

仮想空間におけるピアノ演奏動作の生成と表示

関口 博之 英保 茂

京都大学大学院情報学研究科

〒611-0011 宇治市五ヶ庄

0774-38-3936

seki@image.kuass.kyoto-u.ac.jp

あらまし ピアノの演奏は手と指のダイナミックな動きによって実現される。しかし手指動作の速度、可動可能範囲・方向は腱、筋肉、骨格構造の制約を受けるため、演奏においては手指への負担や無駄な動作を抑えた合理的な手指の動作が必要になる。本研究の目的の一つはこのような「理想的」な演奏動作を、直感的理解の可能な3次元動画によって提示することである。第2の目的は「人間的」な演奏を計算機上で実現することである。本提案手法では手指の動作を介して演奏結果を得ているため、手指の動作特性を演奏表現に応じて制御することにより、自然かつ音楽性を持った演奏結果を得られる可能性を持つ。これは従来の計算機演奏に無かった、本手法のユニークな点の一つである。

キーワード 3次元動画、人体動作、手指モデリング、ピアノ演奏

Generating the Human Piano Performance in Virtual Space

Hiroyuki Sekiguchi, Shigeru Eiho

Department of Systems Science,
Graduate School of Informatics, Kyoto University

Gokasyo, Uji City, Kyoto, 611-0011 JAPAN

seki@image.kuass.kyoto-u.ac.jp

Abstract A piano-performance is realized by dynamic hand-finger movements. Their movements are constrained due to the anatomical components, such as tendons or skeletons. So the hand-finger movements in performing the piano should be highly optimized. Therefore, the system, that shows an appropriate performance or fingering techniques with understandable 3D animations, will be considerably useful for conservatory students.

The another purpose is to realize human-like performances by computer. In this system, the sound is generated as a result of finger's key-attack movements in virtual space. So it is easy to modify the performing character by changing the physical parameters of the hand objects. Developing this feature, the human-like performance will be realized in computer music.

key words 3-D animation, human movements, hand modeling, piano performance

1. はじめに

ピアノは発音メカニズムを楽器内部に備えているため、他の楽器に比べて発音がきわめて簡単であり、しかも常に正確な音程が得られる。しかしその修得・演奏は必ずしも容易ではない。これはピアノ演奏には他の楽器に比べて高速かつ正確な手指の動きが要求されるためと考えられる。これを解決するには、訓練によって手指の運動能力を改善するだけでなく、演奏が最小限の手指運動で行われるような合理的な弾き方を行う必要がある。

誤った弾き方や癖を後から修正することは多大な労力を要するため、練習においては正しい弾き方を常に意識する必要がある。しかし演奏中における手指の動きは非常に複雑であり、教則本に書かれた説明文や写真等から正しい弾き方を理解することは難しい。近年新しい試みとして、模範演奏の実写画像と楽譜を同時表示するピアノ教育支援システムが、大塚、袖山、村中、今西らにより提案されている¹⁾。しかし実写画像を用いた手法には以下の問題が存在する。

1. 収録曲が限定される
2. 観察者の視点位置・方向を自由にとれない
3. 演奏速度の変更が困難
4. ソフト作成に多大な手間とコストが必要

ここでもし、計算機内で生成した演奏動作を図1に示すようなCG動画像で表示できれば、上記の問題はほぼ解決する。また練習者の手指の寸法、運動特性を演奏動作の生成過程に適用すれば、個々の練習者に対し最適な演奏法を提示することも可能となる。ここでは「理想的な演奏動作」の必要条件として次の3点を考え、これらを各条件を共に高いレベルで満足する演奏動作の実現手法について考える。

1. 譜面通り(運指を除く)の演奏結果が得られること
2. 手や指の各関節に負担を掛けないこと
3. 無駄のないスムーズな動きであること

本稿で述べる手法は「人間的な演奏を実現する自動

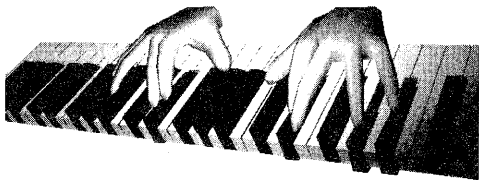


図1. 仮想空間内で実行される演奏

演奏システム」への応用も可能である。

計算機による演奏では譜面に記された音符情報を完璧に再現する。しかしその結果、音楽的な表現に乏しい、無機質的な演奏になりがちである。また単に乱数によってタイミングや音量を変化させても、「人が弾いている」ような演奏を得ることは不可能である。

一方、本システムでは仮想空間における手指の打鍵動作を介して演奏結果を得る。ここで生じたタイミングなどの微妙なずれは、あくまで手指の挙動に基づいている。従って、操作者による演奏表現の指示に応じて手指の動き方を変化させることにより(例えば、「やさしい雰囲気」を出したい場合には、手指の動作を遅くし、かつ指に加える力を抜く等)、操作者の表現意図を反映した、人間味のある演奏結果を得られる可能性がある。これは本システムを自動演奏ツールとして捉えた場合のユニークな特徴の一つである。

2. システム構成

本システムの構成を図2に示す。3D実装モジュールは仮想空間内に手指オブジェクトと鍵盤オブジェクトを構築する。動作生成モジュールは、システムに入力された音符データ、各オブジェクトの寸法や動作特性をもとに、手指オブジェクトの演奏動作を生成する。

仮想空間内の手と鍵盤は実空間の動作をシミュレートする。例えば各鍵盤の沈み角は、指先端と鍵盤との位置関係によって定まり、鍵盤が所定の位置まで押し込まれた時点で、各鍵盤に割り当てられた音程の打鍵音を発生する。さらにその音量は押下点における鍵盤の速度に応じて定まる。鍵盤には質量が設定されているため、この音量は指に加える(仮想的な)力とその速度をもとにして間接的に定められることになる。

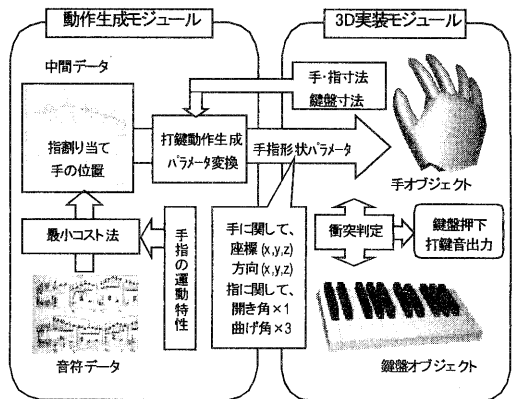


図2 システム構成図

3. 演奏動作の解析

本システムでは手を剛体とみなしており、その自由度は、手の重心座標(x,y,z)と各軸回りの回転(腕を軸とする回転、左右・上下の振れ)を合わせた6となる。各指については、横方向の動きと3関節の曲げ動作が可能であることから4の自由度を与えている。従って手全体の位置と形状を一意に決定するには、合計26個(=6+4×5指)のパラメータを定める必要がある。

一方、楽譜中の個々の音符は、音程、発音開始時刻、発音持続時間の3種類の情報を含んでおり、空間座標に関する情報は音程から得られる。しかしここからは鍵盤押下中の指先の横位置しかわからない。そこで、実際の演奏中の手指の動きを調べ、演奏動作において各パラメータがどのように変化するかを調査した。

演奏動作の解析に用いた装置を図3に示す。演奏中の手と指先の位置を、3次元磁気センサとMIDI出力を持つキーボードを用いて取得する。また、演奏中の指関節の動きについては、同時に録画したビデオ映像をもとに解析を行った。

サンプル演奏より取得した解析データの一例を図4に示す。これは「ドミソ」からなる分散3和音を4オクターブに渡って右手親指、人差し指、中指の順に用いて(最高音のみ小指を使用)弾いたものである。短い横線はその時刻に押し込まれている鍵盤の位置、すなわち、打鍵中の指先の左右位置を示している。曲線(プロット点の集合)は手の中心点の動きを示している。

このグラフからは、1)演奏開始時、中間点、終了時において手の動きがほぼ停止していること、2)打鍵動作毎に手の移動速度が減少していることがわかる。ここから得られる演奏時の手指動作の特徴を以下に示す。

- 鍵盤楽器演奏における手指の動作は、発音時刻の打鍵動作と、鍵盤の選択ならびに鍵盤上の打点を定める横方向の移動動作とから構成される。以後、打鍵動作、横動作と略記する。

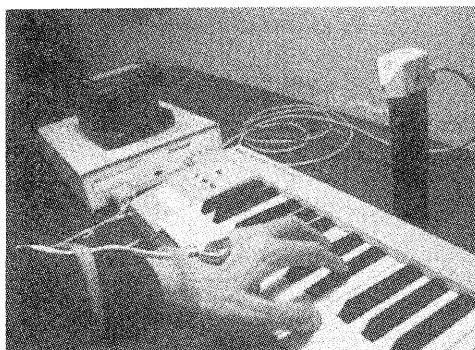


図3 演奏動作の解析装置

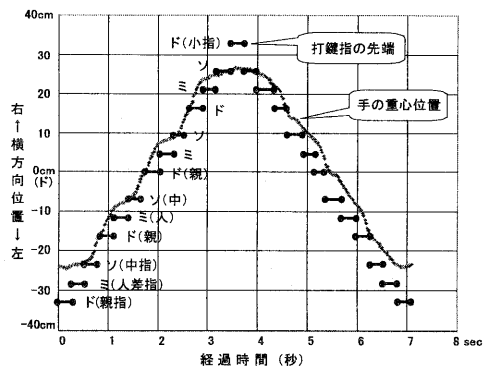


図4 演奏動作解析データ

- 横動作は打鍵動作の開始前に完了し、通常、同時には行なわれない。
- 横動作の手の動きは可能な限り最小化される。

また、ビデオ映像からは次の特徴が明らかになった。

- 横動作は、親指では各関節の屈伸、他の指では指の開き角の変化によって行われる。
- 黒鍵、白鍵の選択は指の第2、第3関節の屈伸による指形状の変化によって行なわれる。
- 第3関節の曲げ角の大きさは第2関節の曲げ角の大きさに依存する。
- 打鍵動作は、親指では指の開きによって、親指以外では第1関節の屈曲によって行われる。
- 打鍵動作中の指の形は固定される。すなわち打鍵中に第2、第3関節角は変化しない。

4. 演奏動作の生成

本節では前節で得られた演奏動作の特徴に基づく、横動作の生成法について述べる。なお、打鍵動作は指第1関節の瞬間的な上下移動による比較的単純な動作であるため、この生成法は本稿では省略する。

4.1 形状パラメータの決定順序

指先端の左右位置は、手の位置、手の向き、打鍵指、指の開き角の4パラメータによりほぼ定まる。

そこで各音符より得られた指先位置をもとに、これらのパラメータを逆に導出することを考える。ただしこれらのパラメータの最適解を同時に算出することは困難であるため、ここでは各パラメータの重要性をもとに優先順位を定め、その順に各パラメータの最適解を求めていく。

最初に各音符に対する打鍵指の割当て(以後指使いと記す)を行う。これは指使いが適切に選択されていないと、演奏そのものが不可能になってしまうためであ

る。次に手の位置を決定する。これは先に示した「手の動きは最小限に抑えられる」原則に基づくものである。

演奏中の手は基本的に正面に向いており、左右への振れが生ずるのは、手が体の中心から大きく離れた場合と、親指で黒鍵を弾く場合に限られる。そこで手の左右の振れについては、演奏実行時にこれらの状況に応じて修正を行う。

打点までの残りの位置合わせは、指の開き角の調整によって行われる。ここで指に対して大きな負担が掛かることが懸念されるが、指使いが適切に選択されていれば、この負担は各指に分散されるので特に問題にはならない。また次節で述べるように、指開き角の限界等については、最初に行う指使い決定アルゴリズムの中に既に織り込まれている。従ってこの段階で実現不可能な指開き角が算出されることはないと考えて良い。

4.2 指使い選択法

近年、ピアノ演奏における指使い選択に関する考察が Sloboda らによって報告されている⁶⁾。また Parncutt らは指使いに関する 12 個のルールを提案し、これらのルールを用いて適切な指使いの算出が可能であることを示した⁷⁾。これらの手法では指使いの妥当性を、打鍵する鍵盤間の距離と各指間の最大／標準距離との大小関係をもとに評価する。これに対し本手法では、与えられた指使いによる演奏を実現するための、手位置の存在可能性を評価指標として用いている。指使いを手の動きを介して求めることは一見回り道のように見える。しかし評価対象が手のポジションに一元化できること、手の位置移動を最小化するような指使いが実際に多く用いられていることを考えると、この手法は効率的かつ有効な指使いの算出手法であると考えられる。

いま人差し指の開き角の可変域を図 5 の人差し指上に示した矢印の範囲と仮定する。この時人差し指で図中の網掛けで示した鍵盤ドを弾くには、手は左右に示した手の間に存在する必要がある。手の中心点を取り得る範囲(以後、**手の存在範囲**と記す)を同図中央の矢印で示す。手の存在範囲は各指の手に対する位置、可変域の幅によって異なる。例えば親指に対する手の存在範囲は打鍵鍵盤の右側(図では上方)に位置し、また親指の打鍵可能範囲が広いことから手の存在範囲も広くなる。他の指についても同様に打鍵位置と手の存在範囲との関係が同図中央に示すようにそれぞれ定められる。

次に 2 つの音を連続して弾く場合を考える。図 6(a)はドとミを中指→薬指の順に弾く場合である。図 5 の結果から、中指でドを弾いている間は手は図の領域 I 内に存在し、薬指でミを弾いている間は領域 II 内に存在しなければならない。両領域は互いに共通領域を持つ

ため、任意の時点において両条件を満たす手の位置(図中の太い曲線。以後**手の移動経路**と記す)が存在する。これはこの指使いにより 2 音を連続的に弾くことが可能であることを示している。

一方 2 音目のミを人差し指で弾く場合、手の存在範囲は図 6(b)の領域 III となる。ここで領域 I と領域 III は共通域を持たないため、両領域を連続して通る手の移動経路は存在しない。これは**中指→人差し指**の指使いによってドとミを連続して弾くことが不可能であることを示している。

このように連続する複数の音符に割り当てた指使いの妥当性は、隣り合う手の存在可能領域の重なりの方の大きさをもとに評価できる。なお両領域間に休符をはさむ場合には、手の存在領域に重なりがなくても演奏可能となる。この場合は休符の長さや領域間の距離を考慮して指使いの妥当性を評価する。

本システムで採用している指使いの基本コスト計算式を図 7 に示す。図中の $Area_i$ は、 i 番目の音符を決められた指で弾いた場合、鍵盤を押している間、手が存在すべき領域を示す。 d_i は手の存在可能領域の幅であり、これは打鍵指先端の左右可動幅に等しい。

(a)は隣り合う手の存在領域 $Area_i, Area_{i+1}$ に空間的な重なりを持つ場合である。図中の $\Delta d (>0)$ はこの重なりの方の大きさを表す。この場合休符の有無を考慮する必要はなく、手の移動動作も本来不要である。しかし

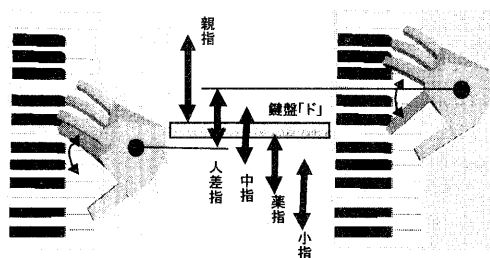
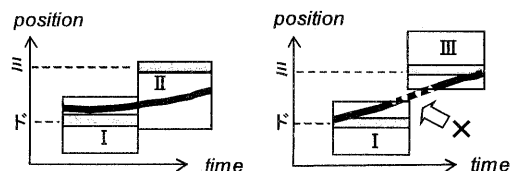


図 5 人差し指に対する手の存在範囲



(a) 中指→薬指 : ○ (b) 中指→人差し指 : ×

図 6 連続打鍵可能な指の割り当て

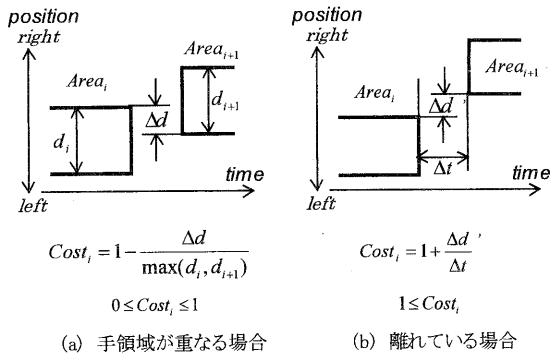


図7 指使いコスト計算法

重なり領域の幅が大きくなるほど、指を弛緩に近い状態に置ける可能性が高くなるため、重なり幅 Δd が大きいほど低いコストを割り当てるのが妥当と考えられる。重なり幅を考慮した区間コスト $Cost_i$ の計算式を図(a)中に示す。この計算式により、(a)の場合の区間コストは常に0以上1以下となる。

(b)は手の存在領域に重なりを持たず、両領域間で手の移動動作が必要になる場合である。この場合の区間コストは移動動作の難易度をもとに決定する。難易度は移動距離より、その時の動作速度に依存すると考えられるため、ここでは図(b)中に示す式を採用した。図中の Δt は音符 i に対応する鍵盤を離してから、次の音符 $i+1$ に対する鍵盤の打鍵開始までの時間を、また $\Delta d'$ (>0) は両領域間の距離を示す。この区間で計算されるコスト $Cost_i$ の値は常に1以上となり、(a)より必ず大きな値を取る。もし休符が無い場合は $\Delta t = 0$ によりその時の区間コストは ∞ となる。

区間コストは2音間の弾きにくさを忠実に反映するものが理想的である。実際の弾きにくさは手の移動速度だけでなく、指の強弱や弾く鍵盤の種類(黒鍵/白鍵)によっても変化する。そこで図7(a)(b)に示した関数によって計算したコストに対し、同じ指による連続打鍵、親指による打鍵、親指による黒鍵打鍵の3動作について、各難易度に応じたコスト付加を行った。

同じ指による連続打鍵は特定の指に大きな負担を掛けるため、実際の演奏ではほとんど行われない。よってこの動作に対する付加コストは ∞ とした。また親指はその構造上、打鍵動作が緩慢になるため、使用頻度を抑えた方が弾き易くなる。そこで親指の使用時/非使用時のコストがほぼ同等である場合には親指の使用を抑えるように、親指の使用1回毎に0.1程度のコストを付加した。さらに親指で黒鍵を弾く場合は、手の前後方向の移動が必要となるため、腕に大きな負担が掛かる。そこで、この動作に対してはやや多めのコスト(1.5)を付

加し、親指による黒鍵打鍵の頻度を抑えている。これらの付加コストの各数値は、標準的な指使いに近くなるように実験的に求めたものである。

曲全体に対する指使いは、全ての指使いの組み合わせについて、各区間コスト $Cost_i$ を全区間に渡って累積した値をそれぞれ求めた後、この値を最小にする組み合わせとして選択される。従って一部でも $Cost_i = \infty$ となる区間があれば、その指使いを途中に含むものが選択されることはない。

一つの曲には数百~数千の音符が含まれるため、指使いの組み合わせの数は天文学的な数になる。しかしある音符の指使いに、それから十分に離れた音符が与える影響はほとんど無視できることから、ここではある一つの音符に対する指使いを、それに先行する数個(ここでは6音)の音符をもとに決定している。

4.3 手の位置の決定法

曲全体を通した手の移動経路は、指使いにより定まる手の存在領域の全てを通過する一本のラインとして定められる。図8に手の移動経路の例を点線で示す。

領域内を通るラインの取り方は無数に存在するが、求めるべきラインは手の動きを最小限に抑えたものでなければならない。このような手の移動経路を与えるラインは、全ての手存在領域内を最短距離で結んだ折れ線として求められる。

折れ線を移動経路とする手の動きはインパルスの加速度成分を持つため、人の手の動きとは明らかに異なったものになる。そこで本システムではこの折れ線の折点を制御点とする3次自然スプライン曲線を求め、これを手の最終的な移動経路とした。3次自然スプライン曲線は全区間で速度・加速度の連続性が保証されるため⁹⁾、ここで求めた手の動きは十分になめらかかつ自然なものとなる。図8の実線は本曲線による手の移動経路を示したものである。

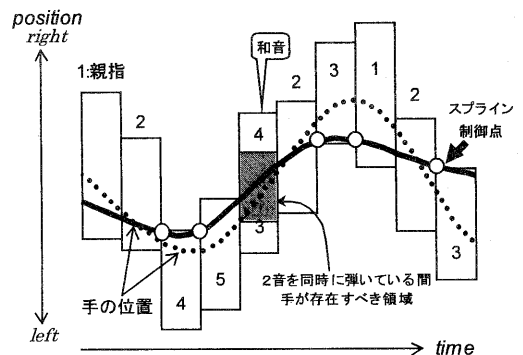


図8 手の移動経路算出法

なお和音が含まれる場合は、各打鍵指に対応する手の存在領域の重複部を、新たな手の存在領域と考えれば良い。(図8中央の「和音」部分を参照)

4.4 指開き角の決定法

打鍵指と手の位置が定まると、指先を打鍵鍵盤の中心線上に合わせるための指先端の横方向変位量が確定する。仮想空間内の指オブジェクトはパラメータを指開き角として受け取るため、以下に示す手法を用いて、この変位量を指開き角に変換する。

定常状態(弛緩状態:開き角=0)から打鍵完了までの指先の経路を図9の実線矢印(A→B→C)で示す。

図9における x, y, z 軸は各指の基準座標軸である。指付け根から指先へ向かう方向を y 軸、横方向(親指側から小指側)を x 軸、上下方向を z 軸としている。また指開き角変化後の y 軸を y' 軸として示す。

定常状態における指先(A位置)はまず横移動動作による z 軸回りの回転を行い、打点Cを含む打鍵動作面($y'-z$ 平面)上の一点Bに移動する。この時の回転角 θ が求めるべき指開き角である。その後、打鍵時刻において指先は指関節の屈曲によって打鍵動作面上を動き、目標鍵盤上の打点Cに到達する。従って、指座標系における打点Cの座標(x, y)が得られれば指開き角は $\theta = \arctan(x/y)$ として導出できる。

3節で示したように、打鍵動作中には指の第2, 第3関節角の大きさは変化しない。従って、指の付け根Oから指先端までの直線距離 L は一定値となる。この L の値は定常状態における第2, 第3関節角ならびに各関節長から算出できる。さらに打鍵動作と横移動動作は同時に行われなことから、打鍵時における指原点(付け根)Oもその時の手位置から求められる。

ワールド座標系における打鍵位置は、指付け根Oから距離 L の曲面と目標鍵盤の中心線との交点として求められる。この打点座標を手座標系を介して指座標系に変換することにより(x, y)が求まり、これから指開き角 θ を算出できる。

5. 結果と考察

5.1 演奏結果に対する評価

クラシックピアノ曲の中からショパンエチュード等、比較的有名な5曲を選び、これらの音符データを本システムに入力して自動演奏を行なった。各曲の音符数は両手パート合計で450~1850である。まずシミュレーションによる演奏結果について述べる。

これらのピアノ曲に対して、ほぼ楽譜通り(強弱は除く)の演奏結果が得られることを確認した。これは生成された手指の演奏動作に破綻が生じていないことを示している。本システムにおける演奏の正確さは次の3点

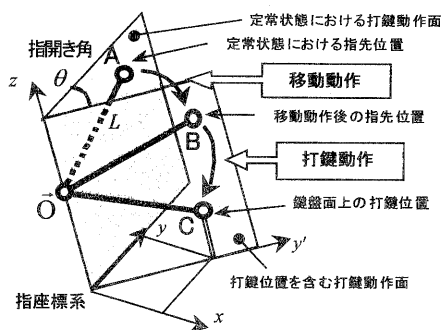


図9 指先位置の移動経路

に依存する。

- 手指形状の更新間隔(座標計算時間)
- 仮想空間上の指に設定した打鍵速度
- 定常(弛緩)状態での手指形状とその姿勢

更新間隔が長くなるに従って1フレームあたりの動作量が多くなるため、動作のなめらかさが失われる。これが30msを超えると打鍵タイミングの不揃いとして演奏結果に影響が現れてくる。従って更新間隔は短い程望ましいが、現実には計算機の処理能力に制限される。

打鍵動作の開始から鍵盤を打鍵するまでに要する時間は、打鍵前の指位置と鍵盤間の距離に比例し、指の動作速度に反比例する。従って指先端を鍵盤のすぐ上に待機させておき、指の速度を高く設定すれば、タイミング的に正確な演奏が得られることになる。

逆に、初心者が陥りやすい弾き方、すなわち指を伸ばし気味にし、指の動作を緩慢にして弾かせてみた場合、打鍵タイミングが不揃いになったり、音の欠落が生じるなど、演奏も初心者を思わせるものとなった。より高度なシミュレーションが可能になれば、演奏結果をもとに演奏動作のどこに問題があるかを指摘することも可能となると思われる。

5.2 指使いの評価

本節では4.2節に述べた指使い選択アルゴリズムの評価結果について述べる。ここでは指使いの評価用題材として、幻想即興曲/ショパンの右手冒頭部分(小節数5~7)を用いた。譜面を表1の上段(I)に示す。

このフレーズは、1.演奏速度が速く、2.黒鍵と白鍵の打鍵がほぼ同数行なわれ、3.急激な音程の上昇下降部分を持ち(6小節目)、4.複雑に細かく動く旋律が含まれる(7小節目)等、演奏困難な要素を多く含む。このため適切な指使いが特に要求されるが、これは生成した指使いの評価にはむしろ都合が良いと言える。

表1 打鍵指割当て結果 (親指:1, 人差し指:2, 中指:3, 薬指:4, 小指:5)

小節番号	5	6	7	一致度
I				
楽譜記載の指使い	●○● ○●○ ○●●● ○●○●	○●● ●○●● ○●○● ○●●●	○●○● ○●○● ○●○● ○●○●	基準
a) 手位置のみ考慮	123 2124 3232 1235	123 2123 5432 1242	1312 1213 2113 1243	59%
b) 親指黒鍵打鍵制限	232 1235 4343 1235	123 4123 5432 1352	1413 2413 5213 1243	85%

※1 基準指使い欄の○は白鍵, ●は黒鍵を示す ※2 白抜き数字は基準指使いと異なる指使い

最上段の数列は、楽譜に記載された標準的な指使いである。なお各音符に対する指番号は、その前後関係から明らかな場合、或いは複数の指使いが考えられる場合には通常記載されない。このような音符に対しては、経験者の意見を参考にして最も標準的に用いられると思われる指使いを定め、表中に記した。

指使いの自動割り当て結果を同表(a)(b)に示す。ここでは各指の打鍵可能範囲を、定常状態の中指位置を基準に、親指: $-4.5\delta \sim +1\delta$, 人差し指: $-2\delta \sim +0.5\delta$, 中指: $-1\delta \sim +1\delta$, 薬指: $0\delta \sim +2\delta$, 小指: $+1\delta \sim +3.5\delta$ として計算した。ここに δ は白鍵間隔(23.5mm)である。これらの値は演奏者の指の開き具合を参考にして定めた。

(a)の指使いは先に述べた指使い選択アルゴリズムを用いて算出したものである。ただし、親指打鍵、親指による黒鍵打鍵に対するコストはここには付加していない。その結果、(a)の指使いは楽譜記載の指使いとはかなり異なった結果(一致度 59%)となった。特にこの指使いでは親指による黒鍵打鍵が頻繁に生じているため、実際に弾くのが困難な、明らかに不適当と考えられるものであった。

(b)は黒鍵を親指で弾く場合に一定量のコストを加えることにより、その発生頻度を抑えたものである。この修正により、薬指の使用頻度が若干多目であることを除けば、楽譜記載の指使いにかなり近い指使い(一致度 85%)が得られている。

実際、経験者によれば(b)と譜面上の指使いを弾き比べても、弾き易さにはほとんど変わらないと言うことであった。すなわちここで求めた(b)の指使いは実用上(練習者に提示するものとして)特に問題はないと考えて良いと思われる。

5.3 手位置算出結果の評価

先の譜面に対する、手と指位置の算出結果を図10に示す。

4.3節で示した方法により、全ての手の存在可能範囲を通り、かつその変位量を最小化した曲線が手の移

動経路として得られている。

なお3次自然スプライン曲線は制御点の間隔が広い場合には点間をなめらかに接続するが、間隔が狭く、かつ変位が大きくなると、オーバーシュートを生じ手の動きを左右に波打たせてしまうことがある。特に曲が難しくなるほどこれが頻発する傾向があるため、緩衝成分を関数に加えるなどの対策が必要と考えている。

図10の左側に示した5本の折れ線は、指先を打点位置に合わせるために各指に要求される変位量を示している。指の位置は打鍵中(太線部分)しか特定できないため、非打鍵時の指位置は、打鍵の前後を直線で補間することにより決定している。しかしこの方法を用いると、指は常にゆっくり動いていることになり、人の指の動きとしてはやや不自然なものになる。打鍵時刻の手前から動作を開始するようになり、非打鍵時には弛緩状態に戻しておくような改善が必要と思われる。

以上の算出結果より生成した演奏動作を図11に示す。演奏範囲は、表1の譜面Iの6小節目、先頭音ラから7音目レ#である。ここに示す範囲では手の小指方向への移動、親指の指ぐり動作が行われている。

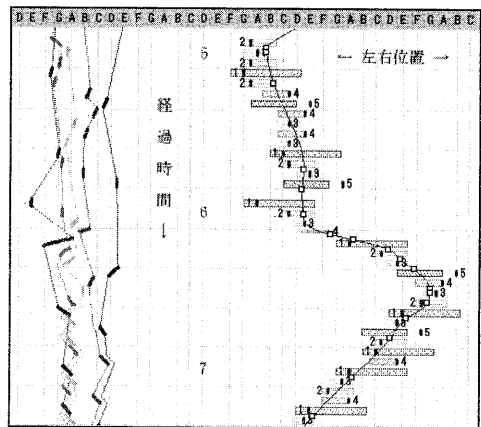


図10 指割り当てと手指の移動経路算出結果



図11 演奏動作生成結果

6. おわりに

指使い選択, 手位置, 指開き角の算出から構成される, 演奏動作生成アルゴリズムを考案した. これを用いて, 仮想空間における演奏シミュレーションを行った. 上級レベルのピアノ曲に対しても, ほぼ譜面通りの演奏結果が得られていることから, 本アルゴリズムの妥当性と実用性が検証できたと考えている. また手指の動作速度を加減することにより, 人の演奏に類似したタイミング変動を含む演奏結果が得られることを確認した.

しかしピアノ演奏における手指の動きは非常に複雑であり, 手首の回転や手の上下位置変化等, 今回考慮対象としなかったパラメータもいくつか存在する. これらについては順次対応を行い, 自然かつリアルな人の手の動きに更に近づけていきたいと考えている.

今後は, 生成される動作の信頼性を高め, 教育用ツールとしてのクオリティを持たせること, 曲中での手指動作特性の動的変化によるニュアンス表現の実現等を行っていく予定である.

謝辞

本研究の一部は文部省科学研究補助金奨励研究A(課題番号 09780329)によるものである

参考文献

1. 大塚, 袖山, 吉田, 村中, 今西: VRを用いたピアノ教育支援システムの構築 II, 信学会'95 全国大会講演論文集 A-266 (1995)
2. 関口, 英保: 3次元CGを利用した鍵盤楽器演奏シミュレーション, 信学会'97 全国大会講演論文集 A-15-32 (1997).
3. 関口, 英保: 計算機処理による理想的な鍵盤楽器演奏動作の生成と表示, 情報処理学会第 55 回全国

大会講演論文集 分冊 2 pp.6-7 (1997).

4. 楠元, 関口, 英保: 計算機処理による鍵盤楽器演奏動作の自動生成, 情報処理学会第 56 回全国大会講演論文集 分冊 2 pp.46-47 (1998).
5. 関口, 英保: 演奏シミュレーションを用いた計算機演奏におけるニュアンスの表現, 情報処理学会第 57 回全国大会講演論文集 分冊 2 pp.15-16 (1998).
6. JA.Sloboda, E.F. Clarke, R.Parncutt & M.Raekallio: Determinants of Finger Choice in Piano Sight-Reading, Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, Vol.24 No.1 pp.185-203 (1998).
7. R.Parncutt: Modeling piano performance: Physics and cognition of a virtual pianist, Proceedings ICMC97 pp.15-18 (1997).
8. R.Parncutt, J.A.Sloboda, E.F. Clarke, M.Raekallio & P.Desain: An Ergonomic Model of Keyboard Fingering for Melodic Fragments, Music Perception Vol.14 No.4 pp.341-382 (1997).
9. 太田昌孝, 他: アスキー・ラーニングシステム「応用グラフィックス」, アスキー出版局(1986).