

音楽創作とコンピュータ音楽

葉 孝之

西洋音楽の長い歴史の中、テクノロジーの革新は音楽の発展にも大きく貢献してきた。我々が普段耳にしているピアノの音色も19世紀の鋳物技術の発達によって可能になったものであり、もちろん、今日のデジタル音の氾濫は20世紀後半の情報処理技術の賜物である。我々作曲家はいつの時代にも表現手段の拡張を試み、新たな芸術を創造しようと格闘している。本稿では、一人の作曲家としての立場から、芸術音楽創作、音楽の発展、そしてコンピュータと音楽の出会いを紹介していきたいと思う。

キーワード：作曲，芸術音楽，音楽の発展，コンピュータ，音声信号処理

1. はじめに

音楽をいつでもどこでも楽しみたいという人々の心は、中世のカリヨンからオルゴール、そして自動ピアノに代表される自動演奏楽器を発明してきた。20世紀に入ると、蓄音機、テープレコーダ、ラジカセ、Walkman、CD、そして今ではiPodと、いつでもどこでも音楽を楽しみたいという人々の欲望が、音響機器の技術革新を促してきた。一方、1950年代、K. Stockhausen等が実験音楽の世界で創り出してきた電子音は数十年後には電話や呼び鈴の音となり社会の音となった。1970年前後、J. Chowningによって開発されたフリークエンシー・モジュレーションによるコンピュータ音は、今日では携帯電話、さまざまな家庭電気器具、そして駅のホームの音としても、我々は日常耳にしている。新たな芸術音楽を志す前衛作曲家やコンピュータ音合成に取り組んだ科学者の仕事が、数十年の時を経て、社会になくてはならない音となり、我々の身近な存在になってきたのである。

2. 芸術音楽創作と作曲家

私は「音楽」を「4次元の彫刻」と考えている。音が響きわたる立体に「時間」という4番目の次元を持っている物体。知覚することのできるN次元の単純な生物はN-1次元の物体を客観的に把握し、N-1次元の空間を自由に移動することができる。しかし、N

軸上に起きる事象に関しては、物理的にそれを動かすこともできなければ、自分自身がその軸上を移動することもできず、客観的にその事象を把握することはできない。我々人類は、3次元の物体を客観的に把握し、移動させることはできるが、いかなせん時間軸に対してはそこに存在する事象を移動させることもできなければ、時間軸上を逆行したりスピードを調節して移動することもできない。時間軸上の事象を客観的に知覚することもできないのである。しかし、我々は「記憶」という能力を使って「時間」を最大限使いこなしている。ある一定の「時間」を切りだし、そこに別の世界を構築することもできるのである。

我々作曲家は学習と経験、想像力と理論のもとに、時間軸を伴った芸術を創りあげている。ある一定の時間を時間軸から切りだし、それを4次元の彫刻作品へと仕上げていく。それは、音を知覚する聴衆の記憶を操る作業でもある。

3. 音楽を知覚する

音を知覚するのに、音楽を聴取するのに人間は記憶が重要な役割を果たす。その記憶機能を利用するためには必ず「繰り返し」が必要になる。波形レベルで考えてみても、一つの波形だけでは人は音色として認識することはできない。必ずある一定の時間、同じ波形が繰り返されて初めて一つの音色として認識、記憶され、音、音符として聴取されるのである。そして、それが旋律として認知されるためには、それ以前に奏でられた音が「記憶」に残っている必要がある。それは、絶対音感をもっている者には音高として記憶され、そうでない者には音程関係として記憶されるのであろう。連続する音は、一定のパターンとして記憶されて

らい たかゆき

Lancaster Institute for the Contemporary Arts, Music
Lancaster University
Bailrigg, LA1 4YW, Lancaster, The United Kingdom

初めて音楽的な意味を持つ。しかし、我々の記憶はフラッシュメモリーではない。記録されたデータは往々にしてフェードアウトしてしまい、瞬く間に消え去ってしまうのである。そこで、データを確実に記憶に保持するためには、同じパターン、あるいはその若干の変形パターン (Variation) を繰り返し記憶領域にストアする必要がある。音のパターンが記憶領域に残されていないと、音は時間の流れの中で単に羅列されているだけの存在となり、音楽的な意味を有しなくなる。人は時間軸上での方向性を失い、作品を音楽表現として認知することはできなくなる。一方、同じパターンが必要以上に繰り返されると、人間は音楽作品への興味、注意力を失い、退屈な音楽、長い無駄な時間と感じるようになる。両極に「名曲」の答えはないように思えるが、ここで忘れてならないことは、人の記憶能力には個体差があることである。

作曲家の作業とは、K. Stockhausen が「die Reihe: Anton Webern 特集号」(1955) の中の論文「Structure and Experiential Time」のなかで述べたように、『この狭い回廊にそって』、『作曲家はカミソリの刃の上を歩くように進んで行くことができなくてはならない』のである。お気付きの通り、数え切れないほどの作曲家が、星の数よりも多くの作品を作曲し、そのほとんどすべてが何十年、何百年という時間の壁を乗り越えることができずに、忘れ去られているのである。いまだに我々は過去数百年の間に生まれたごく限られた作曲家の作品を好んで聞いている。名曲と呼ばれるこれらの作品が、人の記憶能力の最大共通項を教えてくれているのではないだろうか。

4. 音楽の発展

1981年当時、私が師事していたドイツの作曲家、H. Lachenmann との会話の中でも、「正しい音楽とは何か」という言葉を聞くことが度々あった。音楽や芸術を人の感情表現として受けとめたい傾向にある日本とは違い、西洋音楽は理論的に「正しい音楽」を求めて発展してきた。その長い歴史の中、「正しい音楽の作り方」としていくつもの手法が確立され、その一般化された法則は天才的な創作能力をもった巨匠によって時に打ち砕かれ、またそこに新たな手法が確立されてきたのである。

ここで、西洋音楽の発展を乱暴ながら、非常に簡略化して説明してみよう。20世紀後半の難解な音楽が西洋音楽の歴史の中でいかに自然に、必然的に生まれ

てきたのかを説明するために、私はいつもグレゴリオ聖歌からたどることにしている。8世紀頃に生まれたグレゴリオ聖歌は単旋律の単純な音楽であった。時を経るに従い、伴奏を伴うようになったり旋律が重ね合わされポリフォニー音楽へと発展していく。後者は、バロック時代に対位法、フーガ形式として定着する。さらに時代が進むと、旋律よりも縦の響きが重要視されるようになっていき、バッハからモーツァルト、そしてベートーヴェンへの流れの中で機能和声が確立されていく。しかし、ベートーヴェンがドミナント＝トニック等の強進行を強調していた一方で、ショパンは弱進行を導入して独自の音楽世界を創りだす。19世紀中頃になると、ブラームスやワーグナーといった巨匠が、それぞれ異なった方法論の元、機能和声の拡張を押し進めていく。ドイツロマン派の全盛時代、転調を繰り返すことにより調性感が徐々に曖昧になっていく。一方、フランスではフォーレ、ドビュッシ、ラベルと続く、ドイツロマン派とは一線を画した響きの世界が繰り返り広げられていく。

20世紀に入ると調性は崩壊し、シェーンベルク等が調性感の全くない音楽、完全なる無調の世界を求めて再び旋律、というよりは音の並べ方に注目する。そして、1オクターブの中にある12の音を平等に扱う作曲法、12音列技法が考案される。この音列技法は、さらに第二次大戦後に拡張され、音高のみを列として操作することから、音の持続、音の強弱等、音楽上の他のパラメータをも列として処理しようとする「トータル・セリエリズム」という超理論的な作曲法へと到達する。西洋の「正しい音楽」という思考の究極であったが、ここまで極めると反作用のように、J. Cage が偶然性を導入し、後には S. Reich 等が繰り返しの中での微妙な「違い」を聞かせる「ミニマル・ミュージック」という意表をついた音楽表現手法を前衛音楽界に送り出す。1980年代になると、ドイツを中心に過去への回帰願望であろうか、「ネオ・ロマンティズム」という音楽表現が脚光を浴びる。それ以降、核となる作曲法や表現法のない多様性の時代が続いている創作現場だが、とにもかくにも西洋音楽は節々に登場する天才によって、理論的な発展を続けてきたのである。

5. 新たな音色を求めて

このような西洋音楽発展の歴史の中、20世紀初頭から電氣的に新たな音を作りだす試みが始まる。1897

年にアメリカで T. Cahill が電氣的に音を作り出す装置のpatentを習得。1906年に「ダイナモフォン」という電気楽器を製作する。1924年にはロシアの技術者 L. Theremin が鍵盤のない電気楽器「テレミン」を開発、フランスでは「オンドマルトノ」(1928)、ドイツでは「トラトニューム」(1930)といった電気楽器が次々と登場する。これらの楽器は、当時、すでに100年以上の間、新しい楽器がオーケストラに加わっていないことに疑問を感じていた作曲家達に注目され、オーケストラの中の新たな楽器として、著名な作曲家がこれらの楽器のための作品を作曲することになる。その最も典型的な例が、オンドマルトノをオーケストラの中で使用した O. Messian の「トゥランガリラ交響曲」(1949)である。

一方、アメリカでは「ギブレット」(1929)、そして、新築された教会のためにパイプオルガンの代用楽器として「 Hammond・オルガン」(1935)といったポリフォニック電気楽器が開発される。 Hammond・オルガンは最も商業的に成功した電気楽器であるが、オンドマルトノやトラトニュームも戦後、映画の効果音やポピュラー音楽の中で盛んに活躍した。

一方、電気を利用することなく新たな音を求めようとした作曲家も多くいる。未来派の L. Russolo は「騒音楽器」を作り、アメリカの作曲家 G. Antheil は「Ballet Mécanique」(1926)の中で飛行機のプロペラ音を導入した。 E. Varèse はサイレンの音なども使った「Ionisation」(1930/31)という作品で、打楽器アンサンブル、新たなアンサンブル形態を西洋音楽に追加し、 J. Cage はサイン波が録音されたレコードの再生音をも含むライブ作品「Imaginary Landscape No. 1」を1939年に発表。第二次世界大戦後にはピアノの弦にボルトやラバーを挿み、ピアノから不思議な音色を引き出す「プリペアード・ピアノ」を考案する。その後、既存の楽器演奏に特殊奏法を用い、通常とは違った音色を引き出す試みも盛んに行われるようになる。作曲家は常にオリジナルな音、新しい音楽を追い求めていかなくてはならないのである。

6. 電子音楽の世界

コンピュータと音楽の関係を語る前に、もう一つ述べておかななくてはならない音楽界の出来事がある。フランスの電気技師、 P. Schaeffer は第二次世界大戦中、フランス放送局で楽器音の特性を研究していた。そこから、日常耳にする音を録音し、それを編集すること

によって音楽作品とする「ミュージック・コンクレート」(具体音楽)が誕生する。一方、1950年頃からドイツのケルンでは自然界に存在しない音、倍音を持たない純音、サイン波を非整数倍に積み重ねていくことによって新たな音を作ろうとする試みが始まる。「電子音楽」の誕生である。後者は、当時、「正しい音楽」と考えられていたトータル・セリエリズムによる作品が、実際演奏されると演奏上の曖昧さ故に、理論通りの結果が得られないことを問題視する作曲家から注目される。正しい理論に基づいて音をテープに定着させていけば、理論通りの音楽が演奏されることになる。多くの著名な前衛作曲家が1950年代に「電子音楽」を実践した。さらに、アナログ・シンセサイザー「Moog」の登場により、電子音は瞬く間に世界へ広がっていく。 W. Carlos の「Switched on Bach」(1968)から富田勲の「月の光」(1974)といったシンセサイザー音によるクラシック・アルバムが注目され、ビートルズやローリングストーンズ、エマーソン・レーク・アンド・パーマー、ピンク・フロイド、タンジェリング・ドリーム、そして日本では YMO 等ポップス界のスター達が彼らの音楽の中でアナログ・シンセサイザーを使うようになる。 K. Stockhausen 等が始めた実験音楽とはほど遠い世界でも電子音が多いに活躍することとなったのである。

7. コンピュータ音楽

音楽とコンピュータの最初の出会いは1957年、アメリカの作曲家 L. Hiller と技術者 L. Isaacson による「Illiac Suite」である。弦楽四重奏のための作品であり、コンピュータによる音は全く聞こえてこない。この作品はコンピュータ支援作曲という分野に属する作品である。私はコンピュータ音楽の歴史について解説する際、コンピュータの応用方法に基づいていくつかに分類して解説することになっている。ちなみに、以下は1990年頃までのコンピュータ音楽に関する私の分類である。

- ・ コンピュータ支援作曲
- ・ バイブリッド・システム
- ・ コンピュータ音合成
- ・ リアルタイム・コンピュータ音合成
- ・ デジタル・シンセサイザー
- ・ シグナル・プロセッシング
- ・ ライブ・コンピュータ音楽

「コンピュータ支援作曲」とは自動作曲ソフトを利

用した作曲手法で、例えばある伝統的な作曲法をプログラムし、作曲家はそのプログラムが要求するパラメータをコンピュータに入力する。そして、その計算結果をプリントアウトし、楽器のための譜面に書き換えるのである。前記の「Illiac Suite」はこの手法によって作曲された作品である。この「コンピュータ支援作曲」分野では、他に「Stochastic Composition」をプログラミングしたI. Xenakisの「ST/10」、ドイツの作曲家G. M. Koenigによる音列技法やアレアトリー等の選択法を実装させた「Project-I, II」、最近ではLISPによって書かれたP. Bergの「AC Toolbox」等をあげることができる。ただ、多かれ少なかれ、コンピュータを用いて芸術音楽を創作しようとする作曲家は、どこかで乱数を利用して作曲しているものである。

「ハイブリッド・システム」はコンピュータがDAコンバータを介して、Voltage Controlledのアナログ電子機器を操作するものである。1960年代のDAコンバータのスピードはまだ遅く、同時に電子音楽におけるアナログ機器からの音にも限界が見えてきていた。そこで、コンピュータを用いることによって人が手作業では実現できない制御を実現しようと試みたわけである。このシステムの代表的なものはM. MathewsとR. Mooreがベル研究所で開発した「GROOVE」(Generated Real-time Output Operations on Voltage-controlled Equipment)である。1970年代に一時期注目されたものの、音としてはアナログとかわりなく、コンピュータ音楽界に何も革新的なことをもたらすことはなかった。早々と忘れ去られたのが、このハイブリッド・システムである。

ちょうどL. Hillerが「Illiac Suite」を発表した頃、アメリカのベル研究所ではM. MathewsやJ. Pierceといった科学者等がコンピュータを用いて音を合成する技術の研究を進めていた。1957年にM. Mathewsは「Music-I」という初の音合成用ソフトウェアを開発し、コンピュータが音を作る道具として初めて利用されることになる。ベル研究所ではさまざまな実験が行われ、1961年にはM. Mathewsが人の歌声の合成を試み、後には金管楽器やドラムスなどの楽器音のシミュレーションの実験も行われた。そして、1960年代後半にベル研究所へやってきたフランスの作曲家、J. C. Rissetが数年にわたり、「Music-V」(Music-Iの発展型)を用いてトランペット音など楽器音のシミュレーションや数々の音合成を試みる。その成果は、

彼の「Little Boy」(1968)と「Mutations」(1969)という二つのテープ作品として聞くことができる。この二曲は世界で初めてコンピュータ音合成技術を用いて制作された芸術音楽作品といえるのではないか。

さて、同じ頃、ベル研究所以外でもコンピュータ音合成を研究していた作曲家・科学者がいた。スタンフォード大学のJ. Chowningは1967年にFrequency Modulation (FM)による音合成技術を発見。1972年に、このコンピュータ音合成技術を使った初めての作品「Turenas」を作曲している。1973年、このFM技術にYAMAHAが注目し、後のデジタル・シンセサイザー開発へと結実していく。このFMの他にもさまざまなコンピュータ音合成アルゴリズムが発案されてきた。幾つか代表的なものをあげるならば「Additive Synthesis」、「Granular Synthesis」、「Subtractive Synthesis」、「Karplus-Strong Plugged String Algorithm」、「Waveshaping」、「Physical Modelling」等である。

1980年頃になると、コンピュータの処理速度も、DAコンバータの速度も速くなり、リアルタイム・コンピュータ音合成が可能となる。しかし、この技術を応用して合成できる音はまだ素朴であり、当時、コンピュータ音楽研究の主流であった楽器音のシミュレーションというテーマ実現にはほど遠いものであった。そこで登場したのが、コンピュータがデジタル音源を直接コントロールする技術である。デジタル音合成に特化された高速チップを利用し、その入力パラメータをコンピュータがコントロールする。1980年当時、私が学んでいたソノロジー研究所(オランダ)では \sin^2 の波形に基づく「VOSIM Oscillator」というハードウェアが開発され、PDP-15コンピュータがこのオシレータをコントロールして音合成を行っていた。いわば、ハイブリッド・システムのデジタル版であるが、この技術は後のデジタル・シンセサイザー全盛時代への序章となる。

1970年代後半から、すでに幾つかのデジタル・シンセサイザーが市販されていたが、それらは数百万円から一千万円という高価な品物だった。ところが、1983年、YAMAHAがFM技術を用いたデジタル・シンセサイザー「DX-7」を20万円程度で発売。ユトレヒトでそのニュースを聞いたときの衝撃は今でも記憶に新しい。さらにMIDI規格の登場やPCの低価格化により、1980年代後半、コンピュータ音楽が突如一般化することになる。ちょうど、1950年代、世

界の作曲家が挙って「電子音楽」に取り組んだように、1980年代後半には作曲家が挙ってコンピュータ音楽に手を出すようになったのである。

1990年以降、コンピュータ支援作曲は「Algorithmic Composition」、コンピュータ音合成は「Software Synthesis」、あるいは「Signal Processing」の中に含めてしまう場合も。さらに、ライブ・コンピュータ音楽は「Interactive Computer Music」と呼ばれるようになる。また、これらのカテゴリーの他にも、1980年代中頃から、コンピュータを介してセンサー技術に応用したパフォーマンス・システムや新たな楽器（マン＝マシン・インターフェース）、あるいはコンピュータを使ったサウンド・インスタレーション作品等がコンピュータ音楽界に加わってくる。コンピュータ音楽は、かなり早い時期からビデオアートも取り込んでおり、現在では「Interactive Multimedia Art」、つまり音と映像をリアルタイムにコンピュータを介してからめていく作品なども、コンピュータ音楽の世界で多く実現されている。実際、コンピュータ音楽用アプリケーション「Max/MSP」の最新版では画像処理用プラグイン「Jitter」が標準装備されるようになってしまった。

8. コンピュータ音楽と私

私とコンピュータの付き合いは1980年、ユトレヒト大学ソノロジー研究所に留学したときに始まる。日本を出るときには、アナログの電子音楽の世界しか十分な情報がなかったが、ヨーロッパに来てみると、すでにそれが末期にあることを実感。コンピュータ音楽はまだ未熟な状態ではあったが、新たな音の可能性を求め、さらにコンピュータによる楽器音の拡張を目指して、まずはリアルタイム・コンピュータ音合成技術から学ぶことにした。当時、ソノロジー研究所には18bitのコンピュータ、PDP-15が2台あった。このコンピュータを使ってP. Bergが開発した「PILE」というリアルタイム・コンピュータ音合成用ソフトを使用し、コンピュータによる音作りを実習した。このソフト自体がアセンブリ言語のようなものであったため、後に自然とアセンブラを使ってプログラミングすることになる。3年かけてようやく一曲、2台のコンピュータのための「Pain」（1983）という作品を制作した。

この作品では、乗算処理等コンピュータの演算に時間がかかると音高が下がってしまうため、音量のバラ

Pain for two computers

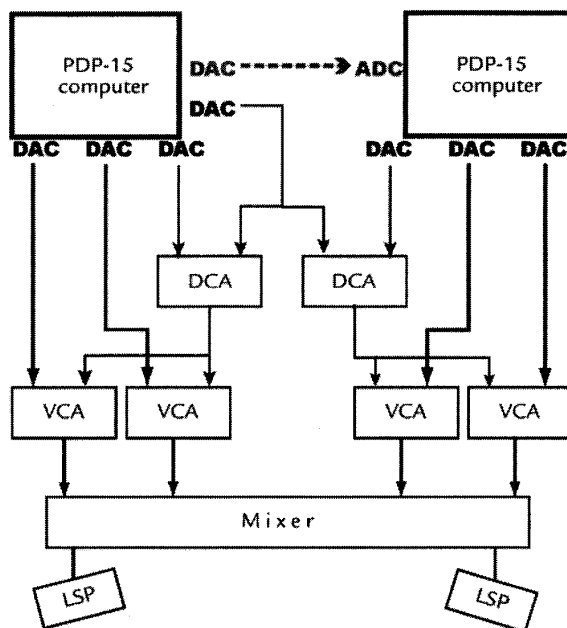


図1 「Pain」システム構成図

ンスはハイブリット・システムを応用して解決せざるを得なかった。また、DAコンバータ（DAC）から直流電流をADコンバータ（ADC）へ送ることにより2台のコンピュータ間の同期を実現した（図1）。

「Pain」に続き、1984年にはハープとテープのための「トランスパレンシー」を制作。この作品では、コンピュータによる音声信号処理技術を用いてハープ音の音色拡張を試みた。

そして、1986年にはインタラクティブ・コンピュータ音楽、コンピュータの伴奏を伴ったクラリネット、チェロ、ピアノのための「Five Inventions」を1年かけて制作する。PDP-11コンピュータを2台、DMX-1000という初期のDSPシステム、それにソノロジー研究所手製のDSPシステムをもう一台使用してライブ・コンピュータ・システムを構築（図2）。FORTRAN, PASCAL, それに2台のDSPシステムのためのMicro Codeを駆使し、ステージ上で演奏される楽器音をリアルタイムにコンピュータで変調し、会場に生演奏とともに再生する、当時としては不可能に近い野心的な試みであった。

1991年からはNeXTコンピュータを宿主とする、パリのIRCAMで開発されたDSPシステム「IRCAM Signal Processing Workstation (ISPW)」を用い、M. Pucketteが開発した「Max」（注：ISPW用Maxでは当初よりリアルタイム信号処理が可能であった）でプログラミングするようになる。こ

Five Inventions Accompanied by Computers

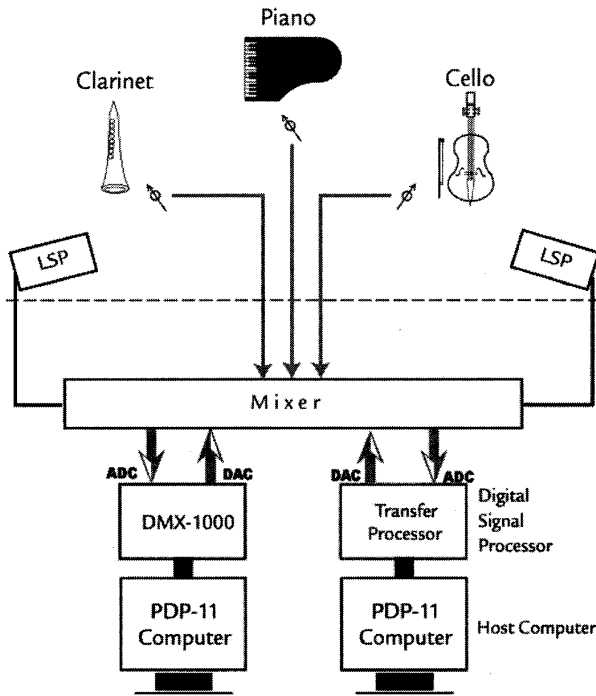


図2 「Five Inventions」システム構成図

のISPWとMaxの登場により、作品制作時間は大幅に短縮される。さらに、FFTとiFFTの組み合わせによるリサンセシスをリアルタイムで実現できるようになるなど、テキスト・プログラミングから解放されたのみならず、最先端の信号処理技術を容易に自作品に応用することができるようになった。それでも、この高価なシステムをコンサート会場に持ち込むことは困難を極め、ラップトップ・コンピュータをコンサート会場に持ち込み、本体のCPUのみでリアルタイム信号処理を実行することが可能になったのは、2000年以降である。

図3は2003年に作曲したギターとコンピュータのための「Façade」の譜面である。この作品は東京で初演された後、オランダ、スイス、イギリス等で演奏され、MacBookを持ち歩いてコンサートに立ち会った。さらに、2009年3月、ニューヨークでの「Music From Japan」において、木村まりさんによって初演されたヴァイオリンとコンピュータのための「Active Figuration」(図4)では、作曲家のコンピュータ・オペレーションなしに、演奏者が一人で演奏することが可能になるようにプログラミングすることに成功した。このことにより、元来、作曲家の立ち会い、もしくはコンピュータ・オペレータのアシスタント無しでは困難であったインタラクティブ・コンピュータ

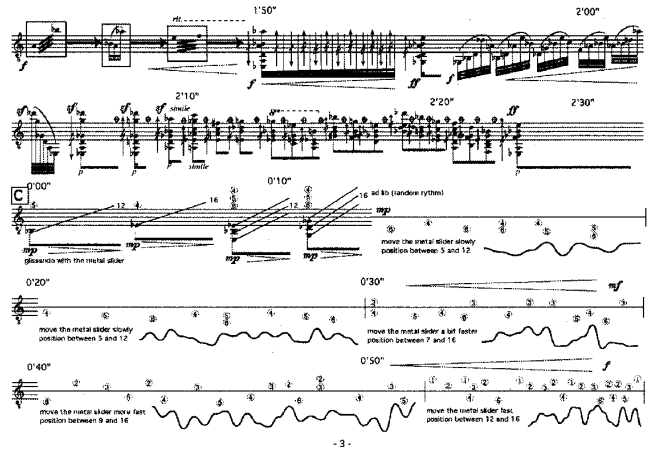


図3 「Façade」の譜面

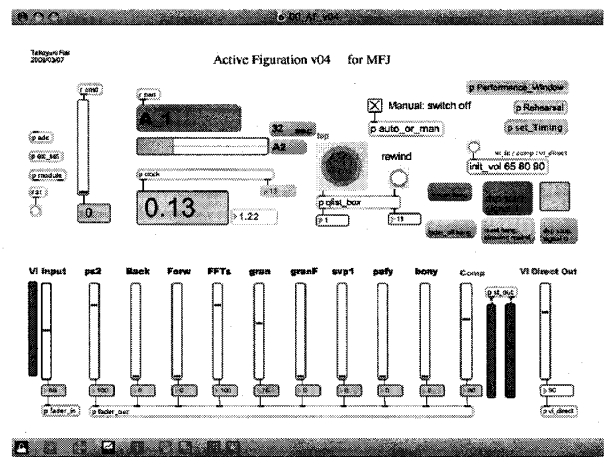


図4 「Active Figuration」のMax/MSPメイン・パッチ

音楽演奏が、より一般化されていくものと期待している。

9. おわりに

作曲家や演奏家にとって「音楽」は貴重な自己表現手段である。私にとっても、「音楽」は自己の思想、美的概念を人に伝えるための伝家の宝刀である。私は時間軸上のシメトリー性にある種の心地よさを感じる。ちょうど、好みの絵画や彫刻を觀賞するのと同じような感覚なのかもしれない。5次元の生物を想像してみよう。彼らは、私たちが3次元の物体を一目で見分けられるように4次元の物体、つまり時間軸を伴った物体を一目で見分けられるであろう。彼らは、その4次元の物体を自由に移動させることもできれば、形を目で確認しながら手を使って変形させることもできるであろう。時には粘土のような素材から物体を造りあげるように、時には山から石材を切り出し削っていくように。あるいは、すでに存在する物体を組み合わ

せ、結合させて、一つの作品に仕上げていく。4次元の彫刻を造形する5次元の彫刻家が、私の理想とする作曲家である。

参考文献

- [1] K. Stockhausen, "Structure and Experimental Time," die Reihe 'Anton Webern', Universal Edition, 1955/English edition 1958, pp. 64-74.
- [2] P. Manning, "Electronic and Computer Music,"

Oxford University Edition, 2004.

- [3] 都筑卓司著, 「四次元の世界」, 講談社, 1969.
- [4] 萊孝之, 「音楽とコンピュータ」, InterCommunication, NTT 出版, pp. 148-150 1994.
- [5] 長嶋洋一, 橋本周司, 平賀譲, 平田圭二編, 「コンピュータと音楽の世界」, 共立出版, 1998.
- [6] T. Rai, "DVD Program Notes: Curator's Note," Computer Music Journal, Vol. 28, No. 4, MIT Press, pp. 116-126, 2004.