接する 2 音間の音高差と時間間隔による区切りの競合により生じた現象であるのに対し、実験 3, 4 では時間軸的に隣接する 2 音間の音高差と、別の音を挟んだ 2 音間の時間間隔との区切りの競合により生じた現象である。特に実験 2 と実験 4 では同じ実験刺激を用いたにもかかわらず異なる結果が得られた。よって、競合する音高差と時間間隔の区切りの関係によって優先度に大きな相違が現れると考えられる。

5.2 判定方法と結果の比較

実験 1, 2 では類似性という判定方法を用い、実験 3, 4 では旋律が分離して知覚されるかどうかを判定方法に用いた。それぞれの判定方法が図 12 のような競合の異なる近接性によるグルーピングをはかる各々の手法となり得ると考えられる。

また、楽曲を聞いている時に、聴き方によってグルーピングが変化する場合もある[8]。

6. 終わりに

今回の実験結果だけではまだ実際の複雑な旋律に適用するのは難しいだろう。より正確な楽曲のグルーピングには、本研究のような還元論的アプローチと、全体的なアプローチ

の双方が必要ではないかと考えられる。今後も実際のグルーピングに応用できる知見の発見を探求する必要がある。

文献

- [1] Lerdahl, F., & Jackendoff, R. (1983). *A generative theory of tonal music*. Cambridge, MA: MIT Press.
- [2] Peretz, I. (1989). Determinants of clustering music: An appraisal of task factors. *International Journal of Psychology*, 24, 157-178.
- [3] Deliege, I., (1987). Grouping conditions in listening to music: An approach to Lerdahl & Jackendoff's Grouping Preference Rules. *Music Perception*, 4, 325-360.
- [4] Clarke, E. F., & Krumhansl, C. L. (1990). Perceiving musical time. *Music Perception*, 7, 213-251.
- [5] Bradley, W. F., & Annabel, J. C. (2004). Parsing of Melody: Quantification and Testing of the Local Grouping Rules of Lerdahl and Jackendoff's A Generative Theory of Tonal Music. *Music Perception*, 4, 499-543.
- [6] Miller, G. A., & Heise, G. A. (1950). The trill threshold. *Journal of the Acoustical Society of America*, 22, 637-638.
- [7] Van Noorden, L. P. A. S. (1975). *Temporal coherence in the perception of tone sequences*. Unpublished doctoral dissertation, Technische Hogeschool Eindhoven, The Netherlands.
- [8] 片寄晴弘, 橋田光代, 野池賢二. 演奏上での頂点とグループ境界の聴取モデルについて. 情報処理学会, 第 52 回音楽情報科学研究, 2003-MUS-52.