

インタラクティブコンピュータミュージックの制作と作品の検討 ——「竹管の宇宙」を題材として

平井重行[†] 志村哲^{††}
金森務^{††} 片寄晴弘^{†††}

インタラクション技術とその応用研究という位置づけで、インタラクティブコンピュータミュージック作品の制作、公演を行ってきた。本稿では、その具体事例として「竹管の宇宙」プロジェクトをとりあげる。まずそこで開発した制作環境のハードウェア、ソフトウェア両方について述べる。次に実際の作品におけるコンセプトやストーリー、演奏システム、使われる演奏技法について解説を行う。また、作品制作に対する評価の目的で制作・公演に対して緊張感という観点から考察を行った。ここでは実際に行われたコンサートにおいて奏者の生理指標を計測し、考察のための客観データとした。これに関係して開発した自律神経系生理指標を計測するシステムについても述べる。考察に際しては、演奏場面による奏者の緊張状態の変化や、楽曲の持つ緊張感と生理的緊張状態の違いについて、奏者の内観もふまえながら現時点で得られている知見を述べ、今後の作品とその制作手法への応用について考察を行った。

Design, Development, Production and Discussion of Interactive Computer Music: on the Subject of “Tikukan no Uchu”

SHIGEYUKI HIRAI,[†] SATOSI SIMURA,^{††} TSUTOMU KANAMORI^{††}
and HARUHIRO KATAYOSE^{†††}

As a case study of human-computer interaction and its application, we have produced some interactive computer music pieces in the project “Tikukan no Uchu” featuring the instrument “Cyber Shakuhachi”. In this paper, some hardware and software environments we developed for production in this project are described at first. Next, the concept and story of the piece, the performance system and techniques for Shakuhachi performance used in the piece are described. And also, we discuss the piece and some performances from the point of view of a tension state. For this discussion, we developed the telemeter system for autonomic biosignals, and measured physiological indices of the performer in some performances as objective data. The discussion is about the difference of performer’s tension states between a few situations, and the correspondence between the physiological tension state and performer’s introspection. We also discuss the application of tension state for production, and describe the future work in this project.

1. はじめに

計算機で楽音を合成することを基本としたコンピュータミュージックは、多大な計算の必要性からテープ作品を制作し、それを聞くというスタイルがとられてきた。最近では、計算機能力の向上とともにリアルタイ

ムで楽音生成する形に移行しつつある。さらに、センサを利用するインタラクション技術を組み合わせることで、今まではなしえなかった表現を模索するインタラクティブコンピュータミュージックとして発展を続けている^{1),2)}。

我々は、インタラクション技術とその応用に関する研究の一環として、ジェスチャを入力するデバイス(楽器)の製作、ビジュアルプログラミング環境 Max を

[†] 大阪大学大学院基礎工学研究科
Graduate School of Engineering Science, Osaka University

^{††} 大阪芸術大学音楽学科
Department of Music, Osaka University of Arts

^{†††} 和歌山大学システム工学部
Faculty of Systems Engineering, Wakayama University

Max は MIDI 信号の処理をベースとしたマルチメディア処理を得意とするビジュアルプログラミング環境である。インタラクティブコンピュータミュージックのシステムではデフォルトスタンダードとして利用されている。

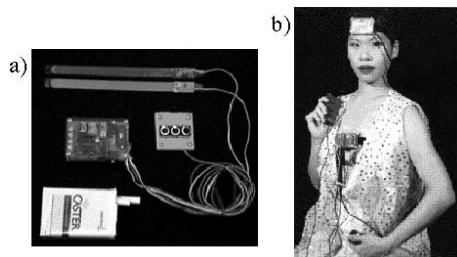


図1 ATOM8の概観．a) ATOM8ユニット，b) 頭部と胸部への装着例

Fig.1 ATOM8 overview. a) ATOM8 unit; b) installation example for head and chest.

利用した効率的なコンテンツ制作モデルの設定を行った．そして，それらの技術を利用して作品を制作し，公演を続けてきた．本稿では，その具体事例としてインタラクティブコンピュータミュージック作品「竹管の宇宙」をとりあげる．また作品の公演には実際の演奏活動をとまなうことから，我々はその行為自体も制作の一部と考え，奏者や聴取者の生理指標を客観的データとして計測し，作品と演奏に対する考察を行った．本稿ではこの生理指標計測とこれまで得られた知見についても述べ，制作環境，作品内容，演奏活動を含めた作品制作全体としての考察を行う．

以下，2章では，インタラクティブコンピュータミュージックの制作環境として楽器“Cyber 尺八”と作品制作のためのフレームワーク“HIAT”について述べ，3章で「竹管の宇宙」の作品コンセプトやシステム構成，演奏内容の解説を行う．4章で作品・公演の検討を行うための生理指標計測について説明した後，5章で演奏時の奏者の生理的緊張状態や内観に基づく考察を行う．6章でまとめとし，ここでは5章の考察もふまえてプロジェクトの今後について述べる．

2. 作品制作環境

インタラクティブコンピュータミュージックを含むインタラクティブアートは，情報処理技術，特にメディア情報処理技術とインタラクション技術を応用した芸術領域である．一般に，インタラクティブアートは芸術としての制作とその技術的な実装が独自作業として実施される場合が多い．そのため他のマルチメディアコンテンツに比べて必ずしも生産性が意識されてきた領域とはいえない．制作者側の立場からは，簡易なジェスチャセンサ³⁾や表現の幅を広げるためのツールや環境に対し，大きなニーズが存在している⁴⁾．本章では，生産性や応用性を考慮して我々が開発してきた制作環境について述べる．まずハードウェアとして，

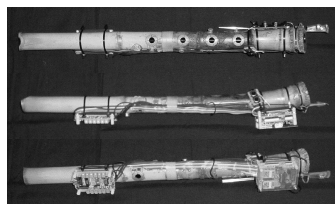


図2 Cyber 尺八本体．上：前面，中：横面，下：後面
Fig.2 Body of the Cyber-Shakuhachi. upper: front; middle: side; lower: back.

汎用ジェスチャセンシングユニット ATOM8 について述べ，その応用として開発した新世代楽器 Cyber 尺八⁵⁾について説明する．次にソフトウェア環境として，Max ベースのインタラクティブアート用フレームワーク HIAT について述べ，それをを用いたコンテンツ制作モデルについて紹介する．

2.1 ハードウェア環境

2.1.1 ATOM8

奏者の負担を考えると，ジェスチャセンシングユニットはなるべく小型のものが望ましい．また，演奏場所や場面によってはテレメータ機能（無線システムによるセンシング）もあることが望ましい．図1に示す ATOM8 (Analog TO Midi converter 8ch version) はそのような観点から，開発を行った汎用センシングユニットである．これは Microchip 社製マイクロプロセッサ PIC の制御のもと，8ch までのトランスデューサ入力信号を A/D 変換し，RS232C あるいは MIDI によってデータ送信する機能を持っている．計測データの時間分解能は 10 ms のオーダで設定可能であり，目的に応じて無線ユニットを付加することも可能である．

2.1.2 Cyber 尺八

Cyber 尺八⁵⁾は，ATOM8 をセンシングユニットとして用い，指遣いや首振りなどの演奏ジェスチャを計測できる新世代楽器である（図2参照）．主に規格化によって発展してきた西洋楽器に対し，尺八を含む日本の伝統楽器は竹管などの楽器素材の多様性を生かし，自然の形態を利用したものが多い．尺八はその中でも指遣いや吹奏だけでなく身体表現全体が重要であり，独特な楽器として位置づけられている．Cyber 尺八はこの位置づけを尊重し，既存の尺八の機能を損なうことなく，演奏表現に関わる身体表現のセンシングを行うことを楽器のコンセプトとし，日本の伝統楽器と電子楽器とのインタフェースを実現した．ここでは，1) 音響情報，2) 運指情報，3) 首振り情報，4) 補助的情報の検出を行い，これらの情報による各種音源，音響エフェクタのコントロールが可能となっている．音響情報はハードウェアピッチセンサにより音高と音量の情

表1 Cyber 尺八の各センサと得られる情報

Table 1 Sensors equipped on the Cyber Shakuhachi and the measured information.

ユニット	センサ設置部位・場所	センサ	得られる情報
ヘアバンド	後頭部のATOM8	加速度センサ	頭部の前後左右の傾き(2軸)
		ジャイロセンサ	頭部の左右回転(1軸)
尺八本体	本体下部のATOM8	加速度センサ	尺八の前後左右の傾き(2軸)
	指孔(4つ)周囲	タッチセンサ	各指孔の押さえ方
	下孔部	マイク	音響情報
	本体下部	押しボタン	ボタンの押す・離す
ジャケット	肩	曲げセンサ	左右上腕の上下動

報を検出する。運指情報については、尺八の指孔の周囲に4つの電極を配することで指のカザシ(押さえ方)を検出する。首振り情報は、ヘアバンドの後頭部に設置されたATOM8ユニット内で、加速度センサによる姿勢検出とジャイロセンサによる回転速度検出を行う。補助的情報としては、衣装内部に着るジャケットの肩に設置された曲げセンサにより左右の上腕の上下動が測定できる。また、尺八本体に設置したATOM8により尺八本体の姿勢が検出できるほか、指孔とは別に設置した押しボタンの情報が取得可能である。Cyber尺八で得られる情報とセンサの関係を表1に示す。

2.2 ソフトウェア環境

2.2.1 作品制作フレームワーク“HIAT”

Maxはビジュアルプログラミング環境という性質上、自由かつ容易にプログラム/システム設計ができる。だが、その自由度ゆえにインタラクティブアートのシナリオエディタとして使いにくい面もある。また、複数センサ情報をシナリオ中の様々なシーンで使用したりメディア制御を行ったりする場合、データのトラフィック制御をうまく行わないとシステムクラッシュの原因となることが多い。独自制作作業が多いインタラクティブアートでは、このような問題点を考慮せず作品制作できるほうが制作効率が向上するといえる。そこで我々はMax上でシーン記述が行え、かつATOM8などのセンサからのデータフローの制御が可能なフレームワークHIAT(Hirotsugu's Interactive Art Toolkit)を設計した。また作品制作モデルの1つとしてHIATを用いた作品制作手順を策定した。図3にHIATのフレームワーク概要を示す。ここでは作品全体を構成するMaxパッチで扱われるシーン制御メッセージのほか、MIDI信号として送られてくるデータを各センサ情報として解釈するモジュール、そ

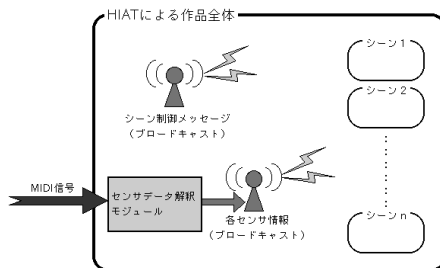


図3 HIATフレームワーク

Fig. 3 Schematic of the HIAT framework.

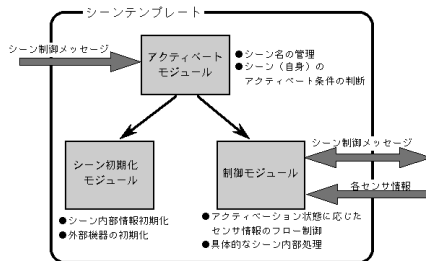


図4 HIATシーンテンプレート

Fig. 4 Schematic of the HIAT scene template.

れから得られる各センサ情報、各シーンのMaxパッチ(シーンパッチ)によって構成される。各シーンパッチはHIATで図4で示すシーンテンプレートから作成する。

図3において、シーン制御メッセージと各センサ情報はブロードキャスト情報としてHIAT内部で自由に送受信できる。図4の各シーンパッチでは、アクティベートモジュールでシーン制御メッセージを受信し、自分自身に対するメッセージだとアクティベート/ディアクティベートを行う。アクティベートされたシーンは、シーン初期化モジュールで初期化を行ってから、センサ情報を受信して制御モジュールにおいてシーン内部の処理を始める。制御モジュールでは個々のシーン内部処理のほか、他のシーンに移るためのシーン制御メッセージを送信できる。これによりシーン移動が行え、ストーリー性のある作品制作が可能となる。各シーンのアクティベーションは排他的なものではな

Maxのプログラムはパッチと呼ばれ、サブルーチンに相当するものはサブパッチと呼ばれる。プログラミングは、機能を持った個々のオブジェクト(ボックス)をパッチコード(線)で接続し、パッチコードを流れるデータが処理されていくデータフロー形式で記述が行われる。

く、一定時間後に別のシーンをアクティベートしたり、シーン1の次は同時にシーン2と3を立ち上げたりするといった処理も可能である。また、制御モジュールは他のシーンに対する制御メッセージも受信できるため、特定のシーンがアクティベートされた際に自分自身の処理を停止させるといった処理も記述できる。

センサデータ解釈モジュールは入力されたデータを各センサごとのデータに分別してブロードキャストする。各シーンの制御モジュールはアクティベートされている場合のみ各センサ情報の受信を行う。また、HIATにはATOM8のセンサ情報に対して簡易パターンマッチングを行う機能をMaxサブパッチとして設けている。インタラクティブアートでは特定ジェスチャに反応してメディア表現を変化させるという要請が多い。この機能は従来のジェスチャ認識ほどの精度はないが、この機能により特定ジェスチャの検出が可能となっている。ここでは検出対象ジェスチャのセンサ情報時系列ベクトルをユーザが登録し、随時入力されるセンサ情報に対してリアルタイムで登録ジェスチャを検出する。検出には入力データの時系列ベクトルと登録ベクトルとの誤差平均を随時計算して閾値処理を行っている。検出の際には発火信号を送信するが、発火後は一定時間次の発火を抑制する不応期を設け、連続発火を制限するようにしている。閾値と不応期の設定は上記センサ情報の登録と同様にユーザが行う。以上の処理は単一センサに対する処理だが、複数センサでパターンマッチングする場合は各センサごとに独立に閾値処理を行い、すべてのセンサに対し、発火信号が揃った際に、マッチしたと判断する。

2.2.2 HIAT を利用した制作手順

シンプルな作品を作る場合の制作手順を示す。

STEP1: シーンテンプレートからシーンパッチを作成

STEP2: シーンパッチに内部処理を記述

STEP3: 作品のメインパッチにシーンパッチを登録

まずSTEP1で図5のシーンテンプレートファイルを開くとシーン名の入力を求められる。入力した名前とそのパッチが自動保存され、以後その名前がシーン名として管理される。個々のシーンパッチは独立したファイルとして存在するため、他の作品を制

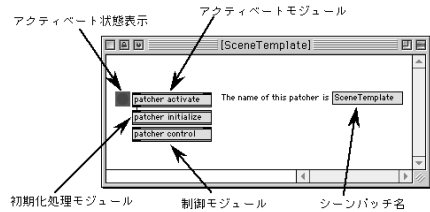


図5 HIATシーンテンプレートのMaxパッチ

Fig. 5 Max patch of the HIAT scene template.

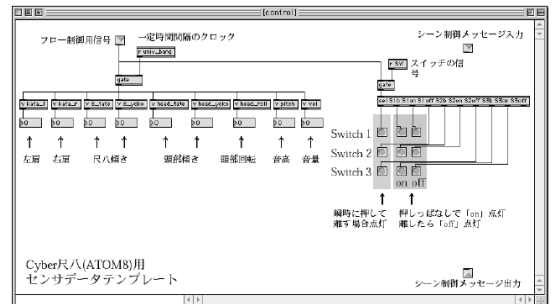


図6 シーンテンプレートの制御モジュール例

Fig. 6 Example of the control module in the HIAT scene template.

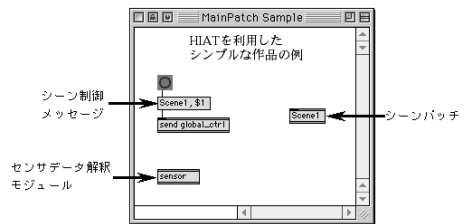


図7 メインパッチの例

Fig. 7 Example of a main patch.

作する場合に再利用が可能である。

STEP2では、STEP1で作成したシーンパッチの具体的な処理内容を記述し、1つのシーンを作成する。制御モジュールでは、図6のようにテンプレートとして各センサ情報がはじめから得られるようになっており、必要でないセンサの情報はカットすることで処理負荷を減らすことができる。なお、図6はCyber尺八の使用を前提としたものとなっている。他のセンサを用いる場合はセンサデータ解釈モジュールとこの制御モジュールをセンサ用にカスタマイズすればよく、フレームワーク全体の機能や利用方法に関しては変更する必要はない。

STEP3として、図7に示すメインパッチ上にSTEP2で作成したシーンパッチ(ここではScene1)をサブパッチとして登録し、センサデータ解釈モジュール(sensor)を加える。以上の手順でシンプルな作品

Cyber尺八では「コロコロ」(第1孔と第2孔を交互に開閉する特殊なトレモロ)、「カラカラ」(開いている第1孔を連打して過渡的な打音で得るトレモロ効果)といった運指上での技法や、「ユリ」(尺八を顎に押しあてた部分を支点として、頭を様々な方向に滑らかに繰り返し振る奏法)、「フリ」(音の吹き始めや吹き終わり、同音反復の際に顎を鋭角的に縦に大きく振ることによりアクセントを付ける奏法)など、首振りによる各種の技法をジェスチャとして登録している。

を制作する．複数のシーンを持つ大きな作品の場合は，上記の手順を繰り返して，個々のシーン間で移動ができるようシーンパッチをプログラミングすることで制作できる．

以上の HIAT の処理と利用方法を，ストーリーによるシーン変化のある作品に対するコンテンツ制作モデルとして策定し，次章で述べる作品制作を行ってきた．HIAT により作品改訂が効率化できたほか，特定シーンのデモンストレーションが容易に作れたり，Cyber 尺八を利用した他の作品を制作する際にシーンパッチごと流用することができたりするなど生産性が大きく向上した．また，本研究とは別のインタラクティブダンスステージでの作品制作でも同様に生産性が向上している．

3. 「竹管の宇宙」プロジェクト

3.1 プロジェクトのコンセプトと経緯

本プロジェクトは，インタラクティブコンピュータミュージックのプロジェクトとして 1993 年から開始した．メンバーは当初，志村（音楽制作・演奏），片寄（システムデザイン），金森（Cyber 尺八製作）で始められ，後に池淵（システムオペレータ）と平井（システムサポート）が加わり現在に至っている．プロジェクトの技術コンセプトは，前述の Cyber 尺八のコンセプトに加え，奏者の身体動作や音響効果に基づくコンピュータ演奏と人間との合奏でライブパフォーマンスを行える環境を整備することである．芸術コンセプトは，単純さと複雑さが表裏一体となった宇宙観⁶⁾の表出を行うこととしている．これは，西洋音楽の管楽器に比べて形状や構造が単純な尺八と，その単純さが表れる虚無僧 尺八の世界感に対し，奏者の個性によって生み出される多種多様で複雑に絡み合わされた奏法が混ざり合うことに基づいている．これらのコンセプトのもとで制作した作品は，第 1 作「竹管の宇宙 I」から第 6 作「竹管の宇宙 VI」(最新の作品)と改訂・制作され，これまで世界各地で 10 回以上演奏されている(図 8)．その中で，第 2 作および第 5 作はそれぞれ ICMC'94, ICMC'96 において入選した．第 4 作からは音響に加え，ハードディスク上に記録された映像のリアルタイム操作も実現している．

3.2 演奏システム解説

演奏システムの概要図を図 9 に示す．Cyber 尺八



図 8 「竹管の宇宙 V」の公演

Fig. 8 Performance of "Tikukan no Uchu V".

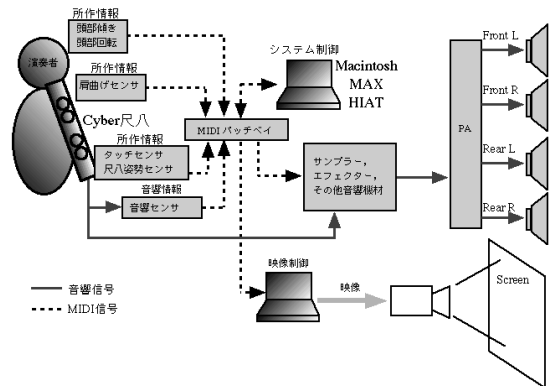


図 9 演奏システム全体図

Fig. 9 The whole of the system.

を演奏の所作情報と音響情報の入力デバイスとし，MIDI パッチベイを介してそれらの情報がシステム制御用の Macintosh へ送られる．Macintosh では HIAT で MIDI トラフィック制御やシーン切り替え，演奏技法の認識の処理を行い，サイプラーやエフェクターなどの音響装置を制御する．尺八の音響やサイプラーの出力は音響ミキサを経て 4 チャンネルステレオとして出力する．Cyber 尺八の押しボタンの 1 つは緊急時用に設定しており，接続されている MIDI 機器のシステムリセットが可能である．これは，MIDI 機器がシステムパニックに陥った場合に音の鳴りっ放しや異常音発生回避など，システムの保護機能として働く．

「竹管の宇宙」シリーズでは，HIAT で記述されたシーンは 10 あり，そのうちのいくつかはそれぞれ細分化されたサブシーンを持っている．シーン移動は，認識された特定のジェスチャもしくは Cyber 尺八本体の押しボタンにより行う．各シーン内におけるサブシーンの進行については自由に移行でき，ライブパフォーマンスならではの即興による自由な演奏が可能となっている．図 10 に「竹管の宇宙 V」のシーン遷移図を示す．これら HIAT によるシーンを，次節で示す作品のストーリー展開に対応づけることにより演奏効果を

虚無僧(こむそう)は，禅宗の一派とされる普化(ふけ)宗の僧．儀式や修行に尺八を用いた．江戸時代には，尺八は虚無僧の専有物とされ，150 曲以上の本曲(独奏曲)が伝承されている．International Computer Music Conference: コンピュータミュージックに関する国際会議．コンピュータミュージックの技術的な論文セッションとコンサートが同時開催される．

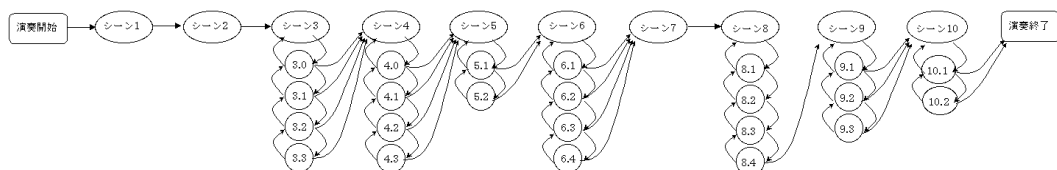


図 10 「竹管の宇宙 V」のシーン遷移図

Fig. 10 Scene transitions of "Tikukan no Uchu V".

ダイナミックに変化させることに成功している。

3.3 作品・演奏解説

本プロジェクトの作品の演奏には、数百年にわたって尺八の達人たちによって伝承され、練り上げられてきた尺八古典本曲の伝統的演奏技法が駆使されている。これを前述の演奏システムの仕組みを用いて、奏者は尺八の演奏と同時にコンピュータを介してシンセサイザを生演奏する。その延長で「竹管の宇宙 V」では人間と演奏システムが伝統的演奏様式である「掛け合い」による吹奏を再現し、1つの音楽空間を創造する演奏内容となっている。

「竹管の宇宙」シリーズに貫かれた音楽テキストは、尺八古典本曲「鶴之巢籠」にまつわる物語をテーマにしている。「鶴之巢籠」は、歌舞伎「仮名手本忠臣蔵」にもとりあげられるほど有名な曲だが、実際には同名異曲が10曲以上存在する。元々、古典本曲には楽譜が存在しないため、核となる概念あるいは「物語(テキスト)」と曲を特徴づける「手(フレーズ)」のみが存在し、これを各地の虚無僧が自分の手と楽器尺八のテクノロジーを用いて長年かけて練り上げ、整曲したものと考えられている⁷⁾。本作品では、この「手」と「楽器」の役割を現代のテクノロジーであるコンピュータや電子技術を用いることで、さらに拡張する試みとして制作を行ってきた。その意味で、尺八本曲の伝統的生成原理に則って生まれてきたコンピュータ邦楽「電腦巢籠」⁸⁾として位置づけている。

「鶴之巢籠」共通に表現される物語は次のものである。1) 親鶴が天空より飛来し、巣を作る場所を探す、2) 巣を作り、卵を生む、3) 鶴の子育てによる親子の情愛の深まり、4) 小鶴の巣立ちによる親子の別離とやがて来る親鳥の死。この一連のテキストを背景とし、親子の愛、父母の恩が物語のテーマとなっている。これは、そのまま人間の親子の情愛に対する教えとして、また宗教的な曲ではないものの仏の慈悲心にも通ずるものとして、精神修養の曲とされている。表2に物語の流れと HIAT シーンとの対応を示す。

1) の場面は、冒頭で「竹調べ」と呼ばれる尺八の演奏手法を用いており、長い持続音を中心に演奏することで息を整える。これにより尺八奏者は呼吸を整えて

表 2 「竹管の宇宙 V」の物語とシーンの関係

Table 2 Relation between the story and the scene number of "Tikukan no Uchu V".

	物語の要約	シーン番号
1	親鶴が天空より飛来し、巣を作る場所を探す	1, 2
2	巣を作り、卵を産む	3, 4, 5, 6
3	鶴の子育てによる親子の情愛の深まり	7, 8
4	小鶴の巣立ちによる親子の別離とやがて来る親鳥の死	9, 10

精神統一を行う。また、その後の演奏でプランどおりに演奏するための音楽世界への導入的内容となっている。2) の場面では、音楽的コンテキストを考慮しつつ様々な演奏手法を用いた表現で音世界に遊んでいる内容である。その中でシーン 5, 6 にかけては 3) の場面に対して徐々に盛り上げていく演奏を行う。3) では、情景を多種多様な演奏技法と音色表現で行い、後半は激しい演奏で非常に盛り上がる内容となっている。最後の 4) の場面ではシーン 9 において盛り上がりを突然静めることで、音楽的コントラストをつけて親子の分かれと親鶴の死を表現する。

また、シーン 10 には物語すべてに対する「結び」の旋律が含まれており、音楽的な締めくくりを行う。この 4) の場面では、直前までの演奏に比べて音数かなり少なく、さらに最弱音で吹奏し続けるため、1つ1つの音に大変神経を使って演奏を行う必要がある。また、楽曲中では鶴の鳴き声を描写するため難易度の高い技法「束音」をシーン 4, 5, 6, 9 で用いており、その中でも最高音域で行われるシーン 9 が技術的に一番難しいシーンである。

ここで「竹管の宇宙 V」の譜面例を図 11 に示す。

4. 生理的緊張状態の計測

「竹管の宇宙」のようなライブパフォーマンスを行う作品では、演奏内容に加えて奏者の緊張感等も聴取者に伝わっていると考えられる。緊張感は芸術的印象に対して大変重要な意味を持っているといえ、本プロジェクトでは各公演に対するレビューの一方法として

束音(たばね): 口蓋垂(のどびこ)を振るわせることにより、トレモロ効果を得る奏法。難易度が高く、かなりの修行が必要といわれている。

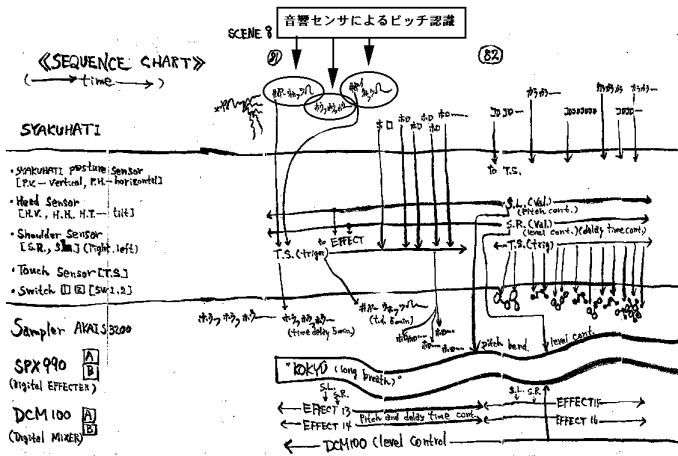


図 11 「竹管の宇宙 V」譜面例 (シーン 8 冒頭部)

Fig. 11 A part of the scores of "Tikukan no Uchu V" (head of scene 8).

作品が持つ緊張感や奏者の演奏中の緊張状態に関する考察を行うことにした。ライブ演奏における緊張感や感情の研究としては、Senjuらによる形容詞を用いた心理的な研究⁹⁾があげられるが、生理的研究で奏者や聴取者の生理指標を計測している研究は少ない。そこで我々は1997年から奏者と聴取者両方の自律神経系生理指標を計測し、生理的緊張状態に関する実験を行っている^{10)~13)}。この実験にともない、実際のコンサートでも演奏にほぼ支障なく利用できる生体信号計測システムを構築した¹⁴⁾。本章では作品の考察に用いるための生体信号計測システムと、このシステムで得られる自律神経系生理指標について述べる。

4.1 無線携帯型生体信号計測システム

コンサートのような場面で生体計測を行う際の問題点の1つとして、計測被験者への拘束や動作によるアーティファクトの混入があげられる。これらの問題をできるだけ少なくするため、まず小型化かつテレメータ化することで計測被験者が自由に動き回れるようにした。加えて生体信号を計測する電極やピックアップもなるべく拘束感が少ない小型のものを用意した。構築した生体信号計測システムの概観と装着例を図12, 13に示す。

この生体信号計測システムでは、装着者の耳朶もしくは指先に取り付けたピックアップから光電容積脈波を、手首と親指に装着したステンレス電極から皮膚アドミタンスを計測する。被験者が装着する無線送信機では、脈波と皮膚アドミタンス値をサンプリングして受信機へ送信する。このシステムでは4台までの送信機が同時使用可能であり、受信機は送信機から受信したデータをマージしてパソコンへ転送する。パソコン

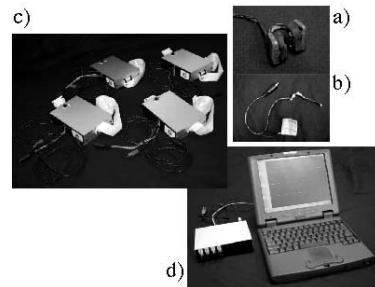


図 12 生体信号計測システム概観

a) 脈波ピックアップ, b) 皮膚アドミタンス用ステンレス電極, c) 送信機, d) 受信機とノート PC

Fig. 12 Appearance of the physiological measurement system. a) pulse pick-up; b) electrodes for skin-admittance; c) transmitter units; d) receiver unit and note PC.

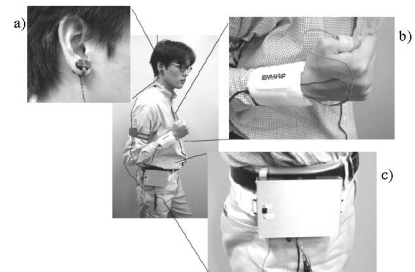


図 13 センサと送信機の装着例

a) 脈波ピックアップ, b) 皮膚アドミタンス用電極, c) 送信機
Fig. 13 Installation of sensors and a transmitter unit. a) pulse pick-up; b) electrodes for skin-admittance; c) transmitter unit.

上では計測データの記録と生理指標の計算が行われる。

4.2 計測する生理指標

脈波と皮膚アドミタンスはどちらも自律神経系活動

に含まれる．このシステムでは，瞬時心拍数とほぼ同等に扱える瞬時脈拍数を脈波の生理指標として計算する．心拍数は自律神経をなす交感神経と副交感神経の両支配を受け，交感神経優位な緊張・集中状態で上昇，副交感神経が優位な状態では下降する．脈拍数も同様に变化する．一方，皮膚アドミタンスは皮膚電気活動¹⁵⁾の一種で，電極間に交流電圧を印加してその電極間のアドミタンス値を計測する．皮膚電気活動は，交感神経にのみ支配される汗腺活動であり，発汗で起こる電気的変化をとらえるものである．脈波などとあわせて生理心理学¹⁶⁾の分野では古くから扱われている．皮膚アドミタンスから得られる生理指標は，0.1 Hz 以下の長期的変化である皮膚アドミタンス水準 (SYL) と 0.1 Hz 以上の短期的変化を表す皮膚アドミタンス反応 (SYR) があり，両方とも値が大きいほど緊張・集中状態と解釈する．

5. 生理的緊張状態に基づく作品の考察

作品制作活動の考察を目的として，制作活動の1つである作品の公演に対し，前述のシステムで計測される生理指標を計測した．そして，奏者の生理的緊張状態を判断することで，作品とその演奏活動に対する考察を行った．具体的には，リハーサルやコンサートなどの演奏状況による奏者の生理指標の相違や，演奏中の生理的緊張状態の変化に着目し，奏者の内観と生理指標とを比較，考察を行っている．以前の葛田らの論文¹⁰⁾では実験室における演奏を扱った．本稿では実際のコンサート公演で実験を行い，演奏時の生理指標に基づいて考察を行うものである．これまで，生理指標計測をともなった公演は3回行われた．コンサート1は1998年3月の東京での公演（観客数約300人），コンサート2は1999年5月の大阪での公演（観客数約25人），コンサート3は2001年4月の大阪での公演（観客数約80人）である．コンサート会場の広さは2と3で同じ程度であるが，コンサート1のみかなり大きなホールで行われた．また，コンサート場面では聴取者やコンサートスタッフも含めた実験も行った．しかし，これまで得られたデータでは被験者ごとにまったく違う傾向を示しており，知見や結果をまとめるには至っていない．

以下，本章では奏者に対する各状況での生理的緊張状態と楽曲中の変化についての知見を述べ，考察を行う．

5.1 異なる状況での奏者の生理的緊張状態の比較

まず，比較のための基礎データとして奏者の平静時の生理指標を各公演ごとに練習日やコンサート当日の

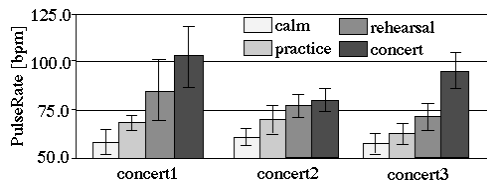


図 14 奏者の平均脈拍数

Fig. 14 Mean pulse rate of the performer.

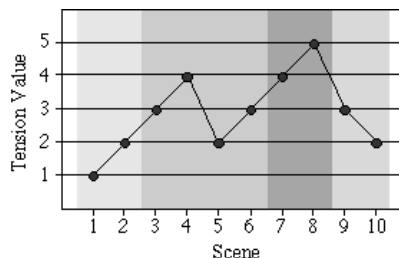


図 15 奏者の主観による各シーンに対する緊張度

Fig. 15 Subjective value of tension for each scene by the performer.

リハーサル前に計測した．その結果，それらの差はほとんどみられずコンサート当日でも平静時は安定した生理指標が得られることを確認した．そのうえで，普段の練習時，コンサート当日のリハーサル，コンサート本番と異なる状況における演奏中の平均的な生理指標について比較した．3公演について，各状況の演奏中の平均心拍数を図 14 に示す．

この図から，どの公演においても平静時・練習・リハーサル・コンサート本番の順に平均心拍数が高くなっていることが分かる．皮膚アドミタンス反応についても同様の結果が出ており，聴取者の前という作品制作の最終段階であるコンサート本番で演奏する状況が，奏者にとって一番高い緊張状態の場面だと解釈できる．また，観客数の多いコンサートほど本番演奏時の心拍数も高くなっていることも読みとれる．

5.2 奏者の演奏中の生理的緊張状態と内観，作品内容との比較

次に，奏者（作曲家）の主観による楽曲中の相対的緊張度変化と，実際に演奏した際の生理指標との比較を行った．図 15 に示す楽曲中の緊張度ではシーン 4 で1つめの盛り上がり，シーン 8 で最大の盛り上がりを見せる場所となっている．その後シーン 9, 10 にかけては緊張度としては下がる曲調である．

実際の演奏時の生理指標を見てみると図 16 に示すようにシーン 9 以降では緊張状態が下がらずにより増加している．他の公演においてもこの場面では増加

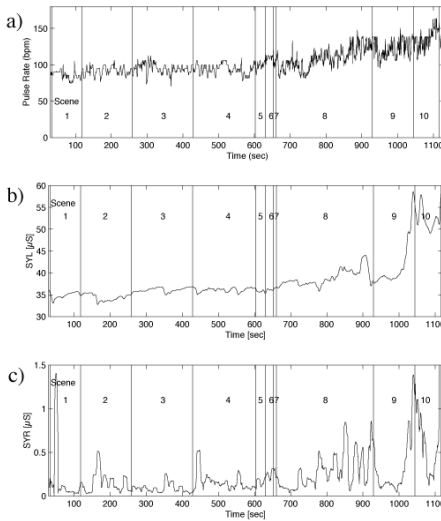


図 16 奏者の自律神経系生理指標 (コンサート 1 にて). a) 脈拍数, b) SYL, c) SYR

Fig. 16 Autonomic indices of the performer at concert 1. a) pulse rate; b) SYL; c) SYR.

もしくはそのまま持続している傾向を確認している。3.3 節の解説で述べたとおり演奏にはかなりの集中が必要とされる部分ともいえ、このことは生理的緊張状態が高い状態を保っている説明になりうる。結果的には作品の意図する緊張度と演奏行為による緊張状態とは別個のものであることを示しているといえる。

また、奏者からは「尺八本曲の精神を継承しようとする演奏表現においては、演奏に対する緊張感をいかに全曲にわたって維持できるかを大切にしている」というコメントが得られており、5.1 節の平静時との比較から、図 16 の結果に合っているといえる。このように、内観と生理的緊張状態の一致が見られることから「演奏に対する心構え」という観点から作品演奏中の生理的緊張状態のモデルを構築することが可能と考えられる。それにより、生理指標を作品に変化を与えるパラメータとして利用できる可能性もある。このことをふまえ、今後も公演時の実験を重ねて作品制作にフィードバックしていきたいと考えている。

6. ま と め

本稿ではインタラクティブコンピュータミュージック「竹管の宇宙」の作品制作の実際の紹介と考察を行った。対象としてとりあげた作品は、ICMC コンサートセッションで入選し、芸術・技術の双方から一定の評

価を得たものである。あくまでもケーススタディであるが、ここでの総括がコンテンツ制作の実例として当該分野に多少なりとも寄与できることを期待している。

具体的には、演奏システムを構成する要素技術 Cyber 尺八や HIAT について述べ、作品内容、演奏のポイントについて解説した。また、コンサートでの演奏行為自体も制作の一部と考えたうえで、奏者の生理的緊張状態や内観をもとに作品制作に対する考察を行った。芸術における感性や内観に関して、絶対的な主張を行うことは困難であるが、表層的な曲想よりもそれを表現するための深層の精神状態に呼応する生理指標が計測されたと考えている。このことは、これまで口伝によってその技や心構えが伝承されてきた伝統芸能での精神状態を探るという意味で興味深い。今後も実験を行うと同時に、得られた知見を作品制作にフィードバックしていきたい。さらに聴取者の反応も含めた解析を続けていく予定である。

本プロジェクトの今後については、Cyber 尺八を含む演奏システムに関して、コンパクト化と仕様のオープン化を考えている。前者は、かつて虚無僧が一管の尺八を携えて諸国を行脚し、多くの尺八本曲の名曲を生み出した状況の再現を目標としている。これについてはシンセサイザやエフェクタの音響処理をすべてソフトウェアで行うことで、Cyber 尺八 1 つとノート PC1 台という構成が可能と考えている。また、処理の高度化によって、発せられる音の隅々にまで演奏家が神経を通わせる楽器へと完成させることも目標としている。後者のオープン化については、多くの作曲家・演奏家に対して様々な作品を制作・演奏できる環境を提供することを目標としている。これは愛好者の高齢化が進む日本楽器の文化を生きた形で継承できるようにするという我々の願いとともに、ヒューマンインタフェースの観点から技能伝承システムの一例として発展させていきたいと考えている。

謝辞 本研究は、当初(財)イメージ情報科学研究所(LIST)において始められ、大阪大学へ引き継がれた後、日本学術振興会未来開拓学術研究推進事業(JSPS-RFTF99P01404)の補助を受けた。本研究を推進していただいた LIST 関西研究所長/大阪大学大学院基礎工学研究科の井口征士教授に深く感謝する。また、生体信号計測システムの構築に協力いただいた大阪電気通信大学の古川久男助教授、Cyber 尺八システムオペレータの池淵隆氏にも感謝する。

参 考 文 献

- 1) Chadabe, L.: Interactive Composing, *Proc.*

これらの生理指標には呼吸要因、運動要因によって大きな違いが見られないことを先行実験で確認している。

- ICMC1983, pp.298–306 (1983).
- 2) 安西, 草原, 片寄, 笹田, 中津, 黒川: パフォーマンスのためのマルチメディア情報利用, マルチメディア情報学 10 自己の表現, pp.67–113, 岩波書店 (2000).
 - 3) Mulder, A.: The I-Cube System: Moving towards sensor technology for artists (1995). <http://fas.sfu.ca/cs/people/ResearchStaff/amulder/personal/infusion/ISEA95.html>
 - 4) Katayose, H., Shirakabe, H., Kanamori, T. and Inokuchi, S.: A Toolkit for Interactive Digital Art, *Proc. ICMC1997*, pp.476–478 (1997).
 - 5) 金森 務, 片寄晴弘, 志村 哲, 井口征士: Cyber 尺八の開発, 計測自動制御学会論文誌, Vol.33, No.8, pp.735–742 (1997).
 - 6) Simura, S., Tukitani, T., Seyama, T. and Yamaguti, O.: Simplicity as complexity — Technicalities and aesthetics of Japanese musical instruments and music, *Proc. ICMC1993*, pp.10–17 (1993).
 - 7) 志村 哲: 音の息吹き—尺八奏法の生成と変化, 藤井知昭, 山口 修, 月溪恒子(編), 『楽の器』, pp.138–148, 弘文堂 (1988).
 - 8) 志村 哲: Cyber 尺八と《竹管の宇宙》—コンピュータによる虚無僧尺八の現代化, コンピュータと音楽の世界, pp.463–469, 共立出版 (1998).
 - 9) Senju, M. and Ohgushi, K.: How are the players ideas conveyed to audience?, *Music Perception*, 4, pp.311–323 (1987).
 - 10) 蔦田, 加藤, 木村, 片寄, 金森, 井口: インタラクティブアートにおける演奏家と観客の緊張状態の生理的解析, 日本バーチャルリアリティ学会論文集, Vol.2, No.2, pp.9–16 (1997).
 - 11) Katayose, H., Hirai, S. and Inokuchi, S.: Physiological Measurement of Performer's Tension and Its Utilization for Media Control, *Proc. ICMC1998*, pp.211–214 (1998).
 - 12) Katayose, H., Hirai, S., Kanamori, T. and Inokuchi, S.: A Study of Interactive Art — Environment and Physiological Measurement, *Proc. VSMM'99*, pp.107–115 (1999).
 - 13) 平井重行, 金森 務, 片寄晴弘, 佐藤宏介: インタラクティブアートにおける自律神経系生理指標計測, 電子情報通信学会基礎・境界講演論文集, pp.454–455 (2000).
 - 14) 金森 務, 片寄晴弘, 平井重行, 古川久生, 井口征士: 緊張感の伝播計測を目的とした多重無線化生体信号センサ, インタラクシオン'99 論文集, pp.53–54 (1999).
 - 15) Boucsein, W.: *Electrodermal Activity*, Plenum Press (1992).
 - 16) 藤澤, 柿木, 山崎: 新 生理心理学 (1–3 巻), 北大路書房 (1998).

(平成 13 年 6 月 13 日受付)

(平成 13 年 12 月 18 日採録)



平井 重行 (正会員)

平成 5 年京都工芸繊維大学工芸・電子情報卒業。平成 7 年同大学院博士前期課程修了。平成 9 年(財)イメージ情報科学研究所研究員。現在(株)関西新技術研究所研究員。マルチメディアインタラクションと生体計測の応用に従事。電子情報通信学会, ヒューマンインタフェース学会, 日本 ME 学会, 芸術科学会各会員。



志村 哲 (正会員)

昭和 31 年長野県生まれ。大阪芸術大学音楽学科音楽工学専攻卒業。平成 11 年「古管尺八とその音楽観に関する研究」により博士(学術)学位取得(お茶の水女子大学大学院人間文化研究科)。尺八を酒井松道氏ほかに師事し, 竹保流および明暗各派の古典本曲を修得。古楽器復原演奏, 古典本曲, 現代音楽等を中心に演奏活動を行う。竹号は禅保。大阪芸術大学助教授。



金森 務 (正会員)

酒井潮, 田代ユリ両氏に師事し, ハモンドオルガン, ジャズピアノ, 和声理論を修得。京都工芸繊維大学在学時より作編曲を始め, 音楽演奏活動に従事。音楽における感性情報処理の研究, インタラクティブアートのためのセンサ開発に従事(財)イメージ情報科学研究所客員研究員, 大阪大学基礎工学部講師を経て, 現在大阪芸術大学, 京都精華大学にて非常勤講師。工学博士。



片寄 晴弘 (正会員)

昭和 61 年大阪大学基礎工学部制御工学科卒業。平成 3 年同大学院博士課程修了。同年(株)オーグス総研入社。平成 4 年より(財)イメージ情報科学研究所にて, 音楽情報処理, 感性情報処理の研究に従事。現在, 和歌山大学システム工学部助教授および科学技術振興事業団さきがけ研究 21 研究員。工学博士。電子情報通信学会, 人工知能学会, ICMA 各会員。