

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

関口博之, 英保茂

京都大学工学部 応用システム科学教室

1 はじめに

楽器の演奏動作は、音程決定動作と発音動作に分けられる。音程決定動作とは、例えば管楽器の場合はバルブの開閉、弦楽器ならば弦を所定位置で押さえることに対応し、発音動作とは、息の吹き込み、弓の移動といった操作に対応する。いずれの場合も音程決定動作は発音動作に先立って行われる。鍵盤楽器では両者とも同一の指による動作となるが、注意深く観察すれば、ここでも発音動作（指関節角変化による打鍵）は音程決定動作（手指の横方向移動）の完了後に行われていることを確認できる。

鍵盤楽器に対する発音動作は他の楽器に比べ遥かに簡単である。しかし音程決定動作に関しては、打鍵範囲が広く、また指先の移動ポイントが多数存在することから、必ずしも容易とは言えない。特に左右に広大な打鍵領域をカバーするためには、手指の高速な動きが必要になるため、無駄のない効率的な動作が求められる。一部の楽譜には打鍵に使用する指番号が記されているが、実際の演奏における手指の動きは極めて複雑であり、指番号のみから理想的な動作を把握することは困難である。鍵盤楽器、とくにピアノの習得に長期間の練習が必要とされているのも、この理想的動作を経験的に体得せざるを得ない所にその一因があると思われる。

本研究の目的は鍵盤楽器演奏における手指の理想的な動作を計算機処理により算出することである。なおここでは理想的動作を、手指の速度、加速度を最小にする動かし方と定義している。算出した動作はCGによる3次元動画像として表示し、人の演奏動作と対比しながらその妥当性を検証する。

本システムは、運指の手本や譜面代わりとしての利用の他に、個人の運動パラメータを反映させた個性的な自動演奏の実現、人間の演奏法の解析等、様々な用途、応用分野が考えられる。

2 システムの構成

本システムの構成を図1に示す。右側のモジ

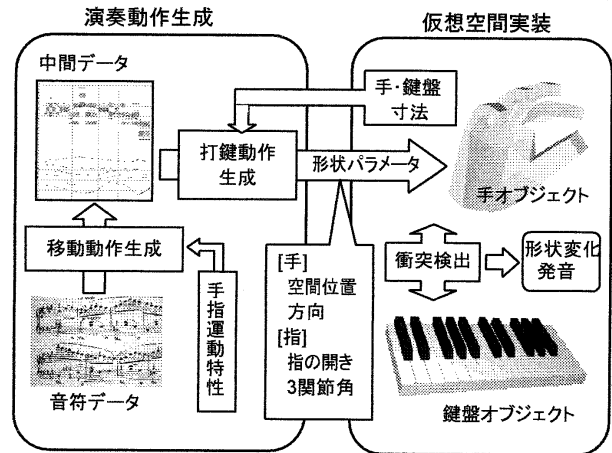


図1 シミュレーションシステムの構成

ュールにより手と鍵盤オブジェクトが仮想空間内に構築される。各オブジェクトの寸法、動作は実空間のそれに準じたものとなっており、例えば仮想空間内で指が鍵盤を叩けば、鍵盤は沈み込むと同時に、対応する音を発生する。

手指の位置と形状は、各指に関して4個、手に関して6個の合計26個のパラメータによって定められる。演奏動作を実現する、各瞬間毎の手指の位置・形状パラメータは、左側のモジュールによって音符データから計算される。

3 演奏動作のか算出

音符データは発音すべき音程とその時刻のみを与える。すなわち各瞬間における打鍵動作指先端の横方向位置が、ここから得られる情報の全てとなる。この横方向位置は、手の左右位置、打鍵に使用する指（以後、打鍵指と記す）、打鍵指の開き角の3つのパラメータによって定められる。以下、与えられた指先位置から上記パラメータを導出する方法について述べる。

3.1 パラメータの決定順序

打鍵指の割り当てが適切でない場合、演奏を行うこと自体が困難になるため、打鍵指の割り当ては一番最初に行っておく必要がある。手と指の計算順序に関しては、指の動きの方が手に比べ高速かつ容易であること、実際の演奏では手の動きは必要最小限に押さえられる傾向があること等を考慮し、より制約の大きい手の位置

Calculating and Displaying the Ideal Hand-Finger Movements in Playing the Piano
Hiroyuki Sekiguchi, Shigeru Eiho
Division of Applied Systems Science,
Kyoto University
Gokasho, Uji, 611, Japan

計算を先に行う。なお、指に関して唯一の制約条件となる指開き角の限界角度については、打鍵指の割り当て計算の中に織り込まれている。

3.2 打鍵指の決定方法

複数の鍵盤を続けて弾くためには打鍵指を適切に選択する必要がある。例えば右手で「ド」と「ミ」を続けて弾く場合、「中指→薬指」なら何の問題もないが、「薬指→中指」の選択は明らかに不適切である。適切な打鍵指の割り当て法を考えるために、ある鍵盤を指定した指で弾く際に、手の存在すべき範囲について考える。

今人差し指の開き角が図2の左右の図に示した範囲内で増減できるものとする。この時、人差し指で網掛部の鍵盤を弾くためには手の位置も両図の範囲内になければならない。打鍵位置と手の存在範囲との関係は他の指について同様に求められる。結果を図2中央の各矢印で示す。

ここで「ド」と「ミ」を中指→薬指で弾く場合を考える。図3は縦軸に手の位置、横軸に経過時刻を取ったもので、一本の横線は手の位置の時間変化（以後、手の軌跡と記す）を示す。先の結果から、中指で「ド」を弾いている間、手は領域A内に、薬指で「ミ」を弾いている間は領域B内に存在する必要がある。これを満たす手の軌跡が存在することから、この指使いにより2音を連続的に弾けることが導かれる。

一方、「ミ」を人差し指で弾く場合、手の存在範囲は領域Cとなる。この時、領域Aと領域Cは共有部分を持たず、両領域を連続して通るような手の軌跡は存在しない。すなわち、この指使いを採用した場合、2音を連続して弾くことが不可能であることが導かれる。

以上から打鍵指の割り当ての適/不適は、隣同士の領域の一部が接しているか否かによって判定できることがわかる。よって、打鍵指の割り当て問題は、互いの領域が接するように指の種類に応じた領域を選択・配置する問題に帰着できることになる。領域配置例を図4に示す。

3.3 手の左右位置の決定

各時刻における手の左右位置は上記各領域内を通る一本の線で示される。ただし折れ線では折点における動きが不自然になるので、ここでは特に加速度の連続性が保たれる3次自然スプライン曲線を手の軌跡として採用した。図4の実線のように各領域の中心寄りを通過するよう制御点を設けることにより、手の変位量が押えられ、動きはより滑らかなものとなる。

3.4 指の左右開き角の算出

指の横方向変位量は、鍵盤位置、打鍵指、手

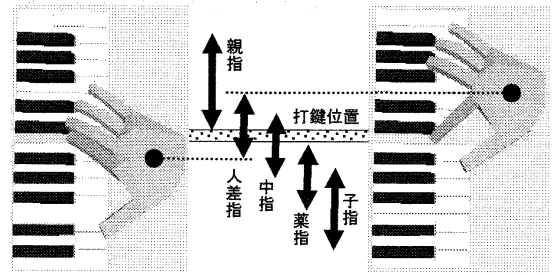
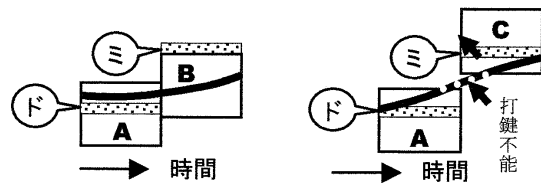


図2 打鍵指、打鍵位置と手の存在領域



(a) 中指→薬指 (b) 中指→人差し指

図3 連続鍵盤打鍵時の手の存在領域

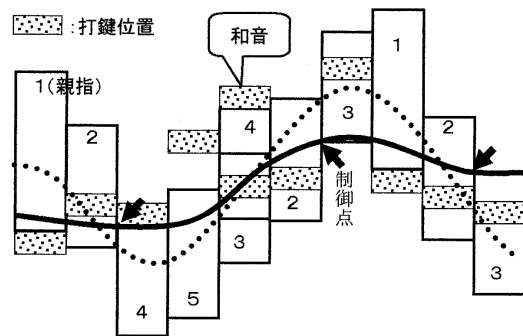


図4 領域の配置と手の左右位置決定

の位置から定まる。手オブジェクトに渡される指の開き角は、指の横方向変位量と指の有効長（指付け根から先端までの直線距離）から打鍵位置の空間座標を求め、さらにこれを指座標系に変換することにより得られる。

4 結果

以上述べたパラメータ算出法を用いて、演奏シミュレーションを行った。演奏自体はほぼ楽譜通り実行できているが、動きが滑らかすぎる、単調であるといった不自然さが若干見られた。

今後は物理的に理想的な動作と自然な動きとの差異を検討した上で、その両立を図っていきたいと考えている。また打鍵指の自動決定手法についても検討を進めていく。

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