

2次元空間のサウンド知覚と音響素材の検討

長嶋洋一 (SUAC/ASL)

概要：映像酔いとサウンドとの関係についてのマルチメディア心理学実験の報告において指摘された、実験用サウンド素材の種類について、掘り下げて検討した。純音、鋸歯状波、楽器音、電子音、各種ノイズ、自然音、環境音などを使って、2次元空間でのポインティング精度とサウンドの特徴との関係について実験した。

Sound perception of 2-D space and characters of sound

Yoichi Nagashima (nagasm@computer.org)

Abstracts : This is a report that examined the kind of the multimedia psychology experimental sound material. I experimented on the relation between the pointing accuracy in two dimension space and the feature of the sound by using a pure sound, a saw-tooth wave, musical instrument sound, an electronic sound, various noises, natural sounds, and environmental sounds, etc.

1. はじめに

筆者は2006年から、マルチメディア心理学の領域の研究テーマとして、「映像酔い」とサウンドとの関係に取り組んでいる[1-4]。このきっかけとなった論文では、映像酔いの科学的定量化として、被験者の主観的アンケートと生理情報のセンシングを紹介しているが、まだ後者については完全には解決されていない[5]。2006年には、呼気終末二酸化炭素分圧計測による動揺病推定法を映像酔いに対応つけた報告があり[6]、筆者はこれらを組み合わせた最初の心理学実験を行い、結果データを公開した[7]。これらの検討の中で、映像酔いを低減させるためのサウンド素材についての議論が提起され、その重要性の検討から、映像酔いについての継続実験から寄り道して、心理学実験のためのサウンド素材についての検討に取り組んだ[8]。ここでは新たな実験として、純音、鋸歯状波、楽器音、電子音、各種ノイズ、自然音、環境音などを使って、2次元空間でのポインティング精度とサウンドの特徴との関係について実験した。

(グラフィック素材)が必要となったため、画面にズームの消失点のある、無限に縮小ズームし続ける映像素材を使用した。この消失点が被験者が注目し追いかける注視点であり、その座標を低周波変調(たまに瞬時に跳躍)して運動/回転させれば映像酔いが起きる、という方針である。実際の実験において、被験者の中から複数の「酔った」という感想を得た。



図1 実験1の風景

2. 「映像酔い」実験1の概要

本稿ではこれ以降、筆者の行った映像酔いとサウンドとに関する研究[1-4,7]を「実験1」と呼ぶこととし、その概要を簡単に整理確認する。

心理学実験システムには、Max/MSP/jitterを環境として使用し、被験者は15インチ液晶ディスプレイに取り付けたタッチパネル上を専用のタッチペンでなぞる。被験者はディスプレイの正面に座り、ディスプレイの左右にはサウンドを提示するステレオスピーカがあり、さらに被験者はブラシーボを含む複数のセンサ群を装着した。図1はその実験の風景であり、実際にセンサとして利用したのは、被験者の鼻の下に取り付けた、末端二酸化炭素濃度検出のセンサのみである。

実験の素材として映像酔いを引き起こす映像

被験者の呼気終末二酸化炭素分圧の変化データは、基礎医学研究用データ集録&解析システム：BIOPAC Systems社製のMP SYSTEMシリーズとパイオアンプによって検出し、A/Dからの情報をモニタして直接出力するモードを利用した。

最終的な実験データは、Max/MSP/jitterのテキスト形式シーケンスデータとして、ターゲットとなる消失点の座標(x,y)が更新されるたびにmsec単位の時間情報とともに記録され、さらに被験者のタッチパネルのペン座標(x,y)も同様に記録された。

サウンドは基本的に「持続する純音」によって構成した。画面内の消失点の上下を、提示するサウンドの基音のピッチに対応させて、上に行くほど高いピッチ、下に行くほど低いピッチ、とし

た。また画面内の消失点の左右については、単純にステレオの左右パンポットだけでなく、基音の2倍音から6倍音までの純音を用意して、右に行くほど高次倍音のミキシング比率を上げ、左に行くほど基音そのままに近いようにサイン合成を行うアルゴリズム(全体の音量も補正)とし、音色と定位によって左右方向の違いを付けた。

3. 実験1の結果と検討

関連の検討など統計分析の前段階として、この実験結果データ[7]を可視化するツールを作成した。図2は、初期状態でデータ"db002.txt"を表示した状態のスクリーンショットである。ここでは、画面右下に延びるx軸を時間(フルスケール180秒)、画面左下に延びるz軸方向のx-z平面上に呼気終末二酸化炭素分圧データをプロット、さらに上方y軸とのy-z平面と対応する時間xとの3次元空間に、ターゲット座標(y,z)と被験者ポイント座標(y,z)とをプロットしている。重要なのは、このソフト自体がリアルタイムOpen-GLとして走っていることで、各種のパラメータをドラッグするとリアルタイムに表示を変更することで、見たい情報を詳細に抽出・検討できる点である。

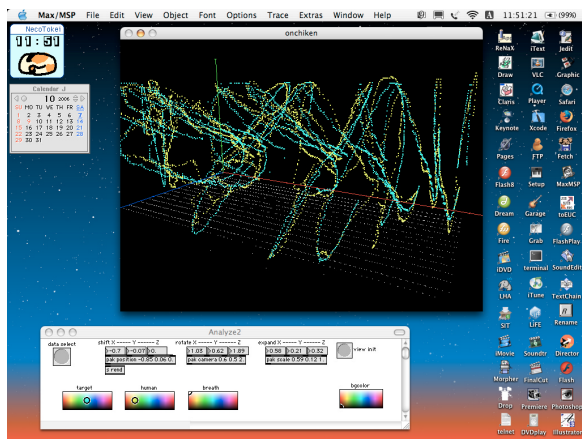


図2 データ解析用ソフトウェアのスクリーンショット

これにより、例えば画面の視野をx-z平面を正面になるよう回転/平行移動し、呼気終末二酸化炭素分圧データ以外のデータの点の色を背景色と同一にすることで、単純な「呼吸状態データ」を表示することも容易である。

図3および図4は、第一段階としてこの解析ソフトウェアで表示した「被験者No.15」のデータである。この被験者は事前アンケートで「乗り物酔いしやすい」と回答した。

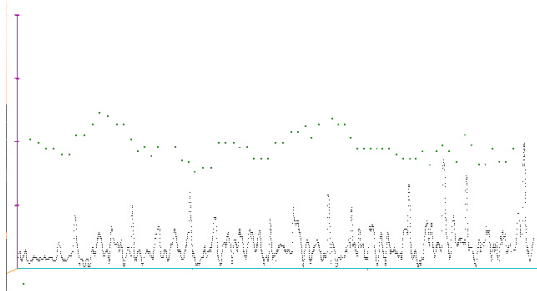


図3 計測データの表示例(1)

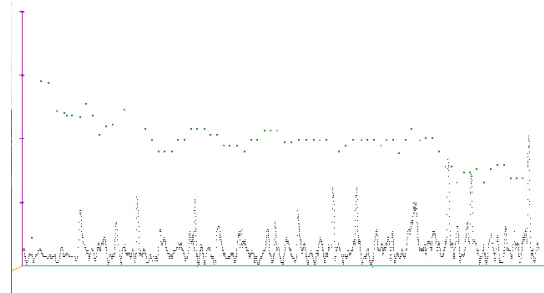


図4 計測データの表示例(2)

図3と図4に共通するのは、画面下方のプロットで示される「ターゲット座標と追跡座標との2次元距離」の移動平均データの変化である。明らかに時間の推移(右方向)とともに、その平均的な大きさが増大しており、これは「画面内の消失点を追跡する」という作業の追跡誤差が増大していることを意味し、本研究においては、これを映像酔いの影響と考えている。

そして図3と図4の上方にプロットされているのは、呼気終末二酸化炭素分圧の移動平均されたピーク値の変化である。図3では細かい変動はあるものの、ほぼ実験を通じて一定と解釈されるが、図4においては、実験の進行とともに次第にわずかに低下する傾向が見られる。この違いは、映像とともに提示されたサウンドの有無であり、このデータだけを見た場合、映像と同期してサウンドが動いた実験(図4)に比べて、定常サウンドの実験(図3)では呼気終末二酸化炭素分圧データが減少した(無意識に代謝が低下した)、と判定できる。これは先行研究[6]の結果と合わせれば、「サウンドが映像と同期していた場合に比べて、サウンドが定常であった場合には映像酔いがより強く起こった」と解釈できる。

映像と同期してサウンドが動く実験において、9名の被験者を10名のグループA(サウンド正常)と9名のグループB(サウンド左右反対)に分けた結果については、事前アンケートおよび実験後の自由記述によって、定性的ながら興味ある回答を得た。まず、映像の左右移動とサウンドの左右パンポットとの対応を正常としたグループAについては、「定常サウンドの方が気分が悪かった」「音が動くとき集中しにくくて邪魔」などの感想がいくつか見られた程度であった。

ところが映像の左右移動とサウンドの左右パンポットとの対応を反対にしたグループBについては、ほぼ全員から「酔った」という感想が述べられ、さらに「サウンドが動く方がやりづらい」「サウンドが動く方がクラクラした」など、大部分で定常サウンドよりも評判が悪かった。これはグループAでは見られなかった傾向であり、明らかに、映像と同期させたサウンドによって、心理学実験に影響があったと推測される。

以上の結果を報告した学会研究会での議論の中で、各領域の専門家から、実験に用いるサウンド素材についてのコメント、その他実験方法などについてのコメント・アドバイスをもらった。これを受けて、本稿で報告する実験を寄り道としてでも行うこととなった。

4. サウンド素材の検討

検討の中で提起された、実験1におけるサウンド素材の提示方針についての問題点は、以下の2点に大きく分類された。

- (1) 素材サウンドは「定常的な純音」をベースとしたが、実際の映像酔いのケースではそのような音はあり得ない。むしろパーカッション音や楽器音・自然音の方がいいのではないか
- (2) 画面内の消失点を追跡する、という2次元平面での視覚情報に対して、サウンドは左右にステレオパンポットの定位と純音合成の割合(音色)、上下にピッチという関係を提示したが、これは視覚情報の2次元平面とは心理学的に対応していると言えない

この指摘は、たんに本研究のように映像酔いをテーマとしたメディア心理学実験だけでなく、他テーマであっても今後考慮すべき重要な視点である。そこで、この2点について検討し、映像酔いに関する実験1を受けて新たな映像酔いとサウンドを検討する次の実験を2でなく「実験3」とし、寄り道のようなものであるが、このサウンド知覚の空間マッピングの部分に注目した領域を「実験2」と規定し、きちんと検討して実験デザインを行うこととした。この実験の名称は今後の報告においても継承する予定である。

4-1. 被験者

実験1では映像酔いを起こす可能性があることを事前に告知して同意書への記入を求めたが、この実験2では真っ暗な画面上にポイントするだけなので、インフォームドコンセントは省略した。実験2に参加した被験者は、19歳から25歳までの男女学生17名である。本稿の末尾に17名の全結果データを提示したのであらかじめ補足すれば、被験者8のみが実験中にずっと目を閉じた。また被験者11のみが、予備的なセッティングに他の被験者の数倍の時間を要したのが特徴的であった。

4-2. サウンド素材の選択

前述のように、持続的な純音をベースとしたサウンド素材であっても、実験1の結果には有意な差が見られたが、報告・討論の場でコメントされた「実際の映像酔いの抑止のためにはその(不自然な)音は使えない」(コンテンツにとって邪魔である)という指摘を重視し、サウンド素材について、改めて検討した。

サウンド素材については、まず単純な持続音という条件を捨て、パーカッシブなエンベロープを持つサウンドを時間的に反復発音するレピティションサウンド、という条件に統一した。この中にはさらに音色に関する要因として、(1)(例外的定常音として)サイン音、(2)GMピアノ音(音域各種)、(3)ホワイトノイズ、(4)GMパーカッション音、という4つの分類を設定した。

実際に行った実験では、以下の15種類のサウンド素材を30秒の長さでそれぞれ5個ずつ連結した2分30秒の実験を3タイプ設定した。また順序効果を考慮して、被験者を5群に分けて、3タイプのサウンド素材の提示順序を変えた。

- (1) GM音源からパーカッション音(1)
- (2) GM音源のピアノ音・Note=48
- (3) ホワイトノイズ
- (4) GM音源のピアノ音・Note=84
- (5) GM音源からパーカッション音(2)
- (6) GM音源のピアノ音・Note=36
- (7) GM音源からパーカッション音(3)
- (8) 例外的に持続的なサイン音(440Hz)
- (9) GM音源のピアノ音・Note=60
- (10) GM音源からパーカッション音(4)
- (11) GM音源からパーカッション音(5)
- (12) GM音源のピアノ音・Note=72
- (13) 鋸歯状波の電子音
- (14) GM音源のピアノ音・Note=96
- (15) GM音源からパーカッション音(6)

4-3. サウンド素材の空間配置

実験1では、視覚情報およびタッチペンでの追従としては映像素材の2次元情報(x,y)を用いているのに、サウンドについては、水平方向(x)には「ステレオパンポット」「倍音合成のミックス比による音色変化」を、垂直方向(y)には「基準ピッチ」をいわば恣意的にマッピングしたため、この対応を自然と感じない被験者にとっては戸惑うことの原因ともなった。そこで実験2では、ディスプレイ・タッチパネルの2次元情報とそのまま対応するように、その四隅にスピーカを置いて、サウンドをステレオから4チャンネルに拡張して、2次元空間定位情報のみ、という条件に統一した。図4がそのセッティングの様子である。人間の耳および頭部の構造から、水平方向に比べて上下方向の弁別能力はかなり低いことが予想されるが、それでもこのセッティングでの予備実験により、左右だけでなく上下方向の定位の移動を確認できたので、実験2においてはこの方針を採用した。将来的には、より大きなスクリーンに映像素材を投射し、スピーカを相互により離れたセッティングにすることも検討している。この場合、タッチパネルでなく、Wiiリモコン等によるポインティングが有効であろう。



図4 実験2のシステム(4chスピーカ版)

4-4. 実験結果の検討

実験1と同様に、この実験2の結果を可視化するツールを制作して検討したが、サウンドの種類に

よる差だけでなく、被験者の個人差が大きく現われた。本稿の末尾の結果データと比較するために、筆者が対照として行った「サウンドの2次元座標を表示して、それをタッチペンで追い掛ける」という実験結果が図5(ターゲットとタッチペンの軌跡、およびその距離)、図6(両者の距離を縦軸に、2分30秒の時間を横軸にプロット)である。これはサウンド1-5のタイプの実験例であり、このように移動するターゲットを目で追い掛ければ、両者の距離はほぼゼロで推移する。しかし耳で聞く実際の実験では、左右方向に比べて上下方向についてはかなり幻惑され、全般的にもっとも成績が良好な「ホワイトノイズ」であっても、ターゲットの移動とともに距離はかなりの誤差として得られた。これは今後の実験3に向けて、2次元定位させる(映像酔いを事前の予測で打ち消す)サウンドの特性の選択と実験条件に重要な示唆を与えるものと考えている。

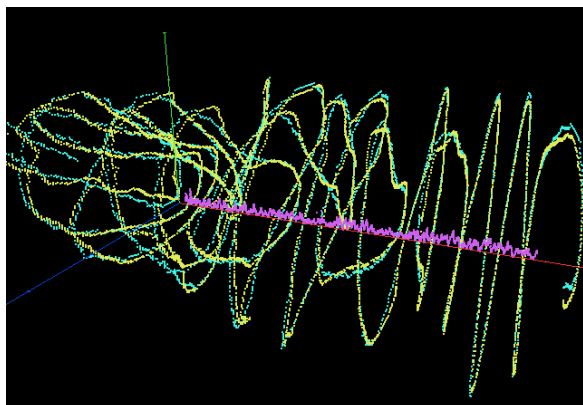


図5 対照実験の軌跡と距離の状況

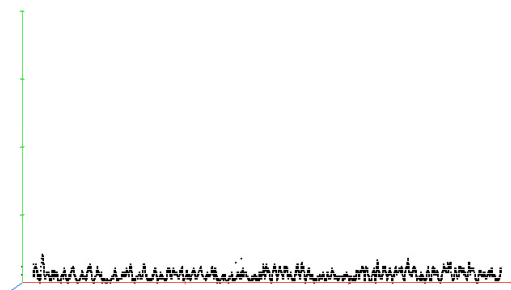
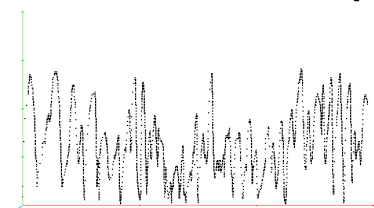


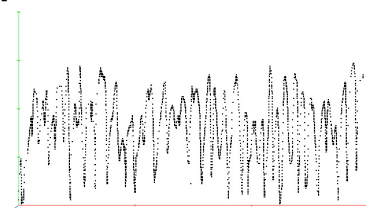
図6 対照実験(図5)の距離の変化

5. おわりに

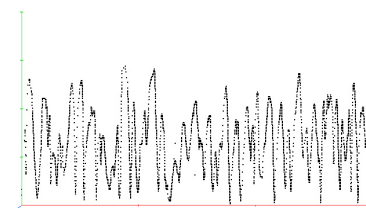
「映像酔い」とサウンドとの関係の心理学実験から寄り道して、心理学実験のためのサウンド素材についての検討に本格的に取り組むこととした。今後、関連した先行研究[9-13]などを検討し



被験者1・サウンド1-5



被験者1・サウンド6-10

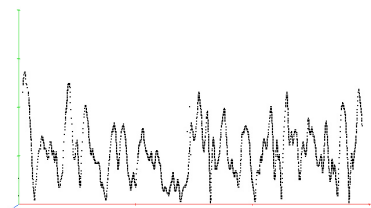
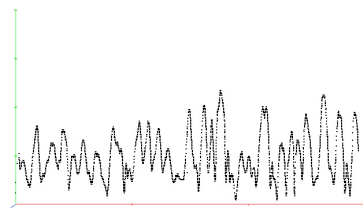
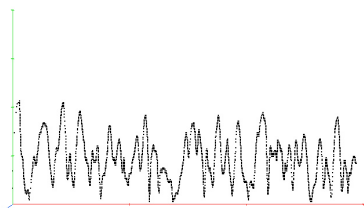
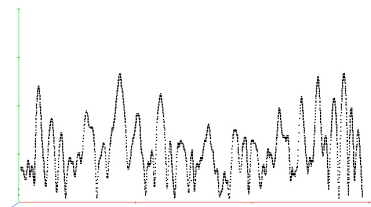
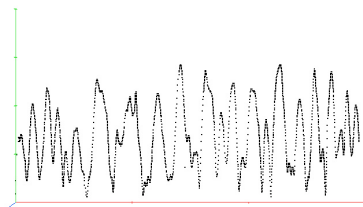
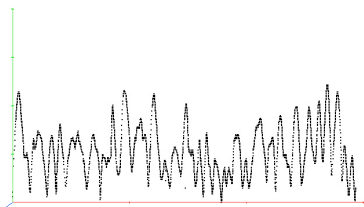
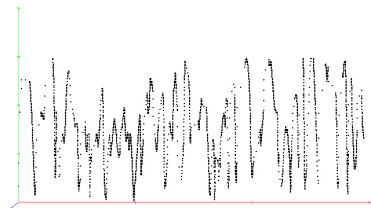
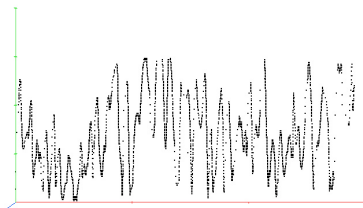
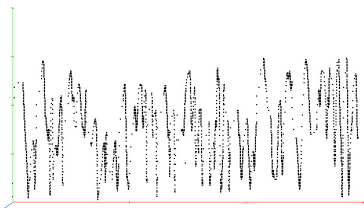
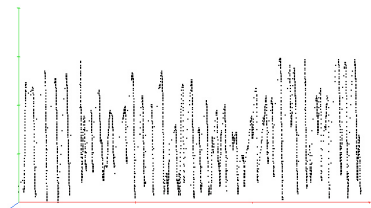
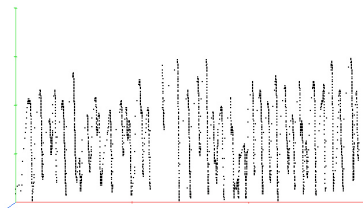
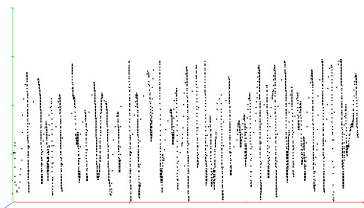
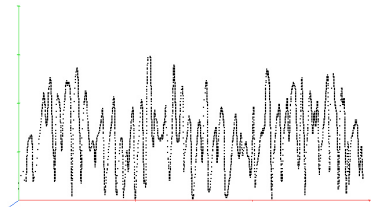
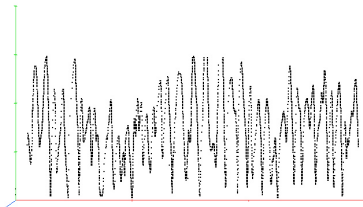
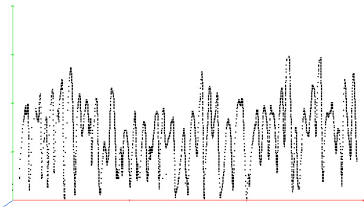
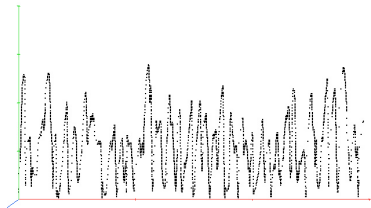
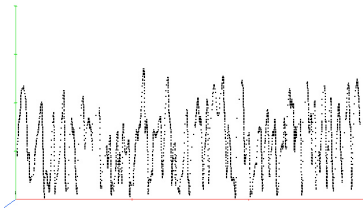
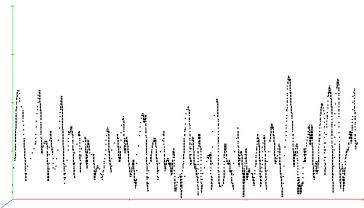
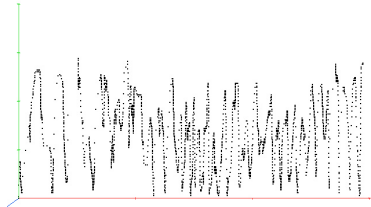
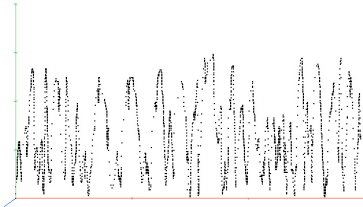
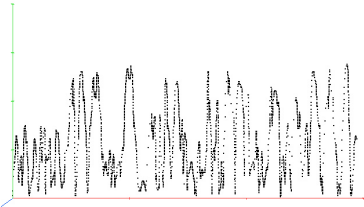
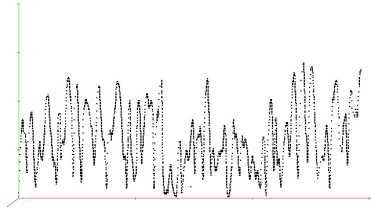
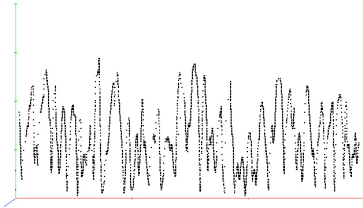
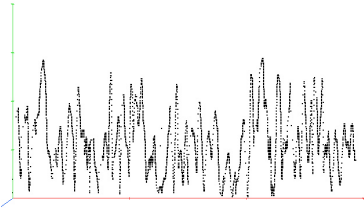


被験者1・サウンド11-15

ながら、多数の被験者を使った実験2を行い、その結果を検討して報告していく予定である。

参考文献/リンク

- [1] 長嶋洋一, サウンドは映像酔いを抑止できるのか, 情報処理学会研究報告 Vol.2006, No.90 (2006-MUS-66), 情報処理学会, 2006.
- [2] 長嶋洋一, サウンドによる映像酔いの抑止にむけて(1), 日本音楽知覚認知学会2006年秋季研究発表会資料, 日本音楽知覚認知学会 / 日本音響学会音楽音響研究会資料 Vol.25, No.6, 日本音響学会, 2006.
- [3] 長嶋洋一, サウンドによる映像酔いの抑止にむけて(2), 情報処理学会研究報告 Vol.2006, No.133 (2006-MUS-68), 情報処理学会, 2006.
- [4] 長嶋洋一, 映像酔いとサウンドによる抑止の検討, 静岡文化芸術大学紀要・第7号2006年, 静岡文化芸術大学, 2007.
- [5] 野村恵里・木竜徹・中村亨弥・飯島淳彦・板東武彦, 生体信号から推定した映像酔いとそのきっかけとなった映像の動きベクトルの特徴, 電子情報通信学会論文誌 D Vol.J89-D No.3, 電子情報通信学会, 2006.
- [6] 日高教孝・森本明宏・奥村友裕・朴丹・荒木祐介・榎井文人・河合敦夫・井須尚紀, 呼吸終末二酸化炭素分圧による動揺病強度推定法を用いた車酔い低減技術の評価, FIT2006第5回情報科学技術フォーラム講演論文集K-057, http://www.ipsj.or.jp/10jigyo/fit/fit2006/fit2006program/pdf/K/K_057.pdf
- [7] <http://1106.suac.net/news2/jikken1/>
- [8] 長嶋洋一, マルチメディア心理学実験において提示するサウンド素材の検討, 日本音楽知覚認知学会2007年春季研究発表会資料, 日本音楽知覚認知学会, 2007.
- [9] 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), 1993.
- [10] 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), 1995.
- [11] 下迫晴加, 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), 2002.
- [12] 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, 1998.
- [13] 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, 2002.



被験者2-9・サウンド1-5

被験者2-9・サウンド6-10

被験者2-9・サウンド11-15

