

擦弦時の奏法行動を考慮した意図表現の合成手法: VIOCODER

小泉 悠馬^{1,a)} 伊藤 克亘²

概要: 擦弦振動を、グローバルな擦弦振動と奏法による振動の変化に分離し分析合成を行う、奏法行動を考慮した音色による意図表現の合成手法を提案する。実測された演奏音のスペクトルから、楽器の共鳴特性と、グローバルな擦弦振動のスペクトル成分を取り除くことにより、奏法行動による表現意図のスペクトル包絡の特徴を推定する。グローバルな擦弦振動のスペクトル包絡に、奏法行動による表現意図のスペクトル包絡を掛け合わせるにより、奏法行動に基づいたスペクトル包絡を生成する。生成されたスペクトル包絡を用いて合成することにより、奏法行動に基づいた擦弦振動が生成される。評価実験では、推定される奏法行動の特徴に奏者の音楽的な表現意図が含まれるかどうかを擦弦楽器経験のある被験者 21 人が主観評価し、提案手法の有効性を評価した。

キーワード: 擦弦楽器, 楽音合成, 演奏表現, ヘルムホルツ振動, VOCODER

A Synthesis Method of Performance Expression for Bowed-String Instruments Based on Bowing Action: VIOCODER

YUMA KOIZUMI^{1,a)} KATUNOBU ITOU²

Abstract: This paper presents a performance expression analysis-synthesis method for bowed-string instruments. Bowed-string motion is separate into basic string motion and changes in string motion related to bowing models. The bowing models, that are musical expression intention models, are extracted by decomposing the actual performance spectra using the basic string motion spectra and resonance property of the instrument. Spectrum envelopes of basic string motion is multiplied by musical expression intention model spectrum envelopes, thus generating spectrum envelopes based on bowing action. String motion waveform based on bowing action is synthesized with the generated spectrum envelopes. To evaluate the synthesized sound quality and performance expression, 21 musicians evaluated the actual sound, proposed method sound, and basic string motion sound.

Keywords: Bowed-string instruments, Sound synthesis, Performance expression, Helmholtz motion, VOCODER

1. はじめに

コンピュータによる楽音合成は古くから研究されてきた

¹ 法政大学 大学院 情報科学研究科
Graduate School of Computer and Information Sciences, Hosei University

² 法政大学 情報科学部
Faculty of Computer and Information Sciences, Hosei University

a) 12t0005@hosei.ac.jp

テーマであり、近年では計算能力、データ通信速度の発達に伴い、高品質な合成法が開発されつつある。しかし、未だコンピュータによる楽音合成は、人間の行うような演奏表現の実現には至っておらず、その実現のために、今も盛んに研究がおこなわれている [1-4]。

楽器の奏者は、その曲想や個性を活かすために、楽譜情報を元に楽音をイメージし、それを奏法に変換する。特に意図表現は、発想記号 (e.g., dolce: やわらかく, feroce:

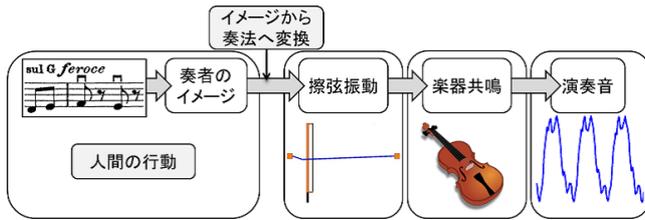


図 1 擦弦楽器の音の生成過程

Fig. 1 The process of sound generation for bowed-string instruments.

荒々しく)と呼ばれる, 楽曲演奏上の表現方法を指示する譜面上の記号を元にイメージされ, 演奏される. そのため, 表現力豊かな楽音合成には発想記号に対応した楽音合成手法が必要と考えられる.

擦弦楽器奏者は, 意図表現のために, 弦を抑える左手でピブラートをかけ, 弦を擦る右手で様々な奏法を駆使し音色を変化させる. 奏法により弦が振動し, その弦の振動が駒を通して楽器本体で共鳴することにより楽音が生成される [5] (図 1). つまり奏者は, 作曲家により指定される具体的な楽譜情報 (楽器の基本的な音色, 音符列情報など) と, 奏者のイメージを元にした奏法によって生成される抽象的な表現情報 (発想記号に起因する音色の変化, ピブラートなど) を, 楽音メディアに乗せ伝達していると考えられる. また聴衆は, 伝達された楽音メディアの楽譜情報から自身のイメージを生成し, 表現情報と自分のイメージを照合することで, 奏者の意図表現を推測していると考えられる.

本研究の目的は, 奏法のように直観的かつ柔軟に制御でき, またユーザーが扱いやすいパラメータを用いた, 意図表現の合成手法を開発することである. 楽音合成においても, 奏法により生成される表現情報を制御し合成することにより, 意図表現の合成が実現出来ると考えられる. 奏法では弦の振動が制御されるため, 擦弦振動の制御をする合成手法を用いることにより音色の変化は合成できると考えられる. 我々は, 奏法によって生成された擦弦振動を, グローバルな擦弦振動が, 奏法によって変化を起こしたものととらえ, 奏法による音色の変化を自己回帰モデルとして記述する手法を提案してきた [6]. しかしこれまでは, 奏法モデルに対する十分な評価が行われておらず, また, 伝達関数が持続区間において時不変であり, 区間内での音色の変化を記述することが出来なかった.

本稿では, 奏法の時間変化を考慮するために, 奏法に関するモデルを用いた合成手法 “VIOCORDER” を提案する. 実測の演奏音から, 奏法行動に起因する意図表現のための音色変化のスペクトル包絡を推定する. モデル評価のために, いくつかの発想記号に対して分析合成音を生成し, 提案手法の有効性を主観評価によって評価する.

2. 擦弦楽器の楽音合成

擦弦楽器の楽音合成の代表的な手法として, 素片接続方式 (e.g., *Vienna Symphonic Library**¹) や物理モデル合成 [7, 8] が挙げられる. 前者は, 事前に用意した楽音コーパスから, 合成したい音色に近いコーパスを取り出し意図表現を実現する. 後者は, 力学的センサを取り付けた楽器を用いて演奏することで, 奏法情報を数値的に取得し, 擦弦振動の物理モデルから楽音を合成し, 意図表現を実現する. しかし, 前者はコーパス内に含まれる意図表現の手法の周辺でしか合成できず, 楽音製作者の意図表現を忠実に合成することは難しい. また後者は, 柔軟な合成は可能であるが, 擦弦楽器演奏の熟練度が低いユーザーにとって, 意図表現を忠実に合成することは難しい.

表現情報を考慮した合成方式に, RPM (Reconstructive Phrase Modeling) がある [9]. RPM では, 意図表現は, 音声合成における “調音結合” のように, 発音ノイズや音の移り変わり, またリズムに現れるという仮定に基づく. 素片合成方式のように楽音全体を素片として保持するのではなく, 発音ノイズや擦弦ノイズなどを素片として保持し, それらを持続擦弦振動音と組み合わせて用いることにより, 意図表現による奏法の特徴を合成する. しかし, 持続擦弦振動音の音色意図表現に関しては深く議論されていない.

持続擦弦振動音の音色は明確な音高を持つので, 奏法による音色の変化は調波構造の変化と捉えることが出来る. 奏法行動による調波構造の変化を, 擦弦楽器の楽音生成過程から推定するために, 擦弦楽器特有の弦の振動と, 楽器の共鳴について考える.

2.1 擦弦振動

擦弦中の基本的な弦の運動は, Helmholtz により, 駒と枕により固定される弦が描く放物線上をなぞる三角波として知られている [10]. この運動は stick and slip 現象によるものであり, 弓に弾かれた弦が臨界点まで引っ張られ, 臨界点に到達すると滑り, また摩擦により弓に引っ張られるという現象が繰り返されたものである. この運動はヘルムホルツ振動と呼ばれている. ヘルムホルツ振動の変位の式は

$$h(t) = \sum_{n=1}^N \phi_n(\beta) \frac{(-1)^{(n+1)}}{n^2} \sin(\omega_n t) \quad (1)$$

のように記述される. ただし, x は擦弦位置と弦長の比率, $\phi_n(x) = \sin(n\pi x)$, N は振動モードである. しかし, 実際に観測される弦の振動には, 奏法による振動の変化 [11] や, 強制振動成分などによる不規則振動 [12] が含まれおり, ヘルムホルツ振動ではない.

意図表現のために奏者は, 擦弦時の弓の位置, 圧力, 速

*1 <http://vsl.co.at>

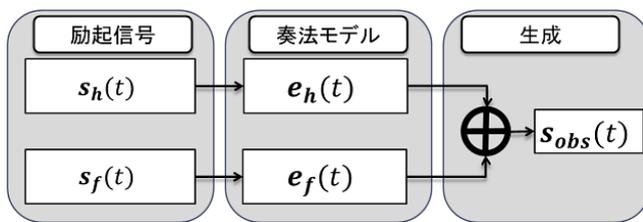


図 2 擦弦振動生成モデル

Fig. 2 Bowed-string motion generating model.

度の擦弦情報をコントロールし弦の振動を作り出す。これらのパラメータが変化した場合の波形の変化にはいくつかの知見が存在する [7]。しかし、意図表現などの、細やかな音色を再現するためには、擦弦運動の非線形性やカオス理論 [13] を考慮する必要があり、未解決の部分も存在する。

そこで本研究では、観測される擦弦振動を

$$s_{obs}(t) = \sum_N e_h(n, t) s_h(n, t) \sin(\omega_n t) + \sum_I e_f(i, t) s_f(i, t) \sin(\omega_i t) \quad (2)$$

とする。ただし、 I は周波数、 $s_h(n, t)$ はヘルムホルツ振動における n 番目のモードの振幅、 $s_f(i, t)$ は非調波成分における強制振動成分の振幅、 $e_h(n, t)$ は奏法によるヘルムホルツ振動の変化、 $e_f(i, t)$ は奏法による非調波成分の変化とする。つまり、観測される擦弦振動 $s_{obs}(t)$ を、ヘルムホルツ振動が奏法によって変化したものと、強制振動成分が奏法によって変化したものとの重ね合わせとして考える (図 2)。

本研究では、意図表現のための音色制御可能な合成のために、奏法による擦弦振動の変化 $e_h(n, t)$ 、 $e_f(i, t)$ を制御した合成手法を考える。

2.2 楽器の共鳴

擦弦楽器音は、擦弦振動が駒を通して楽器へ伝達され、楽器内で共鳴し、音色変化することによって生成される。このことから、楽器を伝達系とみなすことができる。

楽器の共鳴による擦弦振動の変化は、楽器を線形時不変系と仮定され、インパルス応答により計測される [14, 15]。測定されたインパルス応答をディジタルフィルタとして用い、生成された擦弦振動に畳み込むことにより、擦弦楽器の楽音を合成する。

2.3 意図表現のための奏法モデル

意図表現が制御可能な楽音合成のために、基本的な弦の振動と、意図表現に関する音色の変化の項を分離して考え、制御する必要がある。しかし、楽音の波形の変化は非常に高速であり、時間領域では制御が難しい。擦弦運動の変化をスペクトルの変化でとらえると、包絡成分は区分的に変化する。

擦弦振動について定義した、式 (2) の $s_{obs}(t)$ のスペクトログラム $S_{obs}(\omega, k)$ は、

$$S_{obs}(\omega, k) = E_h(\omega, k) S_h(\omega_n, k) + E_f(\omega, k) S_f(\omega_i, k) \quad (3)$$

となる。ただし、 ω は周波数、 k は時刻に対応するインデックスとする。これは、入力された基本的な擦弦振動のスペクトル $S_h(\omega_n, k)$ 、 $S_f(\omega_i, k)$ が、時変の奏法モデル $E_h(\omega, k)$ 、 $E_f(\omega, k)$ によってスペクトル制御され、出力されたものとみなすことができる。

つまり、楽音から $E_h(\omega, k)$ 、 $E_f(\omega, k)$ の推定を行うことにより、奏法モデルの構築が可能である。また、複数の楽音から推定した奏法モデルを線形結合させることで、柔軟な合成を行う。

3. 奏法モデルを用いた楽音の分析合成

奏法モデルの妥当性を検討するために、実測演奏音データの音色を、基本的な擦弦振動 (擦弦楽器の基本的な音色) と、表現情報 (意図表現に基づく奏法による音色の変化) に分離し、分析合成を行う手法について議論する。

音声の分析合成方式に VOCODER がある。VOCODER は、「声帯の振動によって生成される音源および無声音源が、声道によって共鳴することによって生成される」という音声の発声機構をモデル化したものである。音源を声道駆動音源信号である周期パルスと無声音源の雑音源に、声道を時変な音声合成フィルタに置き換えることにより、音声を合成する。つまり VOCODER では、入力音声を、ソースとフィルタ構造の独立なパラメータに分離して制御できる。その高い加工の自由度が注目され、高品質な音声合成に向けてさかんに研究がおこなわれている [16]。

しかし、擦弦楽器の駆動音源は擦弦振動であり、周期パルスではない。そのため、擦弦楽器音の分析合成は VOCODER と同じ枠組みでは行うことが出来ない。そこで、式 (3) に基づき、駆動音源信号をヘルムホルツ振動とし、分析合成を行う。

3.1 奏法による擦弦振動の変化の推定

実際に観測される擦弦楽器の演奏音 $y_{obs}(t)$ は、楽器の共鳴特性がかかっている。そのため、スペクトログラム $Y_{obs}(\omega, k)$ は、

$$Y_{obs}(\omega, k) = S_{obs}(\omega, k) I(\omega) \quad (4)$$

となる。

STFT によって観測されるスペクトルは、波形の切り出しの際に用いる窓関数と、切り出し位置の影響を受ける。TANDEM 窓によるスペクトル推定 [17] では、基本周波数の 2 倍の長さの窓関数を二つ用いる。二つの窓を分析対象時刻から $1/4$ 周期ずつ前後にずらして求めたパワースペク

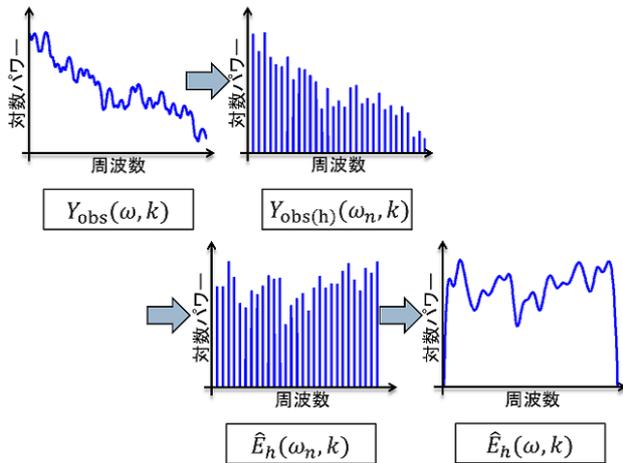


図 3 調波成分における振動の変化のスペクトル包絡の推定手順
Fig. 3 A procedure for estimating the changes in spectral envelope due to the bowing.

トルの和を求めることで、時間変動および窓関数の影響を極めて小さくすることが出来る。本稿では、TANDEM 窓を用いて求められたパワースペクトルより、 $Y_{\text{obs}}(\omega, k)$ を推定する。

3.1.1 調波成分における奏法による振動の変化の推定

式 (4) より、観測信号の調波成分のスペクトrogram は、

$$Y_{\text{obs}}(\omega_n, k) = E_h(\omega_n, k)S_h(\omega_n, k)I(\omega) \quad (5)$$

となる。 $Y_{\text{obs}}(\omega_n, k)$ は、 $Y_{\text{obs}}(\omega, k)$ から、調波成分のみをサンプリングしたものである。

$Y_{\text{obs}}(\omega_n, k)$ から楽器の共鳴取り除くことにより、擦弦振動の調波成分 $E_h(\omega_n, k)S_h(\omega_n, k)$ が求められる。 $E_h(\omega_n, k)$ は、奏法による音色の変化の項であるため、 $E_h(\omega_n, k)S_h(\omega_n, k)$ のパワーを変化させないものとする。また、 $S_h(\omega_n, k)$ の倍音のパワー比は、 β を固定した式 (1) より求められるため、

$$\sum_N |E_h[n, k]S_h[n, k]|^2 = \sum_N |S_h[n, k]|^2 \quad (6)$$

から、 $S_h(\omega_n, k)$ が求まる。よって、調波成分における奏法による振動の変化の項 $\hat{E}_h(\omega_n, k)$ は、

$$\hat{E}_h(\omega_n, k) = \frac{Y_{\text{obs}}(\omega_n, k)}{S_h(\omega_n, k)I(\omega)} \quad (7)$$

と求めることが出来る。ここで求められた $\hat{E}_h(\omega_n, k)$ は、調波成分における奏法による振動の変化のスペクトル包絡 $E_h(\omega, k)$ から、調波成分の値のみをサンプリングしたものとみなすことが出来る。そこで $\hat{E}_h(\omega_n, k)$ に対して 3 次スプライン補間を行うことにより、 $\hat{E}_h(\omega, k)$ を推定する (図 3)。

弦から弓を離れた音の減衰区間において、弦の振動は擦弦運動 (ヘルムホルツ運動) ではなく、撥弦運動と似た運動となる。今後、減衰区間における $S_h(\omega_n, k)$ および $E_h(\omega, k)$ の推定法について検討する必要がある。

3.1.2 非調波成分における奏法による振動の変化の推定

式 (4) より、観測信号の非調波成分のスペクトrogram は、観測スペクトrogram $Y_{\text{obs}}(\omega, k)$ から、推定された調波成分スペクトrogram $\hat{E}_h(\omega, k)S_h(\omega_n, k)I(\omega)$ を減算したもとなる。しかし、推定された $\hat{E}_h(\omega, k)S_h(\omega_n, k)I(\omega)$ は、調波成分にのみ値を持つパルス列であるため、窓関数による非調波成分への洩れを持っていない。そこで、波形切り出しに用いた窓関数 $w(t)$ のスペクトル $W(\omega)$ を調波成分スペクトrogram に畳み込むことにより、非調波成分への洩れを持った調波スペクトrogram を推定する。非調波成分スペクトrogram は

$$E_f(\omega, k)S_f(\omega, k)I(\omega) = Y_{\text{obs}}(\omega, k) - \{\hat{E}_h(\omega, k)S_h(\omega_n, k)I(\omega) * W(\omega)\} \quad (8)$$

と計算することが出来る。

物理モデルにおいて、擦弦振動時に発生するノイズは、stick and slip 現象における、stick 運動から slip 運動への移り変わりの際に発生する白色雑音として扱われている [8]。白色雑音は、すべての周波数において同じ強度のパワーを持つ。また TANDEM 窓はピッチ同期窓であるため、 $S_f(\omega_i, k)$ は無視することが出来る。よって、非調波成分における奏法による振動の変化の項 $\hat{E}_f(\omega, k)$ は、

$$\hat{E}_f(\omega, k) = \frac{E_f(\omega, k)S_f(\omega, k)I(\omega)}{I(\omega)} \quad (9)$$

と求められる。

しかし、発音時に起こる強制振動によるノイズは、ヘルムホルツ運動によるノイズと同様に考えることが出来ない。今後、発音区間における $E_f(\omega, k)$ の推定法について、深く検討する必要がある。

3.2 擦弦時の奏法行動を考慮した音楽表現の合成

推定された $\hat{E}_h(\omega, k)$ および $\hat{E}_f(\omega, k)$ を用いて、VOCODER 方式に基づき楽音の合成を行う。

Step1: 擦弦励起信号の生成

図 2 における、調波成分の駆動音源 $s_h(t)$ および、非調波成分の駆動音源 $s_f(t)$ を作成する。

$s_h(t)$ は $\beta = 1/31$ に固定したヘルムホルツ振動とする。ヘルムホルツ振動は、 $1/\beta$ のモードの振動を持たない。そのため、擦弦振動において倍音のパワーが十分に小さくなる第 30 倍音までの要素を持つように、予備実験により β の値を決定した。振幅は、 $S_h(\omega_n, k)$ のパワーから推定する。 F_0 軌跡は、観測音声から推定された F_0 軌跡を元に周波数変調を行う。

$s_f(t)$ は $s_h(t)$ の slip 現象時と同期して現れる白色雑音とする。stick 現象時にも微小な雑音成分が表れるため、信号全体に、slip 現象時の $1/10$ の振幅を持つ白色雑音を付加する。振幅は、 $Y_{\text{obs}}(\omega_n, k)$ のパワーから $S_h(\omega_n, k)$ のパワーを減算したもことから推定する。

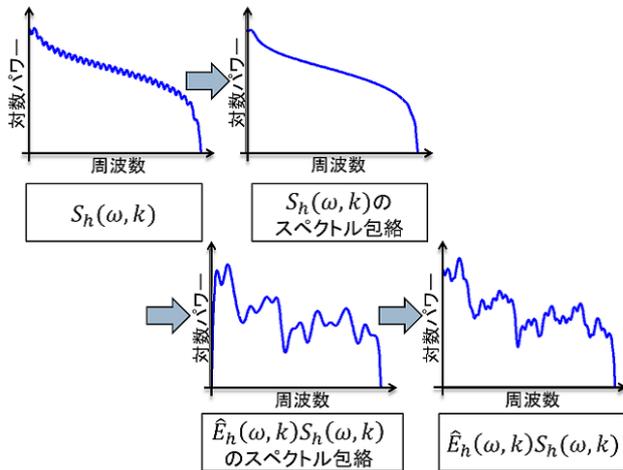


図 4 調波成分における振動の変化の合成手順

Fig. 4 Synthesis process of the changes in harmonic structure.

Step2: $\hat{E}_h(\omega, k)$, $\hat{E}_f(\omega, k)$ を用いた擦弦振動生成

擦弦駆動音源 $s_h(t)$, $s_f(t)$ のスペクトル包絡に対し, $\hat{E}_h(\omega, k)$, $\hat{E}_f(\omega, k)$ を掛け合わせ, 再合成を行う.

擦弦駆動音源のスペクトル包絡に対し, $\hat{E}_h(\omega, k)$, $\hat{E}_f(\omega, k)$ を掛け合わせるにより, 奏法による擦弦振動の変化の特徴を持ったスペクトル包絡が作成される. 作成されたスペクトル包絡を用いて VOCODER 合成をすることにより, 奏法による音色表現の特徴を持つ擦弦振動 $\hat{e}_h s_h(t)$, $\hat{e}_f s_f(t)$ が作成される (図 4).

Step3: 楽器の共鳴特性の畳み込み

$\hat{e}_h s_h(t)$, $\hat{e}_f s_f(t)$ を重畳することにより, 擦弦振動 $\hat{e}s(t)$ を作成する. 奏法行動による音楽表現が付与された擦弦振動 $\hat{e}s(t)$ に対し, 楽器の共鳴特性を畳み込むことにより, 楽音を生成する.

4. 評価実験

本稿では合成に, VOCODER に基づく高品質音声分析変換合成方式 “TANDEM-STRAIGHT[18]” を用いた. TANDEM-STRAIGHT により推定される擦弦励起信号のスペクトル包絡に対し, 意図表現のための音色変化のスペクトル包絡を掛け合わせるにより, 奏法による擦弦振動の変化の特徴を持ったスペクトル包絡を作成した. 楽器の共鳴特性の測定には, 直接駆動型スピーカーである「ピタッとスピーカー*2」を測定に用いた [6]. このスピーカーは吸盤により貼り付けられたものに振動を与え, そこから音を放射するものである. また, インパルス応答の S/N 比を改善するために, TSP (Time Stretched Pulse) 信号を計測に用いた [19]. 直接駆動型スピーカーを楽器の駒部分に取り付け TSP 信号を流すことにより, 駒に TSP 信号の振動を伝える. 駒の振動は楽器の胴体へと伝わり, 本体で共鳴した TSP 応答が出力される. バイオリンの個体に

*2 <http://www.devicenet.co.jp/pita/>

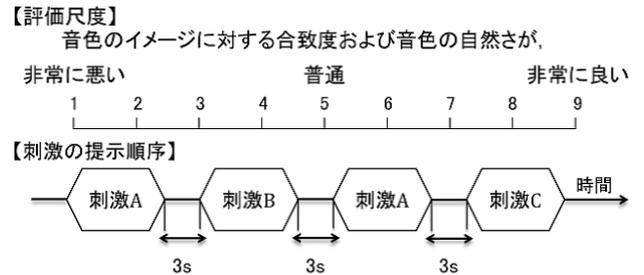


図 5 評価尺度と刺激の提示順序

Fig. 5 Evaluation scale and presentation order of stimulus.

よっては, 接着型スピーカーが駒より大きいものもあるため, バイオリンはあご当ての部分にスピーカーを接着し測定した.

提案手法の有効性を, 実測の演奏音: 刺激 A ($y_{obs}(t)$), 提案手法の合成において Step2 を行わなかった奏法行動が考慮されていない分析合成音: 刺激 B ($si(t)$), 提案手法で合成された分析合成音: 刺激 C ($\hat{e}si(t)$) の 3 種類の音声を用いて, 主観的な聴衆実験に基づいて評価する. 被験者は, 擦弦楽器を 3 年以上経験している, 正常な聴覚機能をもつ大学生 21 名を対象とした. 実験では, 5 種類の発想記号 (marcato: はっきりと, leggiero: 軽やかに, feroce: 荒々しく, dolce: やわらかく, appassionato: 熱情的に) をバイオリンで演奏した単音 (E 線の G 音: 787Hz) を用いた. 被験者は, 発想記号のイメージに対する音の合致度および音色の自然さを 9 段階で評価する. 刺激は, 刺激 A, 刺激 B, 刺激 A, 刺激 C の順序で提示し, 各刺激の間には 3sec の間が開けられる (図 5).

表 1 に刺激 A, 刺激 B, 刺激 C の平均値, 表 2 に, 刺激 A と刺激 B および刺激 A と刺激 C の差分の平均値を示す.

ウィルコクソンの符号付順位和検定において, 全ての発想記号で刺激 B と刺激 C の間に有意差が認められた (feroce, dolce, appassionato: 両側, $\alpha = 0.01$) (marcato, leggiero: 両側, $\alpha = 0.05$). この結果から, 提案手法により, 奏法行動による擦弦運動の変化の特徴が推定されていると考えることができる.

また同様に刺激 A と刺激 C の間にも, “dolce” 以外の発想記号において有意差が認められた. 表 2 において特に大きな差が見られる, “marcato” と “leggiero” において, 多くの被験者が, 発音時の雑音がしっかりとしていないと答えた. これは本稿において, 強制振動によるノイズを考慮していないためと考えられる. また同様に多くの被験者が, 全ての発想記号において, 音の減衰に不自然さを感じると答えた. これは, 減衰区間においても, 擦弦振動であるヘルムホルツ運動を仮定して合成を行っているためであると考えられる. 今後, 以上の点を考慮して合成手法を改善することにより, より自然な合成音を得ることができると考えられる.

表 1 刺激 A, 刺激 B, 刺激 C の平均値

Table 1 Mean of stimulus-A, stimulus-B and stimulus-C

発想記号	刺激 A	刺激 B	刺激 C
marcato	8.6	3.4	5.8
leggiero	8.3	3.1	5.7
feroce	8.4	3.0	6.0
dolce	8.3	3.0	7.0
appassionato	8.3	3.4	6.4

表 2 刺激 A と刺激 B および刺激 A と刺激 C の差分の平均値

Table 2 Mean of the difference between stimulus-A and stimulus-B, and stimulus-A and stimulus-C.

発想記号	刺激 A - 刺激 B	刺激 A - 刺激 C
marcato	5.1	2.8
leggiero	5.1	2.6
feroce	5.4	2.4
dolce	5.4	1.4
appassionato	4.9	2.0

また、今回の評価は単音のみで行った。今後は、フレーズなどを使用して評価を行う必要がある。

5. おわりに

本稿では、擦弦楽器の奏法行動を考慮した音楽表現の合成手法“VIOCODER”を提案した。演奏音声から奏法に関するスペクトル包絡の特徴を推定し、それらをグローバルな擦弦振動のスペクトル包絡へと掛け合わせ合成することにより、奏法行動の特徴を反映した擦弦振動を生成した。生成された擦弦振動に楽器の共鳴特性を掛け合わせることで、分析合成音を生成した。

主観評価において、提案手法と奏法を考慮しない分析合成音との間に、すべての発想記号において有意差が認められた。発音時の雑音の少ない“dolce”においては、実演奏音と提案手法との間に有意差は認められなかった。これらの点から、提案手法は、持続擦弦振動区間において、奏法による音色の変化を合成可能な手法であると考えられる。

今後は、発音時および、減衰時の弦の振動について考え、奏法による擦弦振動の変化を推定することにより、より自然な楽音合成が可能になると考えられる。

また、本研究の目標である、自由に音色表現が操作可能な楽音合成手法の実現のために、奏法による擦弦運動変化のスペクトル包絡を、左手の奏法と右手の奏法の影響に分離するなどをして、柔軟な操作手法を検討していく必要がある。

参考文献

[1] Maestre,E, et.al., “Statistical Modeling of Bowing Control applied to Violin Sound Synthesis”, IEEE Transactions on Audio, Speech, and Language Processing, Volume 18 Issue 4, 2010.

[2] R.B.Dannenberg, et.al., “Combining Instrument and Performance Models for High-Quality Music Synthesis” J. New Music Research, vol.27, No.3, pp. 211-238, 1998.

[3] Xavier Serra, “Musical Sound Modeling with Sinusoids plus Noise” Leman.M, Berg.P,(eds.) Musical Signal Processing, Swets & Zeitlinger Publishers, 1997.

[4] Friedrich Turckheim, ,et.al., “A Semi-Virtual Violin For Investigations Into Sound Quality And Musician-Instrument Interaction” in Proc. Int. Computer Music Conf. (ICMC-10), New York, USA, 2010.

[5] McIntyre.M.E, et.al., “The acoustics of stringed musical instruments,” Interdisciplinary Science Reviews, vol.3, no.2, pp.157-173, 1978.

[6] Koizumi.Y, et.al., “Performance Expression Synthesis for Bowed-String Instruments Using Expression Mark Functions’ Acoustics 2012, May, 2012.

[7] Diana Young, et.al., “Playability evaluation of a virtual bowed string instrument” In: Proceedings of the Conference on New Instruments for Musical Expression, NIME, 2003.

[8] M. Demoucron, “On the control of virtual violins: Physical modelling and control of bowed string instruments,” PhD thesis, Universite Pierre et Marie Curie (UPMC), Paris & Royal Institute of Technology (KTH), Stockholm, 2008.

[9] E. Lindemann, “Music synthesis with reconstructive phrase modeling,” IEEE Signal Process. Mag., vol.24, no.2, pp.80-91, 2007.

[10] 近藤 正夫, “バイオリンの発音機構” 日本音響学会誌 49(3), 184-192, 1993.

[11] 村上 智之, “擦弦振動の平均法による解析” 日本機械学会論文集. C 編 62(598), 2102-2109, 1996.

[12] M.E.Mcintyre, et.al., “Aperiodicity in bowed-string motion” Acustica 49, pp. 13-32, 1981.

[13] K. Popp, et.al., “Stick-Slip Vibrations and Chaos” Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science pp.1381-1387, 2008.

[14] Perry R. Cook, et.al., “A database of measured musical instrument body radiation impulse responses, and computer applications for exploring and utilizing the measured filter functions,” in Proc. 1998 Int. Symp. Musical Acoust., Leavenworth, WA, 1998.

[15] Angelo Farina, et.al., “Realisation of “virtual” musical instruments: measurements of the impulse response of violins using MLS technique” Proceedings of CIARM95. Ferrara, 1998.

[16] 河原 英紀, “Vocoder のもう一つの可能性を探る: 音声分析変換合成システム STRAIGHT の背景と展開” 日本音響学会誌 63(8), 442-449, 2007.

[17] 森勢 将雅, 他, “窓関数による分析時刻の影響を受けにくい周期信号のパワースペクトル推定法” 電子情報通信学会論文誌. D, 情報・システム J90-D(12), 3265-3267, 2007.

[18] Hideki Kawahara, et.al., “A temporally stable power spectral representation for periodic signals and applications to interference-free spectrum, F0, and aperiodicity estimation” Proc. ICASSP 2008, pp.3933-3936, Las Vegas, 2008.

[19] SuzukiI.Y. “An optimum computer-generated pulse signal suitable for the measurement of very long impulse responses” J. Acoust. Soc. Am. 97(2), 1119-1123, 1995.