

# 音楽演奏のための 三角形型フィルタを用いた狭帯域雑音

三井 太介<sup>†1</sup> Enriquez Guillermo<sup>†2</sup> 橋本 周司<sup>†2</sup>

我々は、帯域幅やスペクトルの形状などを変えられる狭帯域雑音を用いた音楽の作成を目指している。本稿ではまず、三角形型フィルタを用いて生成した狭帯域雑音の帯域幅と知覚周波数の関係および帯域幅変化が音楽に与える印象についての報告をする。次に、狭帯域雑音の生成制御を新しく製作した2自由度のペダル型インターフェースで行う音楽演奏システムの概要とその試用評価結果について述べる。

## Narrow-band Noise with Triangular Filter for Music Performance

DAISUKE MITSUI<sup>†1</sup> ENRIQUEZ GUILLERMO<sup>†2</sup>  
SHUJI HASHIMOTO<sup>†3</sup>

We aim to create music by changing the spectral profile of the narrow band noise. In this paper we first report the investigation of the pitch perception of the narrow band noise and the effect to the musical impression by using a tunable triangular filter. Then we propose the experimental results of the musical performance system that generates narrow band noise with 2 DOF foot pedal interface.

### 1. はじめに

音の基本要素は、音高、音量、音色である。その中でも音色の変化は、主に倍音構造の制御で行うが、倍音構造を用いずに音色を作成する試みも行われている。作曲家である湯浅は、ホワイトノイズに中心周波数と帯域を制御したフィルタリングを施し、これまでにない音色を生成する試みを行い、1960年代にホワイトノイズから生成した作品を作っている[1]。しかし、湯浅が創造した音には音程の概念がなく、音程の概念を有する音楽の生成に用いるのは難しい。

我々は狭帯域雑音が、音程感を与えるという特徴に注目し、ホワイトノイズから生成した狭帯域雑音を利用した音楽の生成を試みた。

本稿では、まず、キーボードなどを使ってリアルタイムに狭帯域雑音によりメロディを生成し、新たに製作した2自由度のペダル型インターフェースによって雑音のスペクトルを実時間で制御する狭帯域雑音音楽システムについて述べる。次に三角形型フィルタを通した狭帯域雑音のピッチテストの実験結果と、これにより生成した音楽についての主観評価結果およびインターフェースの評価について述べる。

### 2. 関連研究

ここで提案するシステムはホワイトノイズから狭帯域雑音

を生成し、音楽の音として利用するシステムである。ホワイトノイズとは、全周波数成分が同じパワーを持った雑音であり、音程を持たない。しかし、ホワイトノイズは作曲家などにとって、有用性が高い音素材であり、音楽においてしばしば使われている[2]。例えば、多くの周波数成分にエネルギーを持つ打楽器の音を電子的に作成する際、ホワイトノイズを使用する事がある。また、管楽器の息を吹きかける音の模擬にも、ホワイトノイズを用いることが多い。また、このような楽器の音を表現するためばかりではなく、風の音や、波の音などのSE(効果音)を作成する際にも用いられる。

また、音楽音響の一部としてではなく、ホワイトノイズのみを音源として作られた作品もある。その一つが、湯浅譲二が1964年に作曲した『ホワイトノイズによるプロジェクション・エセムプラスティック Projection Esemplastic for White Noise』である[3]。また、湯浅は1967年にも同じようにホワイトノイズのみを音源として作った作品を出している[4]。それ以前にも、1957年に Henri Pousseur がミラノの Radio Audizioni Italiane(RAI)電子音楽スタジオで作った Scambi などがある。しかし、これらの作品の音には音程の概念が希薄で、音程のある音楽をホワイトノイズから生成するのは難しい。そこで我々は、音程を持った雑音の一つである、狭帯域雑音に注目した。

### 3. 狭帯域雑音

狭帯域雑音は、1/3 オクターブ以下の周波数帯域にのみ成分をもった雑音と定義されている[5]。狭帯域雑音の特徴として帯域幅がおおよそ 1/5 オクターブ以下の時、その音のピッチ知覚周波数が雑音帯域の中心周波数に相当すると言われて

<sup>†1</sup> 早稲田大学大学院  
Graduate School, Waseda University

<sup>†2</sup> 早稲田大学理工学術院  
Faculty of Science and Engineering, Waseda University

いる。狭帯域雑音は、ホワイトノイズにフィルタを施すことによって生成可能であるが、その特色として以下の3点が挙げられる。

- (1) 中心周波数と帯域幅を制御して音程の表現が可能
- (2) 帯域幅を変化させることが可能
- (3) 帯域内で様々な形のフィルタを適用することにより、音色・音程を同時に変化させることが可能

これらの特色を音楽に応用すると、(1)により音源としてホワイトノイズのみを用いてメロディのある音楽を作成することが可能になると考えられる。また(2), (3)により狭帯域雑音を音楽に用いことで、倍音構造やエンベロープを用いた音色による音楽とは異なる新しい音楽の生成が期待される。

筆者らは、中心周波数が216.6Hz[ド]と、349.2Hz[ファ]の二つの狭帯域雑音を使ってピッチテストを行い、帯域幅がおおよそ1/4オクターブの周波数幅以下の時、狭帯域雑音の音程はその帯域幅の中心周波数に近くなることを確認した[6]。また、SD法を用いた評価実験により、帯域幅変化によって聞き手が受ける音色の印象が変化することも分かった。

本論文では、帯域幅の変化が単一の音響ではなく、音楽としての印象にどのような変化をもたらすかを検証するため、SD法を用いた主観評価について述べる。また、[6]では矩形型フィルタによって作成した狭帯域雑音のピッチテストを行ったが、ここでは三角形型フィルタによって作成した狭帯域雑音のピッチテストを行う。さらに、これらの知見を元に作成した狭帯域雑音音楽システムと、システムを動かすために作成したペダル型インターフェースについて述べる。

#### 4. 狭帯域雑音音楽システム

まず、既に報告した[6]の結果を元に、狭帯域雑音をリアルタイムに生成するシステム(狭帯域雑音音楽システム)を作成しMax/MSP(Cycling 74)に実装したので、その概要を説明する。

##### 4.1 狭帯域雑音の作成

図1に狭帯域雑音作成の概要を示す。狭帯域雑音を作成する際は、まず白色雑音を生成し、短時間フーリエ変換(STFT)を行う。サンプリング周波数を44.1kHzとし、フレーム幅を4096とした。また、窓関数はハニング窓を使用し、オーバーラップは50%とした。そして、狭帯域雑音の音程となる中心周波数 $f_m$ および帯域幅を設定する。1/nオクターブ幅の狭帯域雑音を作成する際は、式(1)に示すように、カットオフ周波数 $f_1, f_2$ を定める。ここで $n$ は正の値である。

$$\begin{aligned} f_1 &= \frac{f_m}{n\sqrt{2}}, \\ f_2 &= f_m \cdot n\sqrt{2}. \end{aligned} \quad (1)$$

中心周波数とカットオフ周波数を元にフィルタリングを行うことにより、矩形型の狭帯域雑音を生成する。

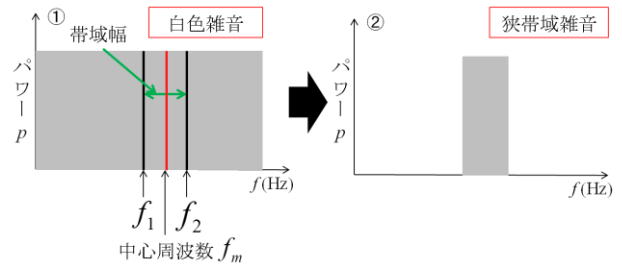


図1 狭帯域雑音の作成概要

##### 4.2 三角形型フィルタ

フィルタの形状によって、音色や音程が変えることが可能になるのではないかと考え、矩形型ではなく、三角形型フィルタを通した狭帯域雑音を作成するシステムを作成した。図2にその概要図を示す。三角形型フィルタでは、三角形の頂点(周波数 $f_v$ )がカットオフ周波数間を移動出来るようにした。 $f_v$ は以下の式(2)で表す。 $\theta$ は0~1の実数の値をとり、システム上ではこの値を変動させることによって、頂点の周波数 $f_v$ を動かす。このようにすることによって、音程を揺らすビブラートのような効果が得られることが期待される。この効果については、5章で説明する三角形型フィルタによるピッチテストで検証する。

$$f_v = f_1 + \theta \cdot (f_2 - f_1) \quad (2)$$

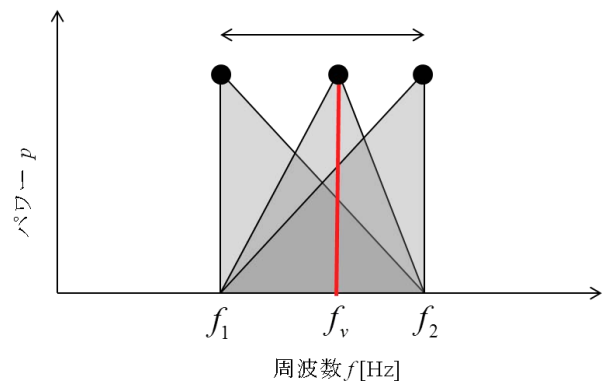


図2 三角形型フィルタによる狭帯域雑音

##### 4.3 MIDI 信号による操作

本システムでは、MIDI信号によって演奏できるようにした。ノートナンバーのMIDI値を中心周波数 $f_m$ に変換して、狭帯域雑音の音程とし、ベロシティのMIDI値 $m$ は音量に変換した。また、音量のMIDI値 $m$ は帯域幅の決定においても利用した。つまり、帯域幅 $1/n$ (オクターブ)は以下の式(3)で与える。

$$\frac{1}{n} = \frac{1}{m/\alpha} \quad (3)$$

$\alpha$ は全体の帯域幅の大きさを決める帯域幅係数である。 $\alpha$ を大きくすると、全体の帯域幅が広がる。また、音量が大きい音に関しては、帯域幅を狭め、音量が小さい音に関しては、帯域幅を広げるようにしている。これらを決定して、4.1で述

べた狭帯域雑音の作成方法によって、狭帯域雑音を生成する。

本システムでは、2 種類の使用方法が可能である。一つは外部 MIDI デバイスによる実時間操作である。これにより狭帯域雑音を使って演奏する楽器を実現することができる。もう一つは既存の MIDI 信号を入力してする使用法である。これにより、既存の音楽データを狭帯域雑音音楽に変換することができる。後者には、三角形型フィルタの導入を行っていない。これは、既存の曲は音程が決まっており、三角形型フィルタによって音程を変える必要性はないと考えたからである。作成したシステムの概要を図 3 に示す。

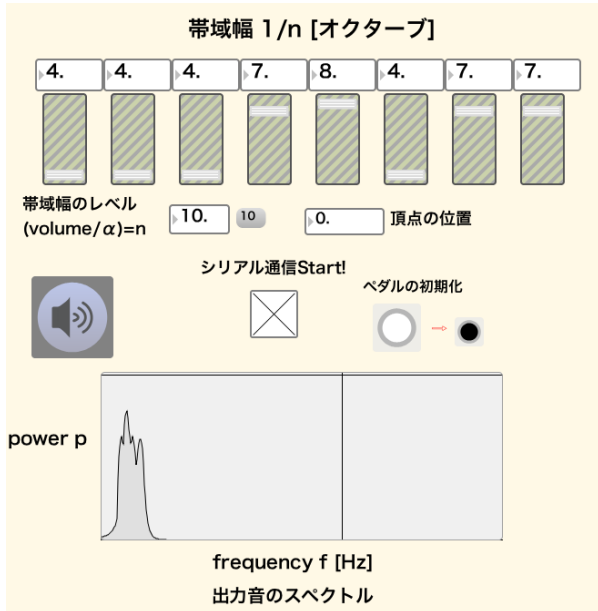


図 3 狭帯域雑音音楽システム

#### 4.4 2 自由度ペダル型インターフェース

本システムでは、ユーザーは音程、音量、帯域幅、三角形型フィルタの頂点の位置の 4 つの要素を操作して演奏を行う。提案システムは、キーボード、2 自由度ペダル型インターフェース、パーソナルコンピュータで構成される。ユーザーは、キーボードを用いて音程と音量を制御しながら、帯域幅の制御、三角形型フィルタの頂点位置の制御を図 4 に示す 2 自由度ペダル型インターフェースによって行う。図 5 に示すように、ペダル型インターフェースは、ペダルの踏み込み (Pitch) と左右の回転 (Yaw) の 2 自由度をもち、ユーザーがキーボードを演奏しながら足の動きで帯域幅や三角形型フィルタを制御できる。表 1 に作成したペダルの仕様を示す。表 1 に示すように、ペダルは ABS 製で、大きさは一般的なペダルインターフェースと同程度である。Pitch と Yaw の操作量は、それぞれ回転ポテンシオメータを用いて測定する。測定値は、USB 接続で制御用コンピュータに送られる。システム構成を図 6 に示す。



図 4 2 自由度ペダル型インターフェース

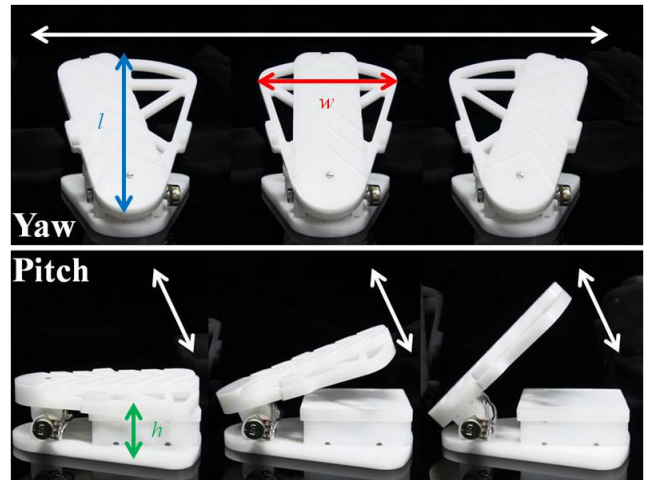


図 5 ペダルの動き

表 1 2 自由度ペダル型インターフェースの仕様

本体の材質	ABS
マイコン	Arduino Uno
センサー	回転式ポテンシオメータ×2
サイズ (cm)	12×15×5 (w×l×h)

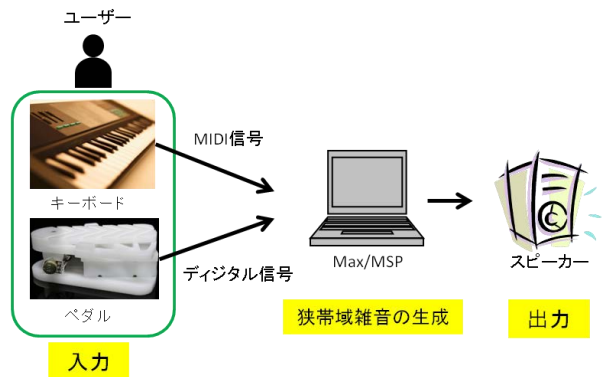


図 6 システム構成図

## 5. 実験・実験結果

### 5.1 ピッチテスト

三角形型フィルタを用いた狭帯域雑音が実際に三角形の頂点の動きによって、音程が変動するか検証を行うため、三角形型フィルタを用いた狭帯域雑音のピッチテストを行った。ピッチテストは、被験者が片耳で三角形型フィルタを通した狭帯域雑音（サンプル音）を、もう片方の耳で正弦波を聴取する形態で行った。被験者は、サンプル音のピッチに合わせて、正弦波の周波数を調整し、2つの音のピッチが合ったと感じた時点での正弦波の周波数を測定した。被験者は音楽経験者5名とし、サンプル音として、中心周波数698.4Hz(ファ)、帯域幅を1/5, 1/4, 1/3オクターブの3種類、また、三角形型フィルタの形として、三角形の頂点をカットオフ周波数 $f_1$ ,  $f_2$ とした時と、中心周波数 $f_m$ とした時の、計3種類の三角形フィルタをそれぞれの帯域幅において通し、計9種類のサンプル音を用いた。そして、それぞれのサンプル音に対して、被験者1名につき5回のピッチテストを行った。

被験者一名(被験者 A)のそれぞれのサンプル音で測定した平均周波数の結果を図7に示す。また、被験者 A の平均周波数、標準偏差、またそれぞれのフィルタの頂点の周波数を表2に示す。図7より、頂点の位置の移動によって、平均周波数が変化している事が分かる。その挙動は頂点の位置に追従しており、頂点の周波数を上げると平均周波数も上がり、頂点の周波数を下げると、平均周波数も下がっている。また、その挙動は帯域幅を広げることによって、大きくなっていることがわかる。しかし、それぞれの平均周波数の位置は、頂点の位置を $f_1, f_2$ にした時、どちらも狭帯域雑音の帯域周波数内に収まりつつ、 $f_1, f_2$ には完全には一致しなかった。他の被験者においても、変化の大きさは違うが、同じように平均周波数が頂点の動きに追従しながら変化した結果が出た。

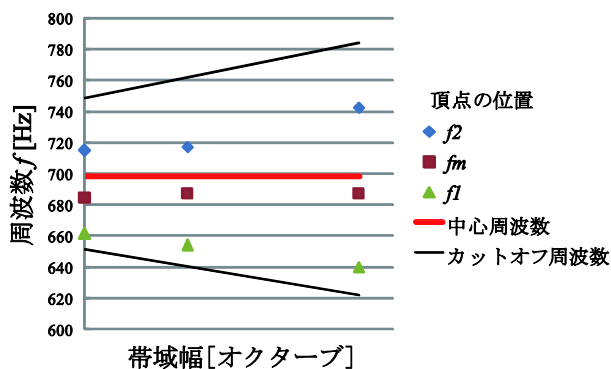


図7 被験者 A のピッチテスト結果

表2 被験者 A の平均周波数と標準偏差

頂点	帯域幅 [オクターブ]	頂点周波数 [Hz]	平均周波数 [Hz]	標準偏差
$f_1$	1/5	651.7	661.6	12.2
	1/4	640.5	654	11.0
	1/3	622.3	640	9.59
$f_m$	1/5	698.5	684.2	14.8
	1/4	698.5	687.2	3.54
	1/3	698.5	687.2	15.2
$f_2$	1/5	748.6	714.8	18.8
	1/4	761.7	717	8.07
	1/3	784.0	742.6	6.59

### 5.2 音楽の音色評価実験

本研究では、狭帯域雑音を音楽に用いるので、帯域幅の変化が音だけではなく、音楽自体にどのように影響を与えるか検証を行う必要がある。そこで、帯域幅変化が音楽の曲調にどのような変化を与えるか、SD法を用いて主観評価実験を行った。主観評価実験では、被験者にそれぞれのサンプル曲を聴いてもらい、形容詞対を用いて曲の評価、さらに解析を行った。サンプル曲は第4章で述べた既存のMIDIデータから作成するシステムを用いて作成を行った。選曲は杉原が行った実験[7]をもとに行い、リズム、ハーモニー、メロディが異なり、歌詞のない以下の4曲を用いた。

- メヌエット(作曲:J. S. バッハ/クラシック)
- ジムノペディ(作曲:エリック・サティ/クラシック)
- 単一楽器による狂奏曲(作曲:↑だ(Taishi Ueda)/現代音楽)[8]
- 木漏れ陽(作曲:Senses Circuit/現代音楽)[9]

それぞれの曲に対して1/4, 1/8, 1/12オクターブの3種類の帯域幅の狭帯域雑音音楽に変換を行い、合計12種類のサンプル曲を作成した。この時のフィルタの形は矩形型フィルタである。また、SD法で用いる形容詞対は、杉原の実験[7]をもとに選び15対の形容詞対を用いて、7段階評価形式で行った。選んだ形容詞対を表3に示す。被験者は、一般の方10名とした。

表 3 主観評価実験の形容詞対

形容詞対	
眠くなるような- 目のさめるような	単調な-メリハリのある
悲しい-楽しい	俗っぽい-神秘的な
弱々しい-力強い	不透明な-透き通った
重厚な-軽快な	不快な-心地よい
暗い-明るい	人工的な-自然な
陰気な-陽気な	冷たい-暖かい
落ち着いた-勢いのある	がさつな-しなやかな
素朴な-飾り気のある	

得られた評価結果を元に、主成分分析を行った結果、明暗因子、活動因子、芸術因子の3つの因子を得られた。3因子の形容詞対、累積寄与率を表4に示す。また、図8にそれぞれのサンプル曲の明暗因子と活動因子の関係を示す。図8より、「メヌエット」、「単一楽器による狂奏曲」、「木漏れ陽」に関しては、1/12オクターブの狭帯域雑音を使用した時、ピアノの音色より弱々しく、暗い曲になっていることがわかる。帯域幅が変わった場合、1/8オクターブではさほど変化はないが、1/4オクターブ幅になると、1/12オクターブの時より、力強く暗い曲の印象になっている事が分かる。また、ゆったりとした曲である「ジムノペディ」では、1/12オクターブの狭帯域雑音を使った時、力強く暗い曲の印象になっている事が分かる。また、帯域幅を広げた1/4オクターブでは、さらに力強く暗い曲になっている事がわかる。「ジムノペディ」では、ピアノと1/12オクターブ雑音との比較では最初の3曲と違うが、その後、帯域幅を広げた時の挙動は、最初の3曲と同じように印象が変わっている事が分かった。つまり、帯域幅を広げると、明暗因子、活動因子が変化して、帯域幅を広げると、力強く、暗い印象になる。芸術因子に関しては、帯域幅間、曲の間で特徴的な変化は見られなかった。

表 4 主成分分析結果

因子名	累積寄与率[%]	形容詞対例
明暗因子	57.9	暗い-明るい, 陰気な-陽気な, 不快な-心地よい etc...
活動因子	22.6	弱々しい-力強い, 落ち着いた-勢いのある, 素朴な-飾り気のある
芸術因子	8.3	俗っぽい-神秘的な

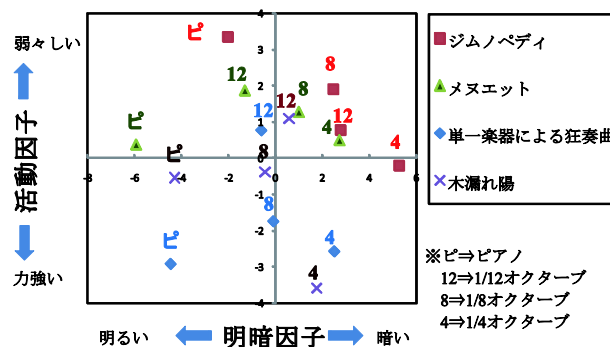


図 8 明暗因子と活動因子の関係

### 5.3 インターフェースの評価

4.3で説明した、外部デバイスを用いて操作する狭帯域雑音音楽システムとシステムを元に作成した2自由度ペダル型インターフェースが演奏者にとって使いやすいかどうかを調べるため、評価実験を行った。評価実験は、二つの対応関係について行った。一つはペダルの左右の動きを帯域幅の動きに対応し、踏み込み動作を三角形型フィルタの頂点の動きに対応したもの(以降①システム)。もう一つは、ペダルの左右の動きを三角形型フィルタの頂点の動きに対応し、踏み込み動作を帯域幅の動きに対応したもの(以降②システム)。①、②システムの具体的な動きは表5に示す。踏み込みの下げるとは、ペダルを踏み込む動作である。二つのシステムを用意したのは、どちらの対応づけの方が、演奏者にとって演奏しやすいかを判断するためである。

この評価実験では、被験者に一つのシステムをそれぞれ10分ほど自由に使ってもらい、用意したアンケートに答えてもらう形式で行った。アンケートは、①、②システム共通の質問を4項目、2つのシステムを使い終わった後に全体を通した質問を3項目、それぞれ1~5の5段階評価で行い、1が最も否定的、5が最も肯定的な意見として、最後に自由記述を用意した。被験者はピアノ演奏経験者5名とした。アンケート項目を以下に示す。

- ①、②システム共通
  - Q1. ペダルを左右に動かすことによって音色(音程)を変化させることに違和感はない
  - Q2. ペダルの踏み込み動作によって、音程(音色)を変化させることに違和感はない
  - Q3. この狭帯域雑音音楽システムによって音楽を奏でることが出来た
  - Q4. 2自由度ペダル型インターフェースによって、希望している音が出せた



- 全体を通して
  - Q1. 2 自由度ペダル型インターフェースを音楽用インターフェースとして使ってみたい
  - Q2. 狭帯域雑音音楽システムを実際の音楽取り入れてみたい
  - Q3. 最初のシステムの方が操作しやすかった

また、同一の被験者に対してペダルを使った演奏によって、ユーザーが希望している音を正確に素早くユーザー自身で出せるかどうか、ペダルとキーボードを用いたピッチテストを行った。この実験では、中心周波数、帯域幅、頂点の位置をあらかじめ決めている三角形型フィルタを通した狭帯域雑音(サンプル音)を被験者に聴いてもらい、同時にそれと同じ中心周波数、帯域幅、頂点の位置を持った狭帯域雑音を、用意したインターフェースを使って出してもらい、同じ狭帯域雑音を出すのにかかった時間とサンプル音のパラメータ(帯域幅  $1/n$  と三角形型フィルタの頂点の位置  $\theta$ )の差を計算した。用意したインターフェースは、Max/MSP 上のバーを動かすインターフェース、および、作成したペダル型インターフェースの2つである。ペダル型インターフェースでは、①システム、②システム、両方で評価を行った。最初に Max/MSP 上のバーによる操作、次に①システム、最後に②システムという順番でテストを行った。

表 5 システムとペダルの対応

ペダルの動き		①システム	②システム
左右	左	帯域幅を狭める	頂点を左へ
	右	帯域幅を広げる	頂点を右へ
踏み込み	下げる	頂点を右へ	帯域幅を狭める
	上げる	頂点を左へ	帯域幅を広げる

全被験者の①、②システム共通のアンケート結果を、図 9 に示す。評価値は全被験者の平均をとった値である。また、全体質問の結果を、図 10 に示す。図 9 より、①、②システム、どちらのシステムにおいても、全ての質問項目の評価値が 3 以上あることが分かる。それぞれの質問項目において t 検定を行ったところ、全ての質問項目において、二つのシステムに有意差は見られなかった。しかし、図 10 の Q3 より②システムの方が、ピアノ演奏者にとって、多少使いやすいことが分かった。また、図 10 の Q1 と Q2 より、2 自由度ペダル型インターフェースを音楽用インターフェースとして使うことと、狭帯域雑音を音楽に取り入れることについて、どちらも 4 以上の評価を得られ、演奏者に需要がある可能性が示せた。

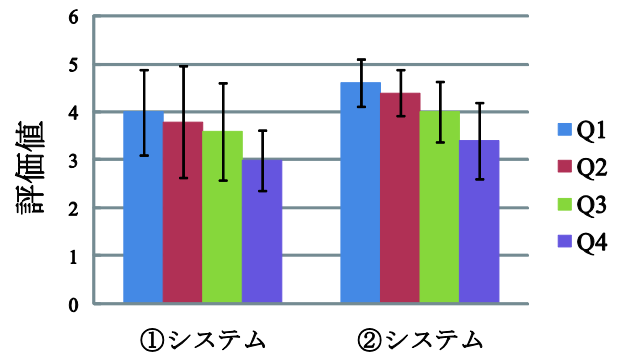


図 9 共通質問の平均評価値

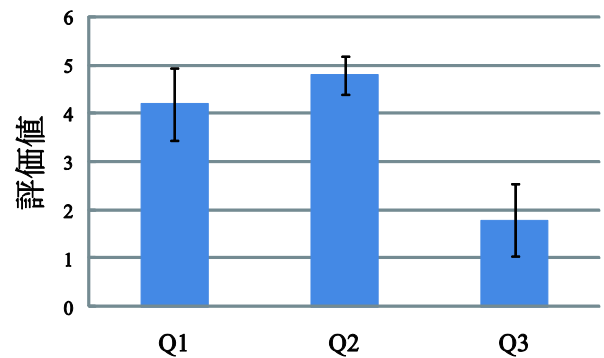


図 10 全体質問の評価値

次に、ペダルとキーボードを用いたピッチテストの結果について述べる。図 11~13 にそれぞれのインターフェースについての、サンプル音との帯域幅  $1/n$  の差、頂点のパラメータ  $\theta$  の差、合わせるのにかかった時間  $t$  の全被験者の平均をそれぞれ示す。それぞれの図の max バーとは、Max/MSP 上のインターフェースを使った時の結果である。本解析で利用したデータは、それぞれの被験者が入力した中心周波数の値が、サンプル音の中心周波数と同じだった時のデータのみを利用した。つまり、それぞれの被験者の利用出来るデータのみの平均を求め、それをそれぞれの被験者の結果とした。帯域幅の差、頂点のパラメータの差について、それぞれのインターフェースの有意差を t 検定によって検証したところ、どの組み合わせにおいても、2つの結果の有意差は見られなかった。しかし、合わせるのにかかった時間は、max バーと②システムの間で、有意差が見られた( $p < 0.05$ )。

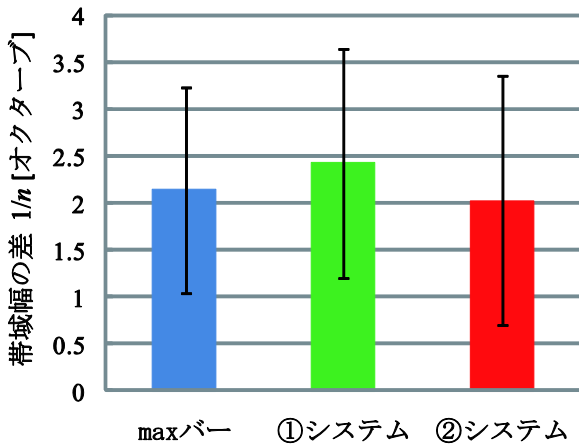


図 11 サンプル音との帯域幅の差

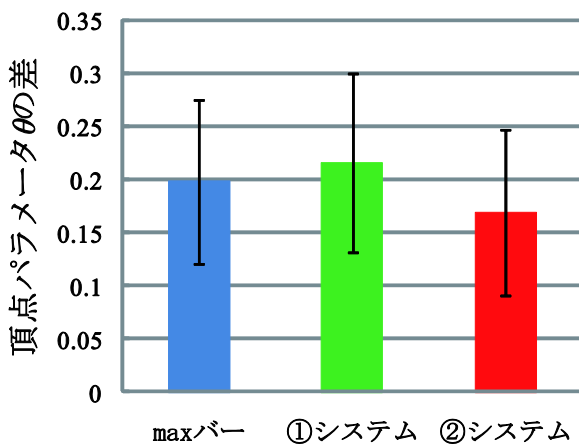


図 12 サンプル音との頂点パラメータの差

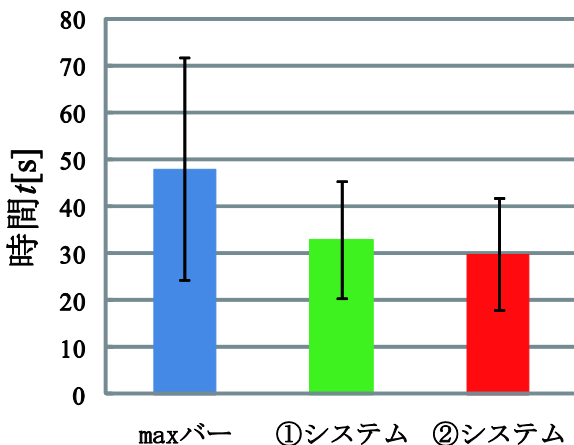


図 13 合わせるのにかった時間 t[s]

## 6. 考察

ピッチテストの結果より、三角形型フィルタの頂点の移動によって、音程を変えられることが分かった。つまり、頂点の移動が音楽を演奏する際、有効である事が示された。しかし、頂点をカットオフ周波数にした時、音程は頂点に一致せず、

帯域幅内には収まるが少しずれる結果となった。これは、帯域幅を持っている事によって、頂点の周波数以外の音から影響を受けた結果によるものだと考えられる。頂点を使った時の音程の定義については、さらなる検証が必要であると考えられる。また今回、三角形型フィルタを用いることによって、矩形型フィルタより、帯域幅を大きくしても、中心周波数にピッチ知覚周波数が近くなると考えられたので、同時に比較を行った。帯域幅 1/3 オクターブ、頂点の位置を中心周波数とした時の三角形型フィルタと帯域幅を同じ 1/3 オクターブとした時の矩形型フィルタの被験者一人の平均周波数と中心周波数の差の二乗平均平方根を表 6 に示す。差は、cent と呼ばれる 1 オクターブを 1200 に換算した単位で表わす。つまり、100cent がちょうど半音の差となる。周波数の差からの変換は式(4)で行う。 $f_1, f_2$  はそれぞれの比較する周波数である。表 6 からわかるように、三角形型フィルタを用いた方が、中心周波数からのズレが半音の半分に抑えられていることがわかる。このことから、三角形型フィルタを用いることによって、矩形型フィルタよりさらに帯域幅を広げられる可能性が示された。今後、さらに被験者を増やし、三角形型フィルタを用いた時の最大帯域幅について検証を行っていく。

$$\frac{1200}{\log 2} \cdot \log \frac{f_1}{f_2} = l [\text{cent}] \quad (4)$$

表 6 2つのフィルタにおける中心周波数からの差

	周波数差[cent]
矩形型フィルタ	114
三角形型フィルタ	50

音楽の音色評価実験では、帯域幅の変化が音楽の曲調に影響を与える事が出来ることが示された。つまり、帯域幅変化が音楽において有効であることが示された。また、その変化の挙動は特徴的であり、帯域幅を広げることによって、力強く、暗い曲調になることが分かった。この変化は、用いたサンプル曲内ではあるが、どのような曲に関しても同じであった。

狭帯域雑音音楽システムと 2 自由度ペダル型インターフェースの評価実験では、狭帯域雑音音楽システムとペダル型インターフェースがピアノ演奏者に対して必要がある可能性を示した。①、②システム間では、明確な差は出なかったが、②システムの方が使いやすいという意見が多かった。また、ペダルを用いたピッチテストの結果より、②システムを用いたペダル操作が、Max/MSP 上のバーの操作と精度が変わらず、なおかつバー操作より、早い操作で希望の音が出せることが分かった。また、自由記述では、二人の被験者から、ピアノを演奏する際、鍵盤は右にいくほど音程が高くなるから、左右の動きを音程の変化にした方が分かりやすい、という意見があった。このような意見から、今回、キーボードを使用したために、全体的に②システムの方が使いやすいと感じたの

ではないかと、考えられる。例えば、エレキギターを演奏する際、ワウペダルを用いて、音程を揺らすことがある。このことから、ギター型の入力デバイスを用いた場合は、①システムの方が使いやすく感じられると期待される。このように、音階入力部の性質によって①システムと②システムの使いやすさが変わると考えられる。

また、数人の被験者から、頂点の移動による音程の変化をもっと大きにした方がいいという意見をもらった。今回用いたフィルタは、三角形型フィルタなので帯域幅内の周波数によって影響をうけやすく、頂点をカットオフ周波数にした時でも、音程はカットオフ周波数まで変化しないと考えられるので、さらに、頂点を強調するようなフィルタの形状を検証中である。

## 7. まとめと今後の展開

三角形型フィルタを用いた狭帯域雑音のピッチテストを行い、三角形の頂点を移動させることによって、頂点の動きに追従しながら、音程が変わる事が分かった。しかし、音程は完全に頂点とは一致せず、帯域幅内にピッチ周波数は収まるが頂点の周波数からはずれず、三角形型フィルタの頂点の位置と音程の関係については、今後、さらにピッチテストの被験者を増やし、解析・検証を行うことを考えている。

また、狭帯域雑音を使った音楽を作成し、主観評価実験を行い、帯域幅が広がることによって、明暗因子、活動因子が変動し、音楽の印象が「暗く、力強い」になることが分かった。

さらに、狭帯域雑音を使って演奏出来るシステムをMax/MSP に実装した。また、作成したシステムに合わせ、2自由度のペダル型インターフェースの作成を行い、システムとペダルの評価実験を、ピアノ演奏者に実際使ってもらい、作成した狭帯域雑音音楽システムと2自由度ペダル型インターフェースの有効性を確認した。本システムにより音楽演奏において、音色を変化させるという新たな要素を加えることができ、演奏の幅を広げることができると考えている。今後は、さらに自由度の高い音色制御手法の検討を進めたいと考えている。

**謝辞** 本研究の一部は、早稲田大学ヒューマノイド研究所、グローバル COE プログラム「グローバル ロボット アカデミア」の研究助成を受けて行われた。

## 参考文献

- 1) 高橋悠治, “ホワイトノイズによるアイコン”, 湯浅譲二: ピアノ作曲集/テープ音楽集, 1967.
- 2) 植野洋, “日本のテープ音楽におけるホワイトノイズの使用の分析--湯浅譲二《ホワイトノイズによるプロジェクション・エセムプラスチック》”, エリザベト音楽大学研究紀要, 1-16.
- 3) 石井真木, 湯浅譲二 他, “日本の電子音楽 = Experimental music of Japan”, Victor, 1973.
- 4) 湯浅譲二, “人生の半ば-音楽の開かれた地平へ”, 慶応義塾大学

出版会, 1999.

5) Curtis Roads 他, “コンピュータ音楽-歴史・テクノロジー・アート”, 東京電機大学出版局, 2001.

6) 三井太介, 阿部友実, 橋本周司, “狭帯域雑音を利用した音楽の作成”, 情報処理学会第74回全国大会講演論文集.

7) 杉原太郎, 森本一成, 黒川隆夫, “SD法を通してみた音楽に対する感性の基本特性”, 映像情報メディア学会技術報告, Vol. 25(48), pp. 57-63, 2001.

8) 「単一楽器による狂奏曲」, OUpS. zero (c)↑だ, <<http://oups.o0o0.jp/>>, (参照 2012/02/03).

9) 「木漏れ陽」, Senses Circuit, <<http://www.senses-circuit.com/>>, (参照 2012/02/03).