

三次元空間把握のための音楽化手法

前原 良美^{1,a)} 菅沼 雅徳¹ 長尾 智晴¹

概要: 物体の位置を音で表現する可聴化は、視覚情報を用いずに物体の位置を把握するための支援となり、視覚障がい者の歩行補助や移動車両の死角の空間把握などに有効である。可聴化の実用化のためには、三次元空間全体を瞬時に把握できる生成音であることが求められる。また不快感を生じさせることなく長時間聴き続けることができる生成音である必要がある。しかし従来の可聴化手法では物体の位置や大きさの情報だけを音にしており、どのような空間であるのかが表現されていない。また生成音が単調で人が長時間聴き続けることが考慮されていない。そこで本研究は、音楽を長時間の試聴に適したものと仮定し、可聴化手法「音楽化」を提案する。背景・静止物体と移動物体をそれぞれ分け、背景・静止物体から伴奏、移動物体から主旋律を生成することによって空間全体を表現する。Kinect を用いて撮影した距離動画像に提案手法を適用して音楽化を行った。そして被験者が音楽化の生成音から三次元空間を判別可能か実験を行い、有効性を検証した。

キーワード: 可聴化, 三次元空間, 音楽, 距離センサ, Kinect

1. はじめに

人は物を認識する際、多くの情報を視覚から得ている。しかし、人間の感覚には視覚以外にも聴覚、味覚、嗅覚そして触覚が存在しており、これらの感覚からも様々な情報を得ることができる。特に聴覚からは一度に多くの情報を得ることができる。視覚から情報を得ることができない場合、聴覚から情報を得ることができれば非常に有益である。このため、本来は聴覚情報がないものを音で表現する可聴化が注目を集めている [1][2]。

可聴化の適用対象例として、三次元空間が挙げられる [5][6][7][8][9]。三次元空間の可聴化は、視覚障がい者の歩行補助に有効である。また作業用車両に搭載することで、運転者の死角を音によって把握することが可能である。これらが実用化されるためには、可聴化の生成音が三次元空間全体を瞬時に把握できる音であることが求められる。また長時間聴き続けることができる音である必要がある。しかし、従来の可聴化手法は物体の位置や大きさの情報だけを音にしており、どのような空間であるのかが表現されていない。また生成音が単調で人が長時間聴き続けることが考慮されていない。

そこで本研究は、音楽を長時間の試聴に適したものと仮定し、可聴化手法「音楽化」を提案する [0]。背景・静止物

体と移動物体をそれぞれ分け、背景・静止物体から伴奏、移動物体から主旋律を作成する。この際移動物体の位置や距離センサから背景・静止物体までの距離といった具体的な情報から音の高さやタイミングを決定するだけでなく、空間が開放的か閉鎖的かといった抽象的な情報から使用するコードを決定する。これにより、長時間聴き続けることができる音で三次元空間全体を直感的にわかりやすく表現することを目指す。

2. 可聴化と音楽化

可聴化とは、本来は聴覚情報がないものを音で表現することである。Hermann は可聴化の定義を以下のように定めた [3]。

- (1) 音は入力データの性質や関係性を反映している
- (2) 明確に音の変換方法が定義されている
- (3) 結果が再現可能であり、同一のデータおよび対応からは同一の結果が得られる
- (4) 異なる入力データであっても同一のデータの繰り返しであっても適応可能

Chafe らは脳波の発作を歌で表現する可聴化手法として musification を提案した [4]。この研究は本研究と対象としている物および手法は異なるが、可聴化手法に音楽が関連している点が一致する。このため本研究でも音楽を用いた可聴化手法を musification と表現する。また「音楽化」を musification の和訳とする。

¹ 横浜国立大学大学院環境情報学府

^{a)} maehara-yoshimi-tx@ynu.jp

3. 関連する従来研究

Heyes らは最も近い位置にある物体の距離に応じて電子音を生成する手法を提案した [5]. この手法では超音波を用いてソナーの範囲内にある最も近い物体を検知し、距離が近いほど低い音を生成する. この手法はシンプルであるため、生成音が非常にわかりやすい.

Brock らは最も近い距離にある領域の形をもとにして電子音を生成する手法を提案した [6]. この手法では、まず Kinect を用いて距離画像を生成し、一定の距離ごとに領域分割を行う. そして、最も近い距離にある領域が一定の距離よりも近ければ、領域の左側から右側にかけて順番に対応する音を生成する. 領域の位置が高ければ音が高く、低ければ音も低い. 距離が近ければ音が大きく、遠ければ音が小さい. また、右側にある領域は右側から音を出し、左側にある領域は左側から音を出す. この手法は領域の形を音として表現することができる.

しかし、これらの手法は至近距離に物体が存在していなければ音を生成することが出来ない. また、生成音は1つの物体または領域しか表現することが出来ないという問題点がある.

Gonzalez らは物体の位置を仮想的な音の発信源とすることで、人にとって直感的な可聴化手法を提案した [7]. この手法ではステレオカメラを用いて距離画像を生成し、物体の領域を抽出する. そして、物体の位置情報をもとに頭部伝達関数を用いて音の発信源を生成した. この手法は複数の物体の位置情報を音にすることができる. しかし、頭部伝達関数には個人差が存在している. また頭部伝達関数は音源の角度は設定できるものの音源の距離までは設定することが出来ない.

そこで Bujacz らは、個人ごとにチューニングをほどこした頭部伝達関数を用い、手前に存在する物体から順番に楽器音を生成することで物体の距離を表現する手法を提案した [8][9]. この手法は至近距離に存在する物体だけでなくある程度距離の離れた物体に対しても音を生成することができる. しかし、この手法では物体の位置や大きさの情報だけを音にしており、どのような空間であるのかが表現されていない. また生成音が単調で人が長時間聴き続けることが考慮されていない. このため、空間全体を表現し、長時間聴き続けることができる音を生成する必要がある.

4. 三次元空間把握のための音楽化手法

4.1 提案手法の概要

提案手法の概要を図 1 に示す. まず、距離センサを用いて背景・静止物体だけの距離画像および移動物体を含めた距離動画像を生成する. 次に、背景・静止物体だけの距離画像を用いて伴奏を生成する. その後、移動物体を含めた距離動画像と背景・静止物体だけの距離画像から移動物体

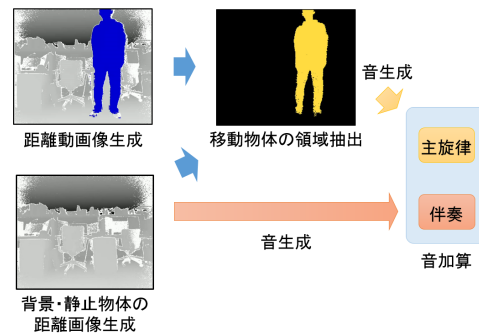


図 1 提案手法の概要



図 2 取得した距離画像例

だけの距離動画像を生成し、移動物体だけの距離動画像から主旋律を生成する. 最後に生成した2つの音を組み合わせる.

4.2 距離画像の生成

Kinect に搭載されている距離センサを用いて距離情報を取得し、得られた距離情報をもとに距離画像を生成する. このとき、階調値 f は式 (1) で決定する. 8000mm は Kinect の測定範囲の上限であり、 d は該当する画素の距離の値である. また Kinect の機能として、人物検出が存在する. 人物は 6 人まで検出可能で、検出された順番に ID が 0 から 5 まで割り振られる. Kinect が人として認識した領域は、式 (2)、式 (3)、式 (4) のように R 値および G 値に ID の値を代入し、 B 値に階調値を代入する.

取得した距離画像例を図 2 に示す. 生成する画像は、背景・静止物体だけの距離画像と移動物体を含めた距離動画像である.

$$f = \frac{(8000 - d) * 255}{8000} \quad (1)$$

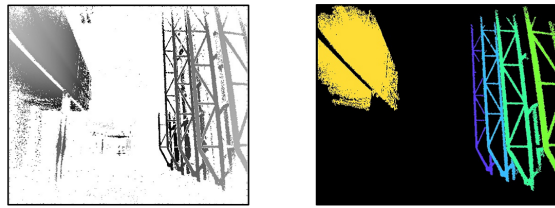
$$R = ID \quad (2)$$

$$G = ID \quad (3)$$

$$B = \frac{(8000 - d) * 255}{8000} \quad (4)$$

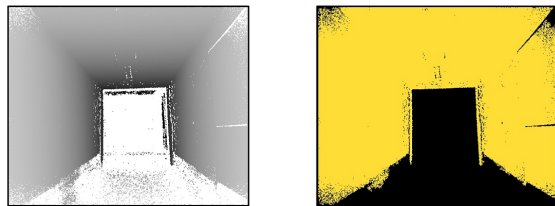
4.3 背景・静止物体の音生成

得られた背景・静止物体の距離画像をもとに伴奏を生成



距離画像例 左図の領域分割結果

図 3 和音が F になる例



距離画像例 左図の領域分割結果

図 4 和音が Bm になる例

する. 使用する音色はピアノとし, 生成する音は 1 小節分である. まず, 連続している階調値ごとに領域成長法を用いて領域分割を行い, 分割した領域結果をもとに使用する和音を決定する. 和音を決定する際, 距離画像の全体だけでなく局所的な部分にも着目する. 着目する部分には上側部分, 左右の端部分がある. 図 3 のように測定範囲外の領域が一定の割合よりも大きく, かつ上側部分だけに着目しても測定範囲外の領域が上側部分の一定の割合よりも大きければ, 開放的な空間として, 使用する和音を明るい印象を与える F(ファ・ラ・ド)とする. 図 4 のように左右の端部分の階調値が一定よりの値も大きく, 左右の端部分が上側の部分と階調値が連続しており同じ領域であれば, 閉鎖的な空間とし, 使用する和音を暗い印象を与える Bm(シ・レ・ファ#)とする. それ以外の領域は使用する和音を C(ド・ミ・ソ)とする.

次に, 空きスペースの奥行き長さから和音の長さを決定する. 空きスペースとは空間内の何も存在していない部分のことである. 階調値をあるしきい値で 2 値化すると, 図 5 のような 2 値化画像が得られる. このとき, その階調値の距離よりも手前に物体があると黒画素になる. 逆に, その階調値の距離よりも手前が空きスペースであれば, 白画素になる. そこで, しきい値を動かして順番に 2 値化を行うことによって, 空きスペースの奥行き長さを調べる. 空きスペースの奥行きが長いほど, 音を長く伸ばす.

手順は, まず距離を a 個のブロックに分割し, 手前側から b_1, b_2, \dots, b_a とする. 次にブロック b_1 と b_2 の境目をしきい値として 2 値化し, ラベリングを行う. ラベリングを行うのは, 距離画像の中央部分だけである. これは, 2 値化すると空きスペースだけでなく天井や床の測定範囲外

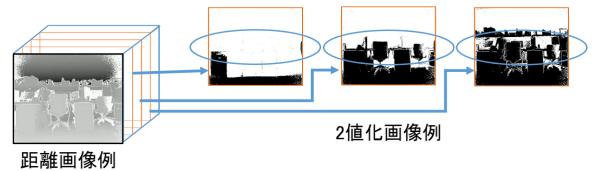


図 5 距離画像 2 値化結果例

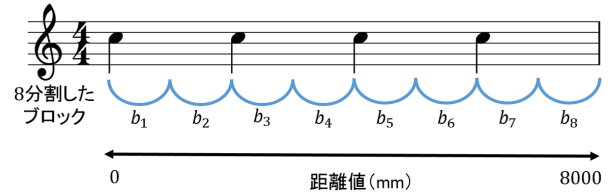


図 6 音の伸ばす長さとブロックの対応の一例 ($a = 8$ の場合)

の部分まで白画素になってしまうため, 天井や床の測定範囲外を含む可能性が低い中央部分だけから空きスペースの奥行きを判定するためである. ラベリング結果が一定の面積よりも大きければブロック内に空きスペースが存在していると, ブロック b_2 と b_3 の境目をしきい値として 2 値化し, ラベリングを行う. この作業を空きスペースが存在しなくなるまで, または全てのブロックの境界値をしきい値とするまで繰り返す. そして空きスペースが存在していたブロック分, 和音を長く伸ばす. 図 6 に音の伸ばす長さとブロックの対応の一例を示す. ブロックの個数分だけ和音を伸ばす.

4.4 移動物体の音生成

移動物体だけの距離動画像をもとに主旋律を生成する. 1 秒ごとに 1 小節分の音を生成する. まず, 1 秒ごとに距離動画像のフレームから背景・静止物体の画像と差分をとる. このとき, 階調値に差分が存在すればその部分は移動物体とみなし, 距離動画像から移動物体の部分抽出したフレームを作成する. そして, 得られた移動物体だけの距離動画像を領域成長法を用いて領域分割を行う. 移動物体の領域分割結果例を図 7 に示す.

次に, 得られた移動物体の領域をもとに音を生成する. 表 1 に音の生成方法を示す. このとき, 左右方向を x 軸とする. まず, 音の高さは領域の中心の x 座標に基づいて決定する. x 座標が右側に寄るほど高く, 左側が寄るほど低くなるように設定する. 距離画像の横幅を b 個のブロックに等分し, 左側から x_1, x_2, \dots, x_b とする. そして, 領域の中心 x 座標がどのブロック内であるかをもとにして音を決定する. この際, 背景・静止物体にて選択した和音に対応した音階を用いる. 和音が C(ド・ミ・ソ)の時, 使用する音階は C major(ド・レ・ミ・ファ・ソ・ラ・シ)とする. F(ファ・ラ・ド)のとき, 使用する音階は F major(ファ・ソ・ラ・シ♭・ド・レ・ミ)とする. Bm(シ・レ・ファ#)

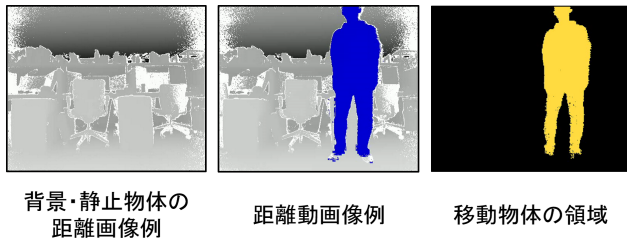


図 7 移動物体の領域分割結果例

表 1 音生成方法

領域情報	決定項目
領域の中心 x 座標	音の高さ
中心座標の距離	音を出すタイミング
領域が人か人以外か	音色

表 2 使用する音とブロックの対応 ($b = 14$ の場合)

	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7
C major	C3	D3	E3	F3	G3	A3	B3
F major	F3	G3	A3	B ♭ 3	C4	D4	E4
B minor	B2	C # 3	D3	E3	F # 3	G3	A3
	x_8	x_9	x_{10}	x_{11}	x_{12}	x_{13}	x_{14}
C major	C4	D4	E4	F4	G4	A	B4
F major	F4	G4	A4	B ♭ 4	C5	D5	E5
B minor	B3	C # 4	D4	E4	F # 4	G4	A4

のとき、使用する音階は B minor(シ・ド#・レ・ミ・ファ#・ソ・ラ)とする。表 2 に使用する音とブロックの対応を示す。C3 や D4 の後ろの数字はオクターブの高さを示し、数字が大きくなるとオクターブが高くなる。例えば、C3 (ド) の 1 オクターブ上の音は C4 (ド) である。

次に、中心座標の距離から音を出すタイミングを決定する。まず距離を c 個ブロックに分割し、手前側から B_1, B_2, \dots, B_c とする。この際、 c 個のブロックは空きスペースの奥行きの高さを決定する際に用いた a 個のブロックと対応しており、 a は c の整数倍または c は a の整数倍とする。これは移動物体の生成音と背景・静止物体の生成音のリズムが調和するようにするためである。図 8 に音を出すタイミングとブロックの対応の一例を示す。ここでは a は c の 2 倍であるため、 B_1 は b_1 と b_2 を合わせたものとし、 B_2 は b_3 と b_4 を合わせたものとする。そして対応するブロックのタイミングで音を出す。また、中心座標の距離が B_1 または B_2 のブロック内にある場合は、該当タイミング内で音を 2 回出す。音を 2 回出すことによって物体が近くにあることを表現する。

最後に、中心座標の R 値および G 値が ID であれば分割した領域は人とみなし、音色をヴァイオリンに、ID でなければ音色をクラシックギターに変更する。

4.5 生成音の加算

生成した背景・静止物体の情報の音と移動物体の情報の

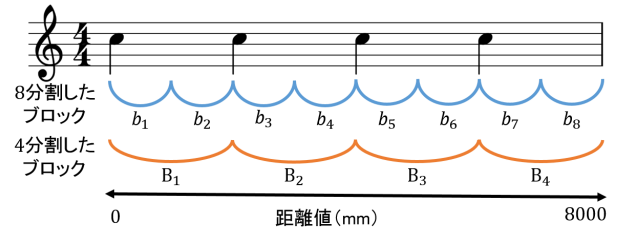


図 8 音を出すタイミングとブロックの対応 ($a = 8, c = 4$ の場合)

音を組み合わせる。移動物体の情報の音の小節分、背景・静止物体の情報の音の小節を繰り返す。また、小節がどのタイミングから始まっているかを把握するための指標としてドラムの音とベースの音を一定間隔ごとに出す。

5. 音生成実験

本実験では Kinect で撮影した背景・静止物体だけの距離画像と距離動画像から生成される音を検証した。

5.1 実験設定

5.1.1 環境設定

本実験は屋内環境を対象とし、距離画像撮影時、Kinect は位置を固定した。この際 Kinect の測定範囲の下限である 500mm よりも手前に静止物体を配置しないよう配慮した。移動物体の数は 1 つまたは 2 つとした。

音の生成には、MIDI 用ファイルフォーマットの一種である Standard MIDI File (SMF) を用いた。本実験では、SMF の出力にフリーライブラリを用いた [10]。小節開始位置の指標として、ドラムは拍ごとに、エレキベースは拍子のはじめの拍ごとに音を出した。

5.1.2 ブロックの分割設定

表 3 に分割したブロックの数を示す。空きスペース決定時のブロック分割数 a と音を出すタイミング決定時のブロック分割数 c は、生成音を 4 分の 4 拍子にするため 4 の倍数とした。音の高さ決定時のブロック分割数 b は、音階の 1 オクターブ分の音が 7 個存在しているため、7 の倍数とした。具体的な値は実験的に設定した。

空きスペース決定時の距離 8 分割ブロックの境界値 t_b は式 (5) で決定した。8000mm は Kinect の測定範囲の上限である。また、4500mm は Kinect の人の検出範囲の上限である。本実験では、主要な移動物体として人を想定しているため、人の検出範囲内は検出範囲外よりも重要であるとみなしている。 b_1 から b_6 までのブロックを用いて 4500mm までを表現し、 b_7 と b_8 で 4500mm から 8000mm を表現する。

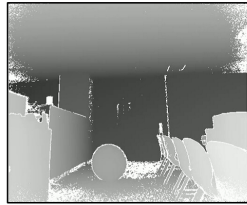
$$t_b = \begin{cases} \frac{4500 \cdot b}{6} & (b \leq 6) \\ \frac{(8000 - 4500) \cdot (b - 6)}{2} + 4500 & (\text{otherwise}) \end{cases} \quad (5)$$

5.1.3 検証動画

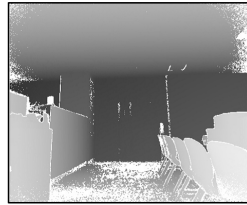
2 つの動画で検証を行った。検証動画を図 9、図 10 に示

表 3 ブロックの分割設定

分割するブロック	分割数
空きスペース決定時のブロック分割数 a	8
音の高さ決定時のブロック分割数 b	14
音を出すタイミング決定時のブロック分割数 c	4



距離動画像

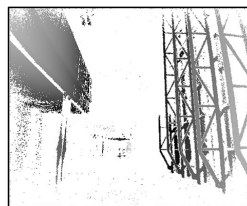


背景・静止物体の距離画像

図 9 (シーン 1) 物体が中央奥から左手前へ移動



距離動画像



背景・静止物体の距離画像

図 10 (シーン 2) 複数人が手前から奥へ移動

す。シーン 1 は奥行きのある空間で、物体が中央奥から左手前へと移動する。シーン 2 は開放的な空間で、複数人が手前から奥へと移動する。

5.2 実験結果と考察

5.2.1 シーン 1 の結果

生成音を図 11 に示す。背景・静止物体の生成音であるピアノは、もとの距離画像が奥行きのある空間であるため、C の和音が長く伸びた。移動物体の生成音であるクラシックギターは、物体が奥から手前に移動しているため、音を出すタイミングが徐々に小節内で早くなった。また、音を出すタイミングが小節内で早くなった際、出す音が 1 つから 2 つに増えた。そして、物体が左側に移動したため、音の高さが下がった。

5.2.2 シーン 2 の結果

生成音を図 12 に示す。背景・静止物体の生成音であるピアノは、もとの距離画像が開放的な空間であるため、F の和音が最後まで伸びた。移動物体が人であるため、移動物体の生成音の音色がクラシックギターでなく、ヴァイオリンになった。また、2 人存在しているため、2 つの音が生成されて和音となった。手前から奥に進んでいるため、音を出すタイミングが徐々に小節内で遅くなった。

5.2.3 考察

2 つの動画による音生成実験の結果、提案手法通りに音が生成されていた。これより、提案手法はシーンに応じた



図 11 (シーン 1) 生成音加算結果



図 12 (シーン 2) の生成音加算結果

音楽化が可能であることを確認することができた。そして、従来研究では生成音を長時間聴き続けることを考慮していなかったが、本実験の生成音は背景・静止物体の音が伴奏、移動物体の音が主旋律となっており、生成音が音楽となったため長時間の試聴に適していると考えられる。また、生成された 2 つの音はそれぞれ別々の印象が存在する音となった。これは背景・静止物体の情報によって変更した和音や音階が、音を聴く際に人に大きな印象を与えるからである。しかし移動物体の奥行き方向の移動距離が短い場合、移動した方向が手前側なのか奥側なのか生成音からは判断できないという問題点があった。これは移動物体の中心座標の距離は音が出るタイミングからしか把握することが出来ないため、同じタイミングで音が出るとおおよかな位置しかわからないためである。移動距離が短くとも異なる生成音になるように改良する必要がある。

6. 三次元空間判別実験

本実験では被験者が生成音から動画中の環境を判別可能か検証した。また、動画の選択しやすさ、および生成音と選択した動画がどれだけ対応しているかについての 5 段階

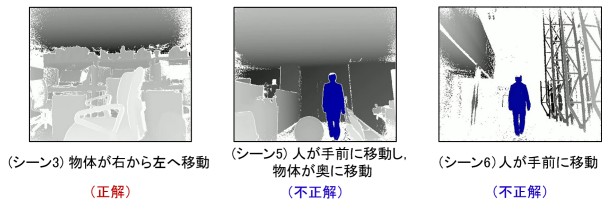


図 13 検証動画シーン 3 と正解でない選択肢の動画



図 14 検証動画シーン 4 と正解でない選択肢の動画

評価を行った。

6.1 実験設定

13 人の被験者にパソコンの前でヘッドホンを装着してもらい実験を行った。被験者は事前に音の生成方法の説明を受け、5 節で述べた音生成実験にて使用したシーン 1 とシーン 2 の距離動画像とその生成音を試聴した。そして、ある生成音と 3 つの動画を試聴し、生成音がどの動画から生成されたものであるかを被験者が正しく選択可能か検証した。その後、動画の選択しやすさ、および生成音と選択した動画がどれだけ対応しているかの 2 種類の評価を 5 段階で行った。

動画の選択しやすさの 5 段階評価では、1 に近いほど動画が選択しにくく、5 に近いほど動画が選択しやすい。生成音と選択した動画の対応の度合いの 5 段階評価では、1 に近いほど対応しておらず、5 に近いほど対応している。

6 つの動画を用意し 2 つの動画を正解、4 つの動画を不正解とした。検証動画と検証時に使用した正解でない選択肢の動画を図 13、図 14 に示す。シーン 3 は、奥行きのある空間にて、物体が中央奥から左手前へと移動するシーンである。シーン 4 は、開放的な空間にて、複数人が手前から奥へと移動するシーンである。生成した楽譜は付録 A に示す。

6.2 実験結果と考察

表 4 に動画を 1 回ずつ試聴後の正解率、図 15 に 2 種類の 5 段階評価の結果を示す。表 4 から、移動物体が 1 つの場合や、2 つであっても同じ動きをしている場合は生成音に対応している正しい動画の選択が可能であった。図 15 から、動画の判別も比較的行いやすく、動画と生成音も対応していると被験者から評価を得た。

しかし検証後被験者から以下のような意見を頂いた。

- ヴァイオリンの鳴っている音が 1 つか 2 つか判別する

表 4 動画を 1 回ずつ試聴後の正解率

検証シーン	正解率 (%)
シーン 3	85
シーン 4	92

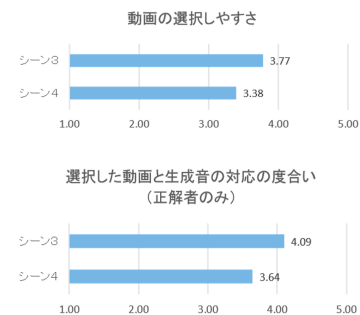


図 15 5 段階評価結果 (5 に近いほど評価が高い)

ことが出来なかった。

- 音色の判別が難しかった。
- 多くの情報を一度に聴き取らなければならず、部分的な情報しか得られなかった。

検証後、被験者にある動画の生成音を聴いてもらい、どのようなシーンを思い浮かべるかアンケートを行った。使用した動画は、図 13 のシーン 5 である。シーン 5 はシーン 3 判別時に使用した正解でない選択肢の動画の 1 つであり、奥行きのある空間にて、人が手前に移動し、物体が奥に移動するシーンである。

大部分の被験者は、奥行きのある空間であることは思い浮かべることが出来た。これは背景・静止物体の生成音は空間によってコードが変わるため、音の変化が直感的でわかりやすかったからである。また背景・静止物体の生成音は何度も繰り返されるため、複数回聴くことによって生成音を正確に把握することが出来たことが挙げられる。しかし移動物体に関しては、物体だけまたは人だけしか思い浮かべることが出来なかった被験者や、人と物体がすれ違っているのは思い浮かべることができたが、すれ違った方向が奥行き方向か左右方向かを認識することができなかった被験者がいた。人と物体が奥行き方向ですれ違っていると正解することが出来た被験者は 13 人中 2 人であった。多くの被験者が情報を部分的にしか得られなかった理由として、生成音が複雑であることが挙げられる。人間は注意深く聴き続ければ音を聴き分けることができる。しかし様々な音を瞬時に聴き分けることは困難である。

そのため、シーン 5 のような複数の移動物体が異なる動きをしている場合に生成音が複雑になってしまう点を今後改善する必要がある。

7. おわりに

本研究では、三次元空間を距離情報を用いて音楽で表現

する手法を提案した。背景・静止物体だけの距離画像と距離動画像を用いて背景から伴奏，移動物体から移動物体を作成して生成音を音楽にした。

Kinect を用いて実際に撮影した距離動画像を用いて音楽化を行い，得られた生成音から被験者が三次元空間を判別可能かどうかの検証を行った。実験の結果，異なる距離画像ごとに異なる印象の生成音を得ることができた。また移動物体が1つの場合や2つであっても同じ動きをしている場合は生成音に対応する動画を判別することが出来た。

今後は，複数の物体が異なる動きをしている場合であっても三次元空間を容易に把握することができるように検討する必要がある。

関連発表

- [0] 前原良美，長尾智晴：距離情報による三次元空間の音楽化，IEICE 2016 年電子情報通信学会 総合大会 学生ポスターセッション (2016)。

参考文献

- [1] Meijer, P.B.L.: *An experimental system for auditory image representations*, IEEE Transaction on biomedical engineering, Vol. 39 , No. 2, pp. 112-121 (1992).
- [2] Hermann, T., Ritter, H.: *Listen to your Data: Model-Based Sonification for Data Analysis*, International Symposium on Intelligent Multimedia and Distance Education (1998).
- [3] Hermann, T.: *Taxonomy and definitions for sonification and auditory display*, the 14th International Conference on Auditory Display (2008).
- [4] brain stethoscope : transforming seizure into song, 入手先 (<http://thisisartlab.com/tag/musification/>) (2016.02.08).
- [5] Heyes, A.D.: *The Sonic Pathfinder: A New Electronic Travel Aid*, Visual Impairment and Blindness, Vol. 78 , No. 5, pp. 200-202 (1984).
- [6] Brock, M., Kristensson, P.: *Supporting blind navigation using depth sensing and sonification*, the 2013 ACM conference on Pervasive and ubiquitous computing adjunct publication (2013).
- [7] Gonzalez-Mora, J.L., Rodriguez-Hernandez, A., Rodriguez-Ramos, L.F., Diaz-Saco, L., Sosa, N.: *Development of a new space perception system for blind people, based on the creation of a virtual acoustic space*, Engineering Application of Bio-Inspired Artificial Neural Networks, pp. 321-330 (1999)
- [8] Bujacz, M., Skulimowski, P., Wroblewski, G., Wojciechowski, A., Strumitto, P.: *A proposed method for sonification of 3D environments using scene segmentation and personalized spatial audio*, Conference & Workshop on Assistive Technologies for People with Vision & Hearing Impairments Past Successes and Future Challenges CVHI (2009).
- [9] Bujacz, M., Skulimowski, P., Strumitto, P.: *Sonification of 3D scenes using personalized spatial audio to aid visually impaired persons*, the 17th International Conference on Auditory Display (ICAD-2011)
- [10] おーぶん MIDI ぶろじえくと, 入手先 (<http://openmidiproject.osdn.jp/index.html>) (2016.02.08).