

弦楽器の物理モデルを用いた新奇性のある楽音生成*

城所 帆昂[†], 伊藤 克亘[†]

1 仮想楽器

本研究では新奇性のある楽音を生成することを考えている。しかし、単純に新奇性のある楽音を生成するだけでは、その音が楽音としての適切かどうか分からないという問題がある。例えば、倍音成分が近い強さで二種類しか存在しないと、音高がわかりづらくなってしまう。また、音色が時間的に変化しないとブザーのような音ととらえられてしまいやすい。

今回は楽音としての条件を、音程が認識しやすいこと、和音として重ねた時に違和感のないもの、演奏に沿ってある程度音色を変更できることとする。これらを満たすために、実際の楽器の構造をもとに様々な制約から実現の難しい楽器を仮想楽器として表現する。仮想楽器に考えられるものとして、加工の難しい素材で弦や胴を作るものや、実際には身体的な制約から難しい奏法、機構などがあげられる。

2 モデルの設計

楽音の生成には表1の演奏情報を考慮できるようにする。弦の比重はパラメータの変更で弦の中で比重を変化させることができる。

入力された弦長、比重、目的の基本周波数から式(1)に従って弦の張力を決定する。これによって左手の位置を決めることができる。

$$T = 4L^2 f^2 \rho \quad (1)$$

表 1. 演奏情報

弦長	L[m]
シミュレーション時間	t[s]
基本周波数	f[Hz]
比重	ρ [kg/m]
発弦、擦弦点	L/n1
押弦の位置	L/n2
触弦の位置	L/n3
押弦の開始、終了時刻	t/N1
触弦の開始、終了時刻	t/N2

今回考えたモデルは、右手、左手、振動、共振の四つである。右手、左手で演奏方法や、演奏技法を再現することで演奏に合わせた音色変化を実現する。これらの出力を振動モデルへの入力とすることで、いろいろな条件での弦の振動を再現する。共振モデルでは楽器の胴の部分モデル化し、これを通して楽器らしい響きを得る(図1)。

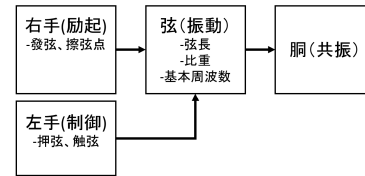


図 1. モデルの構成

2.1 振動のモデル化

弦のモデルにはばね質点モデルを用いる。これにより弦全体の動きを計算できるので、弦をはじく位置の指定や、弦の振動の出力を複数箇所の足し合わせにする作業などが容易に行える [1] [2]。

弦を複数の質点としたとき、各点の質量を m 、弦の張力を T 、左右の点と変位の差をそれぞれ x_1 、 x_2 とする。最右項は弦の伸びが大きい場合の振動の変化に対応し、 β の値を調整することで弦の特性を表現する [3]。

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} = -T(x_1 - x_2) - \beta(x_1 - x_2)^3 \quad (2)$$

次に、振動の減衰を考える。今回は空気などの粘性抵抗と弦自体の内部抵抗を考慮する。粘性抵抗は弦の振幅の減衰に作用し、内部抵抗は高域の倍音成分の減衰作用する。粘性抵抗は速度に比例する項で表現される。このときの係数を r_1 とする。内部抵抗は加速度に比例する項で表現される。このときの係数を r_2 とする。

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} = -T(x_1 - x_2) - \beta(x_1 - x_2)^3 - r_1 v - r_2 a \quad (3)$$

上の式に加えて境界条件を与えて、差分法で弦の振動の計算を行う。

2.2 両手のモデル化

右手モデルでは、弦楽器を演奏する際の右手の動きをモデル化している。具体的には弦をどのように振動させるかをあらわす。弦をピックや指などではじく発弦をモデル化している。発弦モデルでは弦がはじかれた瞬間の形を指定して振動モデルの初期条件とする。はじく場所や、はじく点の変形のしかたによって弦の振動の様子が変化する。はじく場所を複数にするなど実際の奏法では難しいような条件を指定することで仮想楽器の音色を生成することを考えている。

左手モデルでは、演奏の際の左手の動きをモデル化する。フレットの押さえ方や、押さえた後の動かし方などを再現することで、ハーモニクス、ビブラートなどの表現をする。

ハーモニクスは触弦をモデル化することで実現する。触っている点での振動を制限する項を運動方程式に追加する。弦に指が触れている数ステップ間の変位の計

* : Novel Timber Generation based on a Physical Model of String Instruments Hotaka Kidokoro (Hosei Univ.) et al.

[†] 法政大学 情報科学部

算をこの式で行い、弦からゆびが離れた時刻から通常の式に従い変位を計算する。

$$m \frac{d^2x}{dt^2} = -T(x_1 - x_2) - \beta(x_1 - x_2)^3 - vR \quad (4)$$

ビブラートは押弦をモデル化することで再現できる。押さえている点での振動をなくすことで実現する。

押弦、触弦の位置は弦長の整数分の一で決める。押弦、触弦のタイミングとそれぞれの離弦のタイミングはシミュレーション時間の整数分の一で決定する。触弦している時間を短くするとハーモニクス奏法となる。

今回のモデルでは物理モデルによる楽音の生成を行っているため、仮想の楽器でありながらその楽器の奏法による音色の変化を表現することが可能である。

2.3 共振のモデル化

共振のモデル化では音場シミュレーションを行う必要がある。しかし、想定する音場のすべての点での波動方程式を解く必要があり、計算量が膨大になってしまう。それに対して楽器の胴の共振での音色はそれほど大きく変動しないので、今回は楽器のインパルス応答を用意し、モデルで得られた振動に畳み込む。

3 仮想楽器の楽音生成

実際に仮想楽器の楽音を生成の例を紹介する。これらの楽音は差分法で生成した。弦のパラメータを変更して得られる仮想楽音の例として、だんだん太くなる弦のモデルで発弦音を生成した。この場合、高い周波数域でのピークの感覚が広くなり金属的な響きを持った音が鳴ることがわかった。

右手モデルを調整して得られる音として、三箇所を同時にはじくモデルで楽音生成をおこなった。この場合は基音と高い倍音成分が強く出て明るい音になることがわかった。

また、左手モデルを調整し、途中で動きを制限するものがある弦の発弦音を生成した。動きを制限する点で振動が大きく減衰するので、持続音の短い音となる。また、押さえる点によって制限されるモードが変化する。具体的に弦の $1/N$ の点を制限すると基音の N 倍の倍音成分が強く出ることがわかる。このときに制限が振動の途中でなくなるモデルをつくとギターのようなハーモニクスのように純音に近い音を得ることができる。

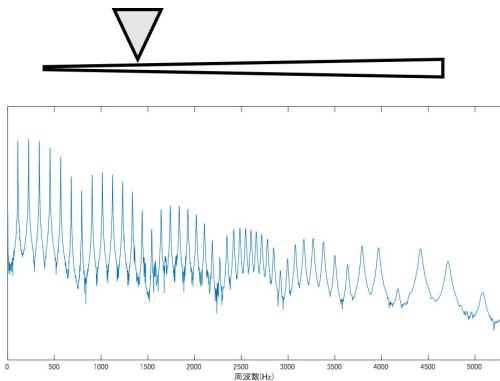


図 2. 太くなる弦の発弦時の振動のスペクトル

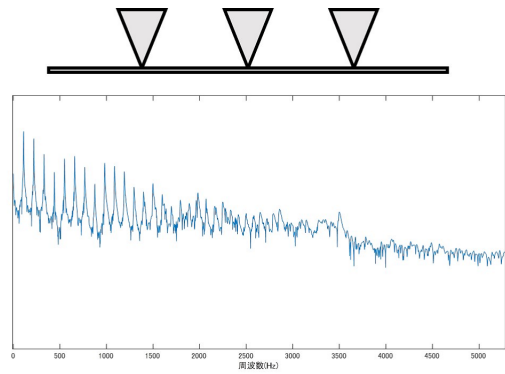


図 3. 三点ではじいた弦の振動のスペクトル

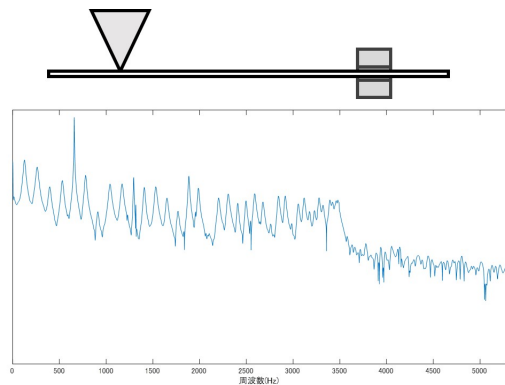


図 4. 動きを制限した弦のスペクトル

4 まとめ

本研究ではバネ質点モデルをもとに、新奇性のある楽音の生成を行った。楽器の構造に基づいたモデルを作成した。モデルのパラメータを調整することで、10種類の仮想楽音を生成した。非線形バネの伸びを考慮したモデルで振幅が大きい際の弦の振動を再現した。

今後、生成した楽音の新奇性や、楽音として適切かどうかの評価を行っていく必要がある。新奇性については、SD法を用いて20人程度にアンケートを行う。結果を多次元尺度構成法で解析し、実際の楽音と生成音の距離を測ることで新奇性を評価する。楽音として妥当であるかの評価はスペクトルの形からピークの数や感覚を見ることで判断することを考える [4]。

参考文献

- [1] 森, 他, “小特集「物理モデルによる楽器音の合成」にあたって,” 音響誌, vol.65, no.9, pp.477-478, Sept. 2009
- [2] 中嶋, 他, 擦弦の過渡状態に関する数値シミュレーション, 音響学音楽音響研究資, 2011, pp.7-12
- [3] G. V. Anand, “Large-amplitude damped free vibration of a stretched string”, J. Acoust. Soc. Amer., vol. 45, no. 5, pp. 1089-1096, 1969.
- [4] 難波, 他, 音の評価のための心理学的測定法, コロナ社, 東京, 1998