コンテンツ論文

sonodial: 人工の影を用いた インタラクティブサウンドインスタレーション

小林 良穂[*1]　　西八條 浩平[*2]　　村岡 和樹[*3]

sonodial: An Interactive Sound Installation Using Artificial Shadow

Ryoho Kobayashi[*1], Kohei Nishihachijo[*2] and Kazuki Muraoka[*3]

Abstract – ***sonodial*** **is a sound installation that allows participants to intervene actively in the work. Visual and audio representations are given by participant ' s movements. When participants are in the exhibit space, artificial shadows are projected underfoot, and the form, length, and rotation speed of the shadows change according to the participant's speed of motion and position. Participants can also interact with sound generation part. The movements of participant affect the parameters for sounds generated by granular synthesis. This paper describes the concept, system design and implementation of** ***sonodial.***

Keywords : **Sound Installation, Interactive Art, Artificial Shadow, Multiple Kinects, Granular Synthesis**

1　はじめに

コンピュータやその周辺技術の発展は，音や映像を複合的に扱うアート作品の制作を容易にし，体験者と作品との間にインタラクティビティを有した作品が多く制作されている [1, 2, 3].

本作品 sonodial(図 1) の制作の動機は，直感的なインタラクティビティを伴う音響表現の実現である．著者らはコンピュータ・ミュージック分野での研究実績を持ち，音楽音響の知識を応用しつつ一般的な楽曲制作とは異なるアプローチによる音響表現として，体感型のインスタレーション作品を制作した．

本作品の設計指針および制作における着想は下記の 4 点から成っている．

1. 音楽表現における作曲者と聴衆といった明確な立場の違いを前提とせず，鑑賞者が作品内 (展示範囲内) に入ることによって生まれる音響体験を提供する．
2. 体験者の自然な動きや感覚に基づいて音響生成を行う．すなわち，体験者には指定された動き (演奏行為) を強いない．
3. 空間を音響生成の装置として捉え，展示空間内に触れられる具体物を置かずに映像や音による表現を試みる．
4. 直観性を重視したシンプルな音響処理手法を用いながら，それらの組み合わせによって複雑かつ豊かな音響表現の創出を目指す．

図 1　sonodial
Fig. 1　sonodial

本作品では，インタラクティビティを実現するために "人工の影" を利用する．影は我々の日常生活の中に存在し，物体の動きに応じて即座に位置や形を変える．そのため，動作に対する反応を直感的に提示するため

[*1]慶應義塾大学環境情報学部
[*2]慶應義塾大学大学院政策・メディア研究科
[*3]慶應義塾大学総合政策学部
[*1]Faculty of Environment and Information Studies, Keio University
[*2]Graduate School of Media and Governance, Keio University
[*3]Faculty of Policy Management, Keio University

に有効な現象であると考えられる [4]．本作品においては体験者の影を生成し，変形させながらプロジェクタで投影することで，直感的に理解できる視覚表現を提示する．また，生成された人工の影と，展示スペースに投影された固定のパーティクルとの接触を音響合成の変数として利用することにより，直感性とインタラクティビティを持った聴覚表現が実現する．

本稿では，本作品のシステムについて解説した上で，International Computer Music Conference 2012 (ICMC2012) での展示経験に基づいた考察を行う．

2　関連研究

本節では関連する技術や実装例を概観し，本作品の設計に至る背景を明らかにする．

2.1　人工の影を用いた表現

アート作品における影の利用の歴史は古く，ルネサンス期の絵画では立体空間を表現するための重要な要素として用いられていたことが知られている [5]．影は，光源や光を遮る物体と映し出す面 (床や壁) があれば現れ，光源や物体の動きは即座に影の形に反映する．この単純な構造に加え，現象を日常生活の中で常に見ていることから，空間や物体の動きの知覚を支えている．

このように広く共有された現象であり直感性を持つことから，影は特にインタラクティブアート作品への応用が多く見られる．利用例としては，現実の影を視覚表現やインタラクションの道具として用いるものや [6, 7]，影をコンピュータ等で生成し表示させるもの [8, 9, 10, 11] がある．

本作品は，コンピュータによる計算に基づいて生成される人工の影を利用する作品である．展示スペース内に入った体験者の立体形状を 2 台の Kinect センサを用いて取得し，仮想の光源との関係から影が生成される．生成された影は，プロジェクタによって実際に体験者の足下に投影される．体験者の動きはリアルタイムに影の形状に反映されるために，直感的なインタラクションが実現する．

2.2　複数 Kinect による形状の取得

前述の影の合成のための立体形状取得のために Microsoft Kinect [12] を用いる．Kinect は 2010 年にゲーム機 Xbox360 のコントローラとして発売された．それ以降，公式 [13] ／非公式 [14] の方法でコンピュータとの接続が可能となり，ゲーム機のコントローラには留まらずに様々なアプリケーションや開発環境が実現した [15]．

Kinect は赤外線のパターンを照射し，そのパターンの歪みを赤外線カメラで取り込み解析するという方法により，単体で画角内の深度情報の取得を可能にする．1 台のみの使用ではカメラあるいは赤外線照射器から見て対象物の裏側の情報は取得できないため，複数台を組み合わせることによる立体形状の取得が試みられている [16]．

複数台の Kinect を利用した深度情報の取得においては，お互いの赤外線照射パターンの干渉が問題となる．しかし，角度や距離が一定以上大きくなれば実用上の問題はなくなることが知られている [17]．本作品においては 2 台の Kinect を展示スペースを挟んで正面に設置するため，ノイズキャンセルのための特別な処理は行われていない．

2.3　Open Sound Control (OSC) による通信

本作品では，計算負荷の分散や設置上の柔軟性の確保のために，画像処理用と音響処理用の 2 台のコンピュータを使用する．2 台のコンピュータの接続には Wi-Fi を用い，データのやり取りには Open Sound Control (OSC) [18, 19] を利用する．

OSC はマルチメディア機器間のデータ通信を実現する通信プロトコルであり，Internet Protocol 上で利用可能である．音楽関連のものを中心として多くのソフトウェアやハードウェアが対応しており [20]，非常に柔軟なプロトコルであるため，UDP を利用したリアルタイム通信等に広く利用されている．

本作品では，画像処理用コンピュータから投影される固定のパーティクルと生成された人工の影との重なりを検出し，影で覆われたパーティクルの座標を音響処理用のコンピュータに送るために使われる．

2.4　グラニュラー・シンセシス

本作品の音響の生成にはグラニュラー・シンセシスを用いる．グラニュラー・シンセシスは，音響を短時間の “音の粒子 (グレイン)” と見なし，そのグレインの振る舞いを制御することで実現する音響合成手法である [21, 22]．様々な応用が試みられており，既存の音響素材の分析／再合成手法としても多く用いられている [23]．具体的には，時間変化の速さを変化させずに各グレインの再生速度を上げることで音高を変化させるピッチシフトや，逆に各グレインの再生速度は変えずに再生のタイミングのみをずらすことで実現する時間伸縮 (タイムストレッチ) といった効果を得るための一般的な手法として知られている．

グラニュラー･シンセシスの初期の実践としては 1940 年代の Dennis Gabor の試みが知られている [24, 25]．Gabor は量子物理学の視点から音を粒子の集合として捉えて理論化し，ピッチシフトやタイムストレッチといったグラニュラー・シンセシスにおける基礎的な実験を行った．

また，グラニュラー・シンセシスをコンピュータ上で初めて実装した Curtis Roads [21, 26] は，視覚分野

での粒子表現 [27] における物質の質感の生成と音響のグラニュラー・シンセシスとの類似性を指摘している．

これらの先駆的な試みから現在に至るまで，グラニュラー・シンセシスを光の粒子性と関連づけて捉える事例は多く，本作品においては，床に投影された多数のパーティクル (光の粒子) とスピーカーから鳴らされるグレイン (音の粒子) を結び付けることによって，粒子性を共通項として視覚と聴覚を連携させている．

本作品においては，録音された音を素材としてグレインを生成する手法 [28, 29] を用いた．この手法は個々のグレインに異なる波形が割り当てられ，その組み合わせに多様性を持たせやすいため，複雑な音響表現を簡便に実現できる．また，素材の選択によって様々な音響表現を実現できる．例えば，時間変化の少ない素材を用いた場合には，生成された個々のグレインの差異が小さく，定常的な音響表現を達成するために有効である．反対に，時間変化の激しい素材を用いることで，多様なグレインを生成し複雑な時間変化や音色を実現できる．

第 4 節に詳細を示した通り，本作品においては “展示状況に適した音響素材のデザイン” を音響表現部分の重要な要素と考え，オリジナルの素材を作成／調整している．

また，音の粒子性に着目した作品を制作する上で重要と思われる点は，グレイン単体では “音楽的な意味” を持ちづらい，あるいは感じづらいという基本的な性質である．個々のグレインの持続時間は一般的に 100 ミリ秒未満であり，本作品においても 50 ミリ秒前後 (ピッチシフトの際に変化するため固定ではない) が用いられている．こうした短時間の音響にはリズム／メロディー／ハーモニーといった音楽的な構造は含まれず，明瞭な音高の知覚すら困難である．著者らは，単体では音楽的な意味を持ちづらいグレインが多数組み合わされることによって多様な音響表現を生み出せる点をグラニュラー・シンセシスの大きな魅力と考え，制作における着想とした．

本作品では “単体では意味のない多数の粒子の集合” を利用して視聴覚における統一的な表現を実現するために，床に多数のパーティクル (色，大きさ，形が同一の均質な点) を投影し，音のグレインと対応づけた．これにより，個々のパーティクルをグレインと関連させ，無数の音の粒子が広がった空間を視覚的に提示している．

3　システム構成

本節では，本作品の構成を明確にするために機器の配置や情報の流れと処理について詳述する．

3.1　機器の配置

本作品では 2 台の Kinect センサ，2 台のプロジェクタ，2 台のコンピュータを使用する．このうち Kinect とプロジェクタには厳密な位置調整と完全な固定が求められる (図 2)．

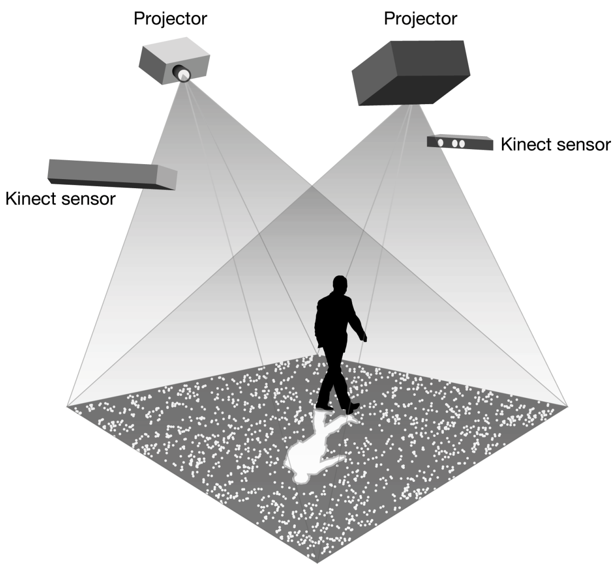

図 2　プロジェクタと Kinect の配置
Fig. 2　Layout of projectors and Kinects

プロジェクタの設置

本作品では，画像を投影するためのプロジェクタを 2 台使用する．これは，体験者が投影範囲に入る作品であり，1 台のみの場合にはプロジェクタの裏側に “ 本物の影” ができてしまうためである．2 台のプロジェクタを用いることで，それぞれのプロジェクタによって作られる影の部分への画像の投影が可能となり，体験者は自身の影を気にすることなく生成された画像を見ることができる．

2 台のプロジェクタは展示スペースを挟んで向かい合わせた状態で設置し，展示スペースの床に画像を投影する．実際の展示作品においては 3.5 メートル以上の高さが要求され，天井の高さがこれに満たない場合は鏡を使って距離を稼ぐことで作品に必要な投影範囲を確保する．2 台のプロジェクタからは全く同じ画像が投影され，これらが完全に一致するように位置や角度を調整し，歪みを補正する必要がある．

実際の展示においては，4 メートル四方程度の投影範囲に対して，2 つの画像の最大のずれを 1 センチメートル未満に抑えるように調整をした．これは，画像内にある 500 個の固定のパーティクル (点) を正確に投影するためであり，1 センチメートル以上のずれが生じると点が分離して表示されてしまうためである．

Kinect の設置

Kinect もプロジェクタと同様に展示範囲を挟んで設置する．図 2 ではプロジェクタと Kinect の向きが垂直に描かれているが，プロジェクタ同士，Kinect 同士が正面に配置されていれば，プロジェクタと Kinect の間の角度には制限はない．ICMC2012 での展示においては展示会場の制約のために，それぞれのプロジェクタの真後ろに Kinect を設置した．

Kinect では体験者の立体形状を取得するため，高さ 1 メートル程度の位置に設置し，横から深度情報を得られる状態が理想である．それと同時に，Kinect は遠く離れたものの形状を正確に取得できないため，本作品では展示範囲 (画像の投影範囲) が全て Kinect から 7 メートル以内に収まる位置への設置を要求する．

実際の展示においては，これらの条件を満たしつつ体験者が Kinect 本体に触れない状態での設置は難しく，ICMC2012 では高さ約 2.5 メートルの位置に Kinect を設置した．こうした設置方法では，2 台の Kinect から得られた深度情報を組み合わせても，腕や脚の下側に立体形状を得られない部分が残ってしまう．そのため，後述する “仮想光源” の位置を高めに設定する等して違和感のない表示になるように調整する必要がある．

3.2　画像処理

本作品で使用するコンピュータは画像処理用と音響処理用の 2 台があり，全てのソフトウェアは Mac OS X 上で動作する．そのうち画像処理用のコンピュータにはプロジェクタと Kinect が接続されている．このコンピュータで動作する画像処理プログラムは openFrameworks [30] を利用して C++で書かれ，Kinect の深度情報の取得には OpenNI [31] を使用している．

実行の準備として，2 台の Kinect から得られた深度情報を，コンピュータ内に生成された仮想の展示スペース (プロジェクタの投影範囲の床) に重ねて拡大縮小／回転等を行い調整する．この調整を経ることで，実空間における体験者の位置や動きを仮想空間の座標上で処理し画像の生成や分析に利用できる．

画像処理用のコンピュータでは Kinect から得られた情報に基づき下記の処理を行う (図 3)．

1. Kinect の深度情報に基づく分析
   (a) 立体形状の取得
   (b) 展示空間内の全ての物体の重心 (1 点) の算出
2. コンピュータ内での生成
   (a) 500 個のパーティクルの生成
   (b) 仮想の光源の配置

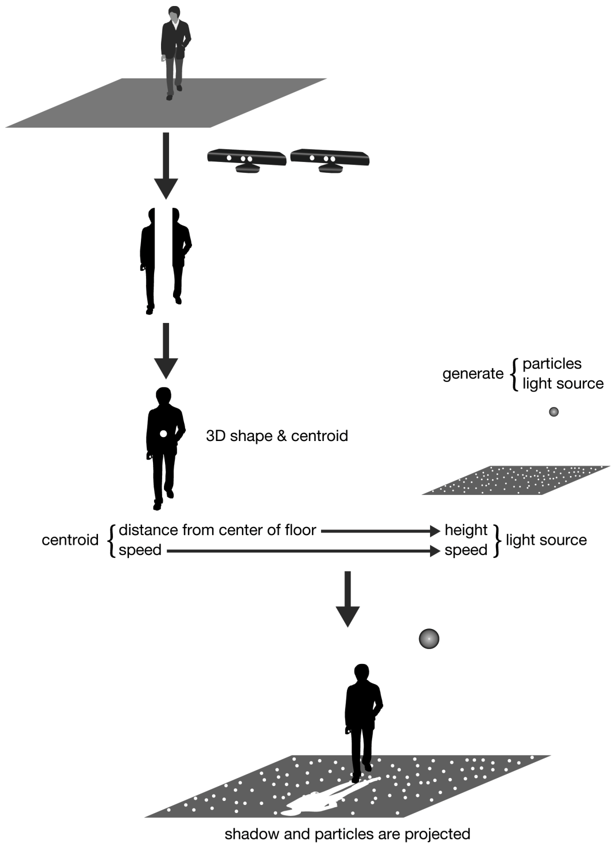

図 3　sonodial: 画像処理
Fig. 3　sonodial: Image processing

立体形状の取得 (1a) は，2 台の Kinect から得られた深度情報を仮想空間の座標に合うように変形して配置することを意味する．対面する Kinect の深度情報がそれぞれの不過視部分 (対象物の裏側) を補完することで完全に近い形状を得る．

1b においては，1a で得られた立体形状の情報に基づき，展示空間内の全ての物体から全体の重心を算出する．複数人が展示空間内に入った場合にも個別の体験者を識別することなく全体の重心を得る．この重心の位置や動きは後述の仮想光源の動きに対応付けられるため，複数人が展示空間内に入った際には，その関係性による画像や音の変化が実現する．

本作品では動作開始時にランダムな位置に 500 個のパーティクル (点) を配置する (2a)．これらのパーティクルは固定されていて動くことはなく，生成される人工の影との関係を利用して音響合成に使われる．パーティクルは，4 メートル四方程度の展示範囲に対して 500 個という十分に多くの数が配置され，またそれらの位置はランダムであるため，局所的には疎密が生じ全体としては大きな偏りのない分布が実現する．こうした分布は，音響の生成において周期性 (密な部分に影が重なることで多数の音が鳴る) を持ちつつ，定常的に音が鳴り続ける状態を達成する．

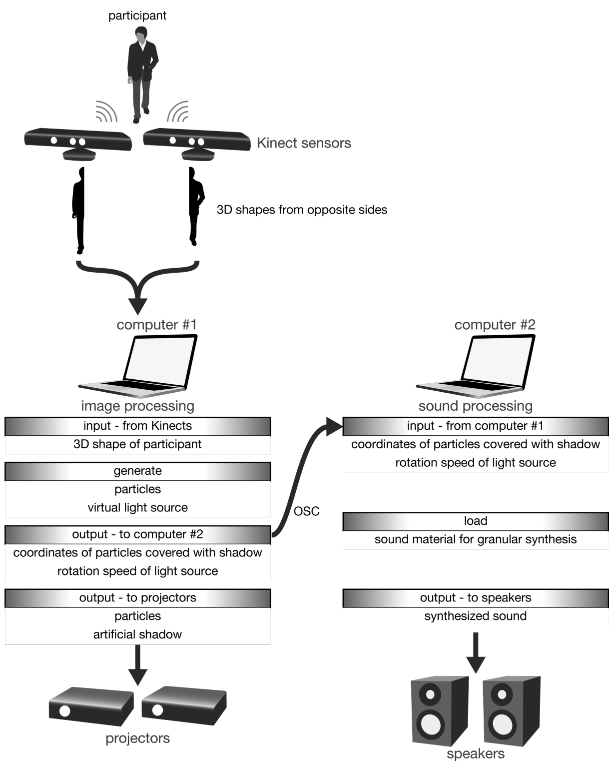

図 4　sonodial: システム構成
Fig. 4　sonodial: System architectur

1b で得られた “展示空間内の重心” の位置と速度は人工の影を生成するための仮想光源 (2b) の動きに対応付けられる．仮想光源は大きさを持たない点光源として配置され，Kinect で得られた立体形状との位置関係から展示空間の床に人工の影を投影する．また，この仮想光源は常に展示空間の周囲を回転運動する．

重心と展示空間の中心との距離は仮想光源の高さに対応し，体験者が展示空間の中心へ接近することで光源の位置が低くなる．これにより，体験者が中心に近づくに従い人工の影が伸びて激しい音響の変化に結びつく．重心の移動速度は仮想光源の回転速度に対応しており，体験者の動き (重心位置の変化) が速くなると仮想光源とそれに対応した人工の影の回転が速くなる．

こうして計算によって生成された人工の影は現実の影とは逆に白い光で照らすことで表現される．画像処理用コンピュータではこれらの人工の影とパーティクルをプロジェクタを通して床に投影し，また影とパーティクルに重なりが生じた場合にはそのパーティクルの座標を音響処理用コンピュータに送る (次項にて詳述).

3.3　画像と音響の連結

画像処理用コンピュータで得られた情報のうち，“ 人工の影で覆われた全てのパーティクルの座標”，“仮想光源の回転速度” の 2 種類の情報が Wi-Fi を通して音響処理用コンピュータに送られる (図 4)．値の送受信には OSC [18, 19] を利用しており，送信のタイミングは画像の表示フレーム毎であるため，常に最新の状態に対応した音響の生成が実現する．

ここで送られるパーティクルの座標とは，具体的には投影された仮想空間上での x 座標のみであり，この情報が後述のグラニュラー・シンセシスにおける再生位置に対応する．人工の影は回転運動をして投影されるため，その影と重なったパーティクルの x 座標は体験者の足下の位置を中心として周期的に上下する値が得られる．この結果，周期変化を伴った音楽的な音響表現が達成される．

3.4　音響処理

画像処理用コンピュータから OSC で送られた値は，マルチメディア向けのビジュアルプログラミング言語 Max [32, 33] による独自の音響処理パッチの動作するコンピュータで処理され，グラニュラー・シンセシスによる音響合成を行う．

本作品においては，作品の体験に適した音響素材をあらかじめ用意し，その素材からグレインを切り出す位置と音高をリアルタイムに変化させる手法を実装した (図 5)．

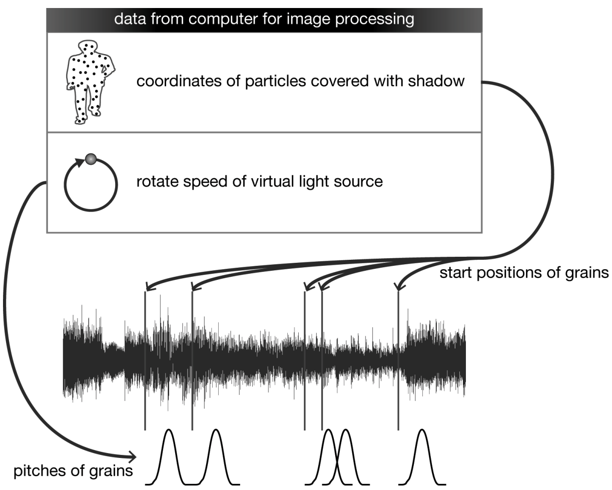

図 5　sonodial: 音響処理
Fig. 5　sonodial: Sound processing

人工の影に覆われたパーティクルの x 座標の値はグレインの再生位置に対応している．特に体験者が展示空間の中心に近づいた場合には影が伸びて多くのパーティクルが覆われることになる．これにより，数十〜数百のグレインが同時に重なり合って再生される．仮想光源の動きに伴って，影やその影で覆われるパーティクルの位置は体験者の足下を中心として回転し，体験者が移動しない場合には音響素材のほぼ同じ位置を繰り返し再生する．体験者の動きが激しい場合には再生位置の中心が移動すると同時に，重心の移動によって回転速度が上がり繰り返しのスピードも速くなる．

重心の移動に対応して変化する仮想光源やそれによって作られる人工の影の回転速度は，独立の値として画像処理用コンピュータから音響処理用コンピュータに送られる．この値は各グレインの音高に対応付けられており，体験者の動きが速くなれば再生される音の高さも高くなる．本作品で用いているような小さなグレインを多く重ね合わせるグラニュラー・シンセシスにおいては，個々のグレインの聴き分けは困難である．また，体験者の動きが激しい場合には回転によるパターンも認識されづらく，再生位置の変化に伴うインタラクションの要素が希薄になってしまう．そのため，光源の回転速度と音高との対応付けは，特に体験者が速く動いてる場合にインタラクティビティを知覚させるために有効に作用すると考えられる．

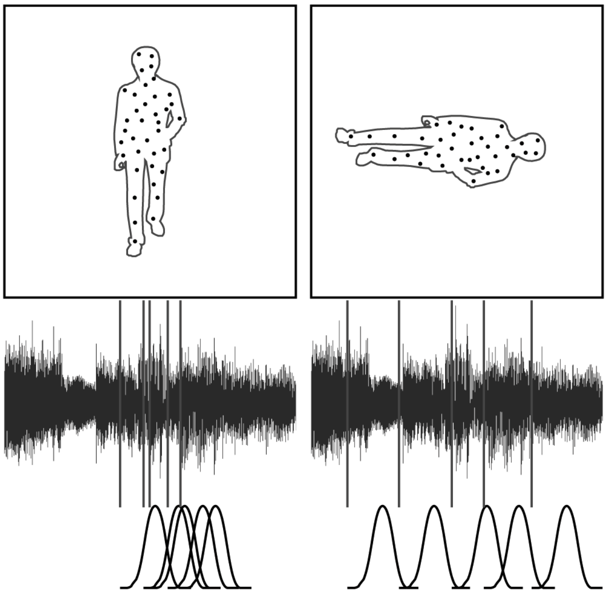

図 6　影の向きとグレインの関係
Fig. 6　Direction of shadow and corresponding grains

図 6 は影の伸びる向きとグレインの再生位置との関係を示している．影が縦に伸びている場合は時間的に近い位置の音が重なる．このため，類似した音が重なった状態を作る．これに対し，影が横に伸びる場合には離れた位置のグレインが同時に鳴った状態を作る．このように時間的に離れた位置の音を重ねても音響表現として成立する素材の選択が重要になる．

この環境内での影の回転は “逆再生を含む様々な速度での時間伸縮を行い同時に再生した状態” を意味している．すなわち，影の先端部分 (体験者の頭) は速く，影の根元 (体験者の足下) は遅く動き，これらが重なり合って再生される．順再生と逆再生は体験者に知覚されることを前提としておらず，どちらを順再生と捉えても問題にならない素材を設定する．

こうした音響表現を達成するためには，展示空間内に十分な数のパーティクルが配置されている必要がある．それと同時に，音響表現における揺らぎとパーティクルと影との関係を示すために，グレインの分布には疎密を生じさせる．これにより，パーティクルが密の部分に影が重なった際に多くの音が鳴る状態が達成される．本作品ではパーティクルはランダムに配置されるが，その数は展示の広さや環境に応じて調整される．

合成された音は展示空間の中心に向けられたスピーカーから出力され，プロジェクタによる光の表現と同時に作品への没入感を演出する．また，実際の展示においては本作品が音響を伴ったインスタレーション作品であって，体験者が展示空間内に入ることで作品が成立することを理解させるために，展示空間内に人が入ってない状態でも小さな音で持続音を鳴らした．これにより，プロジェクタとスピーカーに囲まれた空間を暗闇の中に浮かび上がらせ，展示空間を視聴覚両面で特殊な空間とする演出を実現した．

4　展示での実践例

本作品は，International Computer Music Conference 2012 (ICMC2012) のインスタレーション部門に採択され，2012 年 9 月にスロベニアのリュブリャナ市内のギャラリー “Kapelica Gallery [34](図 7)” にて展示を行った．

図 7　Kapelica Gallery
Fig. 7　Kapelica Gallery

本作品は，会場の広さや形によって展示方法が制限され，各種の値の設定は状況に応じて調整される．本節では，ICMC2012 での展示における設定を示した上

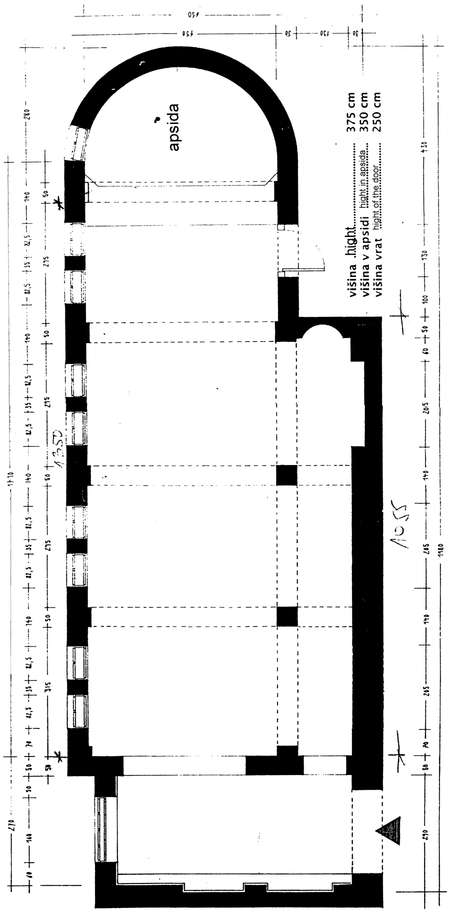

図 8　Kapelica Gallery: 平面図
Fig. 8　Kapelica Gallery: Ground plan

で，展示を通して得られた成果について述べる．

4.1　展示における値の設定

展示会場であるKapelica Galleryは天井が3.75メートルあり，プロジェクタを天井近くのパイプに固定することで，鏡を使用せずに直接床に向けて投影することができた．投影の範囲は約 4 メートル四方が得られた．

表 1　展示用の値の設定
Table 1　Setup for exhibition

値の種類	設定値
パーティクルの数	500 個
フレームレート	30fps
光源の回転速度 (最大)	約 450°/秒
光源の回転速度 (最小)	約 45°/秒
光源の高さ (最大)	25 メートル
光源の高さ (最小)	3 メートル
光源の回転半径	約 18 メートル

各種の値の設定は表 1 に示した通りである．仮想光源の動きは変化の幅を大きくすることでインタラクティビティを強調する設定がされている．また，入り口から展示空間までに距離があるため，インタラクティブアート作品であることを明確にする (離れた位置からの鑑賞に留めない) 目的で，体験者がある程度近づいた際に人工の影が展示空間内に映り込むように仮想光源の回転の半径を大きくしている．

会場が縦に長い形状であり (図 8)，Kinect から正面の壁までが深度情報を取得可能な距離を大きく上回り，ノイズを生じやすい状況であった．そこで，作品の起動時に Kinect の画角内に誰もいない状態にし，200 フレーム (7 秒程度) の深度情報を取得し，その平均を壁や床といった背景の深度情報として使用した．

会場には備え付けのスピーカーが，展示空間を囲む位置の天井に 4 台設置されており，これらを用いて音を出力した．本作品はステレオ (2 チャンネル) を前提とするため，2 台のスピーカーに同じ音を割り当て，その定位を調整して空間的な演出を施した．

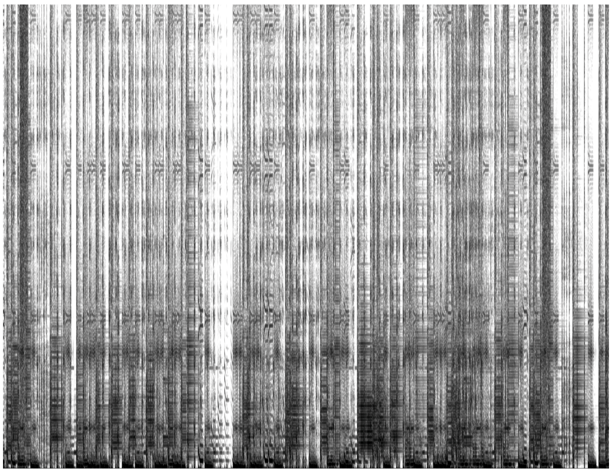

図 9　グラニュラー・シンセシスに用いる音響素材のスペクトログラム (一部抜粋)
Fig. 9　Spectrogram of sound material for granular synthesis

グラニュラー・シンセシスによる音響合成には時間変化の激しい素材を用いた (図 9)．ICMC はコンピュータ・ミュージックを専門とする研究者や作曲家の集まる国際会議のため，構造の理解を容易にするよりも質が高く変化に富んだ音響表現の実現を目標とした．音響素材の周波数分析結果を表すスペクトログラム (図 9; 横軸が時間，縦軸が周波数，色の濃さが各周波数成分の大きさに対応する) には，高次の倍音を含んだ音が多く，時間的な音量／音色の変化が激しいことが示されている．これにより，影の回転速度が遅い状態でも音に変化が付きやすくなる．また，同時に低音 (図 9 の下限付近) に多くの成分を持った音色があり，こうした音色は，影の回転速度 (体験者の動きの速度から算出) に対応した音高の変化の知覚を助ける．

4.2　体験者の反応

展示会場は機材設置に必要な天井や床の広さの条件を満たし，室内を暗くすることができた上に，入り口付近の展示に影響のない部分に照明で照らした解説パネルを設置でき，本作品にとって良好な展示条件であった．また，同一の会場に他の作品が設置されていないため，音や光の干渉に苦慮せずに展示が行えた．

このように好条件が揃ったことと，展示を行ったICMC はコンピュータ・ミュージックを総合的に扱う国際会議であり，音楽関連の研究者が多く集まっていたことを前提としつつ，第 1 節で示した設計指針と関連づけて体験者の反応をまとめる．

1. **音楽表現における作曲者と聴衆といった明確な立場の違いを前提とせず，鑑賞者が作品内 (展示範囲内) に入ることによって生まれる音響体験を提供する．**

インタラクティビティを持ったインスタレーション作品であり，作者の意図に従わない変化を多く含むため，作者と体験者の関係性は作曲者と聴衆とは異なる．また，展示空間に入れば影が表示され，その影に応じて音が生成される点と，身体を速く動かすことで影の回転も速くなるという点については，口頭での説明を必要とせず，ほぼ全ての体験者が直感的に理解できていたと考えられる．

2. **体験者の自然な動きや感覚に基づいて音響生成を行う．すなわち，体験者には指定された動き (演奏行為) を強いない．**

会場の入り口付近に作品解説は掲示したものの，特定の体勢や動きを求めていないため，ほぼ全ての体験者が自由に動きながら作品を体験していた．

動きによって音を変化させる行為を “演奏” と表現する体験者はいたが，“適切な動きをしなければ良い音響表現に結びつかない” という解釈は聞かれなかった．

3. **空間を音響生成の装置として捉え，展示空間内に触れられる具体物を置かずに映像や音による表現を試みる．**

Kinect とプロジェクタを利用することで，具体物を展示空間に置かず，あるいは体験者に身に付けさせることのない状況で作品を展示できた．

また，特殊な例ではあるが，“犬を連れて体験する”，“持ち物を展示空間内に放置する” といった自由な行動を起こす体験者も現れた．こうした状況は，音や光に囲まれた制約のない空間として作品を提示できていたと考えられる．

4. **直観性を重視したシンプルな音響処理手法を用いながら，それらの組み合わせによって複雑かつ豊かな音響表現の創出を目指す．**

“魅力的な音響表現の実現” については，音楽／音響の研究を専門とする ICMC の参加者には好評であった．グラニュラー・シンセシスの特徴である再生位置 (人工の影に覆われるパーティクルの位置に対応) と音高 (重心の動きの速さに対応) の独立した変化や，逆再生を含む周期性を伴う再生位置の動的変化といった音響表現は当該分野の研究者にとっては馴染み深いものである．

しかし，こうした技術によって生成される音はリズム／メロディー／ハーモニーといった一般的な音楽の構成要素を明確に持たないものである．そのため，期間中に無料開放していたために多く訪れた ICMC の参加者以外の体験者は，影の回転と音の周期的変化が対応しているといった構造への興味や理解が得られたとは言えない．

また，展示空間の中心に向かうことで影が長くなるという機能については，多くのグレインが重なることで複雑な音色が生成されるという副次的な結果は伴うものの，直感的には理解されなかったようである．これは，影が常に回転しているためにその動きに注目してしまい，その形状の伸び縮みには関心が払われなかったためではないかと考えられる．

展示会場である Kapelica Gallery からの評価は非常に高く，ICMC 終了後の展示期間延長を依頼され，約 20 日間延長展示された．

5　まとめと展望

本研究では，影という身近な現象を応用することで直感的なインタラクションを実現し，それらを音響生成に結び付けることで，視覚表現を伴うインタラクティブサウンドインスタレーション作品を完成させた．第 2 節で示された通り，本作品に使われている技術は近年の芸術表現，特にインタラクティブアート作品に広く使われているものである．こうした一般化しつつある技術を適切に組み合わせ，直感的なインタラクションや没入感の提供を目指した作品を制作した．

機材の設置条件が厳しいために，現時点では本作品の展示場所は限られてしまう．しかし，“一般的な楽曲とは違う形で魅力的な音響表現を実現する” という作品制作の原点に戻りつつ，更なる作品の発展を目指す上で展示場所や条件について再考すべきだと考えている．

本作品ではプロジェクタによって投影したパーティクルが配置された展示空間があり，そこに足を踏み入

れることで音響が生成されインタラクションが実現する．暗い屋内にプロジェクタで区切られた空間があることで没入感を強調することはできるが，鑑賞者には体験の前から能動的な態度を求めているとも言える．

そこで，より公共空間に近い場所において，こうした異質な視聴覚体験を提供する方法を考える．これは具体的には “暗くて静かな場所” でなくても本作品と同質の体験ができる環境を意味している．

まず視覚表現においては，周囲がある程度明るい状況でも画像を表示させる必要がある．これには床の下から投影あるいは液晶パネル等で画像を表示する方法，輝度の高いプロジェクタを使う方法などが考えられる．しかし，足下で画像が表示されることに新しさや驚きは感じづらく，体験者に照射するために輝度の高いプロジェクタは使いづらい．

そこで，再帰性反射材 [35] の利用を検討したい．プロジェクタの設置方法の検討や表示内容の改良は必要ではあるが，一定の範囲のみを展示空間として切り取ることは可能であると考えられ，本作品のアイデアを公共空間に持ち出す手法として有効と考えられる．

音響表現においても同様の発想で，周囲に多少の騒音がある状況下でも特定の空間にのみ特別な音響環境を提供することができれば興味深い体験が得られる可能性がある．こうした環境の実現には超指向性スピーカー [36] の利用が有効であると考えられる．これによって，特定の範囲のみに音を鳴らしたり，あるいは床に音を反射させることで床から音が出ているような錯覚を与えることも可能である．

以上のようなアイデアを試し，より魅力的な視聴覚体験を提供する作品の制作に繋げたいと考えている．

参考文献

[1] David Z. Saltz: The Art of Interaction: Interactivity, Performativity, and Computers. The Journal of Aesthetics and Art Criticism, Vol. 55, No. 2, pp. 117-127, 1997.

[2] Ernest Edmonds, Greg Turner, and Linda Candy: Approaches to interactive art systems. Proceedings of the 2nd international conference on Computer graphics and interactive techniques in Australasia and South East Asia, pp. 113-117, 2004.

[3] Digital Arts : Interactive Media: Interactive Art Archives. http://blog.lib.umn.edu/jrock2/art3018/interactive-art/

[4] Christian Jacquemin, Georges Gagneré, and Benoît Lahoz: Shedding light on shadow: real-time interactive artworks based on cast shadows or silhouettes. Proceedings of the 19th ACM international conference on Multimedia, pp. 173-182, 2011.

[5] Victor I. Stoichita: Short History of the Shadow. Reaktion Books, 1997.

[6] Rafael Lozano-Hemmer: Body Movies. 2001. http://www.lozano-hemmer.com/body_movies.php

[7] Yugo Minomo, Yasuaki Kakehi, Makoto Iida, and Takeshi Naemura: Transforming your shadow into colorful visual media: multiprojection of complementary colors. Computers in Entertainment, Vol.4, No. 3, pp. 1544-3574, 2006.

[8] Myron W. Krueger, Thomas Gionfriddo, and Katrin Hinrichsen: VIDEOPLACE an artificial reality. Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, pp. 35-40, 1985.

[9] Takeshi Naemura, Takuya Nitta, Atsushi Mimura, and Hiroshi Harashima: Virtual Shadows in Mixed Reality Environment Using Flashlight-like Devices. 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol.7, No.2, pp. 227-237, 2002.

[10] Zack Booth Simpson and Adam Frank: Shadow. 2003. http://www.mine-control.com/shadow.html

[11] 應和 春香, 佐賀野 正行, 吉村 康弘, 小村 仁美, 山崎 仁之, 渡邊 大輔, 仲野 嘉信, 白澤 卓, 辻村 壮史, 川嶋 賢二, 福嶋 昌子, 井村 誠孝, 千原 國宏: INVISIBLE : 影を追う者. 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol.15, No.3, pp. 315-324, 2010.

[12] Kinect - Xbox.com. http://www.xbox.com/ja-JP/kinect/

[13] Kinect for Windows - Voice, Movement & Gesture Recognition Technology. http://www.microsoft.com/en-us/kinectforwindows/

[14] Jim Giles: Inside the race to hack the Kinect. The New Scientist, 208(2789), 22-23, 2010.

[15] Jeff Kramer and Matt Parker: Hacking the Kinect. Apress, 2012.

[16] 竹内 俊貴, 中島 統太郎, 西村 邦裕, 谷川 智洋, 廣瀬 通孝: PRIMA — 異なる時間軸上のユーザとのインタラクションを実現するシステム. 電子情報通信学会技術研究報告, Vol.111, No.38, pp. 7-12, 2011.

[17] Jeff Kramer and Matt Parker: Multiple Kinects; Hacking the Kinect. Apress, pp. 207-246, 2012.

[18] Matthew Wright, and Adrian Freed: Open sound control: A new protocol for communicating with sound synthesizers. Proceedings of the International Computer Music Conference, 1997.

[19] Matthew Wright: Open Sound Control: an enabling technology for musical networking. Organised Sound, Vol.10, No.03, pp. 193-200, 2005.

[20] opensoundcontrol.org - Implementations. http://opensoundcontrol.org/implementations/

[21] Curtis Roads: Automated granular synthesis of sound. Computer Music Journal, Vol.2, No.2, pp. 61-62, 1978.

[22] Curtis Roads: Introduction to Granular Synthesis. Computer Music Journal, Vol.12, No.2, pp. 11-13, 1988.

[23] Sergio Cavaliere, and Aldo Piccialli: Granular synthesis of musical signals. Musical Signal Processing, pp. 155-186, 1997.

[24] Dennis Gabor: Theory of communication. Journal of the Institute of Electrical Engineers-Part III: Radio and Communication Engineering, Vol.93, No.26, pp. 429-457, 1946.

[25] Dennis Gabor: Acoustical quanta and the theory of hearing. Nature, Vol.159, No.4044, pp. 591-594, 1947.

[26] Curtis Roads: Granular synthesis of sound. Foundations of Computer Music. The MIT Press, pp.

145-159, 1985.
[27] William Reeves: Particle systems—a technique for modeling a class of fuzzy objects. ACM SIGGRAPH Computer Graphics, Vol.17, No.3, pp. 359-375, 1983.
[28] Barry Truax: Real-time granulation of sampled sound with the DMX-1000. Proceedings of the International Computer Music Conference, pp. 138-145, 1987.
[29] Barry Truax: Real-time granular synthesis with a digital signal processor. Computer Music Journal, Vol.12, No.2, pp. 14-26, 1988.
[30] Zach Lieberman, Theodore Watson, and Arturo Castro: openFrameworks, 2009.
http://www.openframeworks.cc/
[31] OpenNI.
http://www.openni.org/
[32] Miller Puckette: Max at Seventeen. Computer Music Journal , Vol.26, No.4, pp. 31-43, 2002.
[33] Max — Cycling 74
http://cycling74.com/products/max/
[34] # Galerija Kapelica.
http://www.kapelica.org/index_en.html
[35] 川上 直樹, 稲見 昌彦, 柳田 康幸, 前田 太郎, 舘 ?: オブジェクト指向型ディスプレイの研究. 情報処理学会論文誌, Vol.40, No.6, pp. 2725-2733, 1999.
[36] 木村 健太郎, 宝珠山 治, 谷川 智洋, 廣瀬 通孝: 超指向性スピーカによる大画面上音像提示システム (聴覚ディスプレイ, 人工現実感). 映像情報メディア学会技術報告, Vol.34, No.25, pp. 1-6, 2010.

(2013 年 3 月 19 日受付)

［著 者 紹 介］

小林 良穂　(正会員)

2011 年慶應義塾大学大学院政策・メディア研究科後期博士課程にて博士号取得．博士 (政策・メディア)．現在，慶應義塾大学，法政大学，玉川大学，千葉商科大学にて非常勤講師を兼務．専門は音楽におけるデジタル音響信号処理とユーザインターフェイスの開発．

西八條 浩平

2011 年慶應義塾大学環境情報学部卒業．現在同大学大学院政策・メディア研究科修士課程在学中．公共空間の音響デザインに関する研究に従事．

村岡 和樹

2010 年慶應義塾大学総合政策学部入学．在学中．音響処理，グループ形成とノイズ，インターフェイス開発などに関する研究に従事．