

# 演奏音模擬のための楽器用エフェクター調節補助システム

青木潤平

Junpei Aoki

法政大学情報科学部コンピュータ科学科

E-mail:10k0001@stu.hosei.ac.jp

## ABSTRACT

This paper proposes an adjustment support system of audio effectors for imitation of tone. It enables beginners of musical instruments to imitate a sound tone of an instrument for any reference tones. Adjustment of effectors is a difficult task for such beginners sense of a sound is not nourished. Accordingly, this paper proposes a system that enables everyone to adjust effectors properly through visualization of sounds and simulation of effect. Effectors of interest are equalizer and distortion. To simulate the effect, equalizer analysis using the TSP(Time Stretched Pulse) signal and distortion analysis using the sine wave were done. The experimental results of the reproducibility of the effector were follows. Distortion:0.1703. Equalizer:0.3517. These scores mean how simulated effectors make dry sound approximate reference sound in LPC cepstral distance.

## 1 まえがき

楽器の演奏音の音色を変化させるには楽器用エフェクターが用いられる。楽器用エフェクターの調節は、実際の出力音を聞きながら感覚を頼りに微調整を繰り返して行う。感覚に頼ることから調節には熟練を要する。音の感じ方は個人によって異なるため、他人からの助言も参考にしにくい。また、音色の変化する要因は、楽器固有の倍音構造や、弦の状態、アンプやスピーカーなどの音響機材、楽器用エフェクターによる音響効果など多岐にわたる。これらの要因により、楽器用エフェクターを用いて所望の演奏音を作るのは難しい。そこで、任意の演奏音を模擬した音響効果が得られるようなエフェクターの調節を可能にする、楽器用エフェクターの調節補助システムを提案する。ユーザーの所有する楽器とエフェクターの情報を入力し、目標音に近い音を作るためのエフェクターの調節を手助けする。主観よる部分を軽減し、誰もが的確に調節できるように支援することを目的とする。

## 2 支援方法

### 2.1 音の可視化による補助

目標音と楽器・エフェクターを用いて出力された音のスペクトル・スペクトログラム・時間波形などのデータをグラフで可視化し、比較する。これにより目標音と演奏音の波形や周波数成分の差を明示的に示すことができる。また、エフェクター毎の音色の変化の仕方がわかりやすくなり、エフェクターへの理解が深まる。音色や音量の変化を視覚的・数値的に捉えることで、直感に頼る部分を軽減し、楽器用エフェクターの調節を補助する。

### 2.2 エフェクター機能のシミュレーション

エフェクター機能を解析し、機能をコンピューターシステム上で再現する。任意の音源に対しシミュレートしたエフェクター効果をシステム上で自由に調節しながらかけることを目的とする。前述のグラフを見ながら操作することで、また、GUIを用いることでより直感的に操作でき、目的とする音色を作

る手助けとなる。エフェクター機能の解析のために、エフェクターの種類やそれについている調節つまみの数・種類を入力する。エフェクターの種類ごとにシミュレーションに必要なパラメーターを考え、そのための測定信号を入力し、出力を観察する。結果から必要なパラメーターを取り出し、それぞれの調節つまみによる音色の変化の度合いを推定する。

## 3 事例研究

研究対象とするエフェクターは、音楽の様々な場面で使用頻度の高い、イコライザーとディストーションの2つとした。

### 3.1 イコライザー

イコライザーは音源の任意の周波数成分を操作するエフェクターである。楽器用のイコライザーには大きく分けて2種類あり、グラフィックイコライザーとパラメトリックイコライザーと呼ばれる分類がある。一般的にグラフィックイコライザーのほうがよく使われるため、その使用を前提としている。線形な応答を持つ。グラフィックイコライザーにはいくつもの上下にスライドするつまみが横に並んでいる。周波数を一定の割合の間隔で分割し区間ごとにつまみに割り当て、それを上下に操作することでそれぞれの帯域のレベルを変化させて、音質を調整する。

#### 3.1.1 可視化

MATLAB を用いてスペクトルを表示する。どの周波数帯域がどれほど違うのかは聴覚上では精確には判断できないが、可視化することで違いを精確に捉えることが出来る。イコライザーによる演奏音の模擬は周波数帯域の違いを掴むことが難しいが、イコライザの操作自体は簡単である。可視化によりイコライザによる演奏音の模擬のもっとも困難な部分が可決されるため、可視化は有効だといえる。

#### 3.1.2 機能解析・再現方法

グラフィックイコライザーにはいくつかの周波数ごとに調節つまみがある。そのままでは中心周波数はわかるが、つまみごとに効果のある帯域の幅はわからない。用意した信号と、その信号をイコライザーを用いて操作した信号を周波数領域で比較することによって、イコライザーのそれぞれのつまみの特性を調べることが出来る。イコライザーは線形な特性を持つ。線形な特性を調べる際は TSP 信号 (Time Stretched Pulse) が有効である [?]。TSP 信号を用いてイコライザーの各つまみについてインパルス応答を測り、パラメーター測定を行う。

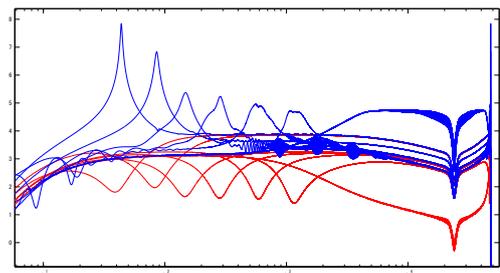


図1 イコライザーの周波数特性

図1は、あるグラフィックイコライザーの40・80・150・300・600・1200・2400Hzの計7個の全てのつまみについて、1つにつき最大まで上げる・下げる操作を施し、それぞれの状態でのTSP信号で計測したスペクトルを重ねた図である。歪の影響で潰れてしまっている部分もあるが、いずれもピークをはっきり読み取ることが出来る。またそれぞれのピークの中心周波数もつまみの中心周波数と一致していることがわかる。唯一2400Hzのつまみについては、ピーキングフィルターではなくハイパスフィルター（ハイシェルビングフィルター）であることがわかった。またエフェクターを見ただけではつまみの中心周波数のみしかわからないが、スペクトルを重ねて見ることによってつまみの効果の及ぶ帯域の幅・重なり方を知ることが出来る。グラフィックイコライザーは基本的にそれぞれのつまみがピーキングフィルターになっている。ピーキングフィルターには3つのパラメータがある。中心周波数（ピークの中心）・ゲイン（ピークの高さ）・Q値（ピークの広がり方）の3つのパラメータが得られれば、それぞれのつまみをMATLABのフィルター関数を用いて実現できる。フィルター係数の生成にはMATLAB CENTRALから入手したスクリプトを用いる[?]。スクリプトにつまみごとの中心周波数・ピークの強さ（ゲイン）・Q値（帯域幅）を入力することでパラメータが出力される。単一のつまみについて操作した状態でTSP信号を流した結果から各パラメータを推定していく（図2）。

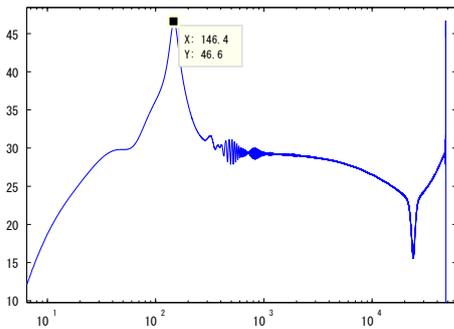


図2 パラメータ推定に用いる信号の例

中心周波数の推定は信号のピークの位置から行う。図2は150Hzのつまみを上げた状態でのTSP信号の応答であり、中心周波数が正しく推定されていることがわかる。ゲインの推定は信号のピークの高さから行う。今回使用したイコライザーはそれぞれのつまみについて±15dBの調整が可能である。図2のスペクトルはパワーの方向について音圧のdBの定義に従って対数をとってあり（式1）、

$$dB = 20 * \log_{10}(x) \quad (1)$$

ピークの頂点と裾を見比べるとちょうど+15dBほどピークが高くなっていることがわかる。高さの基準について、低い周波数帯域（0-20Hzほど）では使用機材の影響で、高い周波数ではナイキスト周波数の影響でパワーが極端に低い値になってしまうため、スペクトル全体の中央値を基準点として採用した。Q値については式2のようにして定義されている。

$$Q = \frac{\omega_0}{\omega_2 - \omega_1} \quad (2)$$

ここで、 $\omega_0, \omega_1, \omega_2$  はそれぞれ中心周波数、中心周波数の左側において振幅スペクトルが中心周波数の半値となる周波数、中心周波数の右側において振幅スペクトルが中心周波数の半値となる周波数である（図3）。

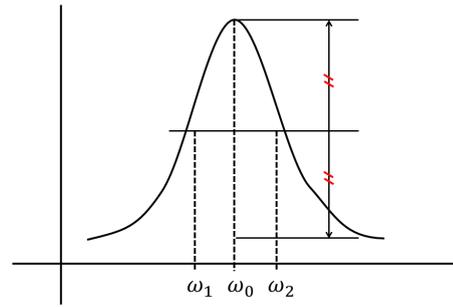


図3 Qのパラメータ

以上の手法により中心周波数・ゲイン・Q値が求めればピーキングフィルターを生成することが出来る。

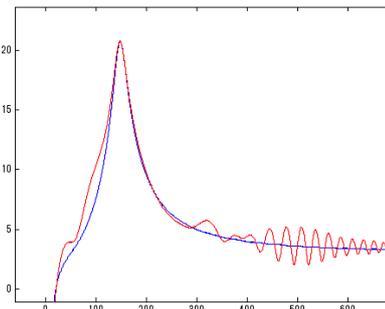


図4 生成したフィルターと実際の音

図4はシミュレートしたフィルターのスペクトル（赤）と実際のイコライザーのスペクトル（青）の比較である。正しくシミュレートできていることがわかる。

### 3.2 歪

歪とは、電気回路の非線形な応答により、入出力の波形が相似形にならない現象である。歪は他の分野では除くべきものであるが、音楽の場合はその独特の音色が尊重される場合がある。増幅器に過大な入力が入ると出力が応じきれず波形がクリップする。このクリップした成分が歪となるが、よく知られているように、入出力特性が正負で対称であれば波形も対称に歪み、奇数次の成分のみが発生する。入出力特性が対称でない場合には偶数次の成分も発生する。更に和音を歪ませると差音なども発生してより複雑なスペクトルとなる。非線形な特性をもつ[?]

#### 3.2.1 可視化

実際のエフェクターでは振幅の処理の仕方は機種によって様々であり、音色の違いが表れる。実際のエフェクター3種類に正弦波を流した時間波形の例を図5に示す。

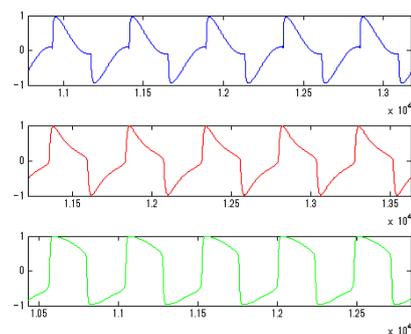


図5 実際のエフェクターの振幅処理の例

図6は実機のディストーションをギターにかけた振幅スペクトル。高次の周波数成分が強くなっているのがわかる。

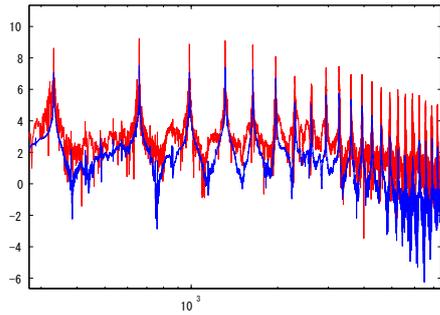


図6 歪のスペクトルの例 (ドライ音:青、エフェクタ適用:赤)

### 3.2.2 機能解析・再現方法

ディストーションは入力された信号をある振幅でクリップすることで倍音を発生させる。つまり入力された値を出力の値に変換する関数と見なすことが出来る。この関数のパラメータを推定することでディストーションをシミュレートできる。入力と出力の対応をとるために、振幅1の正弦波を用いる。正弦波は値が-1から+1までの間単調増加するため、入力と出力の対応をとるにあたって適している。また基本周波数が一定である点も適している。振幅1の正弦波をディストーションに入力し、出力を測定した。測定の際には、オーディオインターフェースでの入出力時にそれぞれピークに達してしまわないように特に注意を払った。ディストーション以外の部分でのクリッピング成分が入ってしまうとシミュレーションの精度が下がってしまい、悪影響となる。

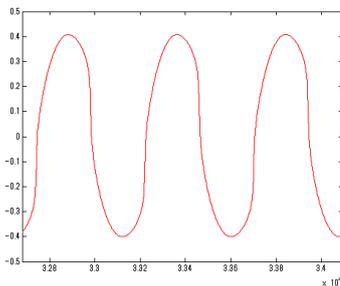


図7 正弦波を入力とした出力

図8はディストーションに振幅1の正弦波を入力した出力である。これを見ると正弦波を縦に潰したような波形になっていることがわかる。また、振幅に注目してみると約0.4となっており、正弦波がクリッピングされていることがわかる。この出力信号と入力した正弦波から対応関数を求める。ここで、対応をとるために出力された波形について、最小値から最大値までを切り出すとちょうど半波長分の長さになる。

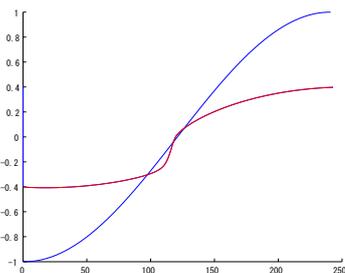


図8 入力・出力の半波長を切り出した様子

図9は入力した正弦波と出力された歪んだ正弦波をともに半

波長切り出して重ねた図である。青色の波形が正弦波の半波長分、赤色の波形が出力された信号の半波長分の波形である。この2つの縦方向の値について対応を取ることで対応関数を推定することが出来る。ここで入力した正弦波については縦の値が-1の点から+1の点の間を取れば間違いなく半波長分を切り出すことが出来る。しかし出力された波形について、縦の値が最小の点から最大の点について切り出しを行うと、切り出した半波長の正弦波と長さが異なってしまう場合がある。正弦波にあわせて長さをあわせる必要がある。入力・出力の半波長切り出しから推定した対応関数を図10に示す。

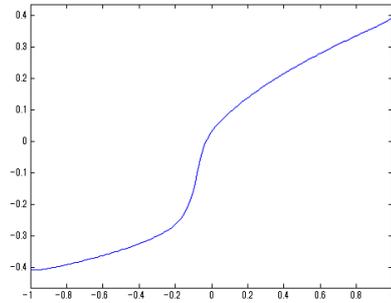


図9 推定した対応関数

## 4 評価実験

### 4.1 エフェクター効果の再現度

エフェクター効果の再現度について客観評価を行った。ディストーションとイコライザーのシミュレーションの再現度について、LPC ケプストラム距離を用いて評価した。LPC ケプストラム距離は線形予測符号化法 (Linear Predictive Coding) を用いて求めた2つのスペクトルの類似度の定義である。LPC ケプストラム距離は最近の多くの自動認識システムで認識のための特徴量として用いられている [?]

$$D(S, S') \equiv \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} (\log S(\omega) - \log S'(\omega))^2 d\omega \quad (3)$$

式3について、ここで  $S$  と  $S'$  は距離を測る2つの信号のLPC法で求めたスペクトルである。 $\log S(\omega)$  と  $\log S'(\omega)$  をフーリエ級数に展開し、式4を得る。

$$D(S, S')^2 \equiv (c_0 - c'_0)^2 + 2 \sum_{k=1}^q (c_k - c'_k)^2 \quad (4)$$

つまり、フーリエ展開係数の差を2つのスペクトルの距離として用いる。このLPCケプストラム距離を用いて、実際のエフェクターでの出力音とシミュレーションした出力の類似度を測る。ここでの評価では、実際のエフェクターの設定が既知のものであることを前提とし、シミュレーションしたエフェクターと実際のエフェクターが同じ設定のときの類似度を見ることを目的としている。また比較対象として、実機での出力音と実機へ入力した音との距離も測定した。ディストーションの実験は、実際のエフェクターのある設定で正弦波によるパラメータ推定を行い、そのパラメータをもとにした関数を作成し実験を行うことで両者の設定を同じ状態にした。ディストーションについての実験結果を表1・表2に表す。

表1 歪についての評価実験1(ギター)

組み合わせ	LPCケプストラム距離
実機 ↔ シミュレート	0.3096
実機 ↔ ドライ音	0.7695

表1はエレキギターの演奏音、表2はエレキベースの演奏音での実験の結果となっている。実際のエフェクターとシミュ

表2 歪についての評価実験 2(ベース)

組み合わせ	LPC ケプストラム距離
実機 ↔ シミュレート	0.3316
実機 ↔ ドライ音	0.5751

レーションしたエフェクターとの距離は、ギター・ベースいずれの場合も 0.3 ほどの値となった。このことからギター・ベースいずれの演奏音に対しても同程度のシミュレーション精度であることがわかった。またギター・ベースいずれの場合についてもシミュレーションの出力音は入力音よりも実際のエフェクターの出力音への類似度が高まることがわかった。このことから入力と出力の対応関係に注目したディストーションのシミュレートは成功していることがわかった。同様にイコライザーについても評価を行った。設定は中心周波数 600Hz との表記があるツマミについて +15dB との表記がある位置に設定し他のツマミは全て ±0 の位置に設定した。その状態で 600Hz のツマミについて TSP 信号による測定、各パラメーターの推定を行い、シミュレーションを行うことで両者の設定を同じ状態にした。

表3 イコライザーについての評価実験 1(ギター)

組み合わせ	LPC ケプストラム距離
実機 ↔ シミュレート	0.1687
実機 ↔ ドライ音	0.2843

表4 イコライザーについての評価実験 2(ベース)

組み合わせ	LPC ケプストラム距離
実機 ↔ シミュレート	0.1066
実機 ↔ ドライ音	0.3316

表3 はエレキギターの演奏音、表4 はエレキベースの演奏音での実験の結果となっている。実際のエフェクターとシミュレーションしたエフェクターとの距離は、ギター・ベースいずれの場合も 0.1 ほどの値となった。このことからギター・ベースいずれの演奏音に対しても同程度のシミュレーション精度であることがわかった。またギター・ベースいずれの場合についてもシミュレーションの出力音は入力音よりも実際のエフェクターの出力音への類似度が高まることがわかった。このことから TSP 信号を用いたイコライザーのシミュレートは成功していることがわかった。

#### 4.2 調節補助の評価

模擬したい音を参考音とし、参考音に向けてエフェクトをかけて似せていくための音を対象音とする。参考音と対象音を入力し、対象音にシミュレーションしたエフェクトをかけ、参考音との LPC ケプストラム距離を計算し、実際のエフェクターについての演奏音模擬に最適な設定を推定することが出来るかを検証する実験を行った。比較対象として、楽器の経験が4年間あり、音の感覚が養われている熟練者が参考音を聞きながら手でエフェクターを調節し参考音に似せた結果をとった。対象とするエフェクターはディストーションとした。今回対象とした実際のディストーションは、ゲインを調節するツマミが時計の7時の角度が最小、5時の角度が最大の設定となっている。ディストーションのツマミが9時・12時・3時の状態で正弦波によるパラメーターの測定を行い、ゲインが小さいときの設定から順に、9時のときのパラメーターを v1、12時のときのパラメーターを v2、3時のときのパラメーターを v3、とした。実際のディストーションを3機用意し、それぞれ A,B,C とする。歪み方の強さは A が最も小さく、B が中間、C が最大であった。そのため参考音の作成に用いるエフェクターを A,B,C とし、対象音の操作に用いるエフェクターを B とした。対象音にディストーション B から測定した3つのパラメーターでシミュレートしたエフェクトをそれぞれかけて、参考音との LPC スペクトラム距離を表示する。表示されたそれぞれの値とその実

際のエフェクターのツマミの位置との対応から最適なツマミの位置を推定し、推定された設定を実際のディストーション B に適応する。設定されたディストーション B に対象音を入力し、出力音と参考音との LPC ケプストラム距離を計算し、評価を行う。結果を表5に示す。

表5 調節補助の評価実験

	A ← B	C ← B	B ← B
手動	0.3749	0.5278	0.2877
結果	0.2133	0.6089	0.4651
v1	0.1878	0.4739	0.4906
v2	0.2497	0.5243	0.4566
v3	0.1986	0.3699	0.3473

結果を見ると1つのパターンでのみ手動での操作より類似した音色を得ることが出来た。2つのパターンでは人間の感覚での操作のが上回った。パラメーター v1,v2,v3 での結果を見ると結果が番号順に並んでいないことがわかる。これはディストーションのパラメーターの測定が正しくなかったためだと考えられる。ディストーションのパラメーター測定のためにはエフェクターに振幅1の正弦波を流す必要があるが、その際にエフェクター以外の要因での歪が発生してしまうと計測の精度が落ちてしまう。それを避けるためには時間をかけた調整が必要だが、今回はその調節が正しく行われておらず、評価の低下につながってしまったと考えられる。

## 5 あとがき

本研究では音の感覚が必要とされる楽器用エフェクターの調節を誰もが的確に行えるような支援の方法を提案した。実際のエフェクターのパラメーターを測定し、パラメーターをもとにエフェクトのシミュレーションを行った。ある設定での実際のエフェクターの操作が判明している状態でのエフェクターの再現度はエフェクターを通る前の演奏音を LPC ケプストラム距離でイコライザーは平均 0.1703、ディストーションで 0.3517 縮めることができた。しかし参考音と対象音とエフェクターのパラメーターを入力し参考音模擬のための実際のエフェクターの最適な設定を示す実験では、現在の再現度では適切な推定が行えないことが考えられる。また、再現度を高めるためにはパラメーター測定の精度を高める必要があることが考えられ、今後の課題となった。その他には、シミュレートしたエフェクターのより直感的な操作を可能とし調節の補助となるような GUI の実装や、推定した適切な設定をわかりやすく出力する方法の考案が課題となった。

## 参考文献

- [1] 金田 豊 (東京電機大学) の web ページ <http://www.asp.c.dendai.ac.jp/>
- [2] MATLAB CENTRAL <http://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/16567-peaking—notch-iir-filter/content/peaking.m>
- [3] 加藤充美, いろいろなエフェクタの動作原理 日本音響学会誌 68 巻 7 号 (2012), pp. 345- 350
- [4] 板橋 秀一, 音声工学 森北出版 (2005)