

オス的な変動が生まれる。

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づ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もので、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

[☆] 反比例の係数は鑑賞者が調整することができる。

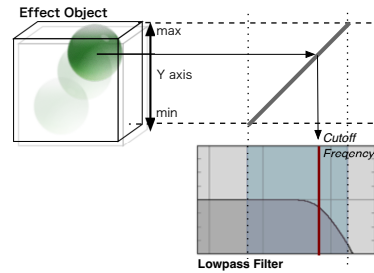


図7 パラメータと座標の関係付け(ローパスフィルタの例)
Fig.7 Relationship between Parameter and Coordinate Value (Eg. Lowpass Filter)

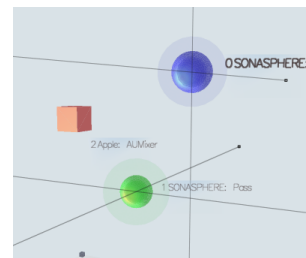


図8 オブジェクトの動きの制限
Fig.8 Constraints on Object Movement

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

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。

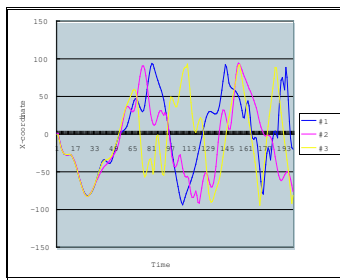


図9 初期位置がわずかに異なる場合のオブジェクトの動き
Fig. 9 Movement of Objects with Slightly Different Initial Positions

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のは難しいため、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、システムを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が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は、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。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