

## Julia 集合アニメーションに基づく音楽生成への試み

## Experiment of automatic Composition from Julia set animation

白石 慶太<sup>†</sup>梅村 祥之<sup>†</sup>

Keita Shiraiishi Yoshiyuki Umemura

## 1. はじめに

様々な自動作曲技術[1]が研究されている中で、自然界に存在する幾何学的な模様を音楽情報としてマッピングするものがある。例えば、CG で振り子の運動をシミュレーションし、おもりの位置のような CG 内の視覚情報を音符の情報に変換し、マッピングすることによって音楽を生成する自動作曲技術の研究[2]が行われており、本研究も、同様の流れに沿って研究を行う。

ミュージカルでは、物語や演者の動きと音楽との繋がりが、作品を彩る要素の一つであり、観客は、劇と音楽の連動感を楽しむ。今回は、CG と生成された音楽の連動感を高めることを目的とし、視覚と聴覚の両方での楽しみ方を追求する。

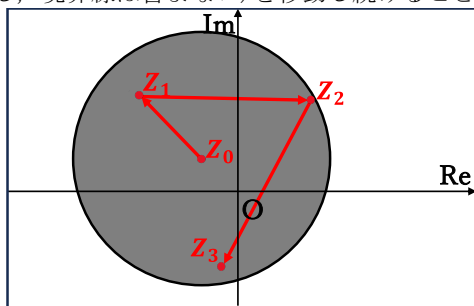
視覚で楽しめる要素として、フラクタル図形を用いる。フラクタル図形は、見た目が美しく、CG で生成できることが魅力である。フラクタル図形から音楽を生成する研究[3]は行われているが、似通ったパターンの音楽しか生成されておらず、長時間聴き続けることは難しい。また、図形と音楽の連動感が無く、ミュージカルのような楽しみ方はできない。

フラクタル図形の中に Julia 集合というものがある。Julia 集合は、パラメータを変えることで数多くの異なったパターンが得られる。そのため、視覚情報の変化が多いアニメーションに適している。Julia 集合の CG アニメーションによって、一般に聴かれる音楽と同等のレベルで、且つ、CG と音楽の連動感を楽しめる作品を自動生成できるシステムの開発を行う。

## 2. 方法

## 2.1 Julia 集合のアニメーション

Julia 集合は、漸化式 $z_{n+1}=z_n^2+c$  ( $c$  は複素数,  $n$  は整数)を $n \rightarrow \infty$ とすると、無限大に発散しない複素数 $z_0$ の集合のことを指す。発散しない $z_0$ は、図 2.1 のように複素平面上の $z_0$ を中心とした円の内側(ただし、境界線は含まない)を移動し続けることとす

図 2.1 複素平面上の $z_{n+1}=z_n^2+c$ の変化

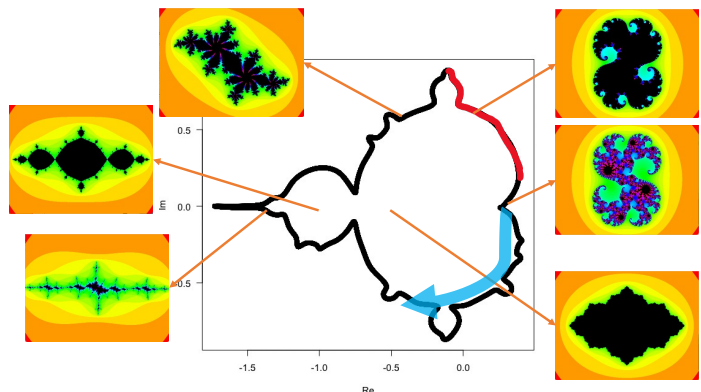
る。複素平面上の Julia 集合を CG で描画するプログラムは、Web サイト[4][5]で公開されている。Web サイト[4]は、漸化式の計算、カラー画像の描画、Julia 集合が変化するアニメーションのアルゴリズムを解説している。Web ページ[5]には、JavaScript 言語で書かれたプログラムコードが掲載されている。本研究では、このプログラムに改変、機能追加を行い、利用する。計算や描画に関しては、変更を行っていないが、アニメーションにおいては変更点がある。プログラムを動作させると、図 2.2 の矢印の方向に、1 フレーム単位で漸化式の複素数  $c$  が変化し、それに伴って Julia 集合も連続的に形が変化されるように変更する。図 2.2 の図形が、パラメータの軌跡となり、各パラメータの数値毎に対応した Julia 集合が生成される。アニメーションは、38,664 通りの Julia 集合により、可能となっている。

## 2.2 音楽生成アルゴリズム

音楽は、音楽の三大要素により、曲の捉え方が変わる。音楽の三大要素は、リズム、メロディー、ハーモニーで構成され、聴覚で楽しめる要素を生み出す要因であると考えられる。リズムは、一定のテンポを生み出すことで、音楽に統一感を持たせるものである。ここでは、8 分音符の一定間隔で演奏し、拍子は 4 分の 4 拍子、テンポは 120 としている。メロディーは、様々な音高を、リズムに合わせて変化させることで生み出されるものである。ハーモニーは、2 つ以上の音高の異なる音を同時に演奏し、音楽に響きを持たせるものである。これにより、一般的に聴かれる音楽へのアプローチを行う。また、楽器はストリングスを使用し、音域は C1~B6、調はハ長調で、白鍵のみを使用する。

## 2.2.1 メロディーの生成方法

メロディーの生成方法について説明する。メロディーは、視覚情報を音高にマッピングし、一定間隔で演奏することで、生成している。複素平面上の Julia 集合の黒色で覆

図 2.2 複素数  $c$  の軌跡と、Julia 集合の生成例<sup>†</sup> 広島工業大学

Hiroshima Institute of Technology, Hiroshima 731-5193, Japan

われている面積を音高にマッピングする要素として利用する。人は直感的に、黒くて大きい物体は重い印象を受ける。そのため、面積が大きいほど音高を低く、面積が小さいほど音高を高くする。ここで、面積の単位について説明する。プログラム実行ウィンドウの全画素に対して、Web サイト[4]の計算及び描画処理を施し、マッピングにあたっては、Julia 集合の黒色の画素を面積としてカウントしているため、面積の単位は画素である。なお、実行ウィンドウのサイズは、縦 480×横 640 画素である。2.1 節の原理によるアニメーションに伴う Julia 集合の面積の変化により、音高を変化させる。変化した音高を 8 分音符の一定間隔で取得し、音高にマッピングする。図 2.3 に、現在の面積を、38,664 個全てのパラメータを適用して得られた面積の最大値から引いた値の時間変化グラフを、図 2.4 に、生成したメロディー(以下、Julia set と記載する)のピアノロールを示す。このとき、(最大値) - (面積) = 0

を C1 に割り当てている。2つの図を比較すると、形が似ていることがわかる。なお、生成した音楽は、図 2.2 の赤色で示した区間でパラメータを変化させて生成したものである。

### 2.2.2 ハーモニーの生成方法

ハーモニーは、和音を演奏することであり、演奏する仕組みを図 2.5 と共に説明する。図 2.5 においては、B5 が連続している。このとき、2 回目の B5 を 8 分音符 32 個分、すなわち、4 小節分の音価に変更する。しかし、3 回目の B5 は、1 回目、2 回目と違って新たに演奏せず、2 回目の B5 を継続する。その後、G5 が出力されているが、B5 は未だ継続している。つまり、B5 と G5 を同時に演奏する。この仕組みを適用した Julia set のピアノロールを図 2.6 に示す。

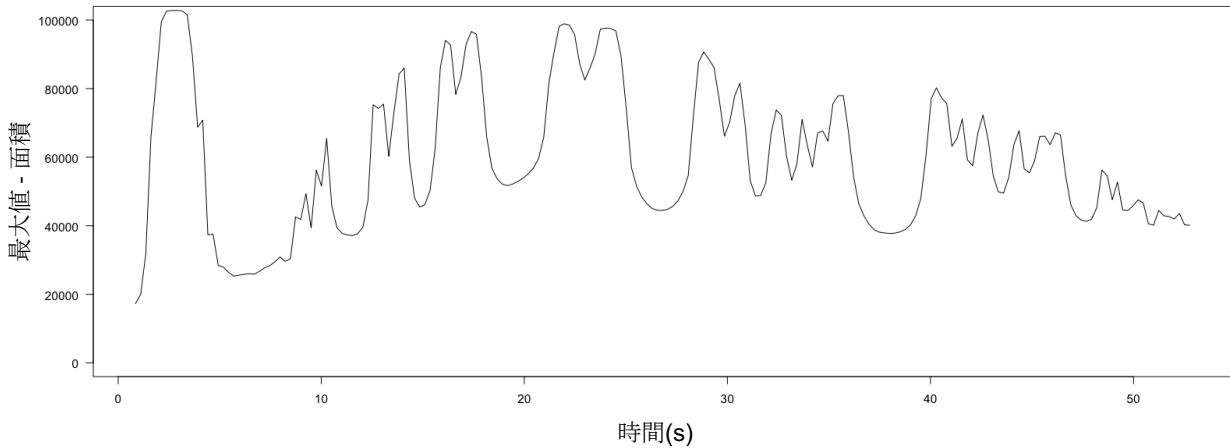


図 2.3 Julia 集合の 面積の最大値 - 現在の面積 の時間変化

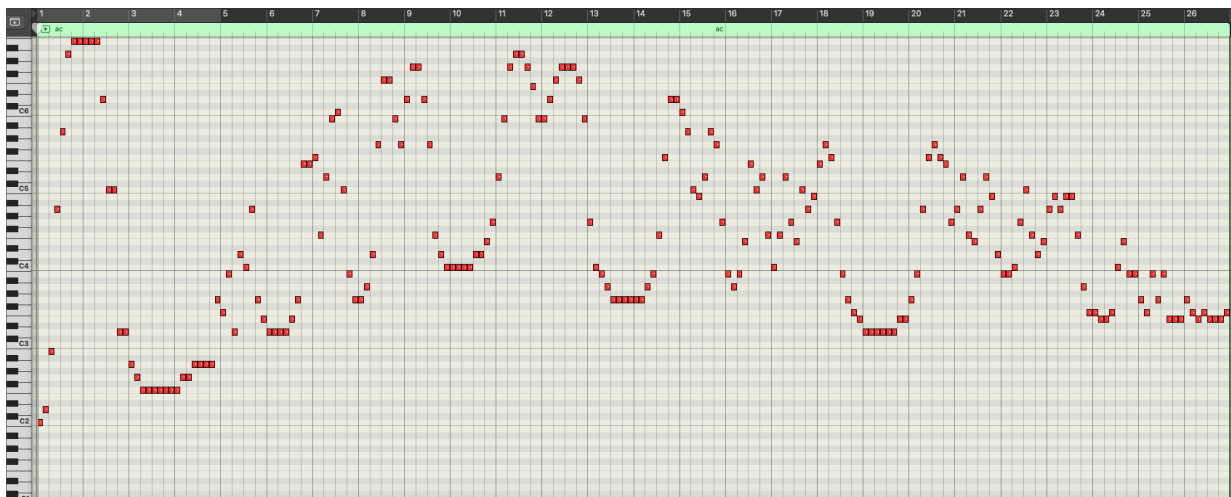


図 2.4 Julia set のピアノロール(和音なし)

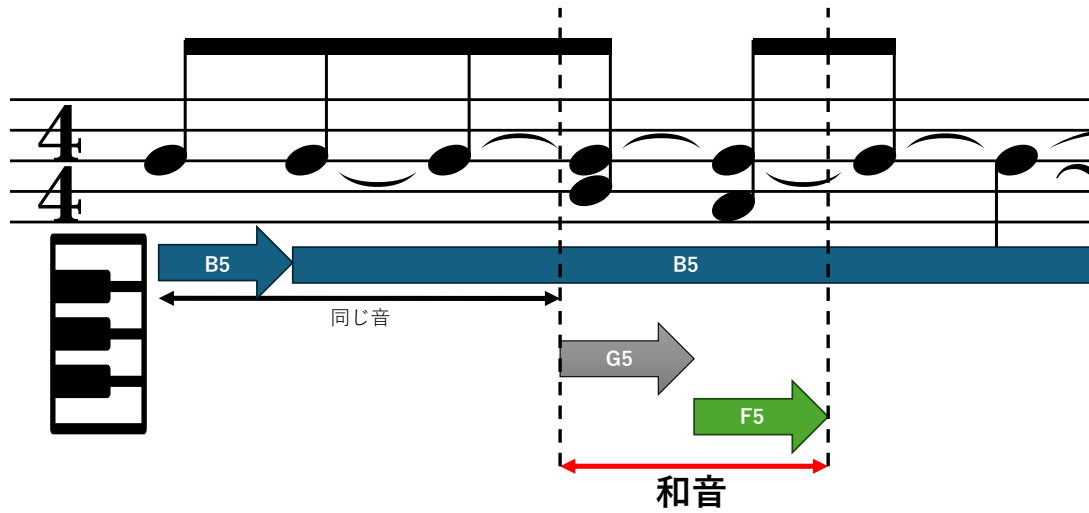


図 2.5 和音が生成される仕組み

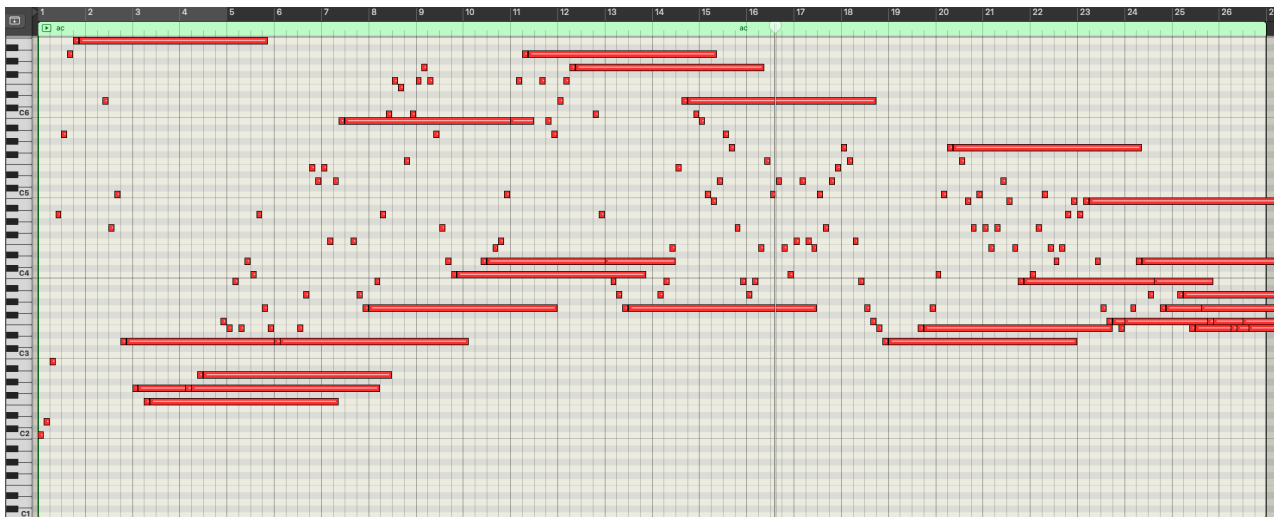


図 2.6 Julia set のピアノロール(和音あり)

### 3. Julia set の客観的評価

#### 3.1 概略

Julia set と人間が作曲した曲を比較し、一般的な音楽に見られる特性が Julia set にも見られるかを分析する。これにより、目的の一つである、一般的に聴かれる音楽と同等レベルの音楽が得られるかを調べる。方法は、文献[6]のピッチクラスの頻度分布と、水平音程の分布を算出する方法を用いる。人間が作曲した曲には、[6]と同じく、世界の民謡を集めた The Essen folksong collection(以下、Essen コーパスと記載する)[7]を使用する。Julia set に関しては、図 2.6 の音符を使用する。

#### 3.2 ピッチクラスの頻度分布

Essen コーパスで、ハ長調とイ短調のダイアトニックスケールを構成する第 1 音から第 7 音の出現頻度分布を調べ、Julia set と比較する。この第 1 音から第 7 音には、それぞれ主音、属音等といった役割があり、これらの出現頻度分布が、一般的な音楽に見られる特性であると考えられる。また、ハ長調とイ短調は、どちらも白鍵のみを使用するため、Julia set はハ長調としているが、出現頻度によっては Julia set がイ短調に近い場合も考えられる。そのため、ハ長調とイ短調の曲との比較を行う。Essen コーパス内の長調の曲 5, 441 曲と、短調の曲 761 曲を対象とし、長調の曲はハ長調に、短調の曲はイ短調に移調してから比較を行う。図 3.1 に結果を示す。Julia set は、Essen コーパス (ハ長調) より主音(C の音)が少なく、下中音(A の音)と導音(B の音)が多い。また、Essen コーパス(イ短調)と比較すると、イ短調の主音(A の音)と属音(E の音)よりも、G の音(導音)が多い。

#### 3.3 水平音程の頻度分布

水平音程とは、隣接音符間の音程であり、同音進行、順次進行、跳躍進行の 3 つに分けられる。一般的に、順次進行は、旋律を滑らかにするために用いられるため、楽曲中で多数出現し、跳躍進行は、順次進行の旋律に躍動感を持たせるために使用されるため、順次進行より出現頻度が少ない。このような出現頻度分布が、一般的に聴かれる音楽に見られる特性であると考えられる。音程に対する数値の割り当て方としては、文献[3]の方法と同様、同音進行であれば 0、半音上昇であれば+1、半音下降であれば-1 を割り当てる。図 3.2 に結果を示す。Essen コーパスと Julia set のどちらも、同音進行、順次進行が多く見られる。しかし、Julia set は Essen コーパスと違って、順次進行よりも跳躍進行が多い。

### 4. 考察

第 3 章の客観的評価からすると、Julia set は、音高、音程の分析結果において Essen コーパスからかけ離れているため、一般的に聴かれる音楽と同等レベルの音楽を生成できるとは言えないと考える。第 2 章で示した Julia set のピアノロールを見ると、全体が跳躍進行で構成される中、時々順次進行が出現しており、3.3 節で述べた一般的に聴かれる音楽に見られる特性とは真逆の性質をしている。また、一般的に聴かれる音楽には、繰

り返しの旋律や繰り返しのリズムといった規則性があるが、Julia set には、この規則性がない。しかし、この不規則性によって、Julia set は旋律の変化に富んでおり、長時間聴いていても飽きない音楽になると考える。一般的な音楽として聴くのではなく、CG と音楽を、ミュージカル全編を見るように観賞することで、Julia set を楽しめるのではないかと考える。

CG と音楽の連動感に関しては、物体に対して、人が直感的に受ける印象から、音高のマッピング方法を決めたため、連動感は得られたと考える。

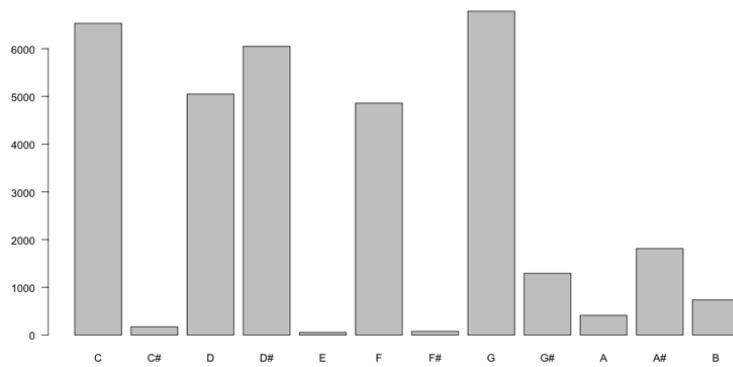
### 5. まとめ

Julia 集合の CG アニメーションから音楽を自動で生成するプログラムを開発した。音楽の三大要素を用いて、一般的に聞かれる音楽へのアプローチを行った。また、CG と音楽の連動感を得るために、人が直感的に受ける印象を参考にし、マッピング方法を決めた。Julia set と人間が作曲した曲において、音高、音程の頻度に関する比較し、Julia set は、一般的に聴かれる音楽とは異なることを、ピアノロールと共に示した。

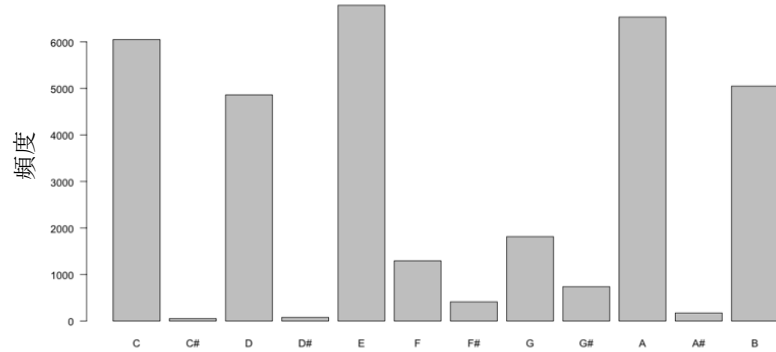
#### 参考文献

- [1] 松原正樹, 深山寛, 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).
- [2] 梅村祥之: 二重振り子の動きを利用した音楽生成の試み, 第 139 回音楽情報科学研究会, Vol. 2024-MUS-139, No. 7(2024).
- [3] 岩淵勇樹: カーペットフラクタルの可聴化と音楽生成, 第 105 回音楽情報科学研究会, Vol. 2014-MUS-105, No. 6(2014).
- [4] Shiffman, D.: Julia set in Processing <https://thecodingtrain.com/challenges/22-julia-set>, (参照 2023-11-8).
- [5] Shiffman, D.: CC22-Julia set, 入手先 <https://editor.p5js.org/codingtrain/sketches/G6qbMmaI>, (参照 2023-11-8).
- [6] 梅村祥之, 富士直斗: スピログラフ図形に基づく音楽生成, 第 139 回音楽情報科学研究会, Vol. 2024-MUS-139, No. 6(2024).
- [7] Center for Computer Assisted Research in the Humanities: Themefinder, <http://essen.themefinder.org>, (参照 2024-6-4).

Essen コーパス (ハ長調)



Essen コーパス (イ短調)



Julia set

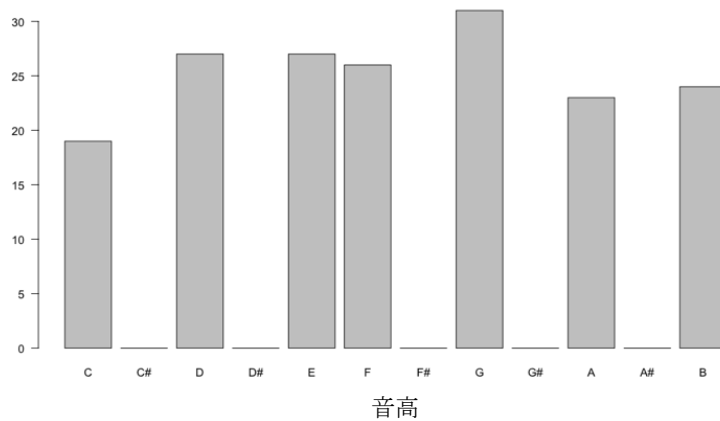


図 3.1 ピッチクラス分布に関する Essen コーパスとの比較

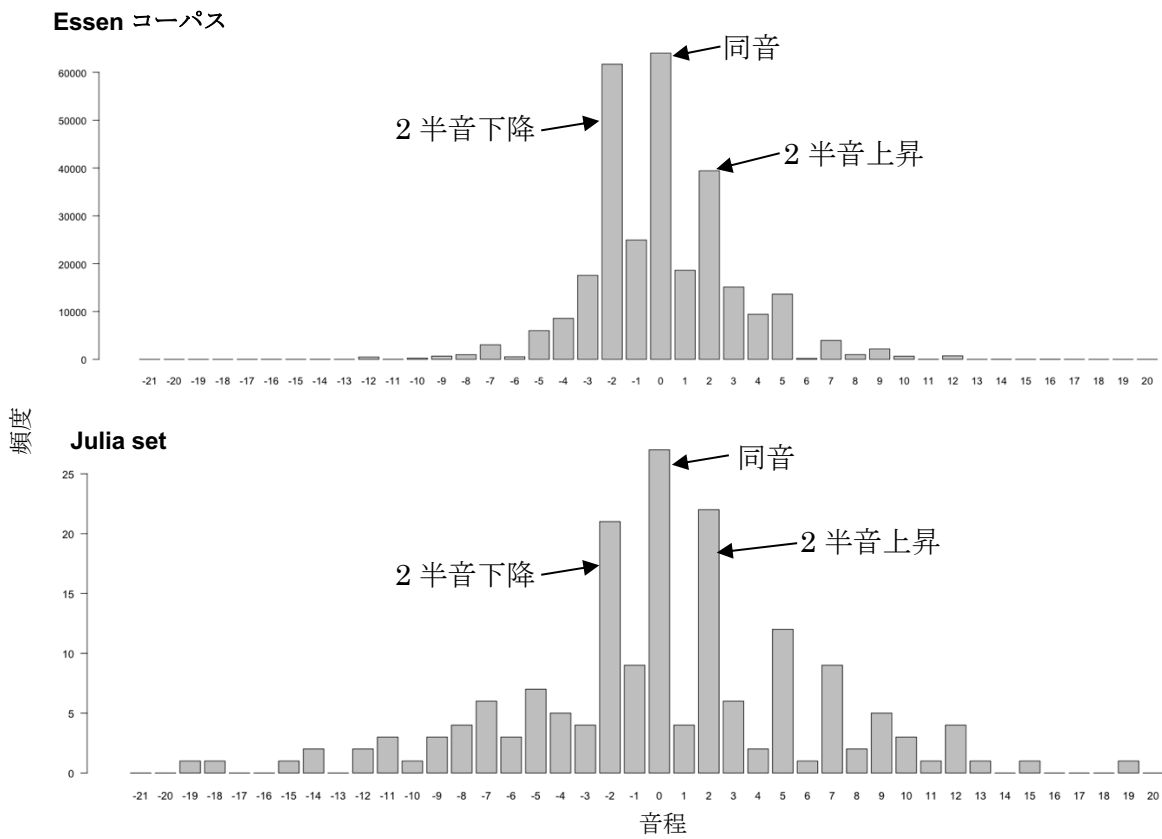


図 3. 2 水平音程に関する Essen コーパスとの比較