



ライブ演奏に同期する自動演奏ピアノ制御方法：
《自動演奏ピアノ，2人の打楽器奏者，アンサンブル
と電子音響のための協奏曲》（2018）の演奏システ
ムを例に

メタデータ	言語: 出版者: 公開日: 2024-02-09 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 北爪, 裕道 メールアドレス: 所属:
URL	https://doi.org/10.32150/0002000086

ライブ演奏に同期する自動演奏ピアノ制御方法

— 《自動演奏ピアノ，2人の打楽器奏者，アンサンブルと電子音響のための協奏曲》
(2018) の演奏システムを例に —

北 爪 裕 道

北海道教育大学岩見沢校作曲第二研究室

Performance Method for Player Piano in Synchronization with Ensemble

— Using the Performance System of “Concerto for Player Piano, 2 Percussionists,
Ensemble and Electroacoustic” (2018) as an Example —

KITAZUME Hiromichi

Department of Composition, Iwamizawa Campus, Hokkaido University of Education

概 要

本論文では、執筆者が2018年に作曲した《自動演奏ピアノ，2人の打楽器奏者，アンサンブルと電子音響のための協奏曲》のために制作された演奏システムの、自動演奏ピアノ制御に関する部分に焦点を当てる。西洋音楽の文脈における「協奏曲」の上演スタイルでは一般的に、演奏中の独奏者、指揮者、器楽合奏の間での密なコミュニケーションによる正確な同期が求められるが、この作品で独奏楽器（の一つ）とされる自動演奏ピアノは、（ピアノ奏者によってではなく）コンピュータの遠隔制御により演奏される。そのため、本来のピアノ奏者による演奏がそうであるように、自動演奏ピアノも変化するテンポに対して能動的かつ柔軟に素早く対応しながら他と合奏できるよう、独自の演奏システムを構築した。そのために採った方法論、課題と解決方法を解説する。

1. はじめに

1.1 自動演奏ピアノとライブ演奏のコラボレーション作品先行例

自動演奏ピアノによる作品はほとんどがそれ単体によるソロ作品で、事前に作成された演奏データが自動演奏により「再生」されるのみのものだが、一方で、人のライブ演奏やなんらかのパフォーマンスとコラボレーションする作品もある程度生み出されている。ただしその場合、両者の同期に関する課題が常にある。

最もシンプルな方法としては、自動演奏ピアノの再生にライブ演奏者が一方的に合わせて演奏する形であろう。これは自動演奏ピアノ商品の一般向け機能にも想定され、またピアニストの大衆的なパフォーマンス等にもしばしば用いられているところである。ただ、よりクリエイティブな領域の作品例を見ていくと、専らヤマハの自動演奏ピアノ「ディスクラビア™」のMIDI¹入出力を介してのインタラクティブ性やリアルタイム性を生かしたものが多い。即ち、人の何らかの演奏や操作に対し、自動演奏ピアノがその場で生成した演奏内容により反応する、というものである。代表的な例を以下に挙げる。

・ジャン＝クロード・リゼ² (1938-2016) 《Duet for One Pianist》シリーズ

ピアニストが自動演奏ピアノを（通常のピアノと同じように）演奏する。するとその打鍵情報をコンピュータが即座に読み取りそれを変形した応答としてのフィギュアを自動演奏させる。

・三輪眞弘³ (1958-) : メゾソプラノとコンピューター制御による自動ピアノのための《赤ずきんちゃん伴奏器》(1988)

共演歌手が発する声の音高および強弱をコンピュータがリアルタイムで読み取り、そこから生成した「伴奏」を自動演奏ピアノが演奏し、追従する。

・岩井俊雄⁴ (1962-) : 《映像としての自動演奏ピアノ》(1995)

メディアアートの分野のインスタレーション作品。自動演奏ピアノから数メートル隔てて設置されたコントローラを体験者が操作すると、それに基づいたCG映像が両者の間に渡したスクリーンに出現し、自動演奏ピアノへ向かって流れていく。数秒後に到達するとそれに対応した音符が自動演奏される。

・岩井俊雄／坂本龍一⁵ (1952-2023) : 《Music plays Images x Images play Music》(1996)

《映像としての自動演奏ピアノ》の翌年、同システムの発展形として、体験者の操作を坂本龍一のピアノ演奏に置き換えたパフォーマンス。自動演奏ピアノのほかにもう一台設置したピアノのライブ演奏と、そこからリアルタイムで生成される映像および自動演奏によるコラボレーションである。

・ヴィト・ジュラージ⁶ (1979-) 《Matrix》(2013)

自動演奏ピアノと4分音ずれてチューニングされた電子音響上のピアノ音サンプラーによる作品。作曲者自身によるMIDI演奏システムでの各種パラメータ操作により、両者を即興的にコントロールしながらライブ・パフォーマンスするというもので、あらかじめ固定された形式があるわけではない。

以上の作品例はいずれも、演奏内容の即興性やリアルタイム生成をその特徴としている。また基本的に、両者が拍節等に基づく厳密な同期を必要としておらず、ライブ演奏に自動演奏ピアノが追従するという構図も共通している。

1 MIDI (ミディ, Musical Instrument Digital Interface) は、電子楽器の演奏データを機器間で転送・共有するための共通規格。1981年に策定された。

2 フランスの作曲家。コンピュータ音楽のパイオニアの一人として知られ、数々の先駆的な研究と作品をのこした。

3 日本の作曲家。コンピュータを用いたアルゴリズムック・コンポジションと呼ばれる手法で数多くの作品を発表。

4 日本のメディアアーティスト。三鷹の森ジブリ美術館の展示『トトロびょんびょん』、ヤマハとの共同開発による楽器『TENORI-ON』など、さまざまなインタラクティブアート作品を手がける。

5 1978年『千のナイフ』でソロデビュー。同年『YELLOW MAGIC ORCHESTRA (YMO)』を結成。解散後も多方面で活躍。

6 スロベニアの作曲家。各地の主要オーケストラ、フェスティバルにおいて作品が演奏され受賞歴多数。

1.2 本作品の基本方針としての「協奏曲」様式

翻って、本作品《自動演奏ピアノ、2人の打楽器奏者、アンサンブルと電子音響のための協奏曲》では、演奏内容のリアルタイム生成などによる即興性や偶発性、その種のインタラクティブ性は企図しておらず、むしろ事前に作り込まれ確定された演奏内容を高い完成度で上演することに主眼があった。

西洋音楽の文脈における古典的「協奏曲」は、まず作曲者が一連の音を事前に十分検討し楽譜上に確定する。さらにそれを各演奏者が研究・解釈し、繰り返し練習して準備をした上でリハーサルに臨み、全体としての方向性の合意、バランスや同期を検討していくというプロセスを踏む。これにのっとり本作品では、自動演奏ピアノがその独奏者としての役割を担える前提を用意しつつ、人のピアノ演奏とは全く異なる自動演奏ピアノならではの表現を発揮することを目指し、事前に作り込んで完成度を高めた演奏データを他の奏者たちと共演できるように再生するという形が、この作品の趣旨に合致し最適な方法であると判断した。

1.3 自動演奏ピアノと器楽合奏の共演による類似の先行例

前節の方針を踏まえ、再び類似の先行例を探し着目した自動演奏ピアノと器楽合奏の共演作品例に、マルコ・ストロッパ⁷ (1959-) のオペラ “Re Orso” (2010-2012) がある。この作品は、ソリストの歌手たちと器楽合奏、電子音響に加え、劇中で舞台上に、蓋とボディ片面の板を取り払い内部機構をむき出しにしたアップライト型の自動演奏ピアノが登場し共演する。自動演奏と同時に内部のダンパーなどが動く様子が見られ、視覚的演出効果も大きい。しかし、ここでの自動演奏ピアノはむしろ舞台上で独立したオブジェとしての役割が強い。制作に関わった技術者からも話を聞き作品内容も確認したところ、他の器楽合奏との正確なアンサンブルが求められるものではなく、本作品に求められたような同期システムは不要だったようだ。

2. 本作品の概要

本作品は、執筆者がパリ国立高等音楽院作曲科の修了作品として作曲したものであり、2018年10月にパリで行われた同音楽院の修了演奏会にて初演された。またその後、芥川也寸志サントリー作曲賞にノミネートされ、2019年8月に東京で行われた同賞選考演奏会にて日本初演された。曲の演奏時間は約20分。本論文はこの2度の上演機会を通しての成果を基盤とする。

2.1 本作品の全体編成

本作品は、舞台中央手前に配置された自動演奏ピアノ1台と、両端に配置された2人の打楽器奏者の三者を独奏としつつ、20人の奏者による器楽合奏（小オーケストラ）、さらに会場を取り囲んで設置されたスピーカーから発せられる多チャンネルの立体電子音響を伴い、それらが指揮者によって統率される。また、コンピュータの遠隔制御による自動演奏ピアノおよび電子音響の演奏を合奏に正確に同期させるため、MIDIキーボード奏者が1名、器楽アンサンブルの中に参加して関係する操作を行う。



Fig.1 演奏中（本番）の写真
(2019年 サントリーホール, 東京公演時)

7 イタリアの作曲家、研究者、教育者。IRCAMに深く関わり、コンピュータを駆使した作品で多く成功を収める。



Fig.2 舞台上楽器配置図

器楽合奏の各奏者の配置は、通常のオーケストラ等の慣例に基づかず左右対称のものになっている。これは両端に配置された2人の打楽器独奏者たちとも関連しつつ、曲の構成上重要な要素となっているパンニング効果を得るためである。定位のより知覚されやすい音色をもつフルートとトランペットは、最も外側に配置されている。さらに、(一般的にアコースティック楽器の生演奏と電子音響のミクスト音楽上演に際しては、両者を調和させるために、楽器演奏音もマイクで収録して適度にスピーカーから出力し、電子音響と混ぜることが多いが、) この作品においてはその楽器音増幅の手法を、舞台上の配置による定位を強調するため、より外側のスピーカーに振って行うよう指示されている。

ミキサーとメインコンピューターは、演奏中にもバランスを確認しながら調整するため、基本的には客席内中央または後方中央に配置されることが望ましい。

2.2 本作品の演奏システム概要

自動演奏ピアノおよび電子音響制御の中核となるメインコンピューターは、MIDIインターフェイスを通して舞台上のMIDIキーボード奏者からのMIDI入力および自動演奏ピアノへのMIDI出力を行うとともに、オーディオインターフェイスを通してミキシングデスクへ接続され多チャンネルオーディオを出力する(2018年パリ公演では10系統, 2019年東京公演では8系統で行った)。

曲中各所には、自動演奏ピアノおよび電子音響制御のための「イベント」箇所が用意されており、ナンバリングされて楽譜上にも明記されている。器楽合奏の中に参加しているMIDIキーボード奏者が演奏中、それらの箇所では鍵盤を正確にタップするとコンピューター

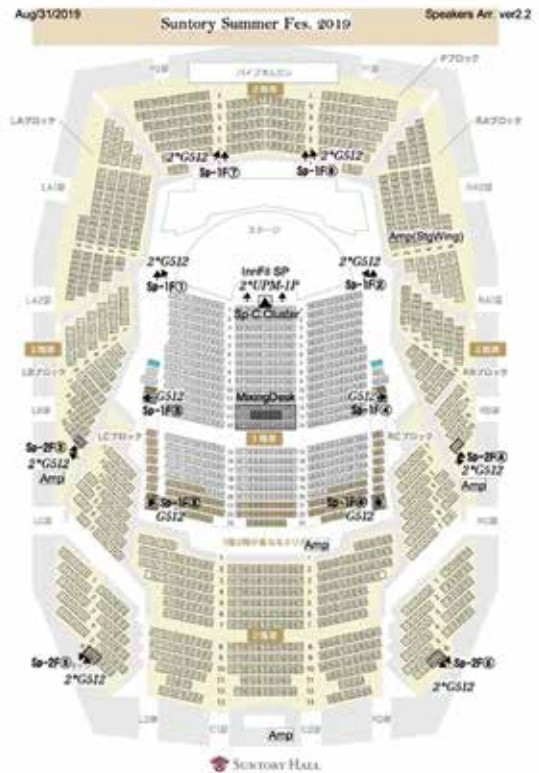


Fig.3 会場へのスピーカー設置図
(2019年東京公演時：電子音響は8系統)

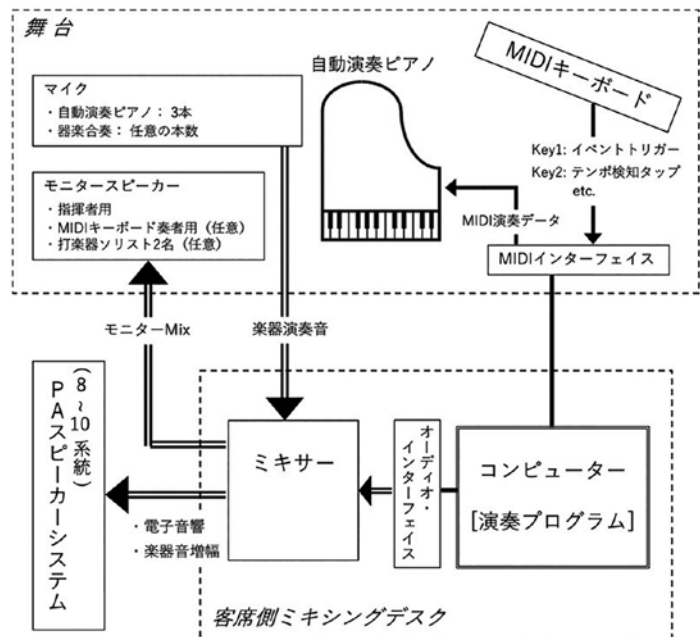


Fig.4 システム概要図 (機材配置)

へ信号が送られ、それをトリガー（合図）として、あらかじめプログラミングされた自動演奏ピアノおよび電子音響の演奏イベントが各所適切な瞬間に同期して引き起こされる。本作品におけるイベントは、事前に作り込まれた断片的なMIDIファイル（自動演奏ピアノ演奏データ）およびサウンドファイル（電子音響データ）を各所で順次再生していくものが主であり、使用されるMIDIファイルは106個、サウンドファイルは192個ある。それらの長さも様々で、1音のみのものから数十秒に及ぶものまである。

MIDIキーボード奏者は、主に3つの鍵盤（Key1, Key2, Key3）を使い分けるが、Key3の機能については本論文では割愛する。Key1はC4, Key2はG4の鍵盤に割り当てられており、楽譜上のMIDIキーボード奏者パートにおいても、高音部譜表でその2音の箇所に表示されている。Key1は専らイベントのトリガー、Key2はテンポ検知に使用する。

なお、この「MIDIキーボード」は、単純に機能面ではボタンが数個あればコントローラーやボタンの種類は問わず事足りる。ただし本作品での用途では、タップの正確さが極めて重要なため、演奏楽器としての操作性を鑑みタッチ性能の悪くない電子ピアノを使用した。キーの選定も任意だが、鍵盤中央やや右手寄りのC4, G4をKey1, Key2に割り当てた。担当奏者についても、器楽合奏の中での息遣いを理解し正確なリズムを刻める奏者が望ましい。2018年パリでの初演時には、台湾人打楽器奏者のシェ・ペイイン（謝佩穎）氏、2019年東京での機会では、ピアノ奏者・作曲家の田中翔一朗氏にお願いした。

2.3 演奏プログラムの基本アーキテクチャ

コンピュータ内の演奏プログラムは、執筆者によりCycling'74 Max⁸ 7を用いて構築された。主に、イベントカウンター、イベントリスト、電子音響制御部、自動演奏ピアノ制御部等から構成される。

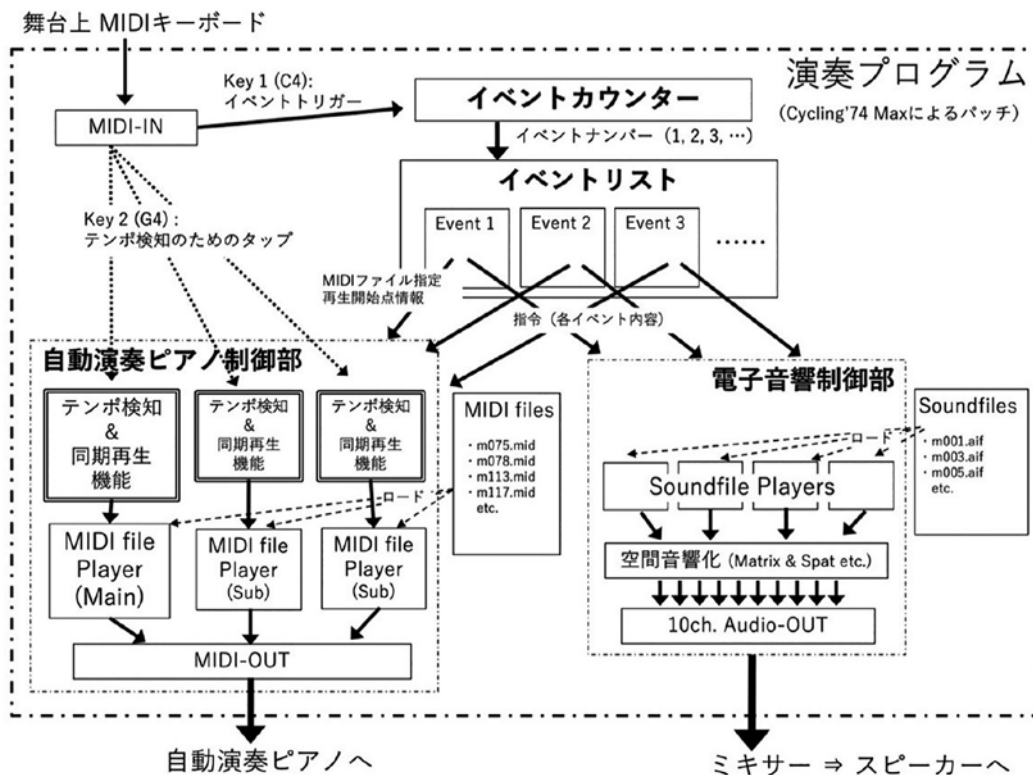


Fig.5 演奏プログラムアーキテクチャ概要

8 音楽とマルチメディア向けのグラフィカルな統合開発環境(ビジュアルプログラミング言語)。作曲家やメディアアーティストらに20年以上使われ続けている。

イベントカウンターは、MIDIキーボード奏者のKey1タップ操作によるトリガー信号を受信し、その都度作動させるべきイベントを管理する部分で、トリガーの度にイベントリストへナンバーを送る。

イベントリストには、各イベントで起こる内容がすべて記録されており、イベントカウンターからナンバーを受け取る度に該当するイベントを作動させ、自動演奏ピアノ制御部と電子音響制御部等へ指令を送る。

電子音響制御部は、イベントリストの指令に基づき該当するサウンドファイルを再生、空間音響化処理を施して多チャンネルで出力する。こちらの詳細については割愛する。

そして本論文の主要テーマである機能を担うのが、自動演奏ピアノ制御部である。ここにはMIDIファイルプレイヤーが3基用意されており、MIDIファイルを最大3個まで並行して同時再生することができる。また次の章で詳述するテンポ検知機能とそれを利用した同期再生システムも、3基それぞれに実装されている。これにより、たとえば先行して再生中のファイルを停止することなく、2つ目、3つ目のファイルを重ねて再生し、さらにそれぞれ個別に停止・再開したりテンポ制御をしたりすることができる。

3. 自動演奏ピアノ制御のためのテンポ検知および同期再生機能について

既に述べた通り、本作品では断片的なMIDIファイルを次々に再生していくことによって自動演奏ピアノを機能させるが、その演奏が器楽合奏に正確に同期して参加するためには解決すべき課題が大きく二つある。一つはコンピュータからの信号に自動演奏ピアノが反応するまでに生じる遅延の補正 (3.1節)、もう一つはMIDIファイル再生速度の実際の演奏テンポへの同期 (3.2節) である。それぞれについて以下に詳述する。

3.1 自動演奏ピアノ制御に伴う遅延と、正確なタイミングでの再生開始/停止

3.1.1 自動演奏ピアノの物理的制約とディスクラピアの「ディレイ」機能

特にデジタルシンセサイザーや電子音響再生システムの場合、鍵盤操作やトリガー操作から発音までの過程にかかる時間（信号処理の計算時間など）は知覚弁別閾以下で、基本的に違和感なく両者は同時に聞こえる。対して、自動演奏ピアノは物理的なアコースティック楽器であるため、信号を受信した後に、本体のコンピュータが電磁石を作動させて該当する鍵盤を突き上げ、連動してピアノ内部のハンマーが持ち上げられ、それが弦まで届いて打つ、という発音までのプロセスを踏む。そのためその間に、知覚できるレベルの不可避の遅延が生じるのである。また、上演環境次第ではここに伝送過程での遅延も加わる。

他にも、MIDIデータでは音符一つ一つの強弱を「ベロシティ」値で指定するが、それは自動演奏ピアノでは物理的には打鍵の速さによって実現するものであるため、ベロシティ値の異なる複数の音符の演奏指令をすべて直ちに演奏に移した場合、その違いが打鍵の強弱のみならずタイミングにも影響し、演奏結果のリズムを狂わせる、という問題がある。

これらの問題に対応するため、ヤマハのディスクラピアには、ON/OFF切替え式の「ディレイ」機能というものが備わっている。この機能がON状態のとき、ディスクラピア内部のコンピュータは、信号受信から演奏までに意図的に500ミリ秒⁹の遅延をおき、受信する演奏データを常に500ミリ秒分バッファリングしながら、上記の問題を補正した上での自動演奏を実行する。これによりすべての演奏が信号受信から0.5秒遅れる代わりに、元のデータに忠実な自動演奏を行うことができるのである。ちなみにこの機能をOFFでMIDIファイルを再生した場合は、前述の原因により、まず冒頭の数個の音符を打ち損なう（鍵盤は動くが、音を演奏するに至らない）という現象が起き、さらにそれに続く部分も（はっきり発音こそされるものの）

9 この値は設定により変更可能である。デフォルト値でありかつ最小値が500ミリ秒（0.5秒）となっている。

ズレ等を生じ、たどたどしい演奏となる場合がある。

3.1.2 正確なタイミングでの再生開始/停止方法

前項の特性から、本作品では常にディスクラビアの「ディレイ」機能をON状態で使用する。したがって常に500ミリ秒、場合によってはそこに伝送遅延でのラグが加わった遅延が発生する。正確なタイミングでファイル再生を行うためには、求めるタイミングよりも常に遅延時間分早く、コンピュータから信号を送らなければならないことになる。

以上を前提として、本作品の中から具体的な箇所を例にその解決方法を解説する。次の図 (Fig.6) は曲中のテンポ検知を伴う箇所の一つである第145~147小節の総譜からの切り抜きである。

Fig.6 総譜より、第145~147小節の電子音響、MIDIキーボード奏者、自動演奏ピアノパート

中段の高音部譜表“MIDI Ctrl.”はMIDIキーボード奏者の操作パートであり、その下の大譜表“P. Piano” (Player Piano) には、簡易化された自動演奏ピアノの演奏内容とMIDIファイル名が示されている。また上の大譜表“Elec.” (Electroacoustic) には、電子音響の内容が同じく簡易化されて示されている。

ここではMIDIキーボード奏者は、第145小節でKey1 (C4) をタップしてイベント[65]を作動させ、次に第146小節でKey2 (G4) を3回タップすることによってテンポ検知を行う。すると演奏プログラムがそこから自動的に、続く第147小節1拍目の瞬間にMIDIファイル“147.mid”の演奏が開始されるよう処理する。

その内部処理を、まず第146小節から解説する。ここではKey2が3回タップされているが、プログラムはこの最後の2回 (つまり2回目と3回目) のタップの間隔時間 (図中“t”ミリ秒) を計測し、ここでの1拍分の時間を検知する。そして最終 (3回目) のタップから、2拍分 (つまり2tミリ秒) 後のタイミングにディスクラビアに演奏開始をさせるべく、その演奏開始点よりディスクラビアの遅延時間 (Disklavier Pre-Delay) 分だけ早く、ファイル再生を開始する。(つまり、プログラム上で最終タップから、「2t - “Disklavier Pre-delay time”」ミリ秒のディレイをおいて、再生開始を行う。) これが本作品での再生開始/停止のタイミング補正の基本的な方法である。

また、それに先立つ第145小節のイベント[65]は、この瞬間での電子音響ファイル“145.aif”の再生を行っているが、同時に自動演奏ピアノ制御部への準備指令も送っている。そこで指示されるのは主に3点で、その後に行われるテンポ検知における、Key2タップの回数、最終タップから演奏開始点までの拍数、再生するMIDIファイルである。(つまりこの箇所では「この後のKey2の『3回』のタップの後、その最終タップ

から『2拍』後に、『147.mid』ファイルを再生開始する。」という内容である。)

さらにこの箇所では、前述の算出過程にあった演奏開始点、つまり第147小節1拍目を、電子音響のサウンドファイル“147.aif”の再生点としても利用している。このように、タップから導かれる演奏テンポの時間軸(拍)と絶対時間(ミリ秒)、そして各所への指令はネットワーク化され自由に連動が可能である。

3.1.3 テンポ検知タップの回数と算定方法の仕様をめぐって

この複数回のタップによるテンポ検知方法には、その仕様にいくつかの選択肢がある。この点をめぐっては、2度の上演機会それぞれの準備段階およびリハーサル過程において実験を繰り返し、それぞれの担当奏者のフィードバックも受けて仕様を決定した。

まずテンポ検知のタップ回数については、この算定方法なら最低2回あれば事足りるが、前項の例におけるKey2の1回目のタップは、MIDIキーボード奏者がより正確に2、3回目を刻むための予備運動である。奏者にとって初回タップから「本番」であるよりは、直前から触って鍵盤の感触に慣れた上でその後の「本命」のタップを打てたほうがより正確にやりやすいようだ。全曲を通してテンポ検知の実施は10箇所設置したが、各箇所の状況に合わせて適切と思われたタップ回数を設定した結果、タップが2回だけの箇所は1箇所のみ、他は3回の箇所が最も多く6箇所、最大で5回の箇所までがある。

もう一つは、計算に使用するタップの回数とその後の算出方法である。3回以上タップする箇所があるということは、例えば2箇所以上の間隔を採って平均値を出すという方法もある。しかしこの点も、奏者たちのフィードバックによると、本番は最低限にしておいて最後の2回だけに集中できたほうがよいようだ。結果としてタップは3回あろうと5回あろうと最後の2回のみの間隔時間を適用する仕様にした。

3.1.4 検知したテンポの保持と再利用、テンポ検知箇所設置の見極め

前項のようなテンポ検知は、MIDIファイル再生の都度新たに行う必要はなく、テンポ変化がなければ前回の検知したテンポ値を保持し利用し続ける。テンポ検知を行わない箇所では、通常のKey1によるトリガーで、保持しているテンポに基づいたそこからの指定の拍数の後に、指定されたファイルの再生開始または停止が実行される。

この曲においてはテンポ検知を行う箇所をむしろ最低限に絞っており、テンポが変わる箇所、演奏上「揺れ」がある可能性のある箇所、あるいはとりわけ同期の正確性が求められる箇所での前回のテンポ検知からあ

The image shows a musical score for five parts: Perc. 1, Perc. 2, Elec., MIDI Cut, and P. Piano. The score covers measures 305 to 310. Perc. 1 starts with a 5/4 time signature and changes to 4/4 at measure 308. Perc. 2 includes Hi-hat, Snare Drum, and Kick Drum parts. Elec. and P. Piano parts include MIDI file triggers for various sections. The score is annotated with dynamic markings and MIDI file names like [113], [114], [115], [116], [106.mid], [108.mid], [110.mid], and [110.h.mid].

Fig.7 総譜より、第305～310小節の一部パート抜粋

る程度時間が経っている場合でのみ行う。全曲を通して、再生されるMIDIファイルは100個以上あるにも関わらず、テンポ検知を行うのはわずか10箇所と少ない。この理由は、一つはMIDIキーボード奏者の操作を簡略化し負担を軽減するためだが、もう一つは、本作品の音楽的性格にある。本作品はその音楽的素材として「メカニカル」なジェスチャーを多くもち、一定のテンポを正確に保持すべき箇所も多い。実際、当初はより多くのテンポ検知箇所を設置していたが、試演の結果、必要以上にテンポ検知を行うことはテンポの不安定さを生み、前述の音楽的性格を損なうリスクを高めていた。

なお、仕様上、トリガーまたはテンポ検知の最終タップから再生点までの間隔時間は、ディスクラピアの遅延時間（通常500ミリ秒）より長くなければならぬため、基本テンポがBPM130であるこの曲では最低2拍（約923ミリ秒相当）を置くようにしている。Fig.7の抜粋箇所では、イベント[113]～[115]ではそれぞれ2拍後に次のMIDIファイルの再生開始が指示されている。また小数での拍数指定も可能で、[116]では“310b.mid”の再生は1.75拍後に指定されている。BPM130での1.75拍は約807.7ミリ秒であり、まだ安全圏内と判断した。ちなみに同テンポで1.5拍では692.3ミリ秒となり、ディスクラピアのディレイ機能による500ミリ秒に伝送遅延が加算される可能性を考慮すると、この拍数指定はややリスクがあるかもしれない。

3.2 MIDI再生速度の調整について

前節では、再生開始および停止のタイミング補正について解説したが、次に、MIDIファイルが再生を開始した後も検知されたテンポに基づいて継続的に同期するための再生速度調整について解説する。

3.2.1 再生速度調整に関連する各値

下のFig.8は演奏プログラムのメインウィンドウ内、自動演奏ピアノ制御に関する部分である。

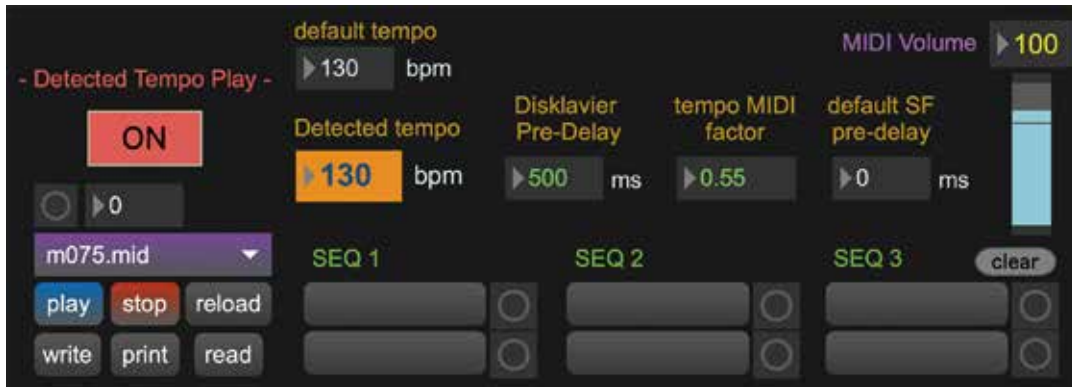


Fig.8 演奏プログラム・メインウィンドウ MIDI関連部分

まず、“default tempo”欄には、この曲の基準テンポとなる実演のための標準的なBPM値を入力しておく。ここでは、初演時に適切な演奏テンポとして見出した130を入力している。作曲時に想定していたテンポと実演に際し見出した適切なテンポに違いが出ることは日常茶飯事である。（また、奏者によっても機会ごとに大きくテンポは変わってくるかもしれない。この設定欄はその変更にも柔軟に対応する。）

一方、その下の“Detected tempo”の欄は事前に入力しておくものではなく、演奏中にテンポ検知が行われるたび、検知されたBPM値がリアルタイムでここに表示されるというものである¹⁰。

10 なお、2回のタップの間隔、つまり1拍分の時間からBPMを求める式は、 $BPM = 60000 / 1 \text{拍分の時間 (ミリ秒)}$

“Disklavier Pre-Delay”には、前述のディスクlavier演奏までの遅延時間を、実際の上演環境が構築された際に測定し入力しておく。伝送過程における遅延などが認められなければ、ディスクlavierの「ディレイ」機能による500ミリ秒の分だけで“500”と入力する。ただし、これは実際、環境によってしばしば変化があるので、現場で即座に変更できるようにしておく必要がある。

次に、“tempo MIDI factor”値について解説する。本プログラムで使用される一連のMIDIファイルは、作成された際に設定されたそのファイル固有の、固定されたテンポを持つ。そのため、まずは特定の倍率でタイムストレッチ処理を行い、前述の“default tempo”に合わせておく。このときに乗ずる値がtempo MIDI factorである。つまり、MIDIファイルがもともと曲のdefault tempoに合わせて作ってあれば、この処理は不要となるので、この値は“1.”となる。(なお、ここでtempo MIDI factor値が“0.55”と、1. からかけ離れている理由は後述する。)

3.2.2 検知されたテンポに基づく再生速度倍率の適用

以上を前提とした上で、自動演奏ピアノ制御部に実装された「テンポ検知&同期再生機能」部は、MIDI file playerに対し、常に再生速度倍率を送り指示する。この値は、演奏中に検知されたテンポが、標準テンポに比べ何倍速であるかという値、つまり(Detected tempo / default tempo)で算出される。したがって、例えばdefault tempo 130のところ、演奏テンポBPM134が検知されれば“1.03”が送られ、あるいは少し遅めのBPM121が検知された場合“0.93”が送られてMIDIファイル再生速度がそれに合わせられ、自動演奏ピアノの演奏は、そのとき演奏中のテンポに同期する。

3.2.3 “tempo MIDI factor”の有用性、MIDIファイルエクスポートをめぐる問題および対応

本システム上で設定したtempo MIDI factor値は、“Fig.8演奏プログラム・メインウィンドウ”に見られたように、“0.55”と、1.からかけ離れた値になった。つまり作成された一連のMIDIファイルが演奏されるべきテンポからかけ離れた形に作成されていたということであるが、これは本作品の作曲作業において、当初拍子の分母が8分音符(4/8, 3/8など)であったが、作曲の途中で、楽譜の読みやすさを考慮しすべての拍子の分母を四分音符に変更した経緯がある。その際MIDIデータを作り直す手間を取らず、そのままエクスポートし、このtempo MIDI factor機能によって、補正する措置をとった。値が0.5に近い理由はそこにある。

ただし、それが完全に0.5でないところに不可解な点がある。この0.55という値は、演奏システム上でtempo MIDI factor値を変えながら試演を繰り返し、実際に演奏結果がBPM130となるものとして特定した。この倍率が0.55ということは、逆算すれば元のMIDIファイルのテンポは、[8分音符=BPM約144]だったということになる。これらのMIDIファイルは初め、Avid Pro Tools 11で作成された。ファイルの潜在的なテンポは、エクスポート元環境のBPM設定に依拠すると思われたが、制作環境ではBPM130と設定しており、144に該当する値は見当たらなかった。あらゆる設定を確認したが因果関係は不可解なままだった。このMIDIファイル編集およびエクスポートの工程は、他にもDigital Performer 10, REAPER, Logic Pro 9, Ableton Live 9と計5種類のDAW(Digital Audio Workstation)ソフトウェアで試みたが、前述のテンポ設定の適用、あるいは選択した範囲の部分的切り出しエクスポート、本システムで扱えるフォーマット0での出力、等の必要な機能のいずれかで、非対応、または不可解なバグが発生し、実に不安定だったと言わざるを得ない。唯一、この時はLogic Pro 9でひと通り問題なく編集とエクスポートが行えたため、最終的にLogic Pro 9にすべてのファイルを取り込みエクスポートし直したが、その作業も膨大な手間を要した。いずれにしてもこの重要な工程がかくも不安定である以上、演奏プログラム側で基本テンポの調整による対

応が行える機能（つまりtempo MIDI factor機能）は、制作と演奏の現場をつなぐ観点からも非常に有用といえる。

4. まとめ

4.1 自動演奏ピアノ制御に関するその他の課題

本論文では、ディスクlavier自動演奏のテンポとタイミングをライブ演奏に同期するための課題と解決に範囲を絞ったが、自動演奏ピアノ上演に際し直面した課題は他にも多数あった。例えば、ディスクlavierに備わっている強制シャットダウン機能への対策である。演奏中にこの機能がひと度発動すると、ディスクlavierすべての機能が直ちに停止し強制シャットダウンする。演奏を再開するには、本体のところへ行き電源ボタンを長押しして十数秒待ち電源オフ、さらにその後再び電源ボタンを押して再起動するのを数十秒待つ必要がある。本作品の上演本番中にこれが発動することは絶対に避けなければならない。

これは内部機構が限界を超えて作動し故障するのを防ぐものだが、ヤマハの技術者によるとこの機能の作動基準は複数あり、演奏内容があらかじめ設定された「最大同時発音数」を超えた場合、あるいは出力電圧が制限値を超えた場合、内部温度が制限値を上回った場合などのようだ。本作品において作曲者は、人のピアノ奏者には演奏不可能なような自動演奏ならではの表現を企図し、そのアプローチの一つとして、膨大な数の音符を次々に演奏する場面も用意した。それらはこの機能の発動を引き起こす可能性が高いが、一方で必要以上に安全策に走ることはその演奏効果を損なう。したがって該当するMIDIファイルについてはそれぞれ膨大な回数のテストを行い、その限界を見極めながらデータ内容を編集、同時にこの点に大きく関わる“MIDI Volume”値やディスクlavier本体の出力値設定の見極め、さらにディスクlavier本体にインストールされているファームウェアの選択・交換（2019年の機会にはヤマハの協力を得て特別仕様のファームウェアを使用した。）などの作業が必要だった。

4.2 創作とエンジニアリングのインテグレーション

IT技術の発展と機器の小型化により手軽で便利なツールが大量に普及し、一般的にコンピュータや電子技術は、種々の作業を便利かつ効率的に行えるツールというイメージが浸透しているように思える。しかしそれは当然、製品開発者たちが膨大な労力を費やし、ユーザーがごく限られた部分进行操作のみで済むインターフェイスを確立しているからに過ぎない。

近年のAIブームの中、「創作ツール」としてもその種のものがますます多く登場しているが、それらの扱いが手軽になるほど、そのユーザーの「創作」行為は本来のクリエイションとは離れていき「消費的」な営みとなる可能性が高まる。完成された様々なツールがあふれかえっている現代において根本的にクリエイティブであるためには、ツールや媒体そのものの成り立ち、制作やエンジニアリングにもある程度目を向けなければならないのではないか。またそういった知見はそのままその領域に関するリテラシー獲得と感性の拡張にもつながる。逆に言えば、それを欠いてはそこで実現されている様々な結果やその違いを感じ取ることも評価することもできないわけだ。

一方、メディアアートという分野はよりそちらに特化しているものと思われるが、こちらでは逆に、ハード開発等に終始しその表現内容に当たる部分を高度に洗練させるに至らずに終わってしまう例も少なくないように思われ、注意が必要である。理想的には、両者にまたがって視野を広く持つことが肝要と考える。

4.3 今後の展望

本作品と演奏システムの最初の制作をしていた時期からはすでに5年が経過しているが、その後、2019年から2022年まで毎年、ヤマハのディスクラビアの最新機種の実機を使用できる機会があり、折に触れて本論文で扱った機能に関する仕様を確認、実験してきた。しかしやはり状況に特段の変化は見られず、このシステムはまだアクチュアリティのある選択肢であると思われる。

一方、近年ヤマハが開発したAI合奏システムによるディスクラビア自動演奏が、様々な局面で発表され始めており、そのシステムのディテールにはとても興味を引かれるところである。今後それに関する研究に取り組むことにも大きな可能性がありそうだ。いずれにしても、最終的には本作品でそうであったように、あくまで曲の特性を考えた上でのシステムの選択や機能のカスタマイズが重要となる。実際、本作品の同期システムでは、例えば短い時間の中で連続的に加減速するテンポには比較的対応が難しいが、それがむしろ曲の性格に照らすと演奏上プラスに働いていると考える。

また近年、アコースティック楽器と電子音響によるミクスト音楽の普及がますます進んでいるが、このジャンルには両者が音響的にも演奏特性的にも乖離しやすいという潜在的課題がつねにつきまとう。その見地から目を向けると、機械制御でありつつ音響的にアコースティック楽器である自動演奏ピアノ、あるいは他の種類も含めた自動演奏楽器というものは、ある種両者の中間に位置する存在とみることができる。執筆者の近年の作品にも、様々な種類の自動演奏楽器等を用いてミクスト音楽の拡張を企図しているものがいくつもあり、多くの可能性を感じている。

参考文献

- ・ 情報科学芸術大学院大学 (2023/5/30) “赤ずきんちゃん伴奏器” 三輪眞弘 <https://www.iamas.ac.jp/~mmiwa/miwahomJ.html>
- ・ 三輪眞弘 フォンテック (2012/9/5) “赤ずきんちゃん伴奏器” CDブックレットRZF1010
- ・ Common (2023/5/30) “artists 坂本龍一” <https://www.commons.com/alp/artists/sakamotoryuichi>
- ・ Eizo Workshop (2023/2/23) “資料と語るオンライン・トーク《映像装置としてのピアノ》を再生する” [Video] YouTube <https://www.eizo.ws/events/others/webinar-iwai-piano>
- ・ Fondation Prince Pierre de Monaco (2023/5/30) “Re Orso” Marco Stroppa <https://www.fondationprincepierre.mc/fr/musique/biographie/000448-marco-stroppa>
- ・ Forum Opéra, Bernard Schreuders (2012/5/19) “Re Orso - Paris (Opéra Comique)” <https://www.forumopera.com/spectacle/re-orso-paris-opera-comique-fulgurante-premiere-a-favart/>
- ・ IRCAM (2023/5/30) “Re Orso, Marco Stroppa” - Brahms - Ircam <https://brahms.ircam.fr/en/works/work/27678>
- ・ NTT InterCommunication Center [ICC], 浅田彰 (2023/5/30) “IC020 機械仕掛けのピアノのための嬉遊曲(J)” https://www.ntticc.or.jp/pub/ic_mag/ic020/intercity/asada_J.html
- ・ NTT InterCommunication Center [ICC] (1996/2) “岩井俊雄氏インタビュー | 現実とCGが融合した世界” https://www.ntticc.or.jp/ja/feature/1996/NewSchool95/Interview_iwai/index_j.html
- ・ Opéra-Comique (2012/5/9) “Re Orso : Dans les coulisses d'une création” [Video] YouTube <https://youtu.be/EACKCP-oZ8c>
- ・ Sofia Lourenço “Jean Claude Risset’s Duet for One Pianist:Challenges of a Real-Time Performance Interaction with a Computer-Controlled Acoustic Piano 16 Years Later” CITAR Journal, Volume 6, No. 2 - December 2014
- ・ Université Lille. (2011/9/30) “Concert-Disklavier -- Jean-Claude Risset - Université Lille 3” [Video] . YouTube <https://youtu.be/MFp6onwfoKg>
- ・ VITO ŽURAJ (2023/5/30) composer “MATRIX - Vito Žuraj” <https://vitozuraj.com/works/matrix>

(岩見沢校講師)