

## 演奏者のビート感をいかした音楽表現支援の提案

橋田 朋子 苗村 健 佐藤隆夫

東京大学大学院学際情報学府

E-mail: {hashida, naemura}@hc.ic.i.u-tokyo.ac.jp, lsato@mail.ecc.u-tokyo.ac.jp

あらまし 本稿では、演奏者が自由なリズムパターンをビートにのって打ち込むという直感的で簡単な音楽行為のみから、インタラクティブに多様なリズムと「展開のある音楽」が演奏できるシステムについて述べる。音楽表現支援に関する従来研究の多くは、演奏者の入力タイミングを保持し、それ以外の音楽要素を補正するという手法を用いた時に、多様なリズムや継時的な変化のある音楽を生成しにくいという問題点を持っていた。本稿では、入力タイミングを保持した上で、入力に単音ではなくリズム音列を対応付けることと、入力にビートが連続して検出されることを演奏継続の意思と見なし、対旋律の生成に活かすことにより、この課題を過不足なく解決する支援手法を提案する。

### Proposal of a system for supporting musical expressions by making use of players' beat

Tomoko Hashida Takeshi Naemura and Takao Sato

Graduate school of Interdisciplinary Information Studies, The University of Tokyo

E-mail: {hashida, naemura}@hc.ic.i.u-tokyo.ac.jp, lsato@mail.ecc.u-tokyo.ac.jp

**Abstract** This paper proposes a musical expression system which enables players to generate various rhythms and melodies by tapping rhythms at will with regular beats. Most conventional systems have problems in which musical control is highly restricted except for input timings. First, rhythms are restricted. Second, phrases and melodies aren't developed in an improvisational playing. The authors solve these problems by correlating input timings with generation of rhythm sequences and generating some melodies depending on the duration of the beat in input time.

#### 1. はじめに

近年、エンタテインメントや音楽情報処理の分野では、音楽習熟度に依らずに演奏を楽しんだり、複数人で協調して演奏したりすることを目指して、コンピュータによる音楽表現支援の研究が盛んに行われている[1, 2]。ここでは特に、演奏者の入力に対して、何らかの補正をコンピュータが行うことによって、音楽表現支援を行う場合を考える。技術的には、リズム・音高・音色などさまざまな音楽要素に対して補正が可能であるが、演奏者の意図表現に重要な音楽要素にはあえて補正を加えず、それ以外の要素だけを補正していくことが重要であると筆者らは考えている。

演奏者の意図表現に重要な音楽要素は、目的とする

音楽表現によって異なる。即興的な創作を含む演奏の支援に焦点を絞ると、入力タイミングを保持し、それ以外の音楽要素を補正するというアプローチを取るシステムがいくつか提案されている[3, 4]。これは、演奏している間隔が直感的に得られやすいためである。

入力タイミングを保持する音楽表現支援システムの場合には、筆者らの調査によると、図1に見られるように単音単位で入力と出力を対応させる方法が一般的である[5]。一方で、この時には

- ・演奏者の持っているリズム能力に、出力されるリズムが制限される。
- ・リズムや旋律が継時的に変化、挿入されるような「展開のある音楽」を自然に生成することが難しい。

といった問題があった。そこで、「一定のビートを持ったリズム音列を切り替えて遊ぶ操作には、ビート感が現れやすい」という人の知覚・演奏特性を仮定し、

- ・ 入力に単音ではなくリズム音列を対応付けること
- ・ ビートが連続して検出されることを、演奏継続の意思と見なし、対旋律の生成に活かすこと

を特徴とする、新しい音楽表現支援の手法を提案する。これにより、自分の好きなタイミングでリズムを刻むという直感的で簡単な音楽行為のみから、自分で刻んだりリズム以上の多様なリズムと展開のある音楽の生成を自然に実現することができる。

以下、第2節でこのシステムの指針を述べる。第3節では、システムを実装する上で仮定した「音列の切り替え操作にビートが見られる」という知覚・演奏特性に関する実験を報告する。第4節では、ビート感を活かした音楽表現支援のプロトタイプシステムの設計と実装について詳しく説明する。

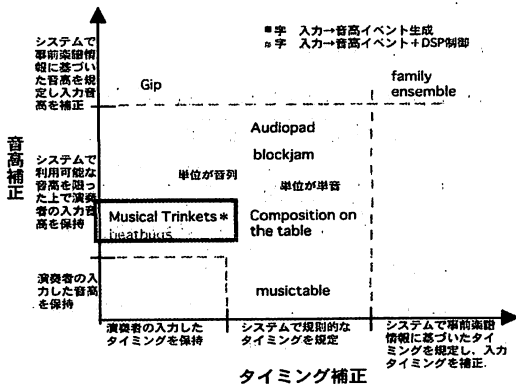


図1 音楽表現支援研究の分類 [5]

Fig. 1 Classification of musical expressions support [5].

## 2. 演奏者のビート感を活かした音楽表現支援

### 2.1. 関連研究

演奏者の入力タイミングを保持する（補正しない）ことで、演奏者の直感的な操作を尊重する音楽表現支援のシステムはこれまでも数多く提案されてきた。しかしいずれのシステムも、「出力のリズムに多様性を持たせること」と、「演奏者の演奏継続や盛り上がりの意思を汲んで音楽的な展開に活かすこと」を過不足なく満たすものではなかった。

入力タイミングを保持しつつ、従来の打楽器等と比較して、多様な出力を与える方法として、beatbugsやSqueezablesでは、ピッチや音色といったリズム以外の音楽要素を、演奏者がリアルタイムに選択・決定できるようにになっている [3, 4]。しかしこのような手法は、出力される単音一つ一つの多様性に寄与するものであるが、リズムの多様性を実現するものではない。一方、音楽表現支援としての利用は想定されていないが、入力タイミングを保持しつつ、簡単に多様なリズムの出力を実現する手法として、DJ (Disk Jockey) の音楽表現が挙げられる [6]。これは、拍(ビート)と拍子によって曲と曲をタイミングよくつなげていく音楽表現手法で、入力タイミングと曲を構成するリズムの組み合わせで、多様なリズムを簡単に作り出すことができる。DJの音楽表現は、ビートだけでなく拍子を正確に検出するための、慣れと訓練が必要であることから、誰もが簡単に行えるものではない。しかし入力タイミングに音列単位の出力を対応付け、ビートによってリズムカルに音列を切り替えることで音楽を表現する手法は、人のリズム知覚・演奏能力をうまくいかし、多様なリズムの出力を可能にする方法と考えられる。

次に、即興的な入力から盛り上がりの意図を検出し、出力に継続的な展開を与える方法として、和気らは、即興ソロ演奏の特徴量から演奏者のテンション値を求め、それに応じてシステムの演奏が変化していく手法を提案している [7]。演奏の特徴量のような自然な情報から盛り上がりや定義している点は本稿の目的にも合致するが、既存の楽器が演奏できる人に参加者が限定されるという問題点がある。明神らは、人形の動かし方の激しさや人形間の距離といった情報とメロディの種類や激しさを結びつけ、音楽習熟度の低い人でも、簡単に継続的な展開のある音楽を生成する手法を試みている [8]。しかし、人形という間接的なオブジェクトを用いることで、ユーザの入力タイミングに相当する動作とその出力の関係がわかりづらく、直感的な演奏感が得られないという問題点がある。

### 2.2. システムの実現方法

以上の考察から筆者らは、

- ・ 入力タイミングと音列を対応付けて、多様なリズムを実現すること

- ・ 入力タイミングに付随して得られる自然な情報から演奏継続の意思を検出して、対旋律の挿入やリズムの変化に活かすこと

が、音楽表現支援の手法として妥当であると考えられる。本稿では、入力タイミングに付随して得られる自然な情報として、入力タイミングのビート感に注目する。なぜなら DJ の音楽表現やダンス、或は手拍子に見られるように、人は新規の音列から難なくビートを検出し、ビートに同期した身体的動作を行うことができるというビートに関する基礎的な知覚・演奏能力を持っていると予測されるからである。

そこで本稿ではまず、「一定のビートを持ったリズム音列を切り替えて遊ぶ操作には、ビート感が現れやすいか」ということを実験によって検討する。もしもこのような傾向が確認されたならば、入力にビート感が見られるようになった時刻や、ビート感が持続した長さを、演奏の継時的な変化に活かすことが可能になると考えている。

### 3. 実験と解析

本実験では「一定のビートを持ったリズム音列を切り替えて遊ぶ操作には、ビート感が現れやすいか」を以下に述べるビート適合率の観点から明らかにする。具体的には、まずキーを押して (ontime) から離す (offtime) までの継続時間に応じてリズム音列が生成される入力キーを複数用意し、それらをタッピングして自由に遊ぶように指示する。そして、得られた演奏者の入力の ontime の系列に関して、もとの音列のテンポとよく一致するようなビートがどのくらいの頻度で現れるかを調べる。入力の総数に対する、ビートに適合した入力が占める割合 (ビート適合率) を算出し、総合的に判断する。

#### 3. 1. 解析方法

##### 3. 1. 1. ビート間隔の算出

西洋音楽の楽典に基づいた楽曲を持つビートを、コンピュータで推定する技術を、ビートトラッキングと呼ぶ。ビートトラッキングの手掛かりには、発音時刻・和声進行・ドラムの発音パターンが考えられ、ビート構造の階層性を考慮するか否かに応じて必要な手掛かりは異なる [9]。本稿では階層性を考慮せず、基本的なビートの推定を目的とすることから、発音時刻に基づ

くビート推定を行う。ビートは通常 1 分間あたりの拍数  $M.M.$  (Malzel's Metronome) で表される概念であるため、以下その算出は拍の持続時間であるビート間隔に関して行う。

まず入力があった場合に 1、なかった場合に 0 をとるような入力時刻関数  $D(t)$  を定義し、 $D(t)$  に対して自己相関関数  $Rd(\tau)$  を算出する。自己相関関数  $Rd(\tau)$  は  $D(t)$  と  $\tau$  離れた  $D(t-\tau)$  の二つの時系列波形がどの程度類似しているか、即ち  $D(t)$  の周期性を示すものであり、極大値をとるような  $\tau$  をビートの間隔と考えることができる [10]。

##### 3. 1. 2. 音列テンポ間隔との適合率

ビートの間隔が音列のテンポの間隔 (以下音列テンポ間隔) と一致しているかを判断するにあたり、次の 2 点を考慮する。まず、人のタッピングの精度には数 10msec の誤差が生じることが知られており、特定のビートを意識してタッピングをした時に、実際にコンピュータで判定されるビートには幅が生じる可能性がある [11]。そこで比較したい音列テンポに沿ったタッピングを行わせ、得られたタッピングの時間間隔の平均値  $\pm 3$  標準偏差を、便宜的に音列テンポ間隔の範囲と定義する。算出されたビートの間隔がこの音列テンポ間隔の範囲にある時にその入力はビートに適合しているとする。

また、発音時刻のみを手掛かりとするビートトラッキングにおいては、本来のビートの間隔の倍や半分の値が認識される可能性がある [12]。本稿ではこのようなビートの間隔と等比関係にあるビートの間隔も、同等のものとして扱う。つまり 2 の  $(n-1)$  乗をして音列テンポ間隔の範囲にあてはまるようなビート間隔を持つ入力も、ビートに適合していると判断する。

下式の通り、入力の総数に対しビートに適合した入力が占める割合をビート適合率と定義する。

$$\text{ビートの適合率} = \frac{\text{ビートに適合した入力の個数}}{\text{入力の総個数}}$$

#### 3. 2. 実験

##### 3. 2. 1. 刺激・被験者

刺激には、Reason を用いて作成した標準的なドラムセットに含まれる音色を持つリズム音列 3 種類 (a, b, c) を用いた。一般的な音楽に使われるビートの範

間は 61~185M. M. 程度であると言われていることから、中庸なビートとして 113 M. M. を選び、リズム音列を作成した [12]。いずれのリズム音列も 113M. M. で 4. 24sec/pattern の長さを持つ。譜例を図 2 に示す。実験には健康な聴覚を持った 6 人の被験者 19~25 歳が参加した。

### 3. 2. 2. 音列テンポ間隔の範囲

**課題：**本実験に先立ち、音列テンポ間隔の範囲を決定するためのタッピング課題を行った。被験者に 113M. M. (530msec/note) のクリック音を 8 回聞かせた後に、リズム音列 a の再生を繰り返し聞かせながら、約 21sec にわたって 113M. M. でスペースキーをタッピングしてもらった。

**結果：**各被験者が約 21sec の間タッピングした時刻を記録し、連続する二つの入力の入力時刻間隔の平均値と標準偏差、平均値±3 標準偏差の値を求めた。6 人の被験者の値を平均した結果 113M. M. (530msec/note) に対する音列テンポ間隔の範囲 454~604msec/note であった。

### 3. 2. 3. ビート感の有無の判定

**刺激提示：**コンピュータ上の 2 つのキーに、それぞれ異なるリズム音列をマッピングした。被験者には、キーを押すとリズム音列が鳴り出すことと、図 2 に示すようにキーを押している時間 (ontime から offtime の継続時間) が音列の生成時間間隔を決定することを説明し、数回程度タッピングをしてキー操作に慣れてもらった。

**課題：**被験者の課題は「自由に 2 つのキーを操作して遊んで下さい」という指示に従い、2 つのキーをタッピングすることである。1 セットの時間はおよそ 30sec であり、異なるリズム音列の組み合わせで、2 セットほど行ってもらった。

**結果：**第一入力時刻から自己相関期間分 (2. 4sec) を除くデータを、評価の対象とする。対象となる範囲に含まれる入力の総数に対し、ビートに適合した入力が占める割合をビート適合率とする。被験者ごとの結果を図 3 に示す。

**考察：**「自由に遊んで下さい」という指示に対し、被験者の入力から推定されるビートが元の音列のテンポと自然とあっていた割合は、低かった人で 70%前後、高

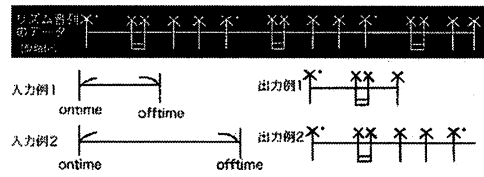


図 2 入力の継続時間と音列の生成の様子

Fig 2 Relations between durations of input and durations of rhythm sequences.

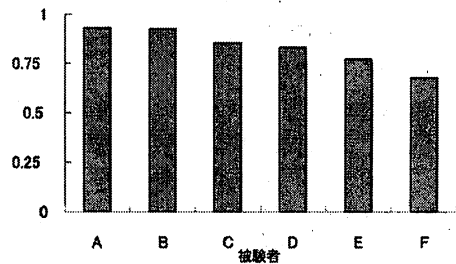


図 3 被験者ごとのビート適合率

Fig 3 Hitting rate of beat for each person.

い人では 90%を超えた。この結果はビートにのって音を切り替えることが、ランダムに音列を切り替えることよりも、多くの人にとって直感的に楽しい行為であることを示していると言える。

以上の結果から、リズム音列を切り替えるタイミングには自然とビート感が見られる傾向が高いことが確認された。

## 4. プロトタイプシステムの設計と実装

### 4. 1. ソフトウェアの設計

演奏者の自由なリズムパターンの入力に、多様なリズムと対旋律の生成を対応付けるために、本システムではまず、演奏者の打ち込み動作から、

1. 入力タイミング (ontime) と入力の種類、
2. 入力の継続時間 (ontime から offtime までの継続時間)、
3. 入力タイミングのビート感

の 3 つの情報を検出する。入力の継続時間は、本来打楽器には用いられない入力情報であるが、今回は音列をどのタイミングで生成するかだけでなく、どの長さにわたって生成するかまでが、リズムの多様性に重要であるため、取り入れることとする。

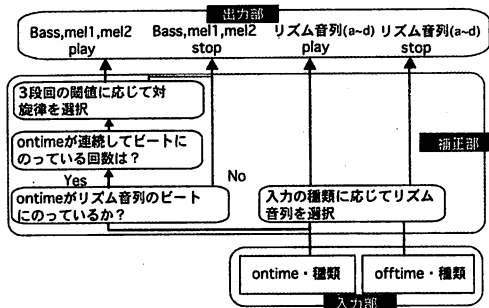


図4 システム概要

Fig. 4 System overview.

次に、これらの情報と事前に用意した、音列データ（リズム音列、Bass, mel1, mel2）をリアルタイムに対応付ける。生成される音楽要素と演奏者の打ち込み動作の関係は、下記の通りであり図4のようにまとめられる。出力される音楽のイメージは図5のようにまとめられる。

1. 演奏者の入力タイミングとその種類からリズム音列の生成を変化させる。
2. 入力の継続時間に応じて、リズム音列の生成時間間隔を変化させる。
3. 入力の ontime 系列からビート検出を行い、一定のビートが連続して見られる時間の長さに応じて、同時生成される対旋律の種類を変化させる。

入力情報の取得、及びリアルタイムに音楽を生成するプログラムにはMax/Mspを用いた。各音列データは事前にReasonを用いて作成した。リズム音列は113M.Mで4.24sec/patternの長さを持つデータを4種類用意した。Bass音列のピッチはHとDの二つを用い、そのリズムはリズム音列と対応させた。mel1・mel2はいずれもh-mollの旋律、リズム音列やBass音列とは異なる自由なリズムとピッチを持つ任意のメロディを用意した。

#### 4.2. コンピュータ上の実装

コンピュータ上で、これらのプロトタイプシステムを実装し、数名の参加者に体験してもらった。システムの詳しい説明は行わず、タッピングの仕方のみを教示して自由に遊んでもらった。その結果得られた意見としては、以下のようなものがあった。

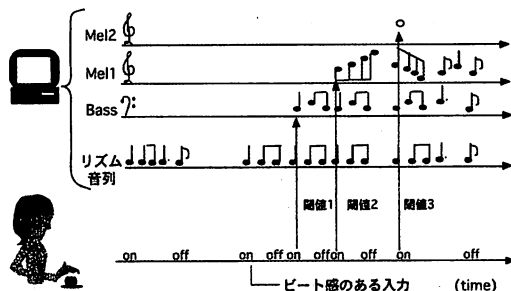


図5. 出力の様子

Fig. 5 Output images.

- ・ ビートにのってくると対旋律がでてくるのは、これまでにあまりない体験で面白い。
- ・ 色々なリズムを自由に刻んでも音楽ができるのが不思議で、楽しい。
- ・ 対旋律が入ってくると、時々自分のリズムがわからなくなるので、わかりやすい対旋律を選択できると嬉しい。
- ・ 入力しやすいインターフェースが欲しい。

これまでに体験したことのない音楽表現に驚くという反応がまず見られた一方で、多くの演奏者がシステムの仕組みを感覚的に理解し、意図する演奏（様々なリズムを刻み、ビート感を持続させること）を簡単に行っていた。一方でソフトウェア的な問題として、対旋律の入りのタイミングや種類に関する検討が必要なこと、ハードウェア的な問題として、コンピュータ上のキーだけでなく、このような演奏に適したインターフェースの設置が望まれることが明らかになった。

#### 4.3. ハードウェアの検討

コンピュータ上でのプロトタイプシステムの実装で得られた意見を参考に、現在リズムパターンを打ち込むインターフェースの検討を行っている。インターフェースの必要要件は、ユーザにとって自然なタッピング動作が行えることであり、二つの方向性が考えられる。一つ目はピアノやフルートのようなアコースティックな楽器に代表されるように、押さえるべき鍵盤の位置や穴の位置が物理的に決まっており、ユーザがその場所に指をあわせて演奏する、「場所固定型のインターフェース」である。もう一つは、指の動きをMIDIコードにマッピングするVIDEO HARPなどのヴァーチャルな楽

器に代表されるような、任意の場所(ポジション)で演奏することができる、「ユーザ固定型のインタフェース」である[13].

これまで、場所固定型インタフェースの例としてボタンインタフェースの設計・実装を行った。また現在はユーザ固定型インタフェースの例としてタッチグローブ型インタフェースの検討を行っているところである。今後は両者の比較・検討を通して、ユーザにとってより自然な入力インタフェースの提案、改良を行いたいと考えている。

## 5. 結び

本稿では、演奏者のビート感を活かして、多様なリズムや継続的な展開のある音楽を生成できるシステムを提案し、そのプロトタイプシステムの実装を行った。またこの時に仮定した、「一定のビートを持ったリズム音列を切り替えて遊ぶ操作には、ビート感が現れやすい」というリズムに関する人の知覚・演奏特性についての実験を報告した。

今後はハードウェアに関して、場所固定型とユーザ固定型に関する比較検討を予定している。またソフトウェアに関しても、より多様なリズムと対旋律の生成のために選択可能なデータを複数用意することや、演奏者の入力拍子と対旋律の拍子がポリリズムになった時の演奏しにくさの改善が課題としてあげられる。さらには、一人だけではなく、複数人による協調演奏の場への利用・展開を目標に、実験と検証を行っていく。

## 謝辞

本研究を進めるにあたり、有益なご助言とご指導をいただいた東京大学 原島博教授に感謝致します。

## 文献

- [1] T. Braine, and S. Fels: "Collaborative Musical Experiences for Novices", *Journal of New Music Research*, 32, 4, pp. 411-428 (Dec. 2003)
- [2] 西本一志, 大島千佳: "音楽における創造的表現の支援", *情報処理*, 44, 8, pp. 819-822 (Aug. 2003)
- [3] G. Weinberg, R. Aimi, and K. Jennings: "The Beatbugs Network-A Rhythmic System for Interdependent Group Collaboration", *Proc. NIME02*, pp. 107-111 (May. 2002)
- [4] G. Weinber and S. Gan: "The Squeezables :

Toward an Expressive and Interdependent Multi-player Musical Instrument", *Computer Music Journal*, Vol. 25, 2, pp. 37-45 (2002)

- [5] 橋田朋子, 苗村健, 佐藤隆夫: "コンピュータを介した音楽表現のフレームワークに関する基礎的検討", 第二回デジタルコンテンツシンポジウム, 5-5 (May. 2006)
- [6] M. Kate "DJ がわかる・できる本", 自由現代社, (2005. 12)
- [7] 和気早苗, 加藤博一, 才脇直樹, 井口征士: "テンション・パラメータを用いた協調型自動演奏システム: JASPER", *情報処理学会論文誌*, Vol. 35, No. 7, pp. 1469-1481 (1994)
- [8] 明神聖子, 立光哲郎, 仲谷美江, 加藤博一, 西田正吾: "編曲・演奏支援システム Stage Set Interface による楽しさの考察", *ヒューマンインタフェースシンポジウム 2005 論文集*, pp. 915-920 (Sept. 2005)
- [9] 後藤真孝, 村岡洋一: "音響信号に対するリアルタイムビートトラッキングシステム—打楽器音を含まない音楽に対するビートトラッキング", *情報処理学会 音楽情報科学研究会 研究報告 96-MUS-16-3*, Vol. 96, No. 75 (July. 1996)
- [10] 白鳥貴亮, 中澤篤志, 池内克史: "モーションキャプチャと音楽情報を用いた舞踊動作解析手法", *電子情報通信学会論文誌 (D11)*, Vol. j88-D-II No. 8, pp. 1662-1671 (2005)
- [11] 三宅美博ら, : "「間(ま)」を合わせる共創インタフェースの設計原理に関する研究" 文部科学省科学研究費補助金「特定領域研究」平成 17 年度研究成果報告書 A03
- [12] 後藤真孝, "拍節認識(ビートトラッキング)", *コンピュータと音楽の世界—基礎からフロンティアまで*, 長嶋洋一他, 共立出版株式会社, 東京, pp. 251-283 (1999)
- [13] D. Rubine and P. McAvinnery: "Programmable Fingertracking Instrument Controllers", *Computer Music Journal*, Vol. 14, No. 1, pp. 26-41 (1990)