

楽曲構造に基づくピアノ運指ルールの論理表現

林田 教裕† 水谷 哲也‡

筑波大学理工学研究科† 筑波大学電子・情報工学系‡

1 はじめに

音楽情報処理プロジェクト PSYCHE[1]では、情報学の立場から、音楽のように知性と感性が融合している場面について、人間がどのように取り組み、考え、実行に移しているのかといった精神活動を理解しようとしている。本研究もその一環である。

熟練したピアノ演奏者は楽曲の演奏に際して、単に手に負担をかけない指を選ぶだけでなく、楽曲構造に基づく音楽解釈及び手や指の動作の制約に基づいて運指を決定していると考えられる。楽曲構造に基づいて適切に運指を決めれば、ピアノ演奏者は作曲家の意図を演奏表情に反映させることが容易になる。

本稿は、楽曲構造とそれに基づいた演奏表情と運指との関係を解析する研究の基礎として、熟練したピアノ演奏者が楽曲構造に基づいて運指を決定するルールを論理的に表現することを目的とする。なお、ここで扱う対象は西洋の調性音楽である。また、本稿では単旋律に限定し、装飾音、強弱記号、テンポ情報は扱わないものとする。

2 各情報の定義

\mathbf{N} を自然数全体の集合とする。

2-1 指の情報の定義

2-1-1 指番号 (Finger Number): FN

右手親指を $r1, \dots$, 小指を $r5$ 、また、左手親指を $l1, \dots$, 小指を $l5$ とする。

$$FN = \{r1, r2, r3, r4, r5, l1, l2, l3, l4, l5\}$$

また、指番号の順序を以下の様に定義する。

$$r1 < r2 < r3 < r4 < r5, \quad l5 < l4 < l3 < l2 < l1$$

2-1-2 指の最大開き幅

(Maximum Finger Span): $MaxFSP$

指の対ごとの、演奏に実用的な最大開き幅を表す関数である。

$$MaxFSP : FN^2 \rightarrow \mathbf{N}$$

2-2 鍵盤情報の定義

2-2-1 鍵盤番号 (Key Number): KN

ピアノの各鍵盤を指す番号である。中央Cの音を 60 とし、半音上がるごとに+1、半音下がるごとに-1とする。

$$KN = \{x \mid 21 \leq x \leq 108, x \in \mathbf{N}\}$$

2-2-2 鍵盤の色 (Key Color): KC

鍵盤の色を値とする関数である。

$$KC : KN \rightarrow \{white, black\}$$

$$KC(x) = \begin{cases} white & \text{if } x \bmod 12 \in \{0, 2, 4, 5, 7, 9, 11\} \\ black & \text{otherwise} \end{cases}$$

2-2-3 鍵盤間距離 (Key Distance)

2つの鍵盤番号 $x, y \in KN$ の間の距離を表す。音名でB, C間とE, F間にも仮想的な黒鍵があると想定した時の、隣接した白鍵と黒鍵の間隔を1とする。音高間の距離である音程とは区別する。

$$KD^1 : KN \rightarrow \mathbf{N}$$

$$KD^1(x) = \begin{cases} 2 & \text{if } x \bmod 12 \in \{4, 11\} \\ 1 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$KD(x, y) = \sum_{i=\min\{x,y\}}^{\max\{x,y\}-1} KD^1(i) \quad (\text{但し, } x, y \in KN)$$

例: $KD(60, 61) = 1, KD(60, 62) = 2, KD(59, 60) = 2$

但し、鍵盤番号 59 は B_3 , 60 は C_4 , 61 は $C\#_4$, 62 は D_4 である。

2-3 楽譜情報の定義

楽曲全体を S とし、 S をグループに分割したものを有限列 (G_1, G_2, \dots, G_m) とする。また、各 G_i は音符運指情報の有限列 $(N_{i1}, N_{i2}, \dots, N_{i\ell_i})$ から構成される。

グループとは、楽曲中のある音楽的にまとまり感を持つ音群を指す。何をグループとするかは難しいが、ここでは、GTTM[3]に示されたグルーピング及び[1]や楽曲分析支援システム DAPHNE[2]に示された楽曲構造に従って分割するものとする。

音符運指情報 N_i は以下の情報から構成される。

$$N_i = \langle num_i, ptch_i, nval_i, fgnum_i \rangle$$

各要素の意味を表1に示す。

要素名	定義域	意味
num_i	$num_i \in \mathbf{N}$	楽曲の先頭から何番目の音符運指情報であるのかを示す。
$ptch_i$	$ptch_i \in PTCH$ (但し、 $PTCH = KN \cup \{rest_{ptch}\}$)	音高 (pitch) を示す。
$nval_i$	$nval_i \in \mathbf{Q}^+$ (但し、 \mathbf{Q}^+ は正の有理数全体)	音価 (note value) を示す。
$fgnum_i$	$fgnum_i \in FGNUM$ (但し、 $FGNUM = FN \cup \{rest_{fn}\}$)	運指番号 (fingering number) を示す。

$rest_{ptch}, rest_{fn}$ は各々休符の場合の要素を指す。

表1 音符運指情報の各要素の意味

音符運指情報の各要素を取り出すには、例えば $N_i^1 = num_i$ を N_i^{num} と表記する。また、 v, v_1, v_2, \dots を音符運指情報を表すメタ変数、 $\rho, \rho_1, \rho_2, \dots$ をグループを表すメタ変数とする。

3 ルールの論理表現

ここでは、アーティキュレーション及び楽曲構造に基づく演奏計画を運指に反映させるルールと、それに必要な関数や述語を定義する。ルールの抽出は[4]などの演奏法の教科書及び筆者自身のピアノの経験に基づいて行った。

3-1 隣接した音符に関するルール

Rule 1: 隣接した2つの休符でない音符運指情報 v_1, v_2 について、音をつなげて演奏するならば、 v_1, v_2 に異なる指を割り当てる。

音符運指情報 v_1, v_2 がともに休符でなく、かつ、楽譜上で隣接している(adjacent)関係を述語 $adj(v_1, v_2)$ で表す。また、隣接した2つの音符運指情報 v_1, v_2 をつなげて演奏することを $legato(v_1, v_2)$ と表記する。

これより、Rule 1 は以下の様に記述できる。

$$\begin{aligned} &adj(v_1, v_2) \wedge legato(v_1, v_2) \\ &\supset v_1^{f_{gnum}} \neq v_2^{f_{gnum}} \end{aligned} \quad (\text{Rule 1})$$

Rule 2: 隣接した2つの休符でない音符運指情報 v_1, v_2 について、音をつなげて演奏するならば、 v_1, v_2 に届く指を割り当てる。

2つの音符運指情報 v_1, v_2 に届く指を割り当てることを $reachable(v_1, v_2)$ と表記する。

これより、Rule 2 は以下の様に記述できる。

$$\begin{aligned} &adj(v_1, v_2) \wedge legato(v_1, v_2) \\ &\supset reachable(v_1, v_2) \end{aligned} \quad (\text{Rule 2})$$

3-2 グループに関するルール

Rule 3: グループ ρ について、グループ全体を滑らかに演奏するならば、グループ内部で指を交差させない。

グループ ρ の全体を滑らかに演奏することを $phrasing(\rho)$ と表記する。また、2つの音符運指情報 v_i, v_{i+1} で指を交差させることを $cross(v_i, v_{i+1})$ と表記する。

これより、Rule 3 は以下の様に記述できる。

$$\begin{aligned} &phrasing(\rho) \\ &\supset \forall i(1 \leq i < |\rho| - 1 \wedge adj(v_i, v_{i+1}) \supset \neg cross(v_i, v_{i+1})) \\ &(\text{但し、}\rho = \langle v_1, \dots, v_\ell \rangle) \end{aligned} \quad (\text{Rule 3})$$

3-3 グループの類似性に関するルール

Rule 4: 2つのグループ ρ_1, ρ_2 について、長さが同じであり、音型が類似して、かつ、演奏表現も類似させるのならば、同じ運指列を割り当てる。

ρ_1, ρ_2 の音型が類似していることを $similar(\rho_1, \rho_2)$ と表記する。また、2つのグループ ρ_1, ρ_2 の演奏表現を類似させることを $simexp(\rho_1, \rho_2)$ と表記する。

これより、Rule 4 は以下の様に記述できる。

$$\begin{aligned} &|\rho_1| = |\rho_2| \wedge similar(\rho_1, \rho_2) \wedge simexp(\rho_1, \rho_2) \\ &\supset \forall i(1 \leq i \leq |\rho_1| \supset v_i^{f_{gnum}} = v_{2i}^{f_{gnum}}) \\ &(\text{但し、}\rho_1 = \langle v_{11}, \dots, v_{1\ell} \rangle, \rho_2 = \langle v_{21}, \dots, v_{2\ell} \rangle) \end{aligned} \quad (\text{Rule 4})$$

4 ルールの適用例

これまで定義したルールを、実際にピアノ曲の楽譜に適用することで運指の解候補を求め、ルールの有効性を検証する。



譜例1 ブルグミュラー作曲「無邪気」第1小節

譜例1を右手で弾くと仮定する。音符列は[3]に基づき、 G_1, G_2, G_3 に分割される。スラーに従って音を滑らかにつなげる為、各 G_i に Rule 1, 2, 3 を適用する。この段階で各 G_i の運指列は $\langle r4, r3, r2, r1 \rangle, \langle r5, r3, r2, r1 \rangle, \langle r5, r4, r2, r1 \rangle, \langle r5, r4, r3, r1 \rangle, \langle r5, r4, r3, r2 \rangle$ の5つの解候補が得られる。また、 G_1, G_2, G_3 が類似であると判定されれば、Rule 4の適用により各 G_i の運指列を同じにする。この解候補には譜例1が示す運指列 $\langle r4, r3, r2, r1 \rangle$ も含まれており、ある程度の妥当性が得られている。

5 DAPHNE との連携

本稿で述べた運指ルールと、PSYCHE プロジェクトで開発中の楽曲分析支援システム DAPHNE[2]の連携について述べる。

DAPHNE は楽譜情報を用いて楽曲構造の分析ができる。従って、運指ルールに必要なグループは、DAPHNE から自動で獲得または指定できる。例えば、Rule 3と4で述べているグループは、DAPHNE により分析されるモチーフ情報を利用できる。

また、DAPHNE は楽曲構造の各要素間の類似度分析ができる。Rule 4に含まれる述語 $similar$ の真偽の判定に、この類似度が有用だと考えられる。類似度の計算には、楽曲における類似だけでなく、鍵盤の配置における類似も考慮すべきである。現時点で DAPHNE は楽曲構造における類似度の計算が可能だが、鍵盤の配置における類似度も、鍵盤の色および鍵盤間距離の導入によって計算できる。

6 おわりに

本報告では、熟練したピアノ演奏者が楽曲構造に基づき運指決定を行うルールを論理式で記述し、その適用例を示す事でルールの有効性を示した。また、楽曲分析支援システム DAPHNE との連携について述べた。

今後はルールベースの構築を行い、ルールを計算機に実装して DAPHNE による楽曲分析に基づき運指決定を自動化する予定である。

参考文献

- [1] 五十嵐滋: 演奏を科学する, ヤマハミュージックメディア社, 2000.
- [2] Liu, J.: A Study on Intellectual system for Musical Information Processing, Doctoral thesis in Engineering, University of TSUKUBA, 2001.
- [3] Lerdahl, F. and Jackendoff, R.: Generative Theory of Tonal Music, The MIT Press, 1983.
- [4] 下山望: ピアノ運指法 譜例分類による, ムジカノーヴァ, 1986.