

F-018

## 音楽的ビートが映像的ビートの知覚に及ぼす引き込み効果(3) --- 被験者インターフェースとデータの3次元可視化 ---

Drawing-in Effect on Perception of Beats in Multimedia (3)  
--- User interface system and 3-D data visualization ---

長嶋洋一十

Yoichi Nagashima

### 1. はじめに

本研究では、聴覚的・視覚的情報を同時に視聴するマルチメディアコンテンツの感覚間調和 intersensory harmony に関して、新たな視点でビートを「周期的に繰り返しリズムのノリが知覚されるアクセント部分」と再定義した。その上で、音楽的ビートが映像的ビートの知覚に及ぼす局所的な「引き込み効果」(非線形システムの同調現象である引き込み現象 entrainment とは異なる)を提唱し、これを解析・検証するための新しい実験システムを制作し、被験者テストによる実験・評価を行った。

リズムは音楽だけでなくすべての時間的事象の形態化において広く見られる心理現象である [1]。リズムは継起する事象の秩序立った特性であり、予測可能性により成立している人間の心理的な(心的構築によって生まれる)概念、「秩序の知覚」である [2][3]。身体運動のリズムや視覚的リズムの領域においても、人間が身体運動や映像などの刺激を能動的に知覚することでリズムを心的に構築する、という音楽心理学と共通の報告がある [4]-[7]。また村尾は音楽ビートの感じ方には Tago Beat、Toe Beat、Heel Beat、というまったく異なる3種類があると報告した [8][9]。本研究ではこの視点に注目して「ビート」の概念を再定義した。

リズムに関する従来の心理学実験に用いられた視覚的情報(刺激)としては、LEDランプなど発光体の点滅、モニター内での正方形や円環など単純図形上の輝点の運動など、結果として被験者の反射神経や運動神経に大きく影響されるものが多かった [10]-[12]。しかしこれらの単純・単調な視覚刺激リズムの繰り返しは、慣れにより飽きや眠気など被験者の注意力を奪うため、短時間の実験でのみ有効で、知覚認知の漸進的プロセス(2-3分間以上のオーダ)の実験には適さない [13]-[15]。また、画面内の映像/画像の瞬時変化や光体の点滅という視覚刺激を用いる場合、10-100msecのオーダである視覚的反応時間との関係、あるいは無意識に画面内を瞬時走査する眼球運動(サッカド saccade)の影響を十分に検討する必要がある [16]-[19]。さらにコンピュータを心理学実験に使用する場合には、その実験システム(ハードウェア、ソフトウェア)のレイテンシ(遅延)と誤差について注意しなければ、心理学的時間を越えるレイテンシや誤差により実験の意味を失う危険性もある [20]-[23]。

このような状況のもとで、(1)新しい視点での「ビート」概念の定義、(2)実験に適した映像素材の検討と制作、(3)実験に適した音楽素材と被験者インターフェースの開発と映像系との同期制御、(4)被験者の音楽経験など個人的要因によるばらつきへのシステム対応(チューニング)、(5)システムのレイテンシの検討と心理学的影響の考察、(6)実験データの効果的な可視化、等の新しいアプローチを行った。

本稿では第3報として、この研究の概要を紹介し、開発した心理学実験システムのうち、被験者に対するユーザインターフェース部分の詳細と、得られた実験データの3次元可視化システムの開発について報告する。

### 2. 研究の概要

対象とする映像と音楽のテンポは一定とし、音楽の拍子はいわゆる「エイトビート(8/8)」に統一した。本研究における「ビート」は、たんに「リズムのアクセント部分」というだけでなく、「ノリのあるリズムのアクセント部分」と定義した。ノリにより、このビートの繰り返しを知覚する人間は「気持ちいい」心理状態(情緒的反応)になる、という部分が重要である。ロックコンサートでミュージシャンが提供する音楽のビートを享受する聴衆の場合、ビートに乗ることで自分のリズムのテンポを音楽のテンポと同調/同期させることが「快い」状態への最適解となる。

音楽的ビートはヒールビートなので、聴覚の時間的分解能から比較的狭い時間幅であると考えられる。これに対して身体的ビートは、マーチングバンドの行進ステップと演奏しているマーチ音楽のビートを調べた研究により、その時間的な幅が広いこと、経験者と初心者の個人差が大きいことが報告された [24]-[26]。仮想的な運動であれば瞬間的に動き出したり停止したりできるが、実際には肉体の慣性質量による時間的な幅と、トレーニングによる制御能力の差が出てくるのは当然である。これは村尾の分類で言えばヒールビートとは違うものであり、身体運動において自然なのはむしろタゴビートないしトゥビートであろう。

視覚的ビートについては、視覚の時間的分解能と視覚的反応速度や残存時間(残像)の効果により、聴覚より広い心理的ビート時間幅を持つとも考えられる。これも村尾の分類で言えばタゴビートないしトゥビートの性格をより強く持っている可能性がある。実験においては、映像的ビートとを映像の中に明らかな視覚的アクセントが周期的に存在し、その連なりが繰り返しによりリズムを作り出すタイミング、とまず定義した。一般には映像が瞬間的に激しく動く場所がアクセントであると思われがちであるが、突然の動き出しは予期できないので、ノリのあるビートとはなりえない。逆にほぼ一定で動いている映像が周期的に静止し、しかもその繰り返しパターンが予測される関係性を持つ場合には、周期的に出現する静止部分をビートとして容易に知覚できる。ブレイクダンスの静止姿勢のアクセント感はこの原理をそのまま実現した好例である。そこで本研究の心理学実験のための映像素材(視覚的刺激)については、ムービーという動画の中で、周期的に動きと静止がなめらかに交互に繰り返す、というリズムを構成し、ここからノリのある映像的ビートを被験者に提供した。

本研究で提唱する「引き込み効果」を「ウォークマンで

十 静岡文化芸術大学(SUAC), Art & Science Laboratory

音楽を聞きながら一定のテンポでウォーキングしている」という例で解説する。歩行運動の場合には、「運動ビートの瞬間」が、さっきは地面から離れる瞬間(つま先の蹴り出し)が音楽ビートと一致していたのが、次第に面を強く蹴る瞬間、さらに足の裏が着地して地面を叩く瞬間、と少しずつ前倒しされていく。しかし、いずれも時間的に幅を持つ運動ビートの幅の中なので許容され、乗れる。そしてズレがいよいよ大きくなると、例えば音楽の表ビート(BDのビート)と同期していた運動ビートが、今度は自然に音楽の裏ビート(SDのビート)に「乗り換えて」またまた両者の同期したビートを楽しむ、という現象が起きる。細かく見れば、さっきまで足の裏が着地して地面を叩く瞬間と一致していた音楽のビートがずれたと知覚されると、音楽の裏表の反対側のビートがこれから足の裏が着地して地面を叩く瞬間にほぼ近くなり、このずれは次第に縮まって一致してきて、さらに地面を強く蹴る瞬間へ、地面から離れる瞬間(つま先の蹴り出し)へ、と一致しながらノリが続く。

結果として、音楽のビートのテンポも運動のビートのテンポもともに変化しない(引き込み現象entrainmentではない)にもかかわらず、運動ビートの許容幅の中で音楽ビートとの一致を自然に楽しむことで、音楽ビートに対して見てみると、しばらくは表ビートで乗り、やがて裏ビートで乗り、また次に表ビートでのノリに、と(無意識的に)乗り換えている。一致していると解釈することで気持ちいい、という瞬間に着目して運動のビートを見ると、そこでは少しだけ速いテンポの表ビートに引き寄せられて局所的に微小に加速し、やがて後から来る裏ビートに乗り換えてまた加速し、という速度の微小なギザギザ変化を繰り返すことになる。これが「引き込み効果」である。

### 3. 実験システムの概要

本研究では、図1のような心理学実験システムをデザインして実験を行った。映像素材、音楽素材の検討と制作の詳細、実験の様子は別の機会に報告する。被験者はLCDモニタ内の映像のビートに合わせてマイクロスイッチでタッピングを行い、全データはMax/MSP/Jitterにより開発した心理学実験システム内にデータとして自動記録された。

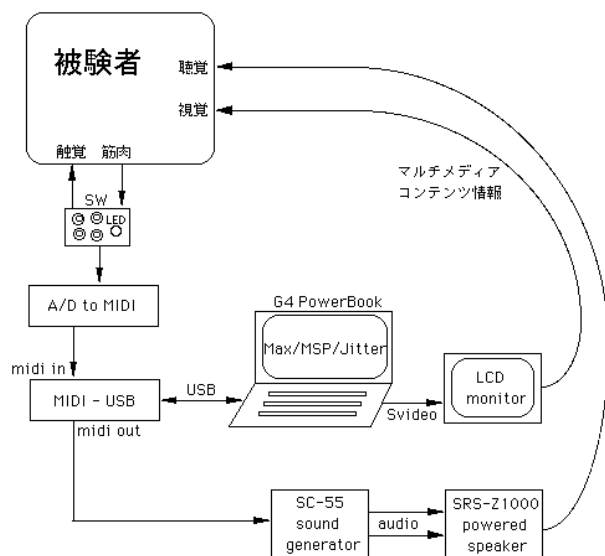


図1 心理学実験のシステム

### 4. 被験者インターフェースの開発

本研究の心理学実験の被験者インターフェースをオリジナル開発した。一般に内部にマイクロコンピュータ(CPU)を内蔵した電子情報機器においては、ハードウェアやソフトウェアの内部処理を詳細に検討せずブラックボックスの状態のまま利用することは、データの信頼性や誤差・分解能などに重大な問題がある。たとえばWindows API等のシステムソフトウェアのサービスルーチンをそのまま無批判に使用した心理実験で「マニュアルに1msecの分解能と書いてあるので実験の時間的分解能は1msecである」などという発表があった。ソフトウェアで「1msecの分解能」というのは「他に何のタスクも割り込みも発生しない場合の最大性能」というだけであり、実際には10msecとか20msecかかる場合も頻発し、基準時間という意味の分解能としては何も保証していない。このような状況を受けて、本研究ではオリジナル開発した被験者インターフェースのシステムについては回路図からCPUソースコードまでを詳細に公開(紙面の都合で本稿では省略)し、必要に応じて正確な追試による検証・批判に対応している。

アナログ-MIDI変換部分は情報処理学会から依頼されたチュートリアルのため1999年に制作したものである [27]。中核となるコンピュータシステムは、日立の16bit CPU H8/3048F を搭載した秋月電子の AKI-H8 カードマイコンである。この基板上にあるMAX232の11/12ピンをカットするだけでMIDI対応となる。このシステムでは、CPUのクロックは16MHz、インストラクションサイクルは125nsecである。A/Dコンバータの変換速度として134ステートの高速モードを指定し、単一モードで8チャンネルの入力をソフトスキャンしているため、1チャンネルあたりの最大変換速度は134  $\mu$  secであり、前回のアナログ入力電圧と比較して変化があるとFIFOバッファに積んでMIDI出力する。データフォーマットとしては、「チャンネルプレッシャー」ステータスの1チャンネルから8チャンネルを用いた。外部とのインターフェースとしては、8チャンネルの電圧入力(+5V-GND)端子から外部基板に延長して、4個のボリュームと4個の拡張端子を設けた。この外部電圧入力基板から+5Vの電源とGNDと1チャンネルの入力ラインとをケーブルで引き出した。そこに、タッチ感やストロークやクリック感の異なる4つのマイクロスイッチを並列に接続して、+5V電源により中央のLEDを点灯させる、という基板を設けて、そのLED端子電圧の変化を汎用アナログ-MIDIコンバータに出力した。スイッチはアルプス社製3種類、松下電気製1種類である。スイッチのストローク(接点間の移動距離)は、0.3mmが2種類、1.0mmが2種類であった。クリック感があるものと無いものの両方があるが、被験者の選択はまったくまちまちであり、どちらが多いという偏った傾向は見られなかった。

実際の心理学実験においては、被験者は「どれも同じ情報が出るので、好きなスイッチを押して下さい」「押し方や持ち方も自由です」という指示により、思い思いの方法でスイッチ操作を行った。たいていはどれかのスイッチを押し続けたが、机の上で押していて途中で基板ごと持ち上げて押すようになった被験者と、両手で左右のスイッチを交互に押すという被験者がそれぞれ1人ずつ現れた。

被験者のスイッチ操作によるMIDI情報は、USB-MIDI経由でMax/MSP/Jitterのメインパッチに入力され、通常はプ



ルアップされて+5V付近である電圧が、スイッチによりGNDに接続されてLEDが点灯し低下した電圧というイベントとして検出した。この変化は逆方向(押していたスイッチを再び離す)のイベントと分離され、さらにチャタリング防止のために70msecのソフトウェアフィルタを経てパッチ内部のイベント情報とした。

## 5. 被験者ごとの対応機能

心理学実験ソフトウェア中の処理として、リハーサルおよび実験1において、被験者から得られたタッピングのタイミングtapと、映像ビートに一致した正解ビートのタイミングとを比較して、初期値として正解ビートより100msec早いtapから、60msec遅いtapまでを、初期状態でのヒット情報とした。そして以下のように、被験者ごとに異なる個人的反応の違いに対応する機能を盛り込んだ。

被験者実験(具体的には別の機会に報告)の中のリハーサルおよび実験1において、被験者は映像ビートをつかまえてスイッチを押し、正解ビートからこの設定値の幅の範囲にtap情報があればヒットしたということで実験が進むが、なかなかヒットしない被験者の場合には、実験者である筆者がこの数値を適宜、広げることでヒットの許容幅を広げた。この許容幅を被験者によって変えては実験条件の統一性がない、と思の懸念については、本研究における実験の主眼は実験2と実験3にあり、リハーサルおよび実験1というのは、いろいろな被験者を同じような心理的条件下でのメインの実験に誘導するためのものでしかなく、ヒットしたという確率などは本質として無関係である。むしろ、なかなかヒット音が出ないために心理的に焦ったり、自分の運動神経や反射神経に不安を持ち始める被験者にとって、実験者がこのパラメータを調整することでヒットするようになって、結果として余計な精神的圧迫を解消して実験に進んだ、という意味で、この機能は有効であった。

なお、心理学実験の結果データは、MIDIシーケンスデータとしてテキストファイルに記録して、実験後にオフライン処理を行う方法を採用し、ここでは「スタートからの時間(msec)とMIDI情報のペア」という後者のフォーマットを指定した。MIDI音源に送られるドラムスやベースの全ての音楽演奏情報を記録する必要がないので、2バイトメッセージのステータス192-194を用いた。

## 6. データの3次元可視化

Max/MSPがJitterへと発展したことで、グラフィクス機能は飛躍的に向上した。その大きな特徴の一つに、Open-GLの標準対応があり、これまでUnix環境でテキストベースでプログラミングしていたOpen-GLによるリアルタイム3次元CGが、MaxのGUIで利用できるようになった。図2は、心理学実験データを3次元可視化して検討するために開発したパッチ画面の例である。

## 7. おわりに

一定のテンポでビート感をもった映像と音響を同時に試聴している環境下で、映像と音響のテンポのわずかな違いからビート感がずれてきた場合の振舞いについての心理学実験について、第3報としてその一部を報告した。今後、続報とともに検討・議論をお願いしたい。

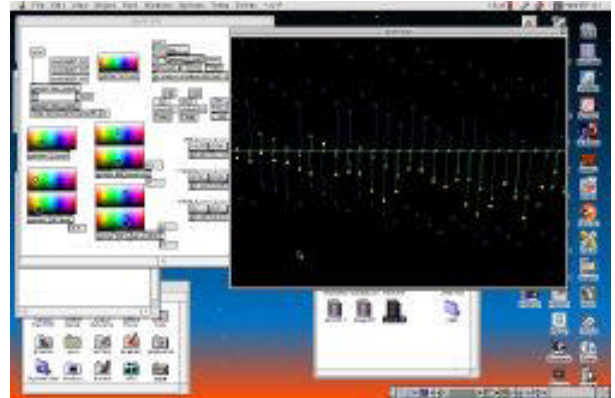


図2 データの次元可視化システムの画面例

## 参考文献

- [1] 梅本亮夫：音楽心理学, p.594, 誠信書房, 1966.
- [2] ダイアナ・ドイチユ/寺西立年, 大串健吾, 宮崎謙一訳：音楽の心理学, p.663, 西村書店, 1987.
- [3] 梅本亮夫：音楽心理学の研究, p.375, ナカニシヤ出版, 1996.
- [4] L.クラークス/杉浦実訳：リズムの本質, p.142, みずす書房, 1994.
- [5] 中島義明：映像の心理学-マルチメディアの基礎, p.270, サイエンス社, 1996.
- [6] 堀内靖雄, 財津西, 市川薫：人間の演奏制御モデルの推定, 情報処理学会研究報告, Vol.99, No.51 (99-MUS-30), pp.59-64, 1999.
- [7] David Rosenthal: Intelligent Rhythm Tracking, Proceedings of ICMC1992, pp.227-230, International Computer Music Association, 1992.
- [8] 村尾忠廣：タゴリズムからの発見, 季刊音楽教育研究56, 音楽の友社, pp.177-190, 1988.
- [9] 村尾忠廣：<拍ノリ>の裏・表 タゴビートの裏・表, 音楽教育学 18-1, 日本音楽教育学会, pp.31-36, 1988.
- [10] 武藤真介：計量心理学, p.155, 朝倉書店, 1982.
- [11] 難波精一郎, 林勇気：画像中の円の落下と音の変化の共鳴現象, 情報処理学会研究報告, Vol.2002, No.40 (2002-MUS-45), pp.9-12, 2002.
- [12] 難波精一郎, 林勇気：画像中の円盤の動きと音の変化の同期---枠組みの影響---, 日本音楽知覚認知学会平成14年度秋季研究発表会予稿集, 日本音楽知覚認知学会, pp.115-120, 2002.
- [13] 波多野諄余夫：音楽と認知, p.155, 東京大学出版会, 1987.
- [14] 下迫晴光, 石田時敬, 菊地正：音系列における時間間隔の変化の検出, 情報処理学会研究報告, Vol.2002, No.40 (2002-MUS-45), pp.91-96, 2002.
- [15] 後藤靖宏, 阿部純一：拍子解釈の基本的偏好性と漸進的確立, 音楽知覚認知研究, Vol.2, 日本音楽知覚認知学会, pp.38-47, 1996.
- [16] P.H.リンゼイ, D.A.ノーマン/中溝幸夫, 箱田裕司, 近藤倫明訳：感覚と知覚, p.319, サイエンス社, 1983.
- [17] R.H.ディ/島津一夫, 立野有文訳：知覚的解決：知覚心理学, p.249, 誠信書房, 1972.
- [18] 松田隆夫：知覚心理学の基礎, p.294, 培風館, 2000.
- [19] 相場寛, 鳥居修見：知覚心理学, p.210, 放送大学教育振興会, 1997.
- [20] 西井雄一郎, 栗本育三郎：ドラムパッドを利用した実演音とクリック音との聴覚的ずれ検出装置について, 情報処理学会研究報告, Vol.93, No.32 (93-MUS-1), pp.17-23, 1993.
- [21] 長嶋洋一：MIDI音源の発音遅延と音源アルゴリズムに関する検討, 情報処理学会研究報告, Vol.99, No.68 (99-MUS-31), pp.31-38, 1999.
- [22] 長嶋洋一：MIDI音源の発音遅延と音楽心理学実験への影響, 日本音響学会音楽音響研究会資料 Vol.18, No.5, 日本音響学会, pp.47-54, 1999.
- [23] 長嶋洋一：作るサウンドエレクトロニクス, <http://nagasm.suac.net/ASL/mse/index.html>, 1999.
- [24] 新山王政和, 村尾忠廣, 南曜子, 小川容子：音楽ビートと運動ビートのタイムラグについて---マーチングステップの熟達者と未経験者の相違について---, 情報処理学会研究報告, Vol.2002, No.40 (2002-MUS-45), pp.79-84, 2002.
- [25] 村尾忠廣(代表)：わらべ唄・自由斉唱におけるビッチの統一化と運動ビートの同期化プロセスの研究, 研究成果報告書 平成10-12年度文部科学省研究費補助金基盤研究(B)(2) 研究課題番号10480045, p.118, 2000.
- [26] 新山王政和：フットタッピングによるテンポ同期の実験研究, 音楽教育学 27-1, pp.53-68, 日本音楽教育学会, 1997.
- [27] 長嶋洋一：オリジナルMIDIセンサを作ろう, <http://nagasm.suac.net/ASL/original/index.html>