

SMF 解析による楽曲の難易度判定

藤井 ほのか¹ 佐藤 陸^{1,†1} 齋藤 康之^{1,a)}

概要: 本研究では SMF (standard MIDI file) の楽曲データの難易度判定を行う。まず始めに、既存の SMF を読み込んで各イベントを解析し、個々の音符長、音符の個数などの情報を得る。次に、得られた情報を元に音長・音高・テンポ・指くぐりの 4 点に対して難易度判定を行い、楽曲全体の難易度を決定する。短いフレーズと、実際のピアノ楽曲について難易度の判定を行ったところ、良好な結果を得た。

キーワード: SMF 解析, 楽曲難易度判定

A difficulty decision of music by SMF analysis

FUJII HONOKA¹ SATO RIKU^{1,†1} SAITO YASUYUKI^{1,a)}

Abstract: This paper presents a utility system which decides the degree of difficulty of SMF music data. First, the system analyzes each event of an existing SMF and obtains each note length, the amount of the notes, etc. Next, to determine of the degree of difficulty, the system focuses on four points in the MIDI data such as note length, pitch, tempo, and overpassing. Finally, these difficulties are combined, and the degree of difficulty is obtained as the whole music. We examined the system for created short phrases and existing piano pieces, and obtained good estimation results.

Keywords: SMF analysis, Difficulty decision of music

1. はじめに

SMF (standard MIDI file) とは MIDI の演奏データを記録するための基本ファイルフォーマットである [1][2]。多くのエディタやプレーヤーがこのフォーマットに対応しており、現在広く普及している [3]。

SMF の作成には MIDI シーケンサと呼ばれる MIDI 用音楽編集ソフトが用いられる。これらのうちのいくつかはフリーソフトとして公開されており、一般ユーザでも比較的簡単に楽曲を作成することができる。そのため、自身が作成した SMF をホームページ等で公開または配布しているユーザも数多く存在する。

ここでは、人が演奏することを前提に楽曲を作成して一

般配布する場合を考える。ユーザが楽曲を選ぶ基準の 1 つに楽曲の難易度が挙げられる。これは個人の演奏技術力に大きく左右され、あるユーザにとっては適切な楽曲であっても、必ずしも他のユーザにも当てはまるとは限らない。

そこで本研究では、演奏する楽曲の選曲指標の獲得を目的に、個人の好みには依存せず、楽曲内の情報のみを対象とした難易度判定を行う。なお、楽曲の難しさは演奏する楽器によって大きく影響するため、今回はピアノのみを使用した楽曲を対象とする。

2. SMF における楽曲の表現

SMF において楽曲情報として書き込まれているのは、「楽曲が始まってから何秒後にどの音が何秒間鳴った (鳴らなくなった)」という情報のみであり、通常の五線譜には含まれる小節という概念が存在しない。そのため、SMF に記述された音符の位置を知るためには、イベント (一つ一つの動作) で定義されている拍子から小節位置を逆算す

¹ 木更津工業高等専門学校 情報工学科
NIT, Kisarazu College, Kisarazu, Chiba, 292-0041, Japan
^{†1} 現在, 豊橋技術科学大学
Presently with Toyohashi University of Technology.
^{a)} saito@j.kisarazu.ac.jp

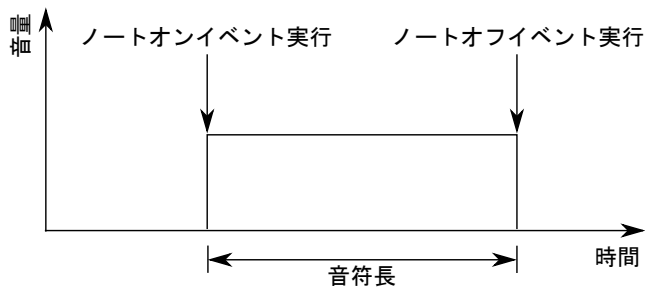


図 1 SMF における音符の長さ



図 2 2 拍 3 連符



図 3 3 連符



図 4 16 分音符



図 5 複雑なリズム

る必要がある。

そのために用いられるのがタイムベースと呼ばれる時間分解能であり、これは 4 分音符をいくつまで分解できるかを示している。この値が 10 進数で 480 ならば、4 分音符を最小で 480 分割した音まで表現できるということを意味する。

また、SMF に記述された全てのイベントにはデルタタイムが記述されており、これは直前のイベントからの次のイベントが実行されるまでの時間差を表している。音符の長さを表す際には、ノートオン（音を鳴らすイベント）が実行されてからノートオフ（音を消すイベント）が実行されるまでの時間の差を調べればよい（図 1）。

本研究で行う難易度判定に使われる各要素は、いずれもこれら 2 つの時間パラメータを用いて算出する。

3. 難易度判定

3.1 楽曲の難易度の判定要素

始めに着目したのは音符の長さである。同じ音のみで構成された小節を例にすると、4 分音符 4 個のフレーズと 8 分音符 8 個のフレーズとでは、音符が細かい方が弾くのは難しい。これが 16 分音符 16 個のフレーズならばさらに難しさは増す。図 2 から図 5 に示したような、細かい音符や 3 連符や 2 拍 3 連符などの特殊な長さ・リズムの音符は、初心者にとっては他の音符よりもリズムが掴みにくく難しく感じる人が多い。したがって、1 つ目の要素として音符の長さを基準とした。

次に、音の高さを判定基準に追加する。五線内に収まっていた音域から突然五線を飛び出す音域の音符が現れたら、演奏者は指を大きく動かさなければならない。扱う音域が広いほどこの動作を行う機会も増える。このように、フレーズが細かく、かつ、頻繁に登場するような譜面は初

表 1 音符の種類毎の難易度値 D_C

音符の種類	難易度値 D_C
2 分音符以上の長さ	2
4 分音符	4
8 分音符	6
16 分音符	8
上記に当てはまらないもの	9

心者にとってはもちろん、ある程度演奏経験のある者にとっても容易ではない。

さらに、演奏中に発生した指くぐりの頻度によって楽曲の難易度を修正する。指くぐりとは、一定数以上の音符によって音程が上昇・あるいは下降するフレーズを演奏する際に用いられる技法である。例として、C から始まる 1 オクターブの上昇スケールを右手で演奏する場合を考える。これら 8 つの鍵を途切れることなく滑らかに弾くためには、5 本の指では足りない。そこで、最初の C, D, E を親指、人差し指、中指で演奏した後、親指を中指の下にくぐらせて、F の鍵を親指で弾く。この動作を一般的に「指くぐり」と呼ぶ。逆に、下降スケールにおいて、親指の上を中指が左に越える運指を「指越え」という*1。指くぐりは数多く存在するピアノの演奏技法の中で最も基礎的な技法の一つであり、ある程度の音域を持つ楽曲を演奏する際には頻繁に用いられるが、ピアノ初学者が会得するまでは難しい運指といえる。

最後に、楽曲全体の難易度を求める際には、これら 3 項目に加えて楽曲のテンポを判定基準に含める。楽曲全体の難易度を測る上で、実際に演奏する状況を想定したとき、楽曲のテンポは体感的な部分における難しさに関わりがあると予想し、これを含めた 3 項目を判定要素とした。今回は曲中でテンポが変わる表現については扱わず、楽曲の最初に定義されたテンポのみを対象とする。

以上の観点から、音長・音間の高低差・指くぐりの頻度・楽曲のテンポの 4 項目に着目して楽曲の難易度判定を行う。

3.2 楽曲の難易度の判定方法

3.2.1 音長に対する難易度の判定

音長に対する難易度を判定するにあたり、音符の種類毎に難易度値 D_C を定めておく。

判定方法としては、対象トラック内の全ての音長を調べ、最も多く使われている音長を L とおき、その長さの音符の持つ難易度値 D_C を現段階での難易度値 D_P とする。複数の音長が同数で最もよく使われていた場合は、それらの音符の難易度値の平均を D_P とする。

ここで、 D_P をそのまま音長における難易度値 D_1 とすると、長さ L 以外の音符の持つ難易度値が反映されない。

*1 この動作は、指またぎ、指かぶせなどの呼び方がある。本研究では以降、上昇系・下降系の双方を含めたこれらの動作を総称して、「指くぐり」と呼ぶこととする。



図 6 音高の差分の抽出

そこで、音符の長さが L でない音符の長さを 1 つずつ L と比較していき、 L よりも短い音符の分だけ D_P を大きく、また長い音符の分だけ D_P を小さくして対象トラック内の全ての音符の難易度値を反映させ、最終的な値を D_1 とする。

長さが L でない音符の総数を N とおくと、1 回あたりの比較で増加または減少され得る値の上限値 A_{max} , S_{max} は式 (1), (2) で求める。

$$A_{max} = (10 - D_P) / N \quad (1)$$

$$S_{max} = (D_P - 1) / N \quad (2)$$

次に、 L よりも音長の短い音符の総数を N_S , n 番目の音符が持つ難易度値 D_S を D_{S_n} とし、同様に L よりも音長の長い音符の総数を N_L , n 番目の音符の持つ難易度値 D_L を D_{L_n} とすると、合計加算値 A と合計減算値 S は各々式 (3), (4) で求める。 A と S を用いて、最終的な難易度値 D_1 を式 (5) で求める。

$$A = \sum_{n=1}^{N_S} ((D_{S_n} - D_P) / D_P) A_{max} \quad (3)$$

$$S = \sum_{n=1}^{N_L} ((D_P - D_{L_n}) / D_P) S_{max} \quad (4)$$

$$D_1 = D_P + A - S \quad (5)$$

3.2.2 音間の高低差の判定

楽曲の難易度判定にあたり、音間の高低差を表す隣り合う音符間の差分の大きさ毎に難易度値 D_H を定める。

判定方法としては、隣り合う音符との差分が 0 でない箇所全てに対して音高の差分を求め、その大きさに該当する D_H を足し合わせた平均値を音間の高低差における難易度値 D_2 とする (図 6)。

差分が 0 でない箇所の総数を N_a , n 箇所目の差分の大きさに該当する難易度値 D_H を D_{H_n} とし、音間の高低差における難易度値 D_2 を式 (6) で表す。

$$D_2 = \sum_{n=1}^{N_a} (D_{H_n}) / N_a \quad (6)$$

3.2.3 楽曲のテンポの判定

楽曲のテンポ毎に難易度値 D_T を定め、該当するテンポの難易度値を楽曲のテンポにおける難易度値 D_T とする。

楽曲のテンポ毎に難易度値 D_T を定め、該当するテンポの難易度値を楽曲のテンポにおける難易度値 D_T とする。

3.2.4 楽曲全体の判定

楽曲全体の判定には、音符が存在する全てのトラックと楽曲のテンポの判定結果を用いる。対象トラック i の難易

表 2 難易度値 D_H と難易度値 D_T

差分	D_H	テンポ	難易度値 D_T
~3	1	~79	2
4~8	3	80~119	3
9~12	6	120~159	4
13~	8	160~199	6
		200~	10

表 3 指くぐりの頻度毎の修正係数 O_p

1 小節あたりの指くぐりの回数	修正係数 O_p
~0.20	1.00
0.21~0.50	1.05
0.51~0.80	1.10
0.81~1.00	1.15
1.01~	1.20

度値 D_i を式 (7) で求める。

$$D_i = (D_{i,1} + D_{i,2}) / 2 \quad (7)$$

ここで、 $i = \{M, A\}$ であり、各々メロディ・パート、伴奏パートを示す。

その後、対象トラック内で発生した指くぐりの頻度による難易度の修正を行う。対象トラック内で 1 小節あたりに発生する指くぐりの回数を求め、その値に該当する修正係数 O_p と D_i との乗算を行い、 D_i の値を増加させる。

楽曲全体の難易度 D_O は、メロディ・パートの難易度値 D_M , 伴奏パートの難易度値 D_A , 楽曲のテンポから判定された難易度値 D_T および指くぐりによる修正係数 O_p の 4 項目から決定される。これらの項目について、どの難易度をどの程度重視するかは任意で決められるものとする。各重みを W_M , W_A , W_T とおき、 D_O を式 (8) で求める。

$$D_O = O_p (W_M D_M + W_A D_A) + W_T D_T \quad (8)$$

4. 実験結果

実験には、音符の長さと言間の高低差のみを判定要素としたフレーズの難易度判定と、簡単な楽曲を用いた楽曲全体の難易度判定の 2 点を行った。フレーズの難易度判定にあたり、各要素の違いの分かりやすい、 $\frac{4}{4}$ 拍子、長さ 1 小節の 4 つのフレーズを用意した (図 7)。これらのフレーズにおける判定基準に着目した特徴と算出された難易度値を表 4 に示す。

次に、M. クレメンティ作曲「ソナチネ 作品 36 第 1 楽章」と、J.S. バッハ作曲「インヴェンション 第 1 番」の 2 曲の楽曲に対して難易度判定を行った [4]。「ソナチネ」の楽譜を図 8 に、「インヴェンション 第 1 番」の楽譜を図 9*2 に示す。今回は、式 (8) において $W_M = 0.5$, $W_A = 0.4$, $W_T = 0.1$ とした。これらの楽曲の小節数・テンポと算出

*2 1 小節目の 4 拍目などは原曲ではモルデントで表記されているが、SMF で楽曲を解析するために、実際に演奏する短い音符で表記した。



図 7 判定に使用した 4 つのフレーズ

表 4 各フレーズの特徴と判定結果

フレーズ	特徴		難易度値		
	音長	音高差	D_1	D_2	D_O
A	やや長	小	4.0	1.0	2.5
B	やや長	大	4.0	4.0	4.0
C	やや短	やや小	4.3	2.3	3.3
D	短	やや小	6.7	2.3	4.5

表 5 各楽曲の特徴と判定結果

(a) ソナチネ 作品 36 第 1 楽章		(b) インヴェンション 第 1 番	
小節数	テンポ	小節数	テンポ
38	132	22	89
難易度値		難易度値	
D_M	D_A	D_M	D_A
3.5	2.9	4.3	3.9
D_T	D_O	D_T	D_O
4.0	3.3	3.0	4.0

された難易度値を表 5 に示す。文献 [4] では、「ソナチネ」はグレード A (初級) に、「インヴェンション 第 1 番」はグレード B (中級) に位置づけられている。

フレーズ、楽曲ともに、予想した結果と判定結果の間に大きな違いは見られなかったことから、楽曲の難易度判定は概ね成功したといえる。

5. 楽曲の難易度判定の改善と発展に対する考察

5.1 判定要素の追加による判定精度の高精度化

今回の難易度判定では音符の長さ・音間の高低差・指くぐりの頻度・楽曲のテンポの 4 項目を判定要素としたが、この中にはリズムパターンの要素が欠けている。出現する音符の長さ・数が同じでも、異なる音長の音符が混在しているとその分だけ複雑なリズムが形成され、楽曲の難易度にも大きく影響する。

その他、楽曲の調や拍子、和音の有無、楽器なども新たな判定要素の候補として挙げられる。今後はこれらの要素を判定要素として新たに加え、難易度判定の精度の向上に

努める。

5.2 難易度調整機能の追加

楽曲の難易度を判定するだけでなく、任意の難易度に自動調整する機能を追加すれば、元の楽曲の難易度に縛られることなく、ユーザ自身の実力に合わせた楽曲を提供できる。ただし、演奏の難易度を上げるような編曲よりも、簡単に演奏できる楽曲への編曲の方が難しい。種々の編曲手法を参考に、原曲の持つ雰囲気や可能な限り保つような編曲システムの構築に取り組みたい。

また、1 つの楽曲から様々な難易度の楽譜を生成すれば、簡単な楽譜から難しい楽譜へと挑戦していくことができ、ユーザの演奏技術や意欲の向上にも繋がると考えられる。

6. まとめ

本研究では、演奏する楽曲の選曲指標の獲得を目的に、個人の好みには依存せず、楽曲内の情報のみを対象として、SMF 解析による難易度判定を行った。独自に判定方法を定め、音長、音高変化、指くぐり、テンポの 4 項目に着目して判定した結果、楽曲の難易度判定に概ね成功した。

今後は、判定基準の見直しや判定要素の追加を行うことにより楽曲の難易度判定の高精度化を図る。また、ユーザの実力に合わせた難易度判定を行い、任意の難易度に調整が可能な編曲システムの構築を目指す。

謝辞 本研究の一部は日本学術振興会の科学研究費補助金 26240025 による。

参考文献

- [1] SMF の初歩 : 入手先 (<http://www.geocities.co.jp/SiliconValleySanJose/8132/>) (2016.06.30)
- [2] MIDI Manufactures Association : 入手先 (<https://www.midi.org/>) (2016.06.30)
- [3] MP3 ファイルと MIDI ファイルの違い : 入手先 (http://www.5b.jplobe.ne.jp/pst/00c_m_m/c_m_m.htm) (2016.06.30)
- [4] カシオ計算機株式会社, “CASIO CELVIANO MUSIC LIBRARY PIANO SCORES”, 2008 年.

The image displays a musical score for the first chapter of Clementi's 'Sonata Op. 36 No. 1'. The score is written for piano and is in 2/2 time. It consists of eight systems of music, each with a treble and bass staff. The notation includes various musical symbols such as notes, rests, slurs, and fingerings. The piece is characterized by its elegant and technically demanding style, featuring a variety of rhythmic patterns and melodic lines. The score is divided into measures, with measure numbers 6, 11, 16, 21, 26, 31, and 36 clearly marked at the beginning of their respective systems. The overall structure is a single-movement sonata form, typical of the Classical period.

図 8 クレメンティ作曲「ソナチネ 作品 36 第 1 楽章」の楽譜

The image displays a musical score for J.S. Bach's Invention No. 1, consisting of ten systems of piano and bass staves. The score is written in G major and 3/4 time. Each system includes a treble clef staff (piano) and a bass clef staff (bass). The piano part features intricate sixteenth-note patterns, while the bass part provides a steady accompaniment. Fingering numbers (1-5) are indicated throughout the score to guide the performer. The score concludes with a final cadence in the piano part.

図 9 バッハ作曲「インヴェンション 第 1 番」の楽譜 (1 小節目の 4 拍目などは原曲ではモルデントで表記).