

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(1)

--- その第1報と実験計画 ---

Drawing-in Effect on Perception of Beats in Multimedia (1)

--- The 1st report and experiments design ---

長嶋洋一(SUAC/ASL)

Yoichi Nagashima (nagasm@computer.org)

概要：聴覚的情報と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」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。また音楽情報科学の視点から、コンピュータを用いた音楽心理学/知覚認知心理学の実験で重要となる、実験システムのレイテンシ(遅延)についても詳細に検討・考察した。ここでは第1報として、この研究の概要と進捗状況、実験計画と今後の方針などについて報告する。

キーワード：リズム, マルチメディア, ビート, レイテンシ, 引き込み効果, タゴビート

1. はじめに

人間はリズムとともに生存/生活している。心理学の領域では、音楽/音声などの聴覚情報、映画/ビデオなどの視覚情報、ダンス/身振りなどの身体運動情報に対して、時間的に繰り返しリズムを知覚・認知する人間の心理的メカニズムが探究されてきた。また音楽情報科学の領域でも、リズム・ビート・拍子などの時間的要素を対象としたテーマにおいて、聴覚情報はもちろんのこと、視覚情報や身体運動情報と一体となったマルチメディア情報・マルチモーダル情報が研究の対象となってきた。([1]-[66])

本研究では、聴覚的情報と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。また音楽情報科学の視点から、コンピュータを用いた音楽心理学/知覚認知

心理学の実験で重要となる、実験システムのレイテンシ(遅延)についても詳細に検討・考察した。

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][4]。これまで音楽心理学においては、リズムの知覚の実験的研究として、拍節的リズム、リズム形式、強弱の知覚、高低の知覚、長短の知覚、時間的構造の知覚、反応時間、リズム記憶と再生、主観的リズム、テンポ変化の知覚、タッピング(リズムと合わせて叩く身体動作)実験、リズムとテンポの同期・同調、リズムの群化(時間的パターン認識、時間的ゲシュタルトの知覚)、近接リズムの影響による錯覚現象、など多様なテーマの研究が行われてきた [1][2][8][11][13][34][39][43][46]。

身体運動と関係づけたリズムの特性としては、(1)リズムは人間に同期反応 synchronized response を誘発しやすい、(2)リズムは力の消費を最小化調整する要素として身体活動を支配する、(3)音響リズムは運動リズムをひきおこし、運動リズムは音響リズムをひきおこす(聴覚の筋運動感覚的側面)、などが報告さ

れている [2][4][16][18][37][38][51]。視覚的メディアである映画/映像においては、ショット同士を編集 montage する際に、刺激の強弱/断続/連続などの視覚的リズムを考慮して、画像対象とは別にフィルム/フレーム自体のリズムが研究されてきた [5][6][10]。

これら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 [18][19][26][41]。また注目すべき研究として、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 [61][62]。本研究ではこれらの視点に注目して「ビート」の概念を再定義した。

従来の心理学実験/研究による音楽的情報と視覚的情報の相互関係については、(1)音楽と映像のリズム/テンポが同期しているとダイナミックな印象や調和感を与える、(2)音楽と映像のリズム/テンポがばらばらであると違和感を感じる、(3)リズムが倍数関係であれば人間は容易に拍を分割して自然に同期する、(4)映像のリズムに自然なように音楽の速度を変える実験では整数倍のリズムに同調する、などの直感的に賛同できる結果が得られている [13][19][35][36]。

これらの心理学実験に用いられた視覚的情報(刺激)としては、画像/映像の持つ意味的な影響を排除する目的で、LEDランプなど発光体の点滅、モニタ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 [12][29][30][53]。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分間以上のオーダー)の実験には適さない [17][32][33]。さらに、テレビや映画などマルチメディアコンテンツの主目的である「エンターテイメント」「アート」等の性格が乏しい(面白くない・楽しめない・現実的でない)、という問題点も指摘された。これらの指摘は音楽的情報(刺激)についても同様に有効である。

また、マルチメディア心理学実験において、モニタ画面内の映像/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 [3][7][9][13][14][19][22][30][54]。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、心理学的時間オーダ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 [20][23][25][27][56][60]。

時間的・空間的に複数のリズムが存在する場合の相互作用については、テンポの同調モデルや追従 tracking を実現する課題が多くの特長で研究されており、心理学実験においては何を基準として何を変化させて何を調べるのか、という実験計画も重要である [21][24][42][44][45][55]。また、リズムに関する聴覚的な現象を効果的に可視化する手法、心理学現象をニューラルネットワーク等でモデル化する手法についても多くの研究が行われてきた [40][47][48][49]。

このような状況のもとで、従来から進めてきた Computer Music 関係の研究を受け継ぎ、新しいモデルを提唱し実験的に検証するために、(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、などの新しいアプローチを行っ [28][50][57][58][59][60]。ここでは第1報として、この研究の概要と進捗状況、実験計画と今後の方針などについて報告する。

2. 研究の進捗状況と今後の方針

本研究は全体として広範な内容を持ち、既に実際の心理学実験のデザインと被験者による実験を完了させてデータは揃っているものの、本稿執筆時点(4/17)ではその全てを整理できていない。学会等にて報告し議論検討したい内容も多岐に渡るため、今後1年間ほどかけてテーマを限定しそれぞれ関連学会等で発表していく予定であり、次回の本研究会でも、さらなる報告と議論を計画している。そ

の全体は研究協力者に意見を求めて議論しているところである。最終的には筆者のWebで公開する方針である。

3. 研究の概要

これまで多くの心理学実験において、人間のリズム感覚が時間的に変化したり同調・同期したりする現象や、複雑なリズムを知覚・認知する現象などから、「メロディー/和声のリズム」「テンポ」「拍節構造」「拍子の体制化」「グルーピング」「拍子の解釈」等の、音楽全般に関する高度で複雑な概念を対象としてきた [33]。リズムという用語自体もそうであるように、これらの概念の中には定義が研究ごとに微妙に異なり無用な誤解を生む可能性を持つ場合も少なくない。そこで本研究では、まず最初に音楽的な対象を単純化し、登場する主要な用語についてその概念を再定義した。

その冒頭では、村尾の提唱する新しい音楽ビートの感じ方として Tago Beat、Toe Beat、Heel Beat について紹介した [61][62]。この視点と関連して、テンポ・拍子・アクセント・ノリ・ビート・引き込み現象/引き込み効果について、概念と定義を明確化した。そして、映像のテンポと音楽のテンポとがほとんど同じであるがわずかに異なっている、という状況において起きると予想した局所的引き込み効果について、そのメカニズム仮説を提示し、予想される状況について述べた。

以下は本稿執筆時点での「目次」である。実験は完了しデータは取れているが、原稿執筆は「レイテンシ」についての議論の途中の部分までである事が判る。

はじめに

ビートの引き込み効果モデル

村尾のビート分類

- ・ Tago Beat
- ・ Toe Beat
- ・ Heel Beat

関連用語と概念

- ・ テンポ
- ・ 拍子
- ・ アクセント
- ・ ノリ
- ・ ビート
- ・ 「引き込み現象」と「引き込み効果」

身体的ビートと音楽的ビートと映像的ビート

- ・ 身体的ビート

- ・ 音楽的ビート
- ・ 映像的ビート
- 局所的なビートの引き込み効果

- ・ 思考実験1

- ・ 思考実験2

- ・ 引き込み効果

引き込み効果の定量化と可視化

心理学実験システムの制作

プラットフォーム

- ・ メインプラットフォーム

- ・ MaxとMSPとJitter

映像素材の制作

- ・ 視覚的刺激の問題点の検討

- ・ QuickTimeムービーの制作

- ・ Max/MSP/Jitterシステム上での

QuickTimeムービーの再生

- ・ 被験者への映像素材の提示

音楽素材の制作

- ・ 音楽的刺激の問題点の検討

- ・ Maxによる音楽素材生成パッチの制作

- ・ 被験者への音楽素材の提示

被験者インターフェース

- ・ 汎用アナログ-MIDIコンバータ

- ・ スイッチ(センサ)システム

- ・ 実験用パッチでのインターフェース処理

- ・ 被験者ごとの個別チューニング

実験データの記録と3次元可視化

- ・ 実験データの記録

- ・ 実験データの形式

- ・ 3次元可視化パッチ

システムのレイテンシの検討

心理学実験におけるMIDI/USB利用の注意点

- ・ デジタル情報の流れ

- ・ MIDI音源の遅延の計測実験の例

- ・ レイテンシを許容できる実験条件

レイテンシ計測の実験とデータ

レイテンシ計測結果の検討

被験者テストの3つのモード

アンケートによる予備調査

リハーサルと実験モード1

等速映像による実験モード2

等速音楽による実験モード3

瞬時変化映像による補足実験

実験データの解析と考察

実験モード1の解析

実験モード2の解析

実験モード3の解析

引き込み効果と個人差の解析

結論

今後の課題

おわりに

参考文献

4. ビートの定義と引き込み効果

誌面の都合で詳細は別の機会に報告・議論するが、本研究においては映像と音楽のテンポは一定とした。また音楽の拍子はいわゆる「エイトビート(8/8)」に統一しており、アクセントは1小節を8つの8分音符に分割した場合には「1・3・5・7」が候補となる。テンポにもよるが、音楽が村尾の分類では「ヒールビート」であるため、「ノリ」としては上記ないし「3・7」のタイミングとなる。

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。ノリがあるため、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楽しむ聴衆の場合、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。

本研究で注目するのは、人間の知覚心理において「ビートにはかなりの時間的な幅がある」という点である。ここでは、音楽的ビートはヒールビートであるため、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、経験者と初心者などの個人差が大きいことが報告され[31][63][64][65]。イメージ上の運動であれば質量ゼロで瞬間的に動き出したり停止したりできるが、実際には運動している肉体の重み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る、という可能性も示唆している。

視覚的ビートについては、視覚の時間的分解能から推定すると、この中間の時間帯であると考えられる。また、視覚に特有の反応速度と視覚の残存時間(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ヒールビートとは違う、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も

示唆している。

ビートという言葉から拍手(ハンドクラップ)のような打撃をイメージすると、ノリのあるビートの瞬間に身体(の一部)が高速で運動したり打撃の反発があったりする、と誤解されるが、身体的ビートはむしろ「運動の合間の静止」である、という視点も重要である。もっとも典型的にはリズムカルなダンスの一種であるブレイクダンスを観察すると、ビートの瞬間は強制的に身体が静止していて、その個々の静止点の間を高速で身体(の一部)を運動させている。このような種類の身体動作のビートは、村尾の分類ではタゴビートとして考えることが適当であろう。

映像的ビートとしては、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。これとは逆に、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画の部分を逆に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り、踊っている本人の身体感覚としてだけでなく、これを見ている人間にとってもビート感を与える。

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、知覚心理学から得られた研究結果を検討して、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することにした。言い換えれば、この視覚刺激素材のムービーにおいては、ブレイクダンスのビート感を重視し、視覚的ビートとして「変化する映像が周期的に静止する」というタイミングがビートとなるように制作した。これは、ある意味ではタゴビートの静止点とトゥビートの加速感・減速感を折衷したようなものである。

本研究の提唱する「ビートの引き込み効果」を、まず思考実験として紹介し、その上で心理的な現象としての解釈を検討する。

新幹線の車窓から風景を見ている。あるいは高

速道路を走る高速バスの車窓から風景を見ている。スピードは一定であり、移動は長く続いた直線で変化がなく、そこに一定の間隔できちんと並んだ電柱や標識などの目印が、一定のリズムで視界に飛び込んで去って行く。これは視覚的情報のリズムであり、加速度的に近付いては消え去って行く躍動感の繰り返しにノリを感じるために、この風景が視覚的ビートとして心地よい。

ここで、同時にウォークマンで「ほとんど同じテンポの音楽」を聞いてその音楽ビートを楽しんでいるとする。自分が演奏しているわけではないので、音楽のテンポは変えることはできない。

風景のビートは快適、音楽のビートも快適、しかしいずれも変えられないが、微妙に音楽のビートが風景のビートと違う(ずれてきた)場合にどうなるか。視覚的ビートにもいろいろな種類があり、さらに緩やかな時間幅がある。遠くから新しい目印が視界に入る瞬間、そこから近付くまでぐんと加速する瞬間、自分の真横を通過する瞬間、など色々ある。すると、最初は音楽の表ビート(BDのビート)で音楽と風景が同期することで気持ちいい、と同期したビートを楽しんでいるのが次第にズレた時に、この曖昧な時間幅の範囲でいつのまにか音楽の裏ビート(SDのビート)と風景と同期することで、再びこれを許容してビートにノれてしまっていた(以下、これが交互に続く)。これが「引き込み効果」である。

上記と同様であるが、「ウォークマンで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」という例をとって、さらに詳細に検討する。ここでは「ほとんど同じテンポの音楽」が、微妙に運動のテンポよりも速い(逆でも議論は同様)とする。

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。村尾の音楽ビート分類で言えばトウビートの拍子化された図式のように、アクセント付近にはいくつかのポイントがあり、音楽よりもアクセントの許容幅の広い身体運動ビートとしては、そのどこかにはまればノリとして許容できる。

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はほぼ近くなり、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。

5. 実験計画

この引き込み効果は少なくとも筆者の経験と内観においては明確なのであるが、これを心理学実験によって顕在化・定量化すること、さらに理解のために可視化することはできるだろうか。そのヒントは、上記の最後の部分、「一致していると解釈することで・・(中略)・・ギザギザ変化を繰り返す」にあると考えられる。

ビートの定義としてノリ、すなわち気持ちいい、言い換えれば半ば無意識に人間がビートのノリを納得している瞬間を、音楽的ビートと映像的ビートと同時に被験者から獲得できれば、その時間情報を分析することが可能である。ここでポイントとなるのは、リズムやビートの性質として最初から指摘してきた「身体動作(筋運動感覚)的側面」である。簡単に言えば、音楽を聞いて、映像を見て、そこにビートを感じている人間は自然に身体動作のビートを伴うのであるから、それをタッピング動作として取り出せばいいのでは、というのが本研究における心理学実験の

基本方針である。この視点から、引き込み効果の定量化のために心理学実験に必要となる要素を以下のように整理した。

1. テンポが一定でビート感のある音楽的刺激。
飽きないものが欲しい
2. テンポが一定でビート感のある映像的刺激。
飽きないものが欲しい
3. 上記テンポの一方は、基本的には一定でありながら、実験の中では微妙に変化させたい
4. 被験者がビート感の反応を返すタッピングのセンサ情報
5. この「音楽」「映像」「タッピング」を同一の基準タイミングで正確に計測・記録するシステム

さらに、この心理学実験の結果データが得られたとして、引き込み効果の可視化のために必要となる要素を以下のように整理した。

1. 実験時間の経過をX軸方向、個々のデータの時間的位置をY軸方向にプロット
2. 音楽的ビートと映像的ビートをそれぞれプロット
3. この両者のうち一方を等速に固定すると、それがX軸上に等間隔で並ぶ
4. もう一方は少しずつずれるので、X軸と一定の角度の平行線上にプロットされる筈
5. この平面上に、さらに被験者がビート感の反応を返すタッピングをプロットして比較する
6. 時間のずれを定量化してX軸まで垂線で結び、その長さとする
7. 見やすさのために視点を俯瞰の位置に置いた3次元表示としたい

このような検討をふまえて、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。詳細は別の機会に報告する。

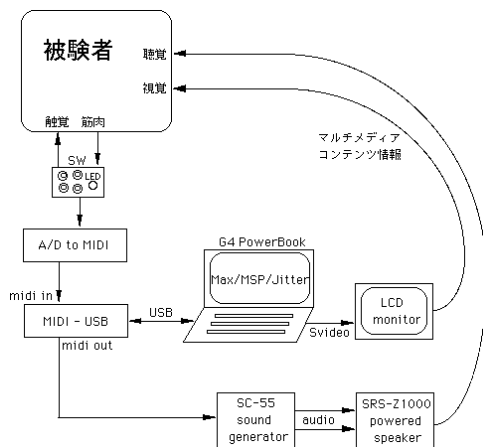


図1 心理学実験のシステム

6. 既に得られている結果の一部の紹介

図2は、心理学実験によって得られたデータを3次元可視化して評価検討するためのオリジナルソフトウェアの画面、図3はその拡大部分(誌面のためにカラーを反転表示)である。画面中央付近で等間隔にプロットされているのが「映像的ビート」のイベントであり、時間的に右方向に連なっている。別の色でプロットされているうちの一方が「音楽的ビート」であり、数十秒かけてテンポを微妙に加速・減速しているために、相対的に傾きをもった直線上にプロットされている。モノクロの予稿集誌面では判らないが別の色でプロットされているのが、被験者が映像ビートごとにタッピングしたスイッチ入力イベントであり、音楽ビートとともに、映像ビートのタイミングとの時間差を上下方向の距離として描画しつつ、さらに時間軸に対して垂線を下ろしている。図の例では、音楽が右下がりでも微妙にテンポが遅れる傾きにつられて、等間隔の映像ビートをタッピングしている筈の被験者のスイッチイベントが次第に遅れて、「引き込み効果」が見事に現れている。

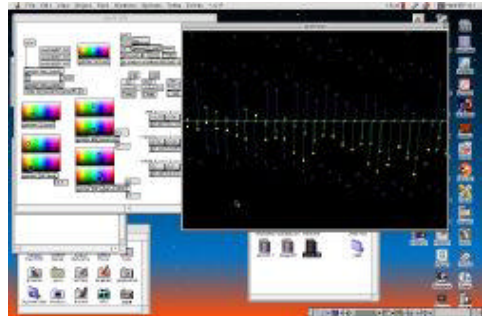


図2 データ3次元可視化ソフトウェアの画面

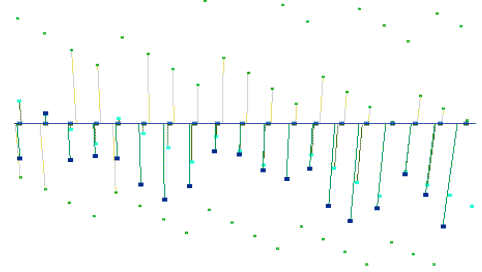


図3 データの一部

図4は、心理学実験の妥当性を検証する意味で行ったレイテンシ計測実験の風景であ

る。この実験では、被験者のスイッチのタイミング、音楽素材のGM音源からの発音タイミングと合わせて、映像素材が実際にLCDモニタの画面に輝点として出てくるまでの遅延を計測している。視覚的刺激としてパソコンのソフトウェアで画像やムービーをスタートさせたタイミングをもって「視覚刺激提示のタイミングです」などと決めつけるのは非常に危険であり、実際にこの実験では、コンピュータにMIDIで与えられたトリガから画面上に「瞬時に」輝点が現れた瞬間を高速光センサで計測し、その遅延が約120msecもあるという事実を発見したところである。

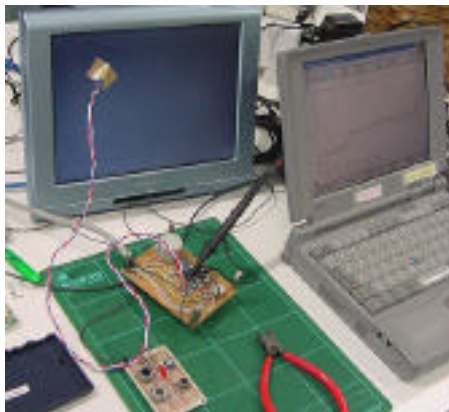


図4 レイテンシ計測実験の風景

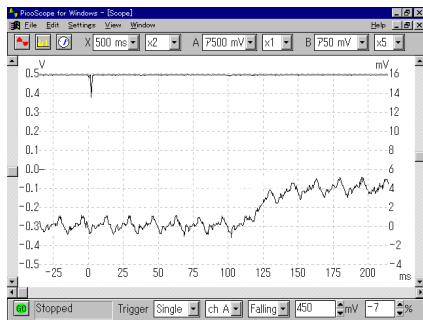


図5 レイテンシ計測結果の一例

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にどのような振舞いをするか、についての心理学実験について、第1報として概要と実験計画について報告した。今後、続報とともに検討・議論をお願いしたい。

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] リタ・アイエロ/大串健吾訳：音楽の認知心理学，p.371，誠信書房，1998.
- [4] 梅本亮夫：音楽心理学の研究，p.375，ナカニシヤ出版，1996.
- [5] 岡田晋：映像学・序説，p.260，九州大学出版会，1996.
- [6] ジェイムズ・モノコ/岩本憲児他訳：映画の教科書，p.438，フィルムアート社，1983.
- [7] 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.
- [8] 森敏昭，吉田寿夫：心理学のためのデータ解析テクニカルブック，p.349，北大路書房，1990.
- [9] R.H.ディ/鳥津一夫，立野有文訳：知覚的解決：知覚心理学，p.249，誠信書房，1972.
- [10] 国際電気通信基礎技術研究所：視聴覚情報科学，p.271，オーム社，1994.
- [11] 淀川英司，東倉洋一，中根一成/電子情報通信学会編：視聴覚の認知科学，p.192，電子情報通信学会/コロナ社，1998.
- [12] 武藤真介：計量心理学，p.155，朝倉書店，1982.
- [13] 松田隆夫：知覚心理学の基礎，p.294，培風館，2000.
- [14] 相場寛，鳥居修晃：知覚心理学，p.210，放送大学教育振興会，1997.
- [15] 福田忠彦：生体情報システム論，p.242，産業図書，1995.
- [16] 森本正昭：情報処理心理学，p.226，誠信書房，1979.
- [17] 波多野諄余夫：音楽と認知，p.155，東京大学出版会，1987.
- [18] L.クラークス/杉浦実訳：リズムの本質，p.142，みすず書房，1994.
- [19] 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.
- [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] 後藤真孝，村岡洋一：音楽音響信号に対するビートトラッキングシステム，情報処理学会研究報告，Vol.94，No.71 (94-MUS-7)，pp.49-56，1994.
- [22] 山田真司，井村和孝，新井裕子，小田満理子，西村英樹：音楽演奏者の時間的制御能力について，情報処理学会研究報告，Vol.95，No.46 (95-MUS-10)，pp.21-28，1995.
- [23] 堀内靖雄，三井卓，井宮淳，市川薫：二人の人間による演奏の収録と分析，情報処理学会研究報告，Vol.96，No.53 (96-MUS-15)，pp.21-26，1996.
- [24] 後藤真孝，村岡洋一：音楽音響信号を対象としたビートトラッキングシステム ---小節線の検出と打楽器音の有無に応じた音楽的知識の選択---，情報処理学会研究報告，Vol.97，No.67 (97-MUS-21)，pp.45-52，1997.
- [25] 堀内靖雄，三井卓，財津茜，市川薫：二人の人間による演奏の協調動作について，情報処理学会研究報告，Vol.98，No.74 (98-MUS-26)，pp.103-108，1998.
- [26] 堀内靖雄，財津茜，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.
- [27] 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.
- [28] 長嶋洋一，中村文隆：メディアアートにおける画像系の制御について，情報処理学会研究報告，Vol.2000，No.76 (2000-MUS-36)，pp.31-36，2000.

- [29] 浜中 雅俊, 後藤 真孝, 麻生 英樹, 大津 展之: 学習に基づくクオンタイズ-発音時刻の楽譜上での位置の推定, 情報処理学会研究報告, Vol.2001, No.45 (2001-MUS-40), pp.21-28, 2001.
- [30] 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.
- [31] 新山王政和, 村尾忠廣, 南嚶子, 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.
- [32] 下迫晴加, 石田時敏, 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.
- [33] 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.
- [34] 末富大剛, 中島祥好: リズム知覚研究の動向, 音楽知覚認知研究, Vol.4, No.1, 日本音楽知覚認知学会, pp.26-41, 1998.
- [35] 菅野禎盛, 岩宮眞一郎: 音楽のリズムと映像の動きの同期が音楽と映像の調和に及ぼす効果, 音楽知覚認知研究, Vol.5, No.1, 日本音楽知覚認知学会, pp.1-10, 1999.
- [36] 岩宮眞一郎, 上月裕, 菅野禎盛, 高田正幸: 音楽の調性及びテンポと映像の速度及び密度が映像作品の印象に及ぼす影響, 音楽知覚認知研究, Vol.8, No.2, 日本音楽知覚認知学会, pp.53-64, 2002.
- [37] Manfred Clynes: Time, Timeconsciousness and Music, Proceedings of 1st International Conference on Music Percrption and Cognition, pp.249-254, Kyoto, Japan, 1989.
- [38] Yoshitaka Nakajima, Takashi Nomura, Takashi Tsumura: Physically Wrong Rhythms can be Subjectively Correct, Proceedings of International Symposium on Musical Acoustics, pp.187-190, Tokyo, Japan, 1992.
- [39] David Rosenthal: A Model of the Process of Listening to Simple Rhythms, Proceedings of ICMC1988, pp.189-197, International Computer Music Association, 1988.
- [40] Gregory Kramer, Stephen Ellison: Audification ---The Use of Sound to Display Multivariate Data---, Proceedings of ICMC1991, pp.214-221, International Computer Music Association, 1991.
- [41] David Rosenthal: Intelligent Rhythm Tracking, Proceedings of ICMC1992, pp.227-230, International Computer Music Association, 1992.
- [42] Jeff A.Bilmes: Techniques to Foster Drum Machine Expressivity, Proceedings of ICMC1993, pp.276-283, International Computer Music Association, 1993.
- [43] Peter Design, Henkjan Honing: Advanced Issues in Beat Induction Modeling ---Syncopation, tempo and Timing---, Proceedings of ICMC1994, pp.92-94, International Computer Music Association, 1994.
- [44] Simon C.Roberts, Michael Greenhough: Rhythmic Pattern Processing using a Self-Organising Newral Network, Proceedings of ICMC1995, pp.412-419, International Computer Music Association, 1995.
- [45] Leigh M.Smith: Modeling Rhythm Perception by Continuous Time-Frequency Analysis, Proceedings of ICMC1996, pp.392-395, International Computer Music Association, 1996.
- [46] Vijay Iyer, Jeff Bilmes, Matt Wright, David Wessel: A Novel Representation for Rhythmic Structure, Proceedings of ICMC1997, pp.97-100, International Computer Music Association, 1997.
- [47] Eric Gottesman: The Psycho-Adaptive Listening Machine ---An Application of Perceptual Control Theory to Computer Music---, Proceedings of ICMC1998, pp.195-198, International Computer Music Association, 1998.
- [48] Tommi Ilmonen, Tapio Takala: Conductor Following with Artificial Neural Networks, Proceedings of ICMC1999, pp.367-370, International Computer Music Association, 1999.
- [49] Ali Taylan Cemgil, Bert Kappen, Peter Design, Henkjan Honing: On Tempo Tracking ---Tempogram Representation and Kalman Filtering---, Proceedings of ICMC2000, pp.352-355, International Computer Music Association, 2000.
- [50] Yoichi Nagashima: Improvission-II ---A Performing/Composing System for Improvisational Sessions with Networks---, Entertainment Computing, pp.241-248, IFIP / Kluwer Academic Publishers, 2003.
- [51] Hiromi Hashimoto, Masashi Yamada: Temporal Fluctuation in Equal Interval Tapping using Various Muscle Groups, Proceedings of 17th Congress of the International Association of Empirical Aesthetics, pp.525-528, Takarazuka, Japan, 2002.
- [52] 吉田友敬, 山本佐代子, 廣瀬百合子, 武田昌一: 音楽リズムの同調と引き込み現象(1), 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.79-86, 2002.
- [53] 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.
- [54] 刈谷亜未太, 青野正二, 桑野園子, 難波精一郎: 規則的なパルス列のタッピング作業におよぼす挿入刺激の効果, 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.143-150, 2002.
- [55] 吉田友敬, 山本佐代子, 廣瀬百合子, 武田昌一: アンサンブルにおけるリズムの同調との分析, 日本音響学会全国大会講演論文集, 日本音響学会, pp.863-864, 2003.
- [56] 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.
- [57] 長嶋洋一, 橋本周司, 平賀讓, 平田圭二: コンピュータと音楽の世界, p.484, 共立出版, 1999.
- [58] 長嶋洋一: コンピュータサウンドの世界, p.180, CQ出版, 1999.
- [59] 長嶋洋一: Java & AKI-80, p.176, CQ出版, 1997.
- [60] 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.
- [61] 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.
- [62] 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.
- [63] 村尾忠廣(代表): わらべ唄・自由斉唱におけるピ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.
- [64] 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.
- [65] 新山王政和: 音楽ビートと運動ビートの知覚に関する分析的研究 ---「テンポ同期」から「ステップ動作」までの一連の検証実験のまとめ---, 音楽教育学第33-2号別冊 日本音楽教育学会第33回プログラム, pp.15, 日本音楽教育学会, 2003.
- [66] 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>, 1999.