生成的な音響ソフトウェア作品 "Biosphere of Sounds"

徳井直生[†] 伊庭斉志^{††}

「Biosphere of Sounds」は、動的な 3D インタフェースを用いたインタラクティブ音楽環境 SONAS-PHERE の上に構築された音響作品である。本作品においては、仮想空間内に球として表現される音響的処理の機能単位が、3 次元空間を飛び交いながら相互に作用し合うことで複雑で豊かな音響効果が生まれる。出力される音に関わるプロセスを可視化し、操作できる形で提示することで、音楽を聴取するという行為に音以外の新しい意味を付加することを試みる。

キーワード: インタラクティブシステム, 3 次元インタフェース, ビジュアルプログラミング, ソフトウェアアート, 生成的音楽

A Generative Sound Software Work, "Biosphere of Sounds"

NAO TOKUI[†] and HITOSHI IBA^{††}

"Biosphere of Sounds" is a sound art work based on a kinetically driven interactive music environment, "SONAS-PHERE". Within this software work, 3D spheres move and interact in a virtual environment on the computer screen. These 3D spheres represent sound processing units, able to create complex and rich sound effects, driven by user defined kinetic movement. New meaning is introduced to the act of listening to music and sound, by empowering appreciators with the ability to control sound creation and audio signal processing in a intuitive visual manner.

Keywords: Interactive System, 3D Interface, Visual Programming, Software Art, Generative Music

1. はじめに

技術と芸術。人類が生み出した二つのアート (Art) は、相互に干渉しつつ共に進歩を続けてきた。20 世紀後半に生まれ、急速に発展を遂げたコンピュータあるいはコンピュータソフトウェアという技術 / アートも、芸術としてのアートに大きな影響を与えている。

音楽も例外ではない。音楽制作の様々な過程にコンピュータが深く関与するようになったけにとどまらず、音楽ソフトウェアを用いた新しい音楽演奏形態が生まれた。高性能化したコンピュータの計算能力を駆使して、様々な音響処理をリアルタイムに行うライブパフォーマンスがそれである¹⁾。

筆者らは、こうしたコンピュータを用いた音楽パ

フォーマンスおよび楽曲制作のためのソフトウェア SONAS-PHERE (図 1) を本論文に先だって開発している²⁾。SONAS-PHERE は、音に対する処理を仮想 3 次元空間に可視化された機能単位のネットワークとして表現することによって、音響のプロセスとのインタラクションを実現する。ユーザは、予め用意された機能を組み合わせて自分なりの音響効果を生み出すことができるため、SONAS-PHERE はある種の環境 / システムとして捉えられる。

一方で、2003 年 5 月に行われた第一回 DiVA 展には、この SONAS-PHERE システムを用いて作成した作品「Biosphere of Sounds」を出品した³⁾。この作品では、鑑賞者は SONAS-PHERE のビジュアルインタフェースを操作することで、聞こえてくる音の変化を楽しむことができる。出力される音に関わる制御構造や音声信号の流れなどを、インタラクティブに操作できる形でビジュアル的に提示することによって、音楽を聴取するという行為に音以外の新しい意味を付加することを試みた作品である。本稿では、SONAS-PHERE システムの詳細、DiVA 展での展示を通して

[†] 東京大学工学系研究科

Graduate School of Electronics Engineering, The University of Tokyo

^{††} 東京大学新領域創成科学研究科

Graduate School of Frontier Sciences, The University of Tokyo

つけることに成功している。演奏者は実際に操作する AVE の画面をプロジェクタ等で投影しながら演奏 (マウスの操作) を行うことによって、演奏の内容を聴衆に視覚的に提示する。

音楽的にはグラニューラ-シンセシス⁹⁾などの比較的高度なシンセサイズ方式なども採用しているものの、ユーザが操作できるのはあらかじめ定められた特定のパラメータのみであり、自由度に乏しい。同様の作品としては Stretchable Music¹¹⁾ や Tranceducer¹²⁾, Small Fish¹³⁾ などがある。

また、Flash, Java などの可搬性の高いマルチメディアオーサリング/プログラミング環境を用いて、Web サイト上に公開されたシステムも数多く存在する¹⁴⁾。しかし、システム上の制約などが強いいため、自由度は非常に限定されている。実際の楽曲制作に使えるようなシステムではなく、Toy の範疇を超えないものがほとんどである¹⁵⁾。

3. 作品 Biosphere of Sounds

以上の現状を踏まえ、筆者らはソフトウェア作品、Biosphere of Sounds を制作した。

本作品においては、仮想 3 次元空間内に球として表現される音響的処理の機能単位が、3 次元空間を飛び交いながら相互に作用し合うことで複雑で豊かな音響効果が生まれる。「音の生態系」というタイトルには、音の塊がそれぞれに自律的に動き回り、全体として一つのまとまりのある空間を形作る、そんなイメージが込められている。

我々は常日頃、様々な音に囲まれて生活している。それらは、この世界に存在する無数の要素の相互作用の結果であり、また別の作用を生み出す原因でもある。本作品では、音世界のあり方を高度に抽象化した仮想空間を鑑賞者に提示することで、われわれを取り巻く音環境を再度見直すことを促す。

鑑賞者は、個々のオブジェクトや空間全体の特性を変えることで相互作用のルールに変化をつけたり、モニタ上のオブジェクトを直接操作したりすることで、全体の音響的プロセスに干渉することができる (図 2)。ただし、鑑賞者はその音響的プロセスの具体的な意味や原理を知っている必要は全くない。鑑賞者がプロセスを変化させ、その結果として現れる生成物に対してさらに反応を返すことで、ゆるやかなフィードバックループが形成される (図 3)。音楽的な作品に応用された場合には、ここでいうところの鑑賞者は演奏者にもなりうる。コンピュータプロセスと人間の間でのインタラクションによって、単なる受動的な聴取を越えて

図 2 DiVA 展での作品展示風景
Fig.2 Installation in DiVA Exhibition

図 3 SONASPHERE システムの概念図
Fig.3 Conceptual Diagram of SONASPHERE System

能動的に音と関わる行為を実現する。

DiVA 展での作品全体の構成を、図 4 に示す³⁾。次節で述べるインタラクティブ音楽環境、SONASPHERE の上で構築されているが、鑑賞者の煩雑さを減らすために、新しいオブジェクトを追加したり、パラメータとの関係を定義したりといった機能を大幅に省略されている。鑑賞者からの操作には、液晶画面をペンで直接操作できるワコム社製のタブレットを用意した。上述のコンセプトに沿って、各地で録音した環境音とともに音楽的なメロディー、リズムの断片をサウンドファイルとして使用した。図 5 は、本作品のスクリーンショットである。図中に示したように音声ファイルおよびエフェクトを使っている。

4. SONASPHERE システム

4.1 システムの特徴

本節では、Biosphere of Sounds の制作に用いた SONASPHERE の詳細について順に述べる。

このシステムの構築にあたっては、前節の現状を踏まえて次の二点を重視した。

(1) プロセスの自律性

4

図 4 作品展示時のシステム構成
Fig. 4 The Whole of Art Work

図 5 作品 "Biosphere of Sounds" のスクリーンショット
Fig. 5 Overview of "Biosphere of Sounds"

(2) 視覚的なプログラミング

まず、後者の視覚的なプログラミングを実現するために、ダイアグラム式的表示法を採用した¹⁶⁾。機能単位となるモジュールのネットワークとして、全体のプロセスを記述する。

音楽のためのビジュアルプログラミング環境としては、Max/MSP¹⁷⁾ や PureData¹⁸⁾、jMax¹⁹⁾ などがすでに知られている。アルゴリズムとそれを制御するユーザインタフェースが同じレベルで記述され、ユーザは数値を表示／入力するナンバーボックスや、ダイヤルなどの基本的なインタフェースオブジェクトを使って自分なりのインタフェースおよびアルゴリズムを作ることができる。しかし、実際にどういった処理が行われているのか、処理がどのように変化しているのかを、プログラムのビジュアルからとらえるためにはそ

図 6 基本的なオブジェクトネットワークの例
Fig. 6 An Example of Basic Object Network

れぞれのプログラミング環境についての知識を必要とする。

逆に、プロセスの変化が聴衆から視覚的に見て取れるようにするためには、パラメータの数値の変化で示すのではなく、実際に何かが動くようなより直接的な表現が望ましいと考えられる。言い換えると、その「何か」の位置とプロセスのパラメータを結びつけることで、動きがプロセスの変化を示すような機構が実現される。また、そうしたオブジェクトを組み合わせ、それぞれの動きを制御するような仕組みがあれば、視覚的なプログラミングが可能になると考えた。

そこで、SONASPHERE では 3 次元の仮想空間を仮定しそこに力学系を導入した。機能単位のモジュール (オブジェクト) は 3 次元空間 (シーン) に浮かぶ球として可視化され、制御関係や信号の流れは球の間をつなぐ線として表現する (図 6)。また、プロセスの変化すなわちオブジェクトの動きは、オブジェクトに加わる力によって引き起こされる。力学系を構成する複数の要素間の相互作用を定義することで、カオス的な振舞いが生まれる。ユーザのマウスなどによる操作は、オブジェクトの振舞いを変化させる外的要因として働く。

4.2 システムの詳細

本節ではシステムの仕組みについて構成要素別に述べる。

4.2.1 オブジェクト

オブジェクトは、音に関する処理の基本単位を意味する。

オブジェクトは質量と電荷という特性を持ち、それに応じた力を空間あるいは他のオブジェクトから受ける。こうしたオブジェクトが、3 次元空間 (シーン) の中で一つまたは複数の有向グラフを形成することで、全体の処理が定められる (図 6)。複数のオブジェクトが相互作用を及ぼしながら運動することによって、カ

オスの変動が生まれる。

オブジェクトの3次元空間上の位置は、オブジェクトのエフェクトパラメータと関係づけることができる。これによってオブジェクトの動きがパラメータの変化へと直接的につながる。具体的には、パラメータが取りうる値の全範囲あるいは任意の一部の範囲を適当な座標軸の座標値と関係づける仕組みを実装した(図7)。例えば、ローパスフィルタのカットオフ周波数をオブジェクトのY座標(高さ)に割り当てると、オブジェクトが仮想空間の床で弾む運動によってフィルタが周期的に開閉される。また、オブジェクトの動きをある平面上、あるいは線上に限定することで、特定のパラメータを固定することも可能である。完全に位置が固定されたオブジェクトは立方体で表示される(図8)。

さらに、オブジェクト間を流れる信号の大きさは、距離の二乗に反比例して小さくなるという仮定を設けた[☆]。例えば、ミキサーのオブジェクトに他のオブジェクトを近付けたり遠ざけたりすることで、直感的にミックスのバランスをコントロールすることができる。同様に、3次元空間の視点とミキサーの位置関係を、出力信号のパン、Elevationなどと関係づけることも可能で、視点の回転によって出力音の定位を変化させることができる。

具体的には以下のように大きく分けて三つのオブジェクトを用意した。

- サンプルオブジェクト

ハードディスク上のオーディオファイルを再生する。

- エフェクトオブジェクト

オーディオ信号に音響効果を加えるオブジェクト。リバーブ(残響効果)やエコーなど、複数の効果を用意した(表1)。これらのエフェクトオブジェクトには、表2に示すパラメータが存在し、それぞれ本システム上でコントロールできる。

- アウトプットオブジェクト

信号を外部機器に出力するオブジェクト。一つの出力先に複数の信号をまとめて出力することが一般的なため、アウトプットオブジェクトにはミキサーの機能も持たせてある。

4.2.2 リンク

ユーザがマウス操作によって設定したオブジェクト間の接続「リンク」は、小さな円盤の流れによって可視化される。

さらに各リンクには、自由に設定できる複数の特性

図7 パラメータと座標の関係付け(ローパスフィルタの例)
Fig.7 Relationship between Parameter and Coordinate Value (Eg. Lowpass Filter)

図8 オブジェクトの動きの制限
Fig.8 Constraints on Object Movement

がある。その一つがバネ係数で、標準の長さからの変位に応じて伸縮方向に力が働く。バネモデルを採用した理由は、オブジェクトの周期的な動き、すなわちパラメータの周期的な変化を生み出すためである。

周期性は、音楽の根幹とも言える特性である。音自体が空気の振動(粗密波)であることは言うまでもないが、音色はフォルマントの振動であり、メロディーやリズム、さらにはよりメタレベルの音楽構造、小節や楽章、楽曲もすべて振動の連続体として捉えることが

表1 用意したエフェクタの例

Table 1 Samples of Default Audio Effectors

Type	Name
Delay	Simple, Multitap,
Filter	Lowpass, Bandpass, Highpass Low Shelf, High Shelf
EQ	Parametric, Graphic
Misc.	Reverb, Peak Limiter

表2 コントロールできる代表的なパラメータ

Table 2 Typical Parameters of Effector

Object	Parameter
Default	Gain, Pan
Mixer	Input Gain, Input Pan, Output Gain
Simple Delay	Dry/Wet, Delay Time, Feedback など
Lowpass Filter	Cutoff Frequency, Resonance
Parametric EQ	Center Frequency, Q, Gain
Reverb	Dry/Wet, Pre-Delay, Room Size など

[☆] 反比例の係数は鑑賞者が調整することができる。

出来る²⁰⁾。従って、周期的な変化を自然にサポートする機能を盛り込むことが望ましい。

バネとしての性質を上手く用いることで、リンクは信号の流れるパスとしてだけでなくオブジェクトの動きを制御する仕組みとしても動作する。こうしたオブジェクト間のローカルなルールが組み合わされて、全体としてはカオス的な振舞いが生み出される。実際に図9に示すように、パラメータの変化の仕方がオブジェクトの初期位置の微妙な違いに鋭敏に反応することが実験的に確かめられている(図9では、X座標のみシーン全体の $\pm 0.5\%$ だけ移動した三つの場合をプロットした)。これによって、バリエーションに富んだ変化が期待できる。

図9 初期位置がわずかに異なる場合のオブジェクトの動き
Fig. 9 Movement of Objects with Slightly Different Initial Positions

リンクの自動生成を許すモードでは、ユーザの明示的な操作によって生成されるリンクとは別に、オブジェクト同士の衝突によってもリンクが自動的に作られる。

4.3 実装

ソフトウェアの実装は、Apple ComputerのOS X上で行った。オーディオまわりのシステムは、OS Xで新たに採用されたCore Audioアーキテクチャ²¹⁾に準拠した作りとなっている。OSレベルでオーディオ処理をサポートしているため、レイテンシを低く抑えつつ高音質のオーディオソフトウェアを作ることができる。また、音響効果を実現するソフトウェアプラグインの規格「Audio Unit」が定められている点も一つの特徴である。

実装されたSONASPHEREシステムは、Audio Unitのネットワークという形で音響処理を実現した。すなわち、3次元空間上に球で表された各オブジェクトとAudio Unitとが、一対一対応する。商用、非商用を問わずサードパーティ製のAudio Unitを組み込んで使えるため、柔軟性が高い。

5. 考察

SONASPHEREはそれ自体で閉じた作品というよりは、ある種のシステムを作る環境であり、オブジェクトの組み合わせによって様々な音響効果を自由に組み上げることが出来るという点に価値がある。しかし、鑑賞者がその場でシステムの使用法を理解してシーンを作りあげることは難しいため、あらかじめ用意したものを提示せざるを得ない。第3節で述べたように、DiVA展でも新しいオブジェクトを付け足す、新しいコネクションを張ると言った機能を大幅に制限したものを展示した³⁾。こうしたシステムを展示する際の難しさを感じた。今後は、本システム上で制作された複数のシーンを並列して提示する、あるいはそれらを簡単に切り替えられる機能などによって、システムの持つ多様性や自由度の高さを示す工夫が必要になるだろう。

鑑賞者からは、オブジェクトの動きが音に影響を及ぼしていることは分かるのだが、具体的な効果の内容が分からなかった、あるいは自分が何を操作しているのか分からなかったという意見が寄せられた。その最大の理由としては、オブジェクトの見かけ上の区別が付きにくい点が挙げられる。現時点では、オブジェクトはエフェクト、アウトプットといった大まかな区分で色が分けてあるのみで、細かい区別はオブジェクトの横に文字で表示されるAudio Unitの名前を読まなければならない仕様になっている。そのため、動いているオブジェクトの種類を知ること、そのシーンを作った人にとっても難しい。今後は、機能の視覚化についてより分かりやすいビジュアル表現の方法を探る必要がある。

また、作品を展示する際の具体的なユーザインタフェースについても見直しが必要である。鑑賞者の動作を観察していると、ペンタブレットが操作の難しさが高める要因になっていることがわかった。特に3次元上にオブジェクトを狙った位置に動かすためには、オブジェクトの操作と視点の変更を同時に行う必要があるため、ある程度の慣れを必要とする。SONASPHEREにおいては、プログラミング可能性と同様に、ソフトウェアの持つ流通の自由度の高さを重視している。しかし、作品として展示する際には、コンピュータスクリーンの中にとどまらない、より直感的なインタフェースが必要になることが分かった。そうした観点からは、タンジブルなインタフェースを用いたAudioPad²²⁾、Block Jam²³⁾といった作品が参考になるものと思われる。

6. おわりに

本稿では、動的な3次元インタフェースに基づくインタラクティブな音楽環境「SONASPHERE」とSONASPHEREを用いて制作した作品「Biosphere of Sounds」について、その背景とシステムの内容を中心に述べた。相互に作用するオブジェクトを仮想空間上で組み合わせることで、興味深い音響効果を生み出すとともに、そのプロセスを鑑賞者に提示することに成功した。一方で、操作性などにおける問題点が明らかになった。

SONASPHEREシステムに関しては、音楽パフォーマンスあるいは楽曲制作のための機能を中心現在も開発を続けている。特に、ユーザが操作したオブジェクトの動きを保存する例示プログラミング¹⁶⁾の機能が新たに付け加わった。ユーザの声を開発の方向性に反映しつつ、音と映像が真に結びついたインタラクティブかつ生成的な音楽環境を目指していきたいと考えている。

謝辞 インターフェースデザインに関して、貴重な示唆を数多く与えていただいたKarl Willis氏に謹んで感謝の意を表する。システムの開発および作品の制作は、独立行政法人情報処理推進機構 (IPA) の未踏ソフトウェア創造事業「未踏ユース」の支援のもとで行われた。

参考文献

- 1) 久保田晃弘: デジタル表現の四つの特徴 ポスト・テクノ (ロジー) ミュージック序論, ポスト・テクノ (ロジー) ミュージック, 大村書店 (2001).
- 2) 徳井直生, 伊庭斉志: SONASPHERE - 動的な3次元インタフェースを用いたインタラクティブな音楽システム, 情報処理学会研究会報告 MUS, Vol. 52, p. 21 (2003).
- 3) 徳井直生: SONASPHERE - Biosphere of Sounds -, *Proceedings of NICOGRAPH 2003* (2003).
- 4) Stocker, G. and Schopf, C.(eds.): *CODE - Language of Our Time*, Hatje Cantz (2003).
- 5) : Runme.org, <http://www.runme.org/> (2003).
- 6) : Read_Me 2.3 Software Art Festival, http://www.m-cult.org/read_me/ (2003).
- 7) Ascott, R.: *Moist Ontology*, The Art of Programming, Sonic Act Press (2002).
- 8) マイケルナイマン: 実験音楽—ケージとその後, 水声社 (1992).
- 9) 長嶋洋一, 橋本周司, 平賀譲, 平田圭二: コンピュー

- タと音楽の世界 - 基礎からフロンティアまで, 共立出版 (1998).
- 10) Levin, G.: Painterly Interfaces for Audiovisual Performance, Master's thesis, MIT Media Lab (2000).
- 11) Strickon, J., Rice, P. W. and Paradiso, J.: Stretchable music with laser rangefinder, *SIGGRAPH 98 Conference Abstracts and Applications*, ACM Press (1998).
- 12) Kram, R.: System Models for Digital Performance, Master's thesis, MIT Media Laboratory (1998).
- 13) Furukawa, K., Fujihata, M. and Munch, W.: Small Fish (ZKM Digital art edition), CD-ROM (1999).
- 14) : soundtoys.net, <http://www.soundtoys.net/>.
- 15) Andrews, J.: Interactive Audio on the Web, <http://trace.ntu.ac.uk/> (2003).
- 16) 平川正人, 安村通晃 (編): ビジュアル インタフェース ポスト GUI を目指して, 共立出版 (1996).
- 17) : Cycling'74, <http://www.cycling74.com/>.
- 18) : PureData, <http://www.pure-data.org/>.
- 19) : jMax, <http://www.ircam.fr/jmax>.
- 20) カールハインツシュトックハウゼン: シュトックハウゼン音楽論集, 現代思想社 (1999). 清水稯 訳.
- 21) Apple Computer: Document on Audio and MIDI on Mac OS X, <http://developer.apple.com/audio/> (2001).
- 22) Patten, J., Recht, B. and Ishii, H.: Audiopad: A Tag-based Interface for Musical Performance, *Proceedings of the 2002 Conference on New Interfaces for Musical Expression (NIME 02)* (2002).
- 23) Newton-Dunn, H., Nakano, H. and Gibson, J.: Block Jam: A Tangible Interface for Interactive Music, *Proceedings of the 2003 Conference on New Interfaces for Musical Expression (NIME 03)* (2003).

☆ 現在, SONASPHERE ver1.0 を www.sonasphere.com において公開中