

# 聴覚的クロノスタシスに関する実験報告

Experiments of Auditory Chronostasis

長嶋 洋一

YOICHI NAGASHIMA

静岡文化芸術大学大学院デザイン研究科

Shizuoka University of Art and Culture

nagasm@suac.ac.jp

内容梗概：メディア心理学実験の一つとして、サッカー直後に目にした最初の視覚情報が時間的に長く続いて見えるクロノスタシス錯覚について、聴覚刺激においても起こると報告した先行研究について追試した。これとともに、さらに実験条件を拡張した被験者実験をデザインして、より一般的な聴覚的クロノスタシスについて検証考察した。

Key Words : Chronostasis, Time perception, Auditory illusion

## 1 はじめに

メディア心理学実験のテーマとして、根源的な知覚認知の基礎領域に関する(地味な)研究も多いが、一般にアピールするテーマとして、各種の「錯覚」を検証する実験も少なくない。実験結果をある種のインスタレーション作品、あるいは科学館の体験展示システムのような形で再現することで、一般に対してインパクトのある錯覚体験を提案できるメリットも重要である。

筆者はこれまで、Computer Musicやメディアアートに関連する、研究・システム開発・作曲・公演・教育などの活動[1]とともに、音楽心理学やメディア心理学の領域の研究を続けてきた[2-4]。また併せて日本時間学会に参加して、時間学の視点から音楽やメディア心理学について検討を進めてきたが、今回、「錯覚」を切り口とした検討から視覚領域でよく知られたクロノスタシス錯覚(Chronostasis)を取り上げて被験者実験を行い検討したので報告する。

## 2 クロノスタシス錯覚

錯覚(Illusion)とは、実際とは異なる知覚を得るという(主として脳内作用)現象の総称である。そして、不注意性錯覚(見間違い・人違い)、感動錯覚(心理状態に影響された知覚)、パレイドリア効果(一度そう感じると抜けられない知覚)、生理的錯覚(幾何学的錯視やシェパードトーン等)、シャルパンティエ効果(同じ重量でも大きいと軽いと知覚)などと並んで、一般的な時間的錯覚として著名なのがクロノスタシス(Chronostasis)錯覚[5]である。

本文中へのコピペを避けてWikipedia[5]の解説を以下に全文引用するが、ステレオグラム錯視がうまく見えない人が少なくないのに対し、手首のアナログ腕時計の秒針に視線を移動させるたった2-3秒の実験で誰でも簡単に体験できるクロノスタシス錯覚は、興味深い。

クロノスタシス(英: Chronostasis)は、サッカーと呼ばれる速い眼球運動の直後に目にした最初の映像が、長く続いて見えるという錯覚である。名前はギリシア語のクロノス(時間  $\chi\rho\acute{o}\nu\omicron\varsigma$ )とスタシス(持続  $\sigma\tau\acute{\alpha}\sigma\iota\varsigma$ )に由来する。クロノスタシスのよく知られる例として「時計が止まって見える錯覚」がある。アナログ時計に目を向けると、秒針の動きが示す最初の1秒間とその次の1秒間より長く見えるというものである。眼球がサッカー運動をするとき、時間の認識は僅かに後に伸びる。そして観察者の脳は、実際よりもわずかに長い間時計を見ていたと認識し、秒針が1秒間以上固まっていたという錯覚を生む。実は、見ている方向がある点から次の点へ移動するたびにこの現象が起きているのだが、われわれがそれに気付くことはほとんどない。説明の一つは、見る方向が移動する際の時間の隙間を脳が埋めているというものである。実験によると、おそらく、サッカーがあるにも関わらず脳が連続した意識体験を構築しようとするので、この錯覚は引き起こされる。この現象はあらゆる眼球運動によって生じるが、何か時間を計れるものがある場合に顕著になる。クロノスタシスは、視覚的な観察でしか起こらないわけではなく、聴覚刺激でも認識される。

このWikipedia[5]でreferされたBBCの解説記事[6]や脳神経科学の学会誌のサーベイ論文[7]では、サッカーがクロノスタシス錯覚を生む脳内の情報処理メカニズムとの密接な関係を指摘しており、最近、筆者が注目している、潜在認知・意識・知覚・情動に関する研究[8-10]との関連も重要であると思われる。

### 3 聴覚的クロノスタシス錯覚

前述のBBCの解説記事[6]では、視覚的クロノスタシスの姉妹錯覚として“dead phone illusion”と聴覚的な現象を紹介しているが、同じくreferされた先行研究[11]は、ずばり「聴覚的クロノスタシス」というタイトル(サブタイトルは“Hanging on the Telephone”)で、過去に「クロノスタシスは視覚に特有の現象である」とされていたのをきっぱり否定した。本研究は、このHodinott-Hillらの論文[11]の内容を追試するとともに、その実験条件を拡張してより詳しく聴覚的クロノスタシスを調べるという目標を掲げたので、まずここで文献[11]について紹介する。

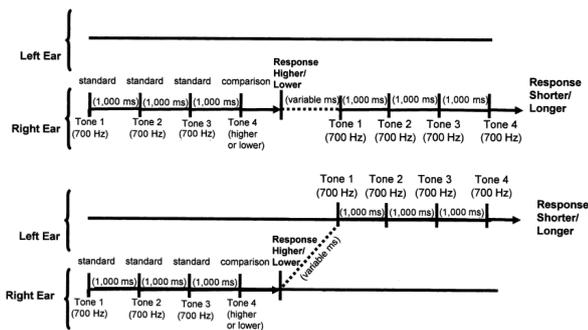


Fig. 1 Referred experiment [11].

図1は、論文[11] (2002年)に掲載されていた実験条件である。図の上段がControl Conditionで、被験者のヘッドホンの右耳だけで音が鳴り、50msecだけ持続する700Hzの基準バースト音が1000msecの間隔で4発続くが、その4発目だけピッチが基準音と異なり高いか低いかを設定される。被験者は高いか低いかを判断してボタンを押す。このボタンを押すタイミングを起点として<可変時間>だけ経過した後、今度は50msecだけ持続する700Hzの基準バースト音が1000msecの等間隔・等ピッチで4発続く。被験者はこの後半の等間隔の時間に対して、さきほどの<可変時間>(ボタンを押してから700Hzのバースト音列の最初までの時間)が、バースト音の等間隔の時間よりも長いか短いかを判定して(別のボタンで)回答する。

図1の下段がExperimental Conditionで、毎回の実験の前半はControl Conditionと完全に同一であるが、後半のサウンドが左耳だけから鳴る、というものである。つまり、被験者は前半の右耳の実験でバースト音列の最後のピッチがその前より高いか低いかを判断することに意識が集中していて、後半に出て来る音そのまま同じ定位(左耳or右耳)であるか、反対側にジャンプするか予測できない。サウンド定位が移動しない場合に比べて、

突然にジャンプするとその空間的移動を脳内(聴覚野の空間的位置判定処理あたり)で無意識下に追いかける際に、サッカードと同様の時間認識の欠落(圧縮)が生じて、これを補正するために、物理的<可変時間>に比べて、後から判断した心理的<可変時間>が延びる錯覚が生じるのではないかと、という仮説に基づいている。

論文[11]によれば、実験で変化させる<可変時間>(ボタンを押してから700Hzのバースト音列の最初までの時間)の閾値をMOBS[12]を用いて評価した結果として、Control Conditionで955msecだったインターバル時間評価が、Experimental Conditionでは825msecへと有意に縮んだ(詳しい条件は[11]を参照)、と報告している。つまり、片耳だけのサウンド刺激に対して、その空間的移動を追いかける聴覚的サッカードによって、反対側の耳にジャンプしたサウンドでは、心理的に等間隔であると判断される時間が、かなり縮むのである。なお論文[11]では、サウンドとサウンドの間の無音の時間を実験に用いた理由として、(1)過去にクロノスタシスは聴覚領域では起きないと否定的に判断した研究で持続するサウンド列を使っていたこと、(2)電話ベル音の錯覚現象もサウンドとサウンドの間の無音間隔から起きていること、を挙げている。

### 4 先行研究に対する検討

先行研究[11]は全3ページと簡潔であり、700Hzのサウンド刺激が純音であったかどうか(おそらくサイン波)が不明、被験者が平均27歳の男女それぞれ8名というだけで実験が各被験者それぞれ計何回の試行で行われたのかも不明、2回の判定の「ボタン押し下げ」の詳細も不明、など実験システムへの懸念があり、以下のように考察検討した。

まず、サウンド素材に純音を使った場合に、各試行の前半の最後(4発目)のバースト音のピッチを700Hzに対してどのくらい上下させるか、という点に音楽的な検討事項があった。すなわち、完全4度/長3度などの協和音程を形成する周波数関係で音高が移動すると、半音階の関係でない不協和音程の関係で音高が移動するのでは、脳内での知覚認知チャンネルが変わる可能性を否定できない。また純音だとバースト状にゲートする際に位相によってクリックノイズが発生してサウンド知覚の条件が一定にならないので、サウンド素材にホワイトノイズを使う方針を採用した。ピッチの上下に対応して、ホワイトノイズにLFPないしHPFをかけたサウンドに対して「明るい」「暗い」と判定させることで、同等の条件を形成した。

また視覚的サッカードの先行研究[13]において、22°の視野角の移動では1000msecが880msecに縮み、55°の視野角の移動では1000msecが811msecに縮んだ、という報告が紹介されていたことから、単純に「右だけ」「左だけ」でないサウンド定位を定量的に設定する意義を認識した。定位量が両端にある場合には先行研究[11]と同じになることから、両者を合体した被験者実験をデザインすることで、追試と新たな実験条件の両方を検討できるのは、被験者の馴れや疲労を考えると意義あることである。

ここまでの検討をふまえて予備的な心理学実験システムを試作して筆者自身が体験してみると、ノイズのバースト音が前半・後半からなる単純な試行として「ほとんど等間隔」に繰り返す実験は、被験者の集中の持続が簡単ではない、と確認できた。眠くなったり正しく判断できなくなる問題を回避するためには、試行の総数を少なくする(実験全体の時間を短くする)事が一番であるが、多くの実験条件を組み合わせると試行の総数は簡単に増大する、というトレードオフとなる。文献[4]で報告したように、筆者はマルチメディアに関する講義の一環として多数の学生被験者の協力を得られることから、「実験時間を短く」「被験者数を多く」という方針を採用した。

## 5 心理学実験システムの詳細

以上の検討を受けてMax6の環境で制作した聴覚的クロノスタシス心理学実験システムについて、ここで詳細に紹介する。なお、このシステムは講義中に被験者となる学生に配布できるように筆者のWebサイト[14]に置いてあるので、興味のある方はぜひ実験して、結果(plain textメール)で(年齢、性別など簡単な被験者情報とともに)筆者にお知らせいただければ幸いである。以下は、学生に提示した実験手順のプロトコルである。なお実験ソフトはMax6コレクティブなので、コンピュータにフリーのMax6ランタイム[15]がインストールされている必要がある。

- ・実験ソフトの入った圧縮データ jikken.zip をダウンロードする
- ・これを解凍して出来たファイル5個の全てをデスクトップに置く
- ・ヘッドホン(イヤホン不可)を挿して音量調整する
- ・解凍した jikken.mxf を叩いて実行させる
- ・中身の指示に従って実験する ※所要は約10分ほど
- ・結果がデスクトップに「test.txt」として出来る  
→ 中身を確認してみよう
- ・ブラウザから自分がメールを送れる環境を開く

- ・test.txtの中身をメール本文として、タイトルに名前を入れて長嶋にメールする

筆者の大学の環境では全てのMacにMax6がインストールされているので、間違っても実験パッチを変更(修正)してしまわないようにパッチを実行形式とした。図2にあるのはこのパッチを起動した最初の部分のスクリーンショット群であり、音量調節した設定値も最終データに記録した。被験者は順になぞっていく事で、実験の概要を理解する。

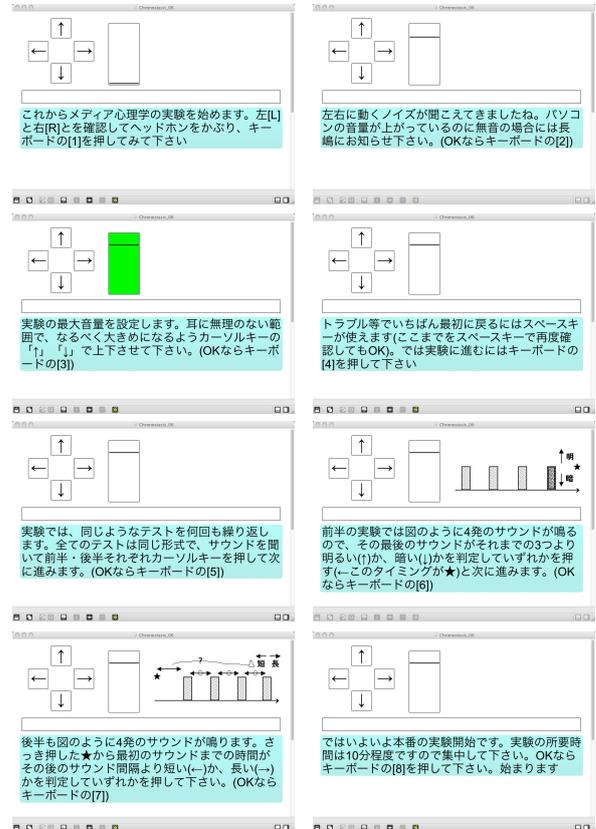


Fig. 2 Screenshots of experiment system.

図2の最後の画面で被験者が数字キーの[8]を押すと、図3のような3つの画面の繰り返して試行がスタートする。順序効果を考慮して、全部で60試行が用意されている実験は被験者ごとに異なったランダムな順番で呼び出される。その内訳は、前半の「明るい」「暗い」と判定させるサウンド列の定位位置として「左端」「中央」「右端」の3種類、後半の比較対象のサウンド列の定位位置として「左端」「中央やや左」「中央」「中央やや右」「右端」の5種類、<可変時間>として、被験者が前半の判定結果を「↑」「↓」で押してから後半のサウンド列が始まるまでの経過時間として、925msec、1075msec、1225msec、1375msecの4種類としたので、3×5×4=60種類の試行となった。

図3上段にあるように、毎回の試行の最初には「実験スタート」という表示が出る。これを省略した予備実験で、前半と後半の実験がはっきりす

ると攻守交代してしまうトラブルが起きたためである。そして、ここから図3中段の試行の前半に入るまでに、「1500msec+ランダム時間(0-500msec)」のインターバルを挿入した。これは予備実験において、前半4発のリズムにほぼ同期して判定キーを押し、その後もほぼ等間隔の後半4発に続いて判定キーを押し、そこから一定の1000msec経過で次の試行にループすると、無意識に等間隔のビート感が生まれてきたので、敢えてランダムな変拍子を挿入して、試行ごとにビート感を分断するためである。

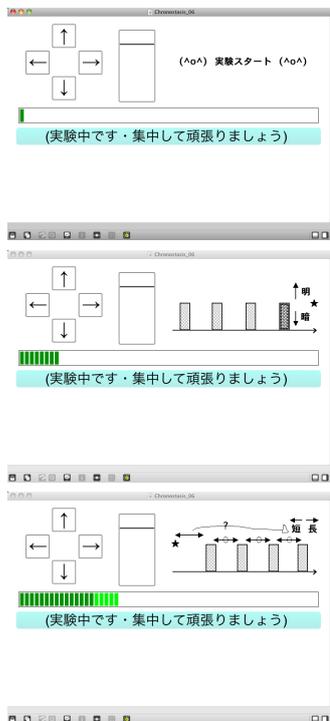


Fig. 3 Screenshots of experiment system.

さらに図3下段のように、画面中央の棒グラフが次第に進むことで、実験全体のどのあたりまで来たかを刻々と表示した。これにより、約10分間も続く実験で飽きたり寝くなったりするのを避けて、あと少しで終わる、などと判明するようにした。また、実際に聴覚的クロノスタシスを判定するには試行の後半の判定データがあればいいが、試行の前半の最後(4発目)のバースト音では、ホワイトノイズにLFPないしHPFをランダムに選択して付加しているが、この選択値と被験者の「明るい」「暗い」という判定も実験結果データとして記録することにした。これは、両者を比較すると、飽きや眠気などで被験者がきちんと集中して実験に参加していない指標として明確にデータを取捨選択できるためである。これは車酔いの指標によって被験者の無効データを除外した筆者の研究[16]での方針と同じものである。図4は、被験者に見えない実験ソフトのメインパッチ(上段)

と、60回の試行を重複なくランダムに行うサブパッチ(中断)と、ホワイトノイズ列を生成するサブパッチ(下段)である。本稿では紙面が限られているので縮小・圧縮しているが、筆者のWebサイト[17]に高品位な元画像を置くので、必要なだけ拡大して参照されたい。

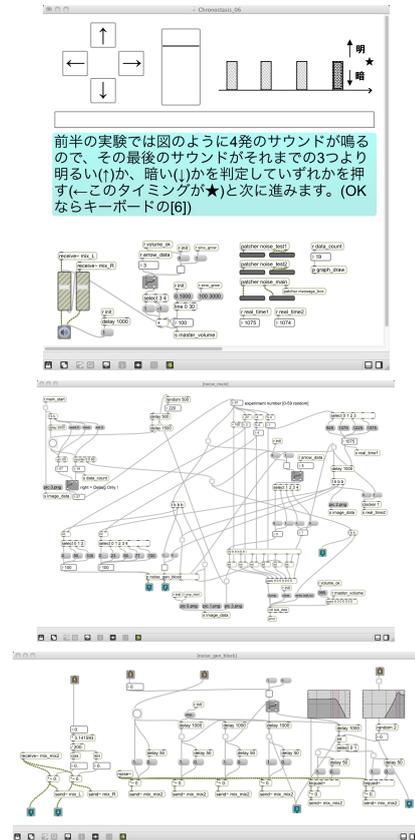


Fig. 4 Screenshots of main/subpatch.

実験条件に合わせて提示サウンド刺激を生成する図4下段のサブパッチについて補足すると、ホワイトノイズに対してLFPないしHPFをかけて「明るい」「暗い」としたピンクノイズについては、出力音圧レベルをモニタしつつbiquadデジタルフィルタのパラメータとしてQ値とレベルシフトを変更・調整したので、例えば「ホワイトノイズから高域をカットしている分だけ音圧が小さくなる」というような問題を回避している。

また、このホワイトノイズ/ピンクノイズのサウンド素材に左右チャンネルの乗算値を設定してステレオ定位量を設定するところでは、線形パラメータでなく、サイン関数/コサイン関数のゼロから $\pi/4$ までの区間に相当する曲線を採用した。すなわち上流の図4中段から与えられるパラメータを「0(左端)」「23」「50(中央)」「77」「100(右端)」とすると、中央値50では0.5倍でなく、持ち上げられて $(\sqrt{2} / 2)$ 倍されている。

## 6 予備的被験者実験

筆者の昨年の研究報告[4]では、音楽知覚認知学会研究会のスケジュールとの関係で、実験期間の途中に原稿提出期限があるために、その段階までを予稿集の原稿として提出し、さらに進めた実験の詳細をWebに置いて、その内容を研究会当日に報告するとともに「続きはWebで」とお願いしたが、今回も同じ状況となってしまった事をまずお詫びする。原稿提出期限と新学期の関係で、筆者の講義を受講する学生に被験者として協力してもらう機会は2科目(サウンドデザイン・音楽情報科学)しかなく、本稿では3回生向け専門選択科目「音楽情報科学」を受講した学生10人のデータのみを検討した。2回生向け専門必修科目「サウンドデザイン」の学生約36人のデータについては、Web[17]に掲載しつつ研究会当日に報告する予定である。

```
999, 110 0 0 0 0 0;
126, 1 1 2 0 0 1;
141, 2 0 1 0 0 0;
117, 0 4 1 0 0 0;
146, 2 1 2 0 0 0;
138, 1 4 2 1 1 1;
149, 2 2 1 1 1 1;
106, 0 1 2 0 0 0;
109, 0 2 1 0 0 1;
158, 2 4 2 0 0 0;
144, 2 1 0 0 0 0;
119, 0 4 3 0 0 1;
108, 0 2 0 1 1 0;
124, 1 1 0 0 0 1;
156, 2 4 0 1 1 0;
```

Fig. 5 Example of result data.

予備の実験の被験者は静岡文化芸術大学デザイン学部メディア造形学科の学生(女性8・男性2)で年齢は20-22歳でありサウンド聴取は健常である。図5は、ある被験者実験の結果データ(plain text file)の冒頭15行を抜き出したものであるが、この実験では実験ソフトのループ処理にバグがあり、全60回の試行の最後の60番目を実行せず、さらにループから抜け出すためにダミー入力することで59回目のデータが無意味なデータに上書きされたことで、有効なデータ数は58試行(×10人=580データ)となった。各被験者の試行はそれぞれ重複しないランダムに選択されているので、前述の実験条件により3×5×4=60種類ある試行データ数には多少の多寡が生まれた。このバグは次の本実験では改善した。

図5のデータの各行がそれぞれの試行結果であるが、先頭の数字が999とあるのは、実験冒頭に被験者が設定した音量(初期値100)であり、それ以降

の各行の先頭の数字は0から59までの試行番号に100を加えた(桁を揃えた)ものである。一例として図5の被験者データの2行目(実験データの最初の)

126, 1 1 2 0 0 1;

というのは「実験26」であり、これに続く「1」は前半サウンドの定位が「中央」、次の「1」は後半サウンドの定位が「中央やや左(data=23)」、次の「2」は<可変時間>(ボタンを押してから後半のバースト音列の最初までのインターバル)として「1225msec」を提示した事を意味する。その次の「0」は試行前半4発目のサウンドがローパスフィルタの「暗い」音であること、その次の「0」は被験者がこれを「暗い」と判定した事を意味するので、被験者は正しく聞いている有効データと判断できる。最後の「1」は、被験者が<可変時間>をその後のバースト間隔よりも「長い」と判定した事を意味する。聴覚的クロノスタシスがあれば、この<可変時間>が1000msecよりも大きいのに「短い」と判定される境界が出てくるのでは、という仮説の実験である。

この予備の実験では、被験者数が10人と少なく、また前述のように60試行のうち1試行と60番のデータが欠落するという欠点はあるが、全体の傾向として実験を改良するために検討する意義のあるデータである。以下、まず本稿では、先行研究[11]と同じ条件の追試ということで、試行前半のサウンドが左端ないし右端に定位していて、試行後半のサウンドも左端ないし右端に定位する、という実験について整理したので報告する。

## 7 先行研究の追試条件の実験結果

実験データの解析については、以下の4種類を計画した。まず、10人分計580データをマージしてソートした基準ファイルから、実験番号ごとに全被験者の結果をカウントする、という集計(1)である。次に、各試行前半の「明るい」「暗い」判定が異なっている(被験者の集中が乏しいと思われる)「怪しいデータ」計21個を基準ファイルから取り除いた559データに対して、実験番号ごとに全被験者の結果をカウントする集計(2)である。さらに、この「怪しいデータ」(ミス)の出現頻度を10人の被験者で調べたところ、4人がミス0回、3人がミス1回、2人がミス2回で、ある被験者だけ14回もミス(「明るい」「暗い」判定が異なる)していた。これは当日の体調などにより、あまり集中できていなかったと推察されるので、この14回ミスの被験者データを除外した9

人分計522データに対して、実験番号ごとに結果をカウントする集計(3)とした。そしてこの作業(3)のデータから少数のミス7件も除外した9人分計515データに対して、実験番号ごとに結果をカウントする集計(4)とした。

実験結果の全ての生データ、上記4種類の集計結果データなどはWeb[17]にあるので参照していただくと、ここでは一例として集計(4)の結果から、先行研究[11]の追試に相当する、「左→左」「右→右」「左→右」「右→左」の実験結果を以下に示す。バグにより実験番号159(1375msec)のデータが欠落しているが、定性的には一瞥するだけで、明らかに聴覚的クロノスタシスとして仮定した現象を見出すことができた。

100 - 左 - 左 - 925 msec - 7 / 1  
 101 - 左 - 左 - 1075 msec - 8 / 1  
 102 - 左 - 左 - 1225 msec - 4 / 5  
 103 - 左 - 左 - 1375 msec - 4 / 5  
 156 - 右 - 右 - 925 msec - 9 / 0  
 157 - 右 - 右 - 1075 msec - 5 / 4  
 158 - 右 - 右 - 1225 msec - 4 / 5  
 116 - 左 - 右 - 925 msec - 6 / 3  
 117 - 左 - 右 - 1075 msec - 4 / 5  
 118 - 左 - 右 - 1225 msec - 2 / 7  
 119 - 左 - 右 - 1375 msec - 4 / 5  
 140 - 右 - 左 - 925 msec - 5 / 4  
 141 - 右 - 左 - 1075 msec - 7 / 2  
 142 - 右 - 左 - 1225 msec - 4 / 3  
 143 - 右 - 左 - 1375 msec - 0 / 8

上の各行データの先頭は実験番号(+100)、右端のスラッシュの左側は<可変時間>(ボタンを押してから700Hzのバースト音列の最初までの時間)が、バースト音の等間隔の時間よりも「短い」と判定した被験者数、スラッシュの右側は「長い」と判定した被験者数である。

この実験結果から先行研究[11]の結論である「925msecが825msecに縮んだ」と同様の数値的表現に変換するには、ウィルコクソンの符号順位検定のような手法を用いることになるが、本稿ではまず簡単に有効データの重み付けによって重心を計算[17]してみると、以下ようになった。

実験100-103 左→左 1069 msec  
 実験156-158 右→右 1029 msec  
 実験116-119 左→右 1094 msec  
 実験140-143 右→左 1112 msec

この結果データを平均して先行研究[11]に倣った書き方をすれば、この予備の実験においても、聴覚的クロノスタシス錯覚によって「953msecが907msecに縮んだ」という事になる。先行実験の追試としてはまずまず良好な結果であると言えよう。

## 8 おわりに

聴覚的クロノスタシスに関する心理学実験の第一ステップについて紹介した。続報はWeb[17]にて報告する。まだスタートしたばかりの研究であるが、関連して調べた中で、人間の時間の知覚が曖昧である事を紹介したBBCの解説記事[6]にあった最後の以下のフレーズは素晴らしい。さらに研究してみたい。

「我々はみんな、  
ある意味でタイムトラベラーなのだ」

## 参考文献/URL

- [1] 長嶋洋一. Art & Science Laboratory. <http://nagasm.org>
- [2] 長嶋洋一. 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. <http://nagasm.org/ASL/beat/>
- [3] 長嶋洋一. サウンドの空間的予告による映像酔いの抑止について. 情報処理学会研究報告 Vol. 2007, No. 127 (2007-MUS-73)
- [4] 長嶋洋一. グロッケン音色の利用に関する考察. <http://nagasm.org/ASL/Glocken/>
- [5] クロノスタシス. <http://ja.wikipedia.org/wiki/クロノスタシス>. 2014年4月8日閲覧
- [6] BBC - Future - Health -. The mystery of the stopped clock illusion. <http://www.bbc.com/future/story/20120827-how-to-make-time-stand-still>
- [7] David M. Eagleman. Human time perception and its illusions. *Curr Opin Neurobiol.* 2008 April; 18(2): 131-136.
- [8] 下條信輔. サプリミナル・マインド -潜在的人間観のゆくえ-. 中公新書 1324. (1996)
- [9] 下條信輔. <意識>とは何だろうか -脳の来歴、知覚の錯誤-. 講談社現代新書 1439. (1999)
- [10] 下條信輔. サプリミナル・インパクト -情動と潜在認知の現代-. ちくま新書 757. (2008)
- [11] Hodinott-Hill, K. Thilo, A. Cowey, V. Walsh. Auditory Chronostasis, *Current Biology* 12 (20): 1779-1781.
- [12] Tyrell, R. A., Owens, D. A. A rapid technique to assess the resting states of the eye and other threshold phenomena: the modified binary search (MOBS). *Behav. Res. Methods Instrum. Comput.* 20, 137-141.
- [13] Yarrow, K., Haggard, P., Heal, R., Brown, P., Rothwell, J. Illusory perceptions of space and time preserve cross-saccadic perceptual continuity. *Nature* 414, 302-305.
- [14] <http://nagasm.org/1106/mac/s/jikken.zip>
- [15] <http://cycling74.com/downloads/runtime/>
- [16] 長嶋洋一. 身体に加わる加速度とサウンドの音像移動に関する心理学実験報告(4/4). 日本音楽知覚認知学会2012年春季研究発表会資料.
- [17] <http://nagasm.org/ASL/Chronostasis/>