

構造化表現によるピアノ演奏の設計 (MUSE 再訪)

田口友康

甲南大学理学部応用数学科

演奏芸術としての音楽演奏においては、演奏者の音楽的解釈はダイナミクス、アゴージクス、アーティキュレーション、音色等の表現要素を時間方向および諸声部間で十分に組織化することで実現される。本報告では、ピアノ音楽において意図した演奏表現と聴取者の知覚的効果との関係を研究するための一つの実験的方法を述べる。ここでピアノ演奏はダイナミクス、アゴージクス、アーティキュレーション、偏移、ペダル深さのパラメータ化した値から生成する。さまざまの時間スパン上で付与されるこれらの演奏情報は階層的に統合される。

Design of piano performances in structured expression
(MUSE revisited)

Taguti Tomoyasu

Applied Mathematics, Faculty of Science, Konan University

Music performance for critical listening is the realization of player's musical interpretation well organized both in global perspectives and in every local detail of expressive elements such as dynamics, agogics, articulation, timbre, intonation, etc. This paper presents an experimental method to study the relation of the intended musical expression with the perceptual effects to the listeners in the case of piano music. Here, the piano performances are created by parameterized values of dynamics, agogics, articulation, shift, and pedal depths. These expressive elements defined over different timespans are integrated hierarchically.

はじめに

演奏芸術としての音楽演奏においては、演奏者の音楽的解釈はダイナミクス、タイミング等の表現要素を時間方向および諸声部間で十分に組織化することで実現される。もし音楽の表情的演奏を計算機的に行なうことができれば、音響的な量から心理的印象へ写像の問題を系統的に研究することが可能になる。この論文ではある程度特化したソフトウェアでピアノ系の楽器を演奏する場合を扱う。内容は、かって著者が提出した言語¹⁾ MUSE (MUsic in Structured Expression) の概略と特にタイミング制御の手法を説明し、この言語システムによる演奏設計をモーツアルトのピアノソナタ K. 570 とショパンの夜想曲第1番の2例をあげて論じる。後者は異なるパラメータ値を使った計算演奏の聴取実験の概略を含む。

1. ピアノ演奏言語 MUSE

ピアノ演奏の物理的変量は音鍵の打鍵／解放時点と打鍵速度、およびダンパー・ペダルとシフティングペダルの深さである。ダンパー・ペダルは押鍵されていないすべての鍵に属するピアノ弦の振動の共鳴／吸収を制御し、シフティングペダルはハンマー位置をかえてハンマーが叩くユニゾン弦（2または3本）の本数を制御する。このほかソステヌートペダル、および離鍵時にダンパーがピアノ弦振動を止める速度という変量もあるが簡単のためこれらは省略する。

MUSE ではピアノ音楽の楽譜は音名（88音と休符、2つのペダル名）を任意の深さに水平的／垂直に構造化した一般音符リスト構造に表現する。ここで、どの音名、どの部分構造にも実数値の拍数が与えられる。そしてこのリスト構造に音楽的に修飾する次の5種のパラメータが与えられる：(i) 強弱（ダイナミクス）、これは音の大きさを表す；(ii) 深さ、これはペダルの深さを表す；(iii) 緩急（アゴージクス）、これは演奏速度の時間的变化を表す；(iv) 継切（アーティキュレーション）、これはスタカット／レガートの程度を表す；および(v) 偏移、これは拍打ちからの時間的ずれを表す。このうち(i)～(iv) は拍時刻（楽譜時刻） s を独立変数とする包絡関数 $e(s)$ で与える。これらのパラメータは音符リスト構造全体から音符

にいたるまですべての（部分）リストに結合され（記述の煩雑さを回避するために適当な省略時既約用意されている）、それらはパラメータごとに階層内で重ね合わされて音符に対する実評価値とされる。

2. 時間制御

タイミングは緩急、継切、偏移パラメータの組み合わせで指定する。これらを幾分詳しく説明する。

[緩急] このパラメータは包絡関数 $e(s)$ の積分式により、 $e(s) > 0$ の部分は伸長し、 $e(s) < 0$ の部分は短縮するように、拍時刻 s を物理時刻 t に写す。 $I = [0, K]$ を拍時間軸 s 上の区間とし、 $e_0(s)$ と $e_1(s)$ を I で定義された包絡関数とする。さらに、 M を名目上のメトロノーム値（単位は拍／分）とする。次の2種の写像 $s \mapsto t$ を考える：

$$(1) \quad t^{(0)}(s) = M^{-1} \times \int_0^s (1 + e_0(\sigma)) d\sigma$$

$$(2) \quad t^{(1)}(s) = M^{-1} \times K \times \left[\int_0^K (1 + e_1(\sigma)) d\sigma \right]^{-1} \times \int_0^s (1 + e_1(\sigma)) d\sigma$$

この $t^{(0)}(s)$ は I を区間 $[0, T']$ ($T' = t^{(0)}(K)$) へ写す。 T' は、 $e_0(s)$ に依存して $T = M^{-1}K$ より大きくも小さくもなる。一方 $t^{(1)}(s)$ は $e_1(s)$ に依らず常に I を $[0, T]$ へ写す。

我々は $t^{(0)}$ -型の写像を開緩急、 $t^{(1)}$ -型の写像を閉緩急と呼ぶ。開緩急はアッチャレランド、リタルダンドのように一定のテンポからの自由なずれを実現する。閉緩急は同様にテンポからの自由なずれをもたらすが、決められた拍時間 K にわたる区間上で大域的に厳密に一定のテンポを実現する。この後者の特性から閉緩急は “give-and-take” 原理の数学的表現と見なすことが出来る。

次のこと注意しよう。表情的タイミングはしばしば非常に短いパッセージや音符群、例えば6つの8分音符からなる3拍子の1小節、1～2拍のトリル、4つの16分音符からなる1拍など、に対する滑らかで一定かには認め難いような楽譜時間からのずれにも依存して生じる。これらの運動のある部分はモータープログラムの作用に帰せられるかも知れない。閉緩急はこの状況を取り扱うのにも効果的な手段である。その意味で閉緩急は、意図的に行われ、かつ明白に知覚されるようなテンポ変化を指す古典的な give-and-take 原理以上のものであるといえる。

緩急パラメータを階層的に使うとき、写像 $s \mapsto t$ は次のようになる。音符リスト階層の最上位（深さ 0）に与える緩急包絡関数を $e_0(s)$ 、深さ d ($d \geq 1$) の部分リストへの緩急包絡関数を $e_d(s)$ とする。ただし深さ d の部分リスト ($d \geq 0$) は深さ $d+1$ の部分リストを含むとする。任意の深さ D に対する公式は、深さ 0 には開緩急を、深さ $1 \sim D$ には D までのすべての包絡関数を重ね合わせた「重畠包絡関数」の閉緩急を適用するという原則で構成する：

$$(3) \quad t(s) = M^{-1} \times K' \times K''^{-1} \times \int_0^s (1 + \sum_{d=0}^D e_d(\sigma)) d\sigma$$

ここに

$$K' = \int_0^K (1 + e_0(\sigma)) d\sigma \quad \text{および} \quad K'' = \int_0^K (1 + \sum_{d=0}^D e_d(\sigma)) d\sigma.$$

明らかに、 $t(s)$ は $D = 0$ ならば $t^{(0)}(s)$ に帰され、 $D = 1$ かつ $e_0(s) \equiv 0$ ならば $t^{(1)}(s)$ に帰される。

演奏速度は

$$(4) \quad ds/dt = M \times K'^{-1} \times K'' \times (1 + \sum_{d=0}^D e_d(s))^{-1}$$

で与えられる。変量 ds/dt は局所的または瞬時メトロノーム速度と呼ばれる。

深さ D の部分リストにおいて、拍座標上で $s = s_i$ に開始し v 拍持続する音符 i ($0 \leq s_i < K$ かつ $s_i + v \leq K$) の物理的な開始と終了の時刻 t_i^{on} と t_i^{off} は、スタカット／レガートなしのとき

$$(5) \quad t_i^{\text{on}} = t(s_i) \quad \text{と} \quad t_i^{\text{off}} = t(s_i + v)$$

である。また音符ごとの演奏速度 m_i は

$$(6) \quad m_i = v / (t_i^{\text{off}} - t_i^{\text{on}})$$

となるが、これは $[s_i, s_i + v]$ 上での ds/dt の離散相似である。実演奏の計測においては、オンセット間隔 (inter-onset interval, IOI) が $t_i^{\text{off}} - t_i^{\text{on}}$ に相当するので音符ごとの演奏速度は v/IOI と同定される。

公式 $t(s)$ は一般的であって、その利用価値は目的とするパッセージにどのように適用するかに依存する。

多くの場合、2水準つまり $D = 1$ （これを2水準モデルと名付けよう）は確信が持てる反応を得るために殆ど必須と思われる。その例として、深さ1（閉緩急）で緩急による小節単位で拍子リズムを作り、深さ0（開緩急）でフレージング表現を与えるという使い方がある。引用文献[2]はこの2水準モデルを実際のショパンのワルツ演奏に存在する表情的タイミングの構造分析に適用している。もし上記の例で、深さ1に2声部があって、かつ両者を支配する緩急包絡関数が相互にわずかに異なるとき、例えば一方が深さ2を持ちそこに別の包絡関数が与えられるとき、2声部は幾分異なる演奏速度で進みしかもフレーズの終了時点では同時に終了する。この種の非同時性は伴奏つき旋律の叙情的な演奏に独特的効果をもたらす。後述の例2はこの技法を用いている。

[継切] このパラメータは緩急パラメータで定まる t_i^{off} を次のように変更する。重畠包絡関数の $s = s_i$ における値を a ($a < 1$) とする。公式は

$$(7) \quad t_i^{\text{off}} = at(s_i) + (1 - a)t(s_i + v)$$

である。明らかに、 $a > 0$ はスタカットであり、 $a < 0$ はスーパーレガートである。メッセージ（つまり部分リスト）に付けられた包絡関数はメッセージを構成するすべての音符を修飾する。例えば、包絡関数が滑らかで s とともに正から負へ大きな振幅で変化するものはそのメッセージにわたって強いスタカットから深いスーパーレガートまでの滑らかな変化を実現する。この技法が高速なメッセージに使われると、隣接音符間の分離／重なりに由来する音色変化の名技的な制御を実現することになる。

[偏移] このパラメータは緩急パラメータで定まる t_i^{on} を変更する。これには、相対的（拍単位）と絶対的（ミリ秒単位）の2種があり、どちらも右方向（正）と左方向（負）に指定できる。拍による値を d 、ミリ秒による値を d' としよう。これらは階層的に自由に指定することができ、解釈に際して階層方向に重畠される。結果として導かれる公式は、時間単位を分として、

$$(8) \quad t_i^{\text{on}} = t(s_i) + M^{-1}d + d'/60000$$

である。

これは、装飾音の開始時刻、ダンパーペダルの踏み込み時点の調整、フレーズ開始時点における特定音符の先打ち／後打ち、和音打鍵における音符間の非同時性の導入などに用いられる。

前述の演奏速度式 m_i は偏移パラメータが存在するときは修正する必要があるが、結果は自明であるので省略する。

3. 包絡関数

包絡関数 $e(s)$ は区分線形関数とし、折れ点では連続でも不連続でもよい。不連続を許す理由は、パラメータの不連続的な変化を与えるという実際上の必要性による。不連続的変化は強弱、ペダル深さ、継切だけでなく、緩急³⁾にも使われる。不連続点では右連続であると定義する。この条件は、音符やペダルに対するパラメータ値にはそれらの開始時点における関数値を用いるという規則（緩急パラメータを除外して）に適合させるためである。

4. MUSEによる計算演奏

表情的演奏の定量的分析は近年多くの研究者により行われて、いくつかの「演奏規則」が提案されている。しかし芸術性の秘密の探索にはまだ多くのものが残されている。その理由は、より精密な分析のためには実演奏の計測精度が不十分ということもあるうし、目標とする音楽表現を同定するための適切なモデルが用意されないということもある。我々の立場は既知の規則を（必要ならば修正して）使うことと、仮説的な規則（（上に述べたものはその一部である）を、パラメータ種別ごとに階層的に使うことである。以下に2つの例を示す。ページ数が限られているので演奏速度の時間経過の様相だけを論じることにする。

例1) モーツアルト ピアノソナタ17番 変ロ長調、K.570

モーツアルトの音楽は静寂から活気へ、愉悦から沈痛へ、緊張から弛緩へといった感情の交替が短時間のなかで素早くなされる。この感情表現には演奏の物理量を精密に制御することが必要でとくに繊細で鋭利なタイミング制御が必須である。

図1はMUSE演奏の冒頭の20小節の演奏速度プロフィールである。ここには主な規則が3つ使われている：(1) 緩急緩 (slow-fast-slow、SFS) (2) 長音符をより長く短音符をより短く (long notes longer and short notes shorter LL/SS)、および (3) 減少2拍対1拍 (diminished half-note to quarter note DH-Q)。3番目の規則は、3拍子で2拍と1拍の組み合わせは通常 1.6 ~ 1.8 : 1 にするというものである。

これらの規則は下記の通り重畠的に使われている。SFS 規則は、小節 1 ~ 4、5 ~ 12、13 ~ 16、17 ~ 20

の各フレーズのほか、これらに含まれる小部分、すなわち小節 5～6、7、8、9～10 の部分フレーズ、および小節 12、13、14、16、17、18 の中の第 3 拍に対して使われている。LL/SS 規則は小節 1～4 の区間を小節 5～10 の区間と対比させて、および小節 12、13、14、16、17、18 中の 1～2 拍を 3 拍と対比させて使われている。DH-Q 規則は小節 1、2、3、11 の中に使われている。(小節 11 は 2：1 構造に準じると見なす。)

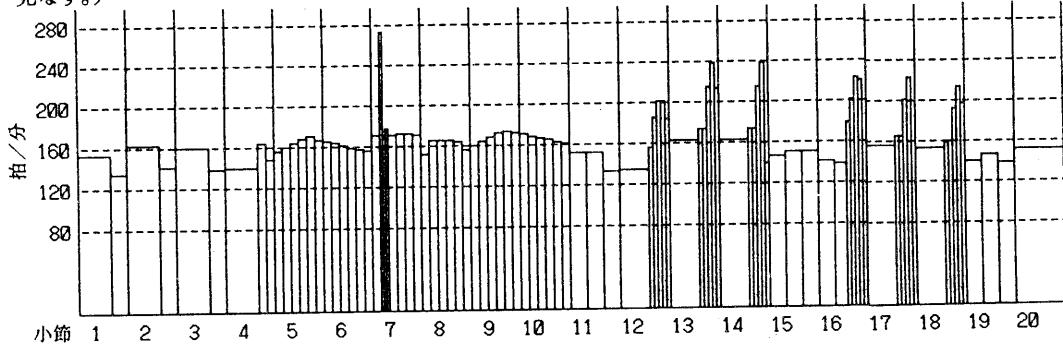


図 1. ピアノソナタ K. 570 第 1 楽章冒頭 20 小節の旋律部の演奏速度

例 2) ショパン 夜想曲第 1 番 変ロ短調、作品 9 1⁴⁾

ショパンの音楽は一般に表情要素の大きな振幅変化を必要とする。演奏速度とダイナミクスの変動、ペダリング(音質変化)、非同時性のすべてが表現に不可欠な部分を占める。

図 2 は MUSE 演奏の冒頭の 8 小節部分の演奏速度プロファイルである。主要な 3 規則 SFS、LL/SS、および DH-Q は最大 4 層に重畠されており、さらに緩から急(slow to fast、SF)という規則が同一音価かつ同一ピッチの音符列に使われている。また小節 2～3 のパッセージにわたる 11 連符と 22 連符は 6 つの SFS 則で覆っている。

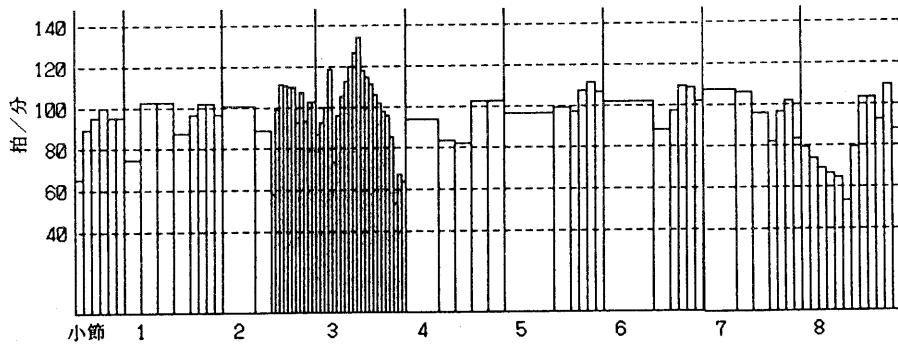


図 2. 夜想曲第 1 番冒頭 8 小節旋律部の演奏速度

5. まとめ

ピアノ音楽の表情的演奏のための記述的アプローチを、表情パラメータの階層的表現に重点を置いて提示した。タイミング制御の理論的取扱いを述べ、2 つの例示を用いてその具体的な使い方を論じた。

引用文献

1. Taguti T(1988) "A structural language for computer performance of piano music," JASJ(E), 9, 275-286.
2. Taguti T & Ohta M(1989) "Agogics as a metrical rhythm and phrasing," Proc IICMPC, 219-224.
3. Taguti T, Mori S & Suga S(1994) "Stepwise change in the physical speed of music rendered in tempo," Proc 3ICMPC, 341-342.
4. 田口、大串、土居(1991) "計算機支援のピアノ演奏表現 — ショパンの夜想曲を用いた研究," 音響学会音楽音響研資料 MA91-26.