

第 13 章 脳波パターンによる音響評価の可能性について

13-1. 緒言、目的

前章において乗り心地の評価を検討した、検討対象としたベビーカーの乗り心地を感覚評価によって得ることは困難であったが、ベビーカーの振動環境と抱っこ揺れ方の大きな違い、また、ベビーカーの振動特性と押した際の感覚の間の関係から、乳幼児の移動環境の特性を知ることが可能であった。しかしながら、これは感性にとっては周辺環境でしかなく、実際の知的活動を生理的に測定することによって直接的に感性を測定評価することが可能であると考えられる。そこで、本実験では、感性の働きを評価するための客観的な指標として脳波に注目した。脳波は、脳の神経細胞のシナプスで発生する神経伝達物質の活動に起因する微少な電位変化を測定することによって脳活動を直接計測するものである。脳活動を計測する方法は他にも PET、MRI 等が実用化されているが、装置が大がかりであることと、血流量の計測となるため脳活動の変化を統計的に推定するものである。これに比べて脳波は脳の活動部位よりも活動を比較的リアルタイムに計測する可能性がある。脳波によって感性を測定しようと言う試みは脳波の揺らぎリズムに着目した吉田の一連の研究 1) から注目され、感性スペクトル測定装置として製品化されたものもある。感性スペクトル測定装置 2), 3), 4) では、16 ～ 32 チャンネル程度の大脳の部位を測定し、その揺らぎパターンによって喜・怒/ストレス・哀・楽/リラックスとして表示するものだが、測定に際して多 ch の計測を行う必要があり、頭全体に電極を装着するなど、被験者に一定の負荷を与える。一方、吉田は、大脳前頭葉左右の脳波を利用して、脳の個別活動を総合的に解釈して快不快/興奮鎮静の 2 つの成分のバランスとして感性を測定するシステムを設計した 5)。

本章では、刺激に対する感性の働きを、脳波を通じて解明する方法について基礎的な検討を試みるもので、その対象を立体感の得られる 3 次元音響とした。吉田のシステムを利用するならば、意識の統合領域である前頭葉の脳波から快不快興奮鎮静の指標が得られるが、脳波を処理する過程で α 波の強度と揺らぎに注目するため、 β 波領域および θ 波以下の領域をモニタすることができない。ところが 3 次元音響の場合は、単に快不快ではなく立体的な音場に接したときに解釈という脳活動が生じるのではないかと考えたため吉田のシステムでは不足がある。一方で吉田の試みたシステムである、大脳前頭葉における総合的な評価は統合的意識を対象にすることだけでなく計測の簡便さもあり注目できる。そこで本実験では、 β 波領域の活性についても評価しつつ、出来るだけ簡便に被験者が音楽に自由に接することを許した状態における 3 次元音響の効果について大脳左右前頭葉の脳波パターンから印象を評価しようと試み 6)、そのための脳波の評価方法について検討を加えた。

本実験で扱う多チャンネル（以下、多 ch）オーディオシステムは、片耳に対して複数の音源を用意し、耳介による音場定位感に直接対応する音を聞くことができる。その結果、左右斜め方向のみならず、前後方向および音源の運動についても飛躍的な音場定位感が得られることが

最大の特徴である。本研究では、この音場効果を生理学的な指標によって確認し、感覚/感性評価との関連性について検討することを目的とする。以下、本章は3つの実験から構成する。

- 1) 脳波による印象測定の可能性検討：デザイン品質の違いの脳波による計測 (13-2)
- 2) 予備実験：脳波による立体音響の総合的評価の可能性の確認 (13-3)
- 3) 実験：脳波による立体音響の総合的評価の解釈の方法 (13-4)

13-2 研究の背景としての予備実験 - デザイン品質の違いの計測測定可能性

13-2-1 本物と偽物のデザイン品質の違い「本物とレプリカの椅子の感性的評価」

インターネットが発達し、マルチメディア技術が発達して、今日では多くの製品や芸術作品が、デジタル情報を利用して紹介されている。例えば、WWW（ワールド・ワイド・ウェブ）のフェラーリのホームページでは、発表されたばかりの新車を、動画付きで細かいスペックまで知ることができるし、ルーブル美術館が出している CD-ROM では、レオナルド・ダ・ヴィンチの『モナ・リザ』を鑑賞することができる。

これらは確かに便利だが、そこで目にするのは、本物ではない。本物が持つ空間と偽物が持つ空間では何かが違うのではないだろうか。そこで、本物と偽物の持つ空間の違いに注目し、ある椅子について、本物と偽物というデザイン品質の違いが、人に影響を与えるのか、また人は、その違いを感じているのかを研究した。

13-2-2 実験条件

[実験対象]

デザイン品質は、感性評価によって個人の価値として捉えられる。しかし、個人の価値といっても個人を越えた共通性もある。そこで、まず印象評価の方法として、オリジナル製品とその

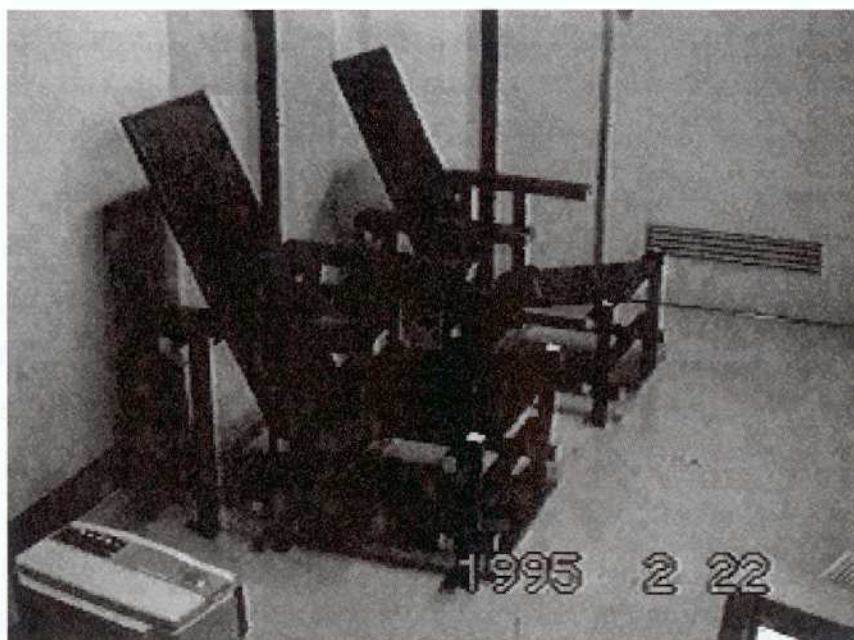


図 13-1 RED and BLUE のホンモノ（手前）とレプリカ（奥）

レプリカというデザイン品質の違いについて、印象の評価を行う。具体的には、本物の椅子とレプリカの椅子を取り上げ、脳波、特に α 波の出現パターンの測定と解析から感性評価の傾向を検討する。

実験対象として、"RED&BLUE" (G.T. リートフェルト, 1917) の本物とレプリカを、一脚ずつ使用した。(図 13-1) 本物の "RED&BLUE" は、イタリアのカッシーナ社製。少々退色しているが、剛性や材質はしっかりしていて、がたつき、目立った痛み等はない。レプリカの "RED&BLUE" は、本物を詳細に計測して制作したもので、本物によく似せて造られているが、本物と並べてみると、微妙な違いがいくつか認められる。まず寸法が本物と微妙に違う。座面の角度が本物の "RED&BLUE" に比べ、より水平に近く、背面がより寝ているため、座るとおしりが前にずれていこうとする。さらに色が違う。本物の "RED&BLUE" が木目をうつすらと見せていて、彩度を少し落とした色なのに対し、レプリカの "RED&BLUE" はマットでビビッドなペンキの色になっている。さらに塗装には筆むらがある。

[評価尺度]

デザイン品質の評価尺度は無限にあるが、本実験の対象は安楽椅子である。この椅子は作者の立場もあり鑑賞品として捉えられる場合もあるが、今回の実験では実用に供した際の感性評価を検討するため座った状態の評価基準が必要である。そこで、リラックス効果を基準として考えた。リラックス感覚は、落ち着いた感覚として表れるため、 α 波の出現と関連が強いのではないかと考えられる。そこで、本実験では主観評価に加えて脳波の変動を生理指標として検討することを試みた。

脳波は脳神経の活動に伴って観測される神経伝達物質の動きに関わる電位変化を記録したものである。通常脳波はランダムな電位強度の時系列変化として観測されるが、これをフーリエ変換して得られたパワースペクトル密度によって、そのスペクトル区分毎の強度を脳の働きと関連づける見方が普及している。特に、 α 波は 8-13Hz の成分であり、その強度は、“心が落ち着いてゆったりした気分”に関連付いていると言われている。そこで、本実験では α 波の強度を椅子に座ったときのリラックスの尺度の生理指標として捉えることとした。

脳波の測定には、サイキックラボ社の“IBVA”をマッキントッシュ上で使った⁷⁾。これは、特に前頭葉における α 波の検出に目的を絞った簡易型の測定器でありながら、十分な精度が得られる。

[被験者]

被験者は、20 歳から 22 歳の学生、男性 5 人女性 4 人、計 9 人、とした。またこの中に、本実験で使用したレプリカの椅子の作者は含まれていない。

[実験環境]

実験環境は、個室、白壁とし、被験者に与える視聴覚的な影響を最小限に留めるように配慮

した。

被験者のまばたきが脳波に影響することと、視覚の刺激が脳波に大きく影響することから、被験者にアイ・マスクを装着した状態で実験を行った。

また、心理環境の制限条件としてヘッドフォンステレオによる、鳥のさえずりなどを含んだ森の環境音楽を被験者に聞かせた。音量は実験を通して一定で、音楽も同じ部分を聞かせた。

予備実験として、実験時間を2分、4分、8分と設定して2人の被験者を対象に行った。その結果、2分では緊張感がとれないためか、 α 波が現れにくい傾向にあった。4分では、比較的大きな α 波の発現が認められた。8分では、4分の時間設定のときと、 α 波の発現状況に大きな違いが認められなかった。この結果をもとに、本実験の実験時間を4分と設定した。

本実験では脳機能の検討よりリラックス感の計測が主目的であるため、前頭葉全体の脳波を計測し、左右脳の違いは検討に含めなかった。

これらの環境用件と実験時間は、本物とレプリカの実験を通じて共通とした。

[実験手順]

- ・実験は一人一人行う。
- ・被験者に実験の主旨と方法の説明をした後、本物とレプリカの椅子を目視によって確認してから実験を開始する。
- ・最初にレプリカの椅子に4分間座ってもらい、その間の脳波を測る。
- ・さらに同じ環境で、被験者に本物の椅子に4分間座ってもらい、その間の脳波を測る。

13-2-3 実験結果

実験の結果、9人の被験者に2つずつの椅子に座ってもらい、計18件の脳波のデータが得られた。実験を通じて、 α 波のレベルは変化し続け平均値も、サンプリングレートによって変動するため、定量的な評価として良いかどうか疑問が残る。そこで、試験中の α 波の最大レベルを代表値と考え、一刺激の4分間に得られた最も電圧が高かった3点の電圧を分析に用いた。

分散分析を行った結果(表13-1)より、本物とレプリカに対する反応は有意差があり、被験者および性別に関しては有意差は見られなかった。

そこで、得られた電位及びサンプルの違いを反映した電位の差を表13-2

分散分析表：個人正規化測定値

	自由度	平方和	平均平方	F値	p値
本物/レプリカ	1	0.9510	0.9510	3.4255	0.0700
被験者	51	14.3079	0.2805		

コンポーネント間の分散の推定値(誤差)：0.0257

分散分析表：個人正規化測定値

	自由度	平方和	平均平方	F値	p値
被験者	8	0.0085	0.0011	0.0031	>0.9999
性別	44	15.2503	0.3458		

コンポーネント間の分散の推定値(誤差)：-

分散分析表：個人正規化測定値

	自由度	平方和	平均平方	F値	p値
性別	1	0.0014	0.0014	0.0047	0.9455
被験者	51	15.2575	0.2994		

コンポーネント間の分散の推定値(誤差)：-

表13-1 α 波部分最大電位(3点)の実験条件/被験者特徴による差

にまとめた。

これによって、以下のことが理解できる。

- ・ 3点とも本物の椅子の方が、脳波の電圧が高い被験者は、9人中4人。
- ・ 3点のうち、2点は本物の方が電圧が高く、1点が同じ被験者が、9人中1人。
- ・ 3点のうち、2点は本物の方が電圧が高く、1点がレプリカの方が電圧が高い被験者が、9人中1人。
- ・ 3点とも、ほとんど電圧が同じ被験者が、9人中1人。これは、1点が同じ電圧で、2点が0.1マイクロボルト高い点と低い点。
- ・ 3点ともレプリカの方が電圧が高い被験者が、9人中2人。

13-2-4 考察

まとめると結果は、本物の"RED&BLUE"によるリラックス効果が9人中6人で、66%、レプリカの"RED&BLUE"によるリラックス効果が9人中2人で、22%。本物とレプリカで違いが見られない人が9人中1人で11%、となった。

この結果より、本研究で用いた"RED&BLUE"の椅子において、本物の椅子の方が、この実験に用いたレプリカの椅子よりも、リラックスする人が多かったと言えよう。但し、本実験で用いた本物の椅子の完成度とレプリ

カの椅子の完成度の差が歴然として
いることから、本実験の結果が一般
概念として「本物」と「レプリカ」
の違いを表すものではない。しかし
ながら、所定の目的に対する造りの
良さと悪さを脳波によって検証する
ことは可能であるという見解を得る
ことができた。

以上、本実験では脳波の定量化の
困難さと同時に、内観的評価を得る
ための可能性を確認できた。

被験者			電位および電位差 (μV)				α波が強く 出たイス	
	性別	年齢		最大波	2番目波	3番目波		電位差平均
1	F	21	本物	6.4	6.3	5.6	1.03	本物
			レプリカ	5.6	4.8	4.8		
			電位差	0.8	1.5	0.8		
2	F	20	本物	2.8	2.8	2.8	0.10	本物
			レプリカ	3.0	2.6	2.5		
			電位差	-0.2	0.2	0.3		
3	M	20	本物	5.6	5.5	5.1	0.43	本物
			レプリカ	5.4	5.0	4.5		
			電位差	0.2	0.5	0.6		
4	M	20	本物	3.2	3.1	3.0	-1.30	レプリカ
			レプリカ	5.3	4.0	3.9		
			電位差	-2.1	-0.9	-0.9		
5	F	20	本物	3.6	3.2	3.2	0.30	本物
			レプリカ	3.6	2.8	2.7		
			電位差	0.0	0.4	0.5		
6	M	21	本物	3.3	3.2	3.0	0.00	同じ
			レプリカ	3.4	3.2	2.9		
			電位差	-0.1	0.0	0.1		
7	M	22	本物	5.7	5.3	5.2	0.50	本物
			レプリカ	5.2	4.8	4.7		
			電位差	0.5	0.5	0.5		
8	M	21	本物	3.5	3.3	3.0	-0.33	レプリカ
			レプリカ	4.2	3.4	3.2		
			電位差	-0.7	-0.1	-0.2		
9	F	20	本物	5.7	5.7	4.7	2.27	本物
			レプリカ	3.5	3.5	3.3		
			電位差	2.2	2.2	2.4		

表 13-2 α波成分の最大電位 (3点) の測定値と電位差

13-3 予備実験

13-3-1 実験計画

音響効果の生理指標として、左右前頭葉の脳波を計測する。また、音響効果によって誘発される身体運動の計測を意図して音源試聴時の手の動きを考慮した。実験時にマウスを握ってもらい、マウスの動きをトラッキングすることによって音響効果に伴う身体活動の変化が観察できるのではないかと考え、被験者の手元の動きと表情をビデオカメラによって記録した。

さらに、主観指標として音源のチャンネル数の違いを2種類の音源を試聴した後に質問紙による感性比較評価法（4段階評価法）による評価を行った。

(1) 機材

音源系

多ch オーディオシステムヘッドフォン

多ch オーディオシステム CD/ アンプ

多ch → 2ch x 3 ミキシングシステム

身体活動系

A4 タブレット及びマウス (WACOM INTUOS2 i-920)

デジタルビデオレコーダー (SONY)

記録系

デジタルビデオカメラ (SONY) x 2 台

脳波記録

IBVA (ワイヤレス脳波記録装置)

(2) 音源

多ch システム用に調整された各種音源について試聴した結果、2ch の音源を多ch に変換したものは多ch の効果が比較的弱いと感じられた。一方、実際に多ch システムで記録されたものは、特に空間感覚を感じられた。そこで、実験では多ch 録音された音源を、多ch のまま試聴するパターンと片耳分の3ch を合成して2ch にして試聴するパターンを連続して行い、比較することにした。また、音源の種類として、自然な音楽として Driving X、立体感がわかりやすく、かつ恐怖感などの感情が生じにくいと思

図 13-2 被験者による試聴実験



われた立体音響のテスト（データ名:sw-F&R）を用いた。

試聴時間は 30 秒とし、同一音源異チャンネル数のものも同じデータを試聴した。

試聴順は 2ch -> 多 ch と、多 ch -> 2ch を混ぜて行った。

(3) 被験者

被験者は、子供を含む男女とした。

子供：5-7 歳（男児 2，女児 2）

大学生：20-22 歳（男子 3 名，女子 1 名）

大人：30 台～ 40 台（男 2，女 1）

(4) 計測方法

一連の実験手順の説明後、多 ch ヘッドフォンを装着して実験を開始する。

(4-1) 脳波

ヘッドフォンを装着前に、前頭部左右に電極を付けたヘッドバンドを装着する（写真 1）。計測された脳波は、無線で記録用コンピュータへ送られ、記録 / 解析ソフトウェアによって FFT 変換が行われる（写真 2）。その結果、いわゆる脳波の周波数区分に対応した出力レベルの時系列変動が得られた。

(4-2) 感性比較評価

同一種類の音源の 2ch に加工した音と多 ch 原音を試聴した後、質問紙による 4 段階評価を行った。評価項目は以下の 6 項目である。

Q1「遠近感を感じる」

Q2「びっくりする」

Q3「きもちわるい」

Q4「奥行きを感じる」

Q5「ドキドキする」

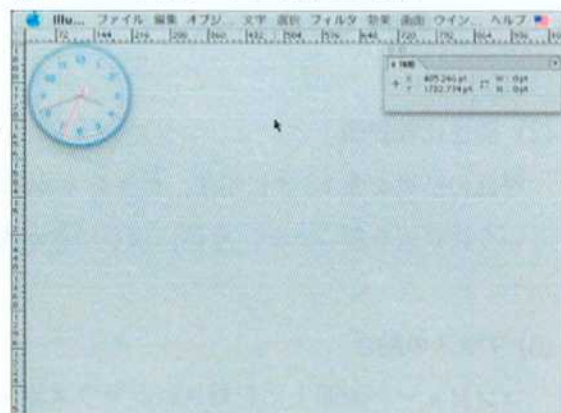
Q6「中にいるような感じがする」

なお、子供は質問の意味の解釈を充分に行うことが出来ないため、実験者が説明を行いながら聞き取る形で評価回答を得た。

(4-3) 身体反応

立体音響の効果は身体による非随意的な活動や、立体感 / 遠近感の混乱として現れると予測される。今回は前者の非随意的な活動に

図 13-3 マウスカーソルの動きを記録



着目し、簡便な計測方法として「軽く握ったマウスが思わず動いてしまう」現象を捉えようと試みた。そこで、マウス操作を表すコンピュータ画面をビデオレコーダーによって記録し動きを評価した。(図 13-3)

13-3-2 予備実験結果

(1) 脳波スペクトル

今回の実験では、測定条件の問題から、被験者 1-5 のデータにノイズが混入してしまい、10Hz, 30Hz に過大な入力検出されてしまった。これは電圧変動のような固定周波数の外部ノイズの影響と考えられ、被験者 6 以降では対策を講じたため影響を抑えている。そのため、被験者 1-5 のデータは参考データとした。図 13-4 ～ 13-5 はそれぞれ被験者 6, 8, 9, 10, 11 の脳波スペクトルグラムである。このグラフから、以下のようなことが言える。

- ・全体に、右脳側の活性が認められることは、聴覚の解釈が右脳中心に行われている事を表している。
- ・また β 波の高周波側が比較的安定していることから、落ち着いて試聴していることが窺える。
- ・聴き始めてから数秒とその後では脳波の活性度が異なる。
- ・2ch 音源を試聴したときの方が β 波の活性度が高い被験者と逆の被験者がある。この違いは、「聞き入っている」という状態と「聞き定めようとしている」状態の違いであろう。2ch と多 ch の試聴順序と β 波の活性度の関係にも注目すべきであろう。
- ・被験者 6, 8, 10 では、Drive X の試聴では眼球運動が比較的緩やかで、sw-F&R ではやや活性化している。一方、被験者 9, 11 では sw-F&R のやや活性度が高い。被験者 9, 10 は多 ch 音から先に試聴しているが、試聴する音源の順序は同一である。
- ・SW-F&R では、試聴の途中で眼球運動が活性化している。被験者によっては β 波も顕著に活性化している。これは、この音源が「後ろから前へ移動して、その後左へ回る」というもので、横方向の動きが生じた時に活性化していると考えられる。
- ・一般に、子供の脳波の特徴として大人では眼球運動と考えられる周波数帯に δ 波が強く検出されることが明らかになっている。図 13-9 は、子供(7歳男児, 4歳男児)のもの(Driving X)だが、この傾向が顕著である。このため、子供の脳波測定記録は大人のものとは別に考察する必要がある。

(2) 感性比較評価

評価の結果を表 13-3 に示す。チャンネル数のみを変えた 2 種類の音源を試聴して回答するという比較法を用いたが、全体にばらつきが大きい印象である。

(3) マウスの動き

コンピュータ画面上に記録されたマウスカーソルの動きをビデオに記録し、音源毎の動きを

図13-4 被験者6の脳波スペクトル：横軸が周波数区分で、0-2Hzが眼球運動に追従した反応。

3-7Hzが θ 波、8-12Hzが α 波（スペクトル頂部がグレー）、13-20Hzが β 低周波域、21-30Hzが β 高周波域
縦軸は周波数区分毎の強度

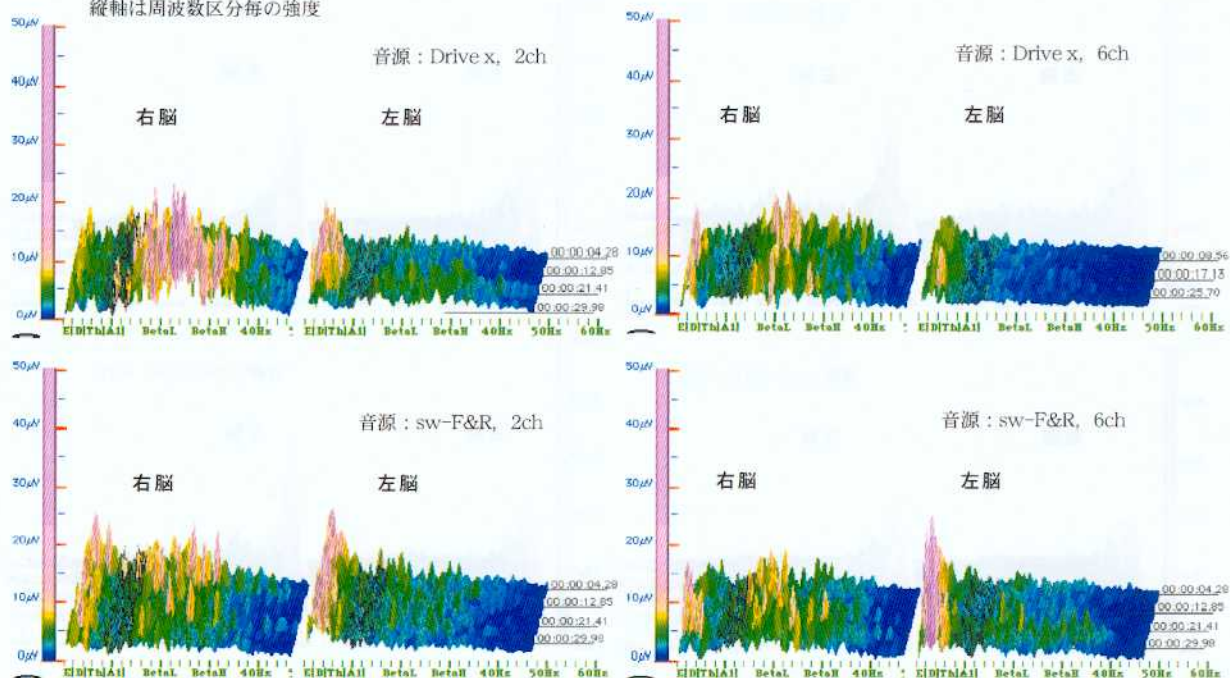


図 13-5 被験者8の脳波スペクトル：縦軸は周波数区分毎の強度、横軸が周波数区分で、0-2Hzが眼球運動に追従した反応。

3-7Hzが θ 波、8-12Hzが α 波（スペクトル頂部がグレー）、13-20Hzが β 低周波域、21-30Hzが β 高周波域

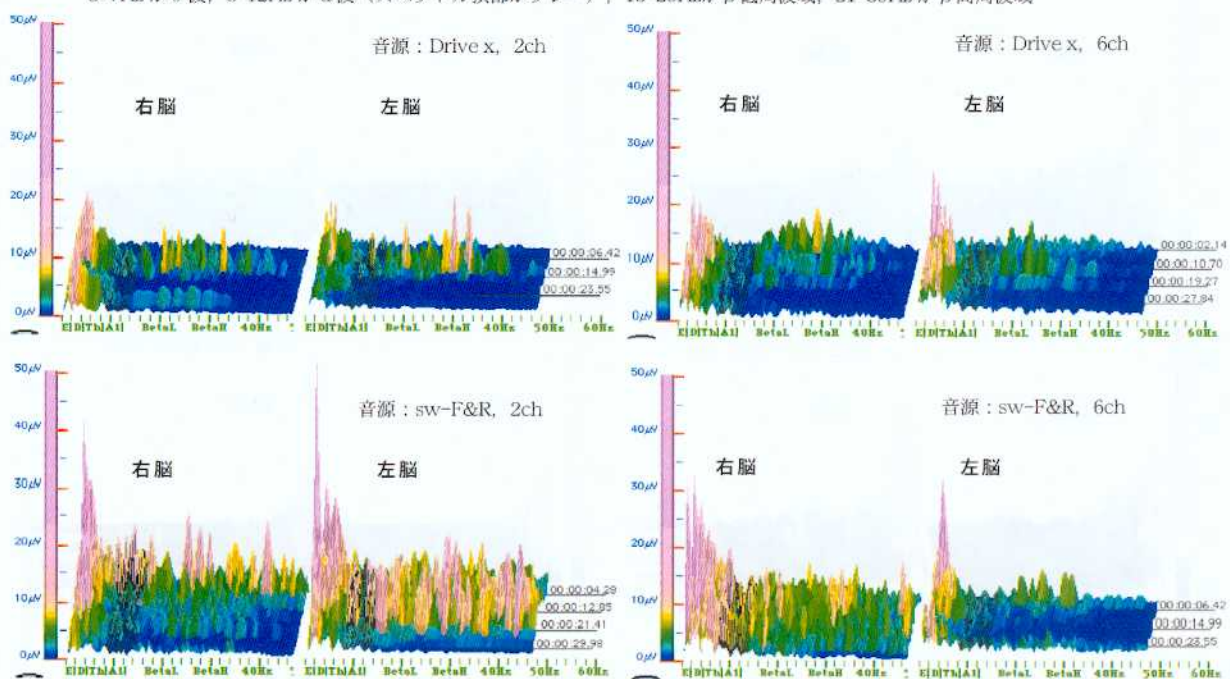


図13-6 被験者9の脳波スペクトル：縦軸は周波数区分毎の強度，横軸が周波数区分で，0-2Hzが眼球運動に追従した反応，3-7Hzが θ 波，8-12Hzが α 波（スペクトル頂部がグレー），13-20Hzが β 低周波域，21-30Hzが β 高周波域

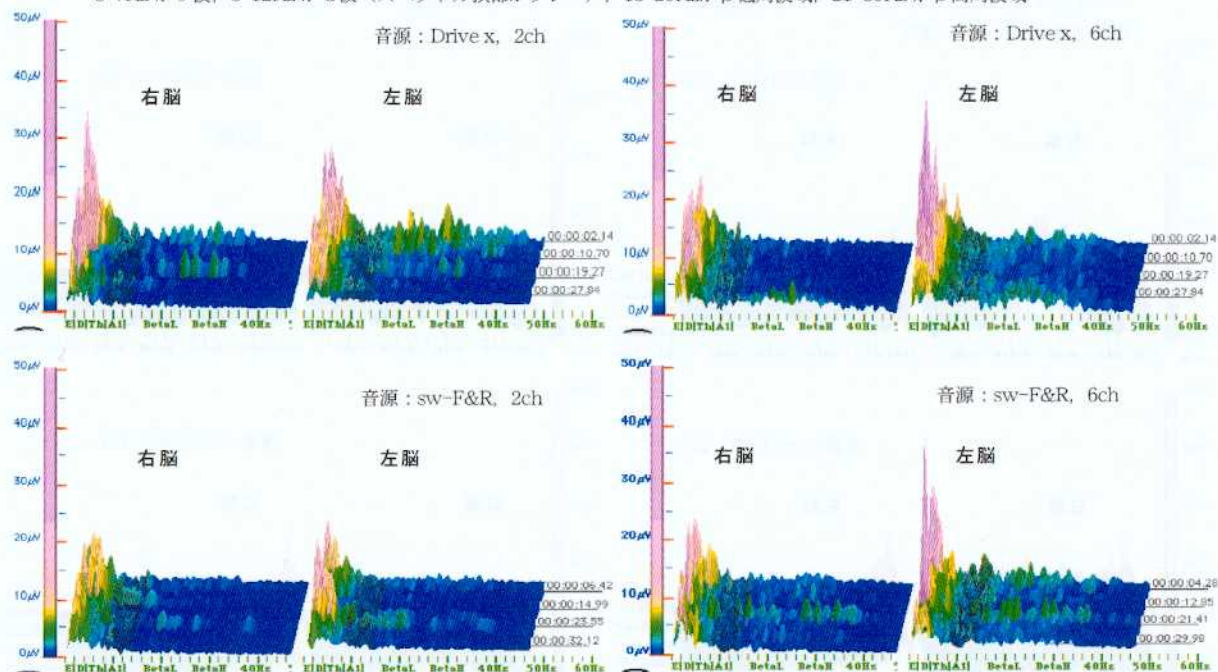


図13-7 被験者10の脳波スペクトル：縦軸は周波数区分毎の強度，横軸が周波数区分で，0-2Hzが眼球運動に追従した反応，3-7Hzが θ 波，8-12Hzが α 波（スペクトル頂部がグレー），13-20Hzが β 低周波域，21-30Hzが β 高周波域

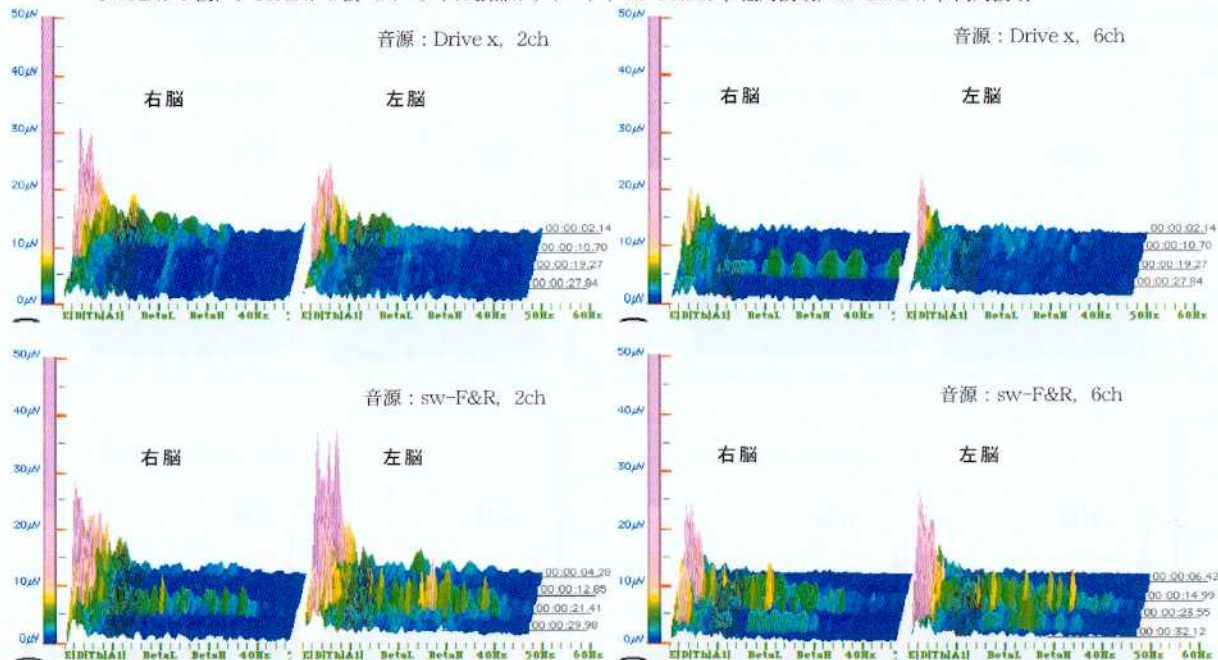


図13-8 被験者11の脳波スペクトル：縦軸は周波数区分毎の強度、横軸が周波数区分で、0-2Hzが眼球運動に追従した反応、3-7Hzが θ 波、8-12Hzが α 波（スペクトル頂部がグレー）、13-20Hzが β 低周波域、21-30Hzが β 高周波域

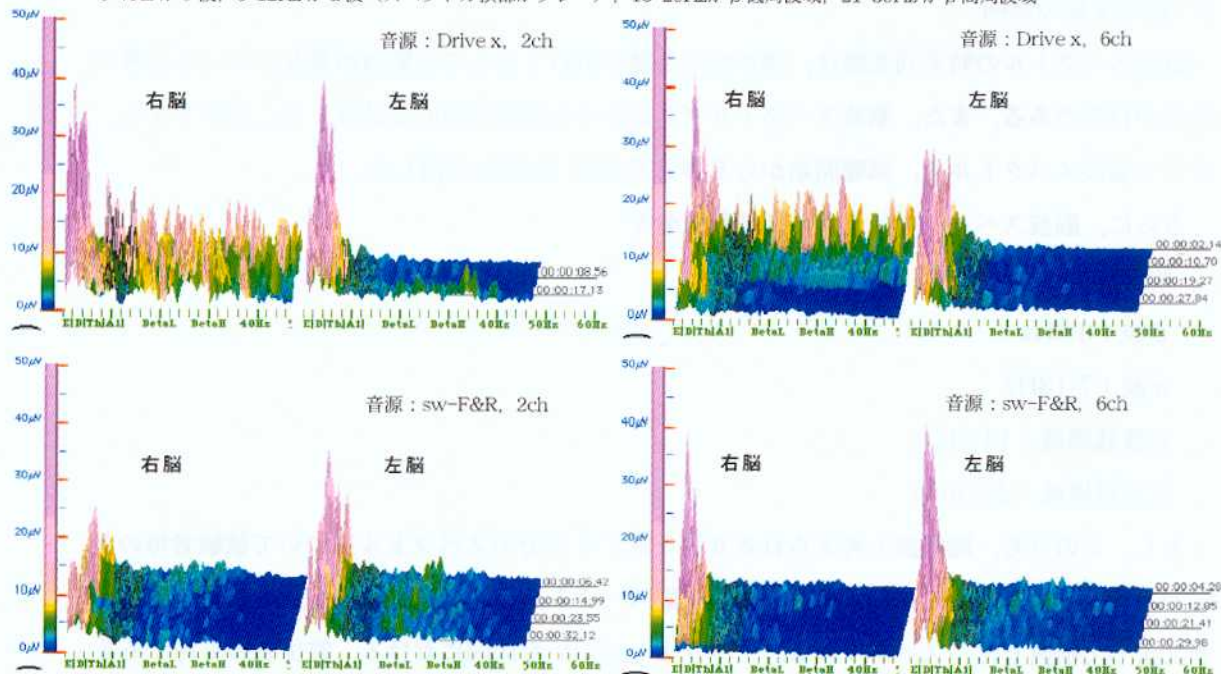
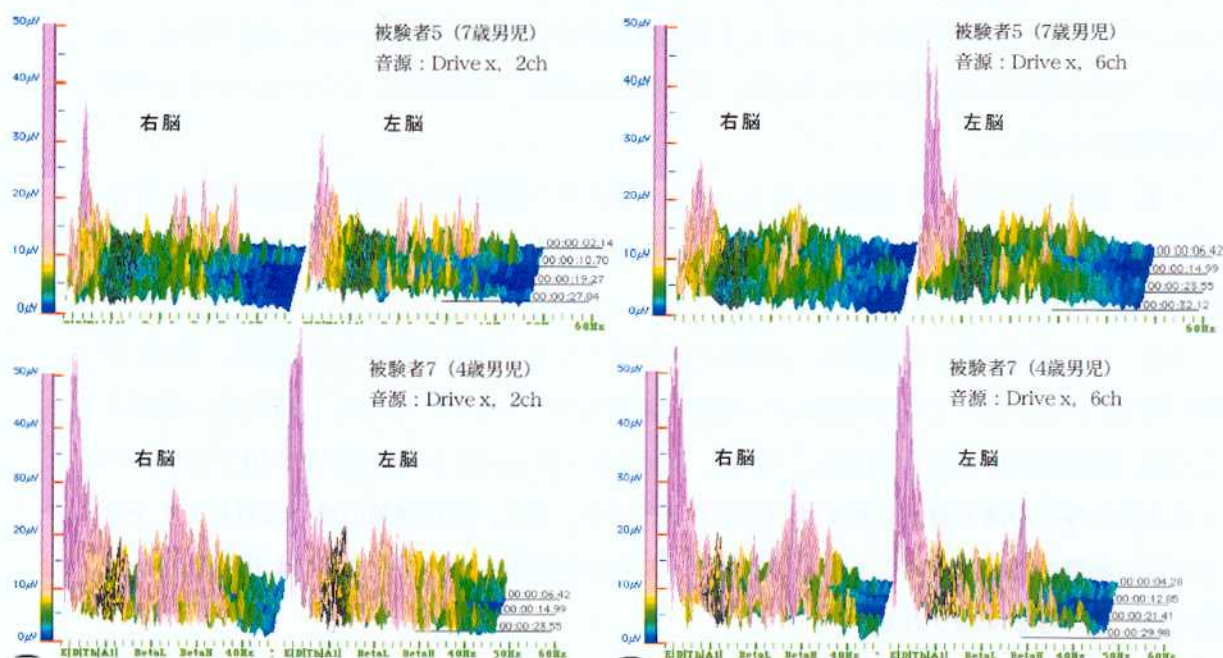


図13-9 被験者7の脳波スペクトル：縦軸は周波数区分毎の強度、横軸が周波数区分で、0-2Hzが眼球運動に追従した反応、3-7Hzが θ 波、8-12Hzが α 波（スペクトル頂部がグレー）、13-20Hzが β 低周波域、21-30Hzが β 高周波域



評価し、以下のような傾向が見られた。

- ・大人は全く動かない。
- ・子供は、全く動かないか、あきらかに無駄な動きをする。

13-3-3 分析

(1) 脳波変動の傾向

脳波スペクトルの時系列変動は、聴き始めと聴き慣れてからでは傾向が異なっていると考えの方が自然である。また、脳波スペクトルグラムからも同様の傾向を読みとることができる。そこで脳波スペクトルを、試聴開始から6秒とその後18秒に分割した。

さらに、脳波スペクトルに現れる周波数区分を

眼球運動：0-3Hz

θ 波：3-6Hz

α 波：7-13Hz

β 波低周波：14-20Hz

β 波高周波：21-30Hz

とし、このうち、睡眠波と考えられる θ 波を除く4区分のスペクトルについて被験者毎の差に対するチャンネル数、右脳スペクトルと左脳スペクトル、試聴音の3要因の影響を分散分析によって検討した。スペクトルは、データとして用いた区間における、電位値の平均である。

表13-4（開始～6秒）、13-5（開始6秒～24秒）を見ると、全体にp値が低く、チャンネル数による差、右脳の反応と左脳の反応、音源による差が弱いことがわかる。すなわち、ここで条件として用いた3項目以外の条件および個人差の影響が強いことが窺われる。その中で強いて言うならば、眼球運動はチャンネルとの関連性がややあるのではないかと考えられる。 α 波は、全体の中では比較的チャンネル数、活性化される脳、音源に対してややセンシティブである傾向がみえる。

一方、周波数が高くなり β 波になると、チャンネル数の影響よりも右脳/左脳の区別、すなわち、むしろ活性化する脳との関連性が深い。すなわち、 β 波は脳部位との関係性で活性化されているのではないかと考えられる。

一方、チャンネル数との関係は、図13-4～13-9のスペクトルグラムを見る限り、多ch音源の場合、特に β 波などの高周波成分が明瞭に減衰しているように見える。分散分析の結果としては、聴き始め6秒間の平均値について、チャンネル数と α 波との関係が強く出ており、チャンネル数の多さが落ち着きを増す傾向があると言える。また、眼球運動の違いに対してチャンネル数の影響が評価されることから、多chシステムを試聴した際に被験者がより明瞭に立体感を感じていると推測される。

(2) 感性比較評価による音源特性の比較

質問紙による感性比較評価の結果について、そもそも評価対象が音であったため被験者の回

答の信頼性が低いと思われた。そこで、尺度をさらに単純化して、2回試聴した音の差を感じられたかどうかの判断に変数合成を行い、その結果を評価項目毎に Fisher の Exact Test によ

質問：今の音は前に聞いた音に比べてどのように感じましたか？

尺度 1=まったくそう思わない
2=あまりそう思わない

3=ややそう思う
4=とてもそう思う

DriveX

被験者	試聴順	Q1 遠近感を 感じる	Q2 びっくり する	Q3 きもちわ るい	Q4 奥行きを 感じる	Q5 ドキドキ する	Q6 ような感 じがする
1 大人 M	2ch-多ch	3	2	2	3	2	2
2 子供 F	2ch-多ch	2	2	2	2	2	2
3 大人 M	多ch-2ch	2	1	2	1	2	1
4 子供 F	多ch-2ch	4	1	1	4	1	2
5 子供 M	2ch-多ch	3	1	2	2	1	1
6 大人 F	2ch-多ch	3	2	1	3	2	3
7 子供 M	2ch-多ch	1	1	1	1	1	1
8 学生 M	2ch-多ch	2	3	2	2	3	2
9 学生 M	多ch-2ch	1	1	1	1	1	1
10 学生 M	2ch-多ch	4	4	4	4	3	2
11 学生 F	多ch-2ch	4	3	3	4	3	3

sw-F&R

被験者	試聴順	Q1 遠近感を 感じる	Q2 びっくり する	Q3 きもちわ るい	Q4 奥行きを 感じる	Q5 ドキドキ する	Q6 ような感 じがする
1 大人 M	2ch-多ch	2	1	1	2	1	2
2 子供 F	2ch-多ch	2	2	2	2	2	2
3 大人 M	多ch-2ch	2	2	1	2	1	2
4 子供 F	多ch-2ch	4	1	1	3	1	1
5 子供 M	2ch-多ch	2	2	1	1	1	1
6 大人 F	2ch-多ch	3	3	2	3	2	4
7 子供 M	2ch-多ch	3	1	1	1	1	1
8 学生 M	2ch-多ch	3	3	4	3	4	3
9 学生 M	多ch-2ch	3	3	1	3	2	2
10 学生 M	2ch-多ch	2	2	3	2	3	3
11 学生 F	多ch-2ch	3	4	4	3	3	3

表 13-3 質問紙法による音源の感性比較評価データ

有意水準 ●● 約95%以上 ● 90%以上, ● 75%以上

眼球運動

	自由度	平方和	平均平方	F値	p値	ラムダ	検出力
Channel	1	88.58	88.58	1.64	0.2056●	1.64	0.23
L/R	1	11.17	11.17	0.21	0.6509	0.21	0.07
source	1	2.56	2.56	0.05	0.8284	0.05	0.06
残差	52	2803.60	53.92				

α波

	自由度	平方和	平均平方	F値	p値	ラムダ	検出力
Channel	1	32.53	32.53	2.45	0.1239●	2.45	0.32
L/R	1	30.02	30.02	2.26	0.1391●	2.26	0.30
source	1	14.89	14.89	1.12	0.2948	1.12	0.17
残差	52	691.58	13.30				

β低周波

	自由度	平方和	平均平方	F値	p値	ラムダ	検出力
Channel	1	5.38	5.38	0.33	0.5673	0.33	0.09
L/R	1	47.20	47.20	2.91	0.0940●	2.91	0.37
source	1	7.34	7.34	0.45	0.5041	0.45	0.10
残差	52	843.18	16.22				

β高周波

	自由度	平方和	平均平方	F値	p値	ラムダ	検出力
Channel	1	3.84	3.84	0.25	0.6223	0.25	0.08
L/R	1	73.49	73.49	4.70	0.0349●●	4.70	0.56
source	1	31.91	31.91	2.04	0.1593●	2.04	0.27
残差	52	813.88	15.65				

表 13-4 聴き始め 6 秒の脳波区分毎の平均値に対してチャンネル数、右脳/左脳、音源の影響を確認する分散分析結果

眼球運動

	自由度	平方和	平均平方	F値	p値	ラムダ	検出力
Channel	1	27.09	27.09	0.53	0.4715	0.53	0.11
L/R	1	16.51	16.51	0.32	0.5736	0.32	0.08
source	1	0.10	0.10	0.00	0.9659	0.00	0.05
残差	52	2677.64	51.49				

α波

	自由度	平方和	平均平方	F値	p値	ラムダ	検出力
Channel	1	15.06	15.06	0.54	0.4643	0.54	0.11
L/R	1	19.83	19.83	0.72	0.4015	0.72	0.13
source	1	30.93	30.93	1.12	0.2956	1.12	0.17
残差	52	1440.82	27.71				

β低周波

	自由度	平方和	平均平方	F値	p値	ラムダ	検出力
Channel	1	0.06	0.06	0.00	0.9630	0.00	0.05
L/R	1	52.28	52.28	2.03	0.1600●	2.03	0.27
source	1	14.19	14.19	0.55	0.4611	0.55	0.11
残差	52	1338.34	25.74				

β高周波

	自由度	平方和	平均平方	F値	p値	ラムダ	検出力
Channel	1	13.05	13.05	0.66	0.4191	0.66	0.12
L/R	1	65.38	65.38	3.32	0.0740●	3.32	0.42
source	1	31.22	31.22	1.59	0.2134●	1.59	0.22
残差	52	1022.76	19.67				

表 13-5 7 秒以後の脳波区分毎の平均値に対してチャンネル数、右脳/左脳、音源の影響を確認する分散分析結果

てその差の有意性を検定した。ここでは、2ch → 多 ch の順番で試聴した被験者と 多 ch → 2Ch で試聴した被験者がいるため、以下の2セットに分けて行った。

1. チャンネルの差に対する評価として、多 ch → 2ch の被験者の数値を反転したセット
2. チャンネルの差よりも試聴順の方が判断に対して有意であるという仮説を元に、試聴音のチャンネル数に依存する回答修正を行わなかったセット

結果を表 13-6 に表すが、いずれのセットにおいても N が小さいため目立って有意な結果は得られなかった。

しかし、被験者の回答は、少なくとも試聴順による影響よりもチャンネル数による影響をやや大きく受けているようである。とはいえ、「中にいるような感じ」の項目はチャンネル数に比較的対応する評価項目であると思われるが、Drive X と sw-F&R では「中にいるような感じがする」と「しない」と反対の評価になって現れた。音源の特徴を考えると、DriveX は音楽であり聴取者の周りで音が鳴っている感覚を与えるように録音されている。一方、sw-F&R は、声を上げながら人が聴取者の周りを歩くものであり、そもそも、「中にいる感じ」よりも、「他人を観察している感じ」といいういわば客観的な感覚を強く感じるものである。この評価の逆転はこうしたサンプル音源の特性にも依存していると考えるのが適当であろう。

さらに、「遠近感」、「奥行き」の2項目について、Drive X で被験者の回答がこれらを感じない方向に傾いたのも、パーやライブでの演奏ではないので、演奏されている音楽に対して遠近感や奥行きを感じる方が不自然なのではなかろうか。すなわち、この2項目によっても、多 ch システムはよりナチュラルな体験を与える可能性に満ちていると考えるべきであろう。

また、びっくりする、きもちわるい、のややネガティブな評価については、全く有意性がないため少なくともリアルすぎて評価が下がるということはないことが分かった。ドキドキするについても同様である。

(3) マウスの動き

マウスの動きは計画通りの答えが出てこなかったため他の手段を検討する必要がある。

13-3-4 予備実験のまとめ

予備実験の結果以下の点が明らかになった。

表 13-6 質問紙による感性比較評価。評価の安定性、信頼性を考慮して、大人の回答だけを集計し、fisher の Exact Test によって有意性を検討した。

子供を除く全被験者に対する質問		Fisher's Exact Test 両側検定			
質問 2ch に対して 多ch は差があると思いましたが？				N=7	
DriveX 大人		ある	ない		
Q1 遠近感を感じる	2	5	p=0.4531	n.s.	
Q2 びっくりする	3	4	p=0.99	n.s.	
Q3 きもちわるい	4	3	p=0.99	n.s.	
Q4 奥行きを感じる	2	5	p=0.4531	n.s.	
Q5 ドキドキする	3	4	p=0.99	n.s.	
Q6 中にいるような感じがする	5	2	p=0.4531	n.s.	

sw-F&R 大人		ある	ない		
Q1 遠近感を感じる	4	3	p=0.99	n.s.	
Q2 びっくりする	4	3	p=0.99	n.s.	
Q3 きもちわるい	3	4	p=0.99	n.s.	
Q4 奥行きを感じる	4	3	p=0.99	n.s.	
Q5 ドキドキする	3	4	p=0.99	n.s.	
Q6 中にいるような感じがする	2	5	p=0.4531	n.s.	

質問 先に聞いた音に対して後の音は差がありま		N=7			
DriveX 大人		ある	ない		
Q1 遠近感を感じる	3	4	p=0.9999	n.s.	
Q2 びっくりする	4	3	p=0.9999	n.s.	
Q3 きもちわるい	5	2	p=0.4531	n.s.	
Q4 奥行きを感じる	3	4	p=0.9999	n.s.	
Q5 ドキドキする	4	3	p=0.9999	n.s.	
Q6 中にいるような感じがする	5	2	p=0.4531	n.s.	

sw-F&R 大人		ある	ない		
Q1 遠近感を感じる	3	4	p=0.9999	n.s.	
Q2 びっくりする	3	4	p=0.9999	n.s.	
Q3 きもちわるい	4	3	p=0.9999	n.s.	
Q4 奥行きを感じる	3	4	p=0.9999	n.s.	
Q5 ドキドキする	4	3	p=0.9999	n.s.	
Q6 中にいるような感じがする	3	4	p=0.9999	n.s.	

- ・ 眼球運動が立体感の指標としての可能性を持っている
- ・ 多 ch のヘッドホンシステムそのものの効果が音のチャンネル数の差を上回っているのではないか。
- ・ 音源の種類によって、質問紙による感性評価の結果は異なる
- ・ 音刺激に対して右脳の反応が明確である。特に β 波領域（思考、評価などの働き）について右脳の働きが顕著である
- ・ 多 ch の効果は、 α 波の増大よりも β 波の不活性化（落ち着く）に効果がありそうだが、音源そのものの持っている特徴をよりの確に伝えるため、伝わる感情や脳波の変化は音源の特性に依存する。

これらの結果をまとめ、本実験の指針を以下のように設定する。

- ・ ヘッドホンシステムそのものの良さを確認するため、多 ch ヘッドホン、2ch ヘッドホン、スピーカー（2ch）を使用する。ただし条件をそろえるためサブウーファーを用いない
- ・ 脳波は個人差が大きいため、被験者内の差を検討できるように一人の被験者が繰り返し同じ音源を聞く設定にする。ただし音場感覚の違いも考慮する
- ・ 環境音の効果を低減するため防音室で行う。
- ・ 立体感をマウスの動きに反映させることは難しいため、身体揺動を同時に測定することを行わない。
- ・ 子供の脳波と大人の脳波は特性が異なっていて一律の比較が困難であった。そのため、性差は残すとしても、被験者の年齢を制限すべきである。また、開眼での脳波測定では視覚の効果がノイズ成分になってしまうため、極力聴覚に集中した測定が望ましい。
- ・ 脳波の測定に注意し、感性評価の質問項目をさらに検討する。

13-4 本実験

13-4-1 実験手順

予備実験の結果をもとに、以下のような計画で実験を行った。

(1) 被験者および試験室属性

19-26 歳の男女 10 名（男 6 名，女 4 名，平均年齢 21.6 歳）とした。

防音室内でアイマスクを着用して試聴した。

(2) 音源

サンプル音源：riris（オーボエソロ付きの弦楽合奏）

A: 客席での音（1 分 23 秒）

B: 指揮者の後ろ 1 m での音（1 分 26 秒）

それぞれ，多 ch 用のトラック（1-6），ステレオスピーカー用トラック（7,8）を持つ。

(3) 装置

FOSTEX VR800HD DIGITAL MULTITRACK RECORDER

サンプル音の出力装置を，2ch ステレオヘッドフォン（開放型），多 ch 立体音響ヘッドフォン，2ch ステレオスピーカー とした。

[音源系]

- ・ 多 ch オーディオヘッドフォン
- ・ 2ch オーディオヘッドフォン（Audio Technica）
- ・ 2ch スタジオモニタースピーカーシステム（SMS-1P POWERED MONITOR SPEAKER SYSTEM (SONY)）
- ・ 多 ch オーディオシステム / アンプ（VC8 ADAT/ANALOG CONVERTER (FOSTEX), 多 ch Amprefire(Mitsubishi)）
- ・ 多 ch -> 2ch x 3 ミキシングシステム (VICTOR UX-51 game selector (VICTOR), GAS-301 game & av selector (TAPEX), A-924(N) Hi-Fi amplifier

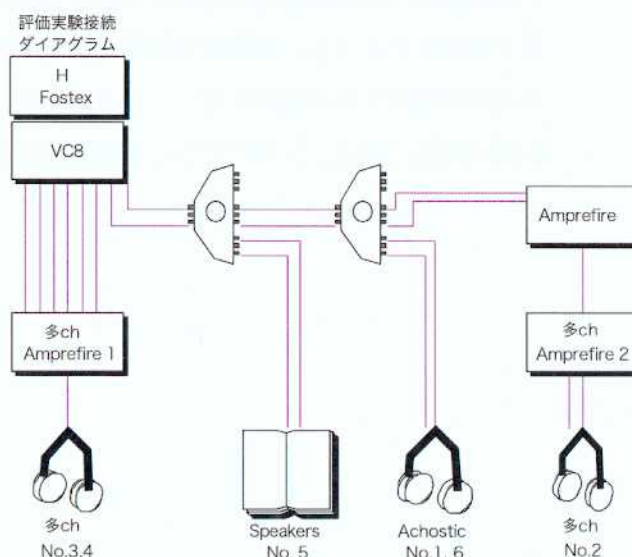


図 13-10. 接続図

表 13-7. 機材接続図

	名称	装置	音源		
			種類	試聴channel	録音条件
1	2chHead-1	2chヘッドフォン	Riris-A	2ch (7,8)	客席
2	多ch->2ch	多chヘッドフォン	Riris-A	2ch (7,8)	客席
3	多ch 客席	多chヘッドフォン	Riris-A	多ch (1-6)	客席
4	多ch 最前列	多chヘッドフォン	Riris-	多ch (1-6)	指揮者直後
5	2chスピーカ	2chスピーカ	Riris-A	2ch (7,8)	客席
6	2chHead-2	2chヘッドフォン	Riris-A	2ch (7,8)	客席

(ONKYO))

[行動記録系]

- ・ デジタルビデオカメラ (SONY DCR-TRV9 DIGITAL VIDEO CAMERA RECORDER) x 2 台

[脳波記録]

- ・ IBVA (ワイヤレス脳波記録装置)

装置の接続を図 13-10 に示す。

これらと音源を組み合わせる表 13-7 のパターンを設定した。

(2) 感性評価

ここでは、表 13-8 に示す 22 の SD 対を用いて 5 段階の感性評価測定を行った。評価は、質問紙を用い、サンプル音と音源の組み合わせを 1 組試聴するごとに被験者自身によって行った。また、6 回の試聴の後、すべてのサンプル音の総合評価を順位評価法によって行った。

13-4-2 実験結果

13-4-2-1 質問紙による順位評価の結果

6 種の音源についての順位評価の結果を表 13-9 に示す。

表 13-8. SD 評価に用いた形容詞対

軽薄な	-	重厚な
ぼやけた	-	鮮明な
弱々しい	-	力強い
大雑把な	-	繊細な
野暮な	-	洗練された
静的な	-	動的な
深みのない	-	深みのある
不活発な	-	活発な
かたい	-	やわらかな
平面的な	-	立体的な
鈍い	-	研ぎ澄まされた
貧弱な	-	豊かな
こわばった	-	しなやかな
低級な	-	高級な
おとなしい	-	迫力のある
一本調子な	-	複雑な
せせこましい	-	おおらかな
未成熟な	-	成熟した
濁った	-	透明感のある
沈んだ	-	勢いのある
ごたごたした	-	スムーズな
嫌い	-	好き

表 13-9. 順位評価結果のまとめ

順序付け評価

被験者↓	2chHead-1	多ch->2ch	多ch 客席	多ch最前列	2chスピーカ	2chHead-2
1	6	4	2	1	3	5
2	5	3	4	1	2	6
3	3	1	4	2	5	6
4	3	6	5	4	2	1
5	5	3	2	1	6	4
6	4	6	2	1	3	5
7	3	5	2	1	4	6
8	1	6	5	2	4	3
9	3	4	5	2	6	1
10	4	3	2	1	5	6
順位合計	37	41	33	16	40	43
順位合計偏差	-2	-6	2	19	-5	-8
偏差平方	4	36	4	361	25	64
平均順位	3.7	4.1	3.3	1.6	4	4.3

この評価において、サンプル音源に対する好ましさの間に有意な差があるかどうかをFriedman の検定によって検討した。フリードマンの検定は次式、 $S=(12 \sum T_j^2)/nk(k+1)-3n(k+1)$ ；(n は被験者数、T は条件ごとの n 人の個体の順位の総和、k は条件数)であらわされ、ここでの統計量 S が帰無仮説（ここでは音源間の好ましさに差がないこと）の元で自由度 k-1 の χ^2 分布に近似的に従うことを利用して検定が行われる。まず、全ての音源を対象とした検定の結果を表 13-10 に示す。S=14.11 > 11.07 ($\chi^2(0.05,5)$)、p 値 =0.014 であり自由度 5 の χ^2 分布において 5% 水準で有意であった。この結果から、6 音源のうち少なくとも 1 音源は明確に評価が異なっていることがわかる。平均順位を参照すると、多 ch ヘッドフォンによって指揮者直後の位置で録音された多 ch 音源を試聴した結果は明らかに他のものに対して好印象が得られているといえる。多 ch ヘッドフォンによって多 ch 音源を試聴した結果も平均順位では他のものに比べてやや優位な結果となっているがその差は明瞭ではない。

音源間で好ましさの評価に差がみられたことから、多重比較を行い、どの音源間に差があるかを検討した。多重比較の方法としてサイン検定を使用した。2chHead-1 と多 ch->2ch、2chHead-1 と多 ch 客席・・・というように各試行対ごとにサイン検定による多重比較を行った。各試行対ごとのサインを集計したものを表 13-11 に示す。

サイン検定の結果、多 ch->2ch と多 ch 最前列および多 ch 最前列と 2ch スピーカにおいて $p>.05$ 、多 ch 客席と多 ch 最前列では $p>.01$ で有意な差がみられた。これらの対におけ

表 13-11. 音源間の順位差に関するサイン検定の結果

	多ch->2ch	多ch 客席	多ch最前列	2chスピーカ	2chHead-2
2chHead-1	+5,-5 n.s.	+6,-4 *	+8,-2 n.s.	+4,-6 n.s.	+4,-6 **
多ch->2ch		+7,-3 n.s.	+9,-1 n.s.	+6,-4 *	+4,-6 n.s.
多ch 客席			+10 n.s.	+3,-7 n.s.	+3,-7 n.s.
多ch最前列				+1,-9 n.s.	+2,-8 n.s.
2chスピーカ					+4,-6 n.s.

表 13-10. Friedman の検定結果

Friedmanの検定：6 変数

自由度	5
群の数	6
同順位数	0
カイ 2 乗	14.114
p値	.0149
同順位調整カイ 2 乗	14.114
同順位補正後のp値	.0149

	例数	順位合計	平均順位
stereo Head-1	10	37.000	3.700
stereo/多ch	10	41.000	4.100
surround/多ch-1	10	33.000	3.300
surround/多ch-2	10	16.000	1.600
stereo speaker	10	40.000	4.000
stereo Head-2	10	43.000	4.300

表 13-12. Friedman の検定 (6ch 最前列 を除く)

Friedmanの検定：5 変数

自由度	4
群の数	5
同順位数	0
カイ 2 乗	3.200
p値	.5249
同順位調整カイ 2 乗	3.200
同順位補正後のp値	.5249

	例数	順位合計	平均順位
stereo/多ch	10	32.000	3.200
surround/多ch-1	10	23.000	2.300
stereo speaker	10	31.000	3.100
stereo Head-2	10	35.000	3.500
stereo Head-1	10	29.000	2.900

る評価には差が認められた。また、統計的には有意な結果を得られなかったが($p=0.1093$), 2chHead-1 と多 ch 最前列と多 ch 最前列と 2chHead-2 の対でもわずかながら評価に差が見られたことから多 ch 最前列が他の 5 種の音源よりも好ましいと評価されていた傾向がある。ただし、先にも述べたように多 ch 最前列への評価の良さは刺激の新奇性や録音条件によるかもしれないので、多 ch 最前列を除いた 5 種の音源によるフリードマンの検定を行った結果を表 13-12 に示す。ここでは $S=3.2 < 9.49$ ($\chi^2(0.05,4)$), p 値 = 0.525 と全く有意な差があるとは見なせない結果となった。とは言っても、平均順位ではかろうじて多 ch ヘッドフォンによる試聴が評価されているようにも見えるが、統計的には多 ch 最前列を除く 5 種の音源については好ましさの評価に差がなかったといえよう。

さらに、多 ch ヘッドフォンによる 3 種類の音源についての順位評価を、Friedman の検定で検討した結果を表 13-13. に示す。ここでは $S=12.60 < 7.81$ ($\chi^2(0.05,3)$), p 値 = 0.0018 となり、同じ多 ch ヘッドフォンを使用しても音源が異なることにより明瞭な差が感じられることが明らかになった。

順位評価の個人差について、多 ch 最前列に対して 1 番の評価をつけた被験者は 6 名、2 番をつけたのは 3 名であった。それ以外の 5 種の音源については被験者によって評価が分かれた。これを確認するために任意の 2 被験者の順位評価をケンドールの順位相関を求める。と、表 13-14 が得られる。被験者間で相関の高いグループと低いグループが存在し、被験者の感性評価は一律ではないが評価の傾向が似通った被験者グループがあることがわかる。

両者の結果から、被験者間での順位は必ずしも一致していないものの、少なくとも、指揮者直後、すなわち、周囲から音が回り込ん

表 13-13. Friedman の検定 (多チャンネルスピーカーのみ)

Friedman の検定 : 3 変数	
自由度	2
群の数	3
同順位数	0
カイ 2 乗	12.600
p 値	.0018
同順位調整カイ 2 乗	12.600
同順位補正後の p 値	.0018

	例数	順位合計	平均順位
stereo/多ch	10	26.000	2.600
surround/多ch-1	10	23.000	2.300
surround/多ch-2	10	11.000	1.100

表 13-14. 被験者間の順位評価相関 (τ = 相関係数, p = 確率)

被験者	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1		0.600	0.200	-0.200	0.600	0.600	0.600	-0.200	-0.200	0.600
2	0.091		0.333	-0.333	0.200	0.467	0.467	-0.067	-0.333	0.467
3	0.573	0.348		-0.733	0.333	0.067	0.333	-0.200	0.067	0.600
4	0.573	0.348	0.039		-0.333	-0.067	-0.333	0.467	0.200	-0.600
5	0.091	0.573	0.348	0.348		0.200	0.467	-0.067	0.200	0.733
6	0.091	0.189	0.851	0.851	0.573		0.733	0.200	-0.067	0.467
7	0.091	0.189	0.348	0.348	0.189	0.039		0.200	-0.067	0.733
8	0.573	0.851	0.573	0.189	0.851	0.573	0.573		0.200	-0.067
9	0.573	0.348	0.851	0.573	0.573	0.851	0.851	0.573		-0.067
10	0.091	0.189	0.091	0.091	0.039	0.189	0.039	0.851	0.851	

でくる状況で録音された音源は好感を持たれるが、そのほかの条件については評価に個人差が強く現れると推測される。

ところで、この多chの音源の解釈については注意が必要である。この2種はサンプル音源の開始部分が違い、多ch客席が曲の開始部分から始まるのに対し、多ch最前列は曲の途中の部分から始まっている。また、録音場所も前者が客席での音であるのに対し、後者は指揮者の後ろ1mでの音であった。多ch最前列だけ他の5種の音源とサンプル音源も録音の仕様も異なるので多ch最前列を除く5種の音源について検討した方が妥当である。刺激の新奇性や録音条件の違いによる評価の上昇が懸念され、他の5種の音源との純粋な評価を行えないからである。多ch最前列は他の5種の音源よりも良く評価されているがそれが刺激の新奇性によるものなのか、最前列という録音場

表 13-15. 試聴1と6の評価差

被験者	2chHead		差
	1回目	2回目	
1	6	5	1
2	5	6	1
3	3	6	3
4	3	1	2
5	5	4	1
6	4	5	1
7	3	6	3
8	1	3	2
9	3	1	2
10	4	6	2

表 13-16. SD 法による5段階評価の結果

被験者	条件	軽薄な	鮮明な	弱々しい	繊細な	野暮な	動的な	深みがない	活発な	かたい	立体的な	鈍い	豊かな	こわばった	おとなしい	複雑な	せせこましい	成熟した	濁った	勢いのある	ごたごたした	好き
1	2chHead-1	2	3	2	4	3	3	5	3	3	4	4	4	4	4	3	4	4	2	3	3	4
1	多ch->2ch	2	4	1	4	2	3	1	3	2	5	2	4	2	5	3	4	2	4	4	3	2
1	多ch 客席	4	2	4	2	4	2	5	2	3	2	4	2	3	1	5	2	4	2	4	1	3
1	多ch 最前列	4	2	5	2	5	2	4	2	3	2	5	2	4	1	5	3	4	2	5	2	3
1	2chスピーカ	3	4	3	3	3	3	4	3	3	3	3	3	3	4	2	4	3	4	2	4	3
1	2chHead-2	2	4	3	4	2	3	2	3	4	4	3	3	3	4	2	4	3	4	3	4	3
2	2chHead-1	5	1	5	3	4	2	5	2	4	2	4	1	4	1	5	2	4	2	3	1	3
2	多ch->2ch	4	3	3	2	4	2	4	2	3	1	5	2	2	2	5	1	5	2	5	2	4
2	多ch 客席	5	3	5	4	3	1	4	2	5	4	2	2	4	2	4	4	5	3	2	2	3
2	多ch 最前列	5	1	5	3	4	1	4	1	4	1	5	1	4	2	5	1	5	2	5	1	3
2	2chスピーカ	5	3	4	4	3	2	5	4	4	3	2	1	2	1	4	3	4	2	3	4	3
2	2chHead-2	2	3	3	2	3	4	2	4	2	4	3	4	2	3	2	4	2	4	3	4	2
3	2chHead-1	4	5	4	3	4	1	4	1	3	2	4	1	5	2	5	3	4	2	4	2	4
3	多ch->2ch	3	2	3	2	4	4	4	2	4	3	4	2	4	2	3	2	3	3	5	1	4
3	多ch 客席	5	2	5	3	4	1	4	2	4	1	4	2	4	1	5	2	4	2	4	1	3
3	多ch 最前列	3	2	3	2	4	1	2	2	3	2	4	3	4	2	2	3	5	3	2	3	2
3	2chスピーカ	4	3	3	3	3	3	4	4	5	4	3	2	4	3	3	4	5	2	3	3	4
3	2chHead-2	3	2	4	2	3	2	2	3	4	3	3	3	4	3	2	3	2	4	4	2	4
4	2chHead-1	4	2	4	1	4	2	3	2	3	4	4	2	3	1	3	4	3	3	2	2	3
4	多ch->2ch	3	1	2	4	4	2	2	1	2	4	2	2	2	2	3	4	2	2	4	2	3
4	多ch 客席	5	4	4	3	3	4	5	2	4	2	4	1	4	2	4	2	5	2	3	2	5
4	多ch 最前列	2	2	3	2	4	3	2	2	1	4	5	4	1	2	3	3	2	2	4	1	2
4	2chスピーカ	5	4	4	2	4	2	4	1	4	2	3	2	5	2	3	2	5	2	3	2	5
4	2chHead-2	5	4	4	2	3	4	5	2	5	2	3	1	5	2	2	4	4	1	4	2	5
5	2chHead-1	4	3	4	3	4	2	4	2	4	3	2	4	1	4	3	4	3	2	2	4	3
5	多ch->2ch	2	1	2	1	4	4	4	3	5	2	4	2	5	2	2	3	4	4	5	3	4
5	多ch 客席	5	2	5	2	5	1	4	2	4	1	4	1	4	1	5	3	4	2	4	1	4
5	多ch 最前列	4	1	4	1	4	2	4	1	4	1	4	2	5	2	4	3	4	2	5	2	4
5	2chスピーカ	3	4	2	4	2	4	2	3	3	5	2	4	3	3	4	4	3	3	2	3	2
5	2chHead-2	4	2	4	3	4	2	4	2	4	3	2	4	3	4	3	4	2	3	2	3	3
6	2chHead-1	4	3	2	2	4	5	2	5	3	5	4	3	3	4	2	3	3	4	3	3	5
6	多ch->2ch	1	4	1	4	3	4	2	5	2	4	3	4	1	3	2	3	2	4	1	3	4
6	多ch 客席	4	1	4	3	5	2	4	1	2	2	4	3	4	2	5	2	2	3	4	2	3
6	多ch 最前列	5	2	4	2	5	1	4	2	4	1	3	2	3	2	5	3	4	2	5	3	4
6	2chスピーカ	4	1	3	2	3	1	4	3	1	3	4	2	2	3	4	4	3	4	2	3	3
6	2chHead-2	4	5	3	3	4	4	5	4	2	4	1	3	2	3	4	3	1	4	1	3	2
7	2chHead-1	4	3	4	3	4	2	3	2	4	2	3	2	5	3	1	2	4	3	4	2	4
7	多ch->2ch	2	1	2	4	2	3	1	3	1	4	4	1	4	3	3	2	4	4	3	2	4
7	多ch 客席	3	2	4	4	3	1	4	2	1	3	2	3	2	3	2	5	2	4	2	3	1
7	多ch 最前列	4	1	4	2	4	1	4	1	2	2	5	2	2	2	4	3	4	2	5	1	4
7	2chスピーカ	4	4	4	4	2	4	4	4	5	2	2	3	3	3	2	4	4	2	2	4	4
7	2chHead-2	4	4	4	4	3	4	4	4	4	2	2	4	3	2	4	4	2	2	4	4	3
8	2chHead-1	3	3	3	4	3	3	2	3	4	4	2	3	3	4	3	3	4	3	3	3	3
8	多ch->2ch	1	2	2	3	3	3	1	3	2	3	4	4	3	4	2	4	2	4	1	3	2
8	多ch 客席	4	4	4	4	3	3	4	3	4	2	2	2	3	2	4	2	3	3	2	3	4
8	多ch 最前列	4	2	3	2	3	2	3	2	4	3	3	3	3	3	3	2	3	3	4	3	3
8	2chスピーカ	3	4	4	4	3	2	3	3	4	2	2	3	3	4	4	2	4	4	1	3	3
8	2chHead-2	4	4	4	3	2	3	4	3	4	3	2	2	4	4	4	4	4	3	2	3	2
9	2chHead-1	5	2	3	1	4	3	5	2	2	2	4	2	5	2	4	1	4	2	5	1	5
9	多ch->2ch	1	3	2	4	2	2	1	5	2	2	4	4	3	4	4	2	2	4	5	2	3
9	多ch 客席	4	1	5	2	4	1	4	2	3	2	4	2	4	1	5	1	3	2	5	2	3
9	多ch 最前列	2	2	5	4	3	4	3	4	3	4	3	4	2	4	4	3	4	5	2	4	3
9	2chスピーカ	4	2	4	4	4	2	4	3	2	2	5	2	2	2	4	4	3	4	2	1	4
9	2chHead-2	4	2	5	1	4	2	5	2	2	2	5	2	5	1	4	2	4	2	4	2	5
10	2chHead-1	3	4	3	4	4	3	3	4	2	4	2	4	2	4	3	3	2	4	2	2	4
10	多ch->2ch	3	2	3	2	4	3	3	2	2	3	4	3	3	4	3	3	2	4	3	4	3
10	多ch 客席	4	2	4	2	4	2	4	2	3	2	4	2	4	2	4	2	3	2	4	2	4
10	多ch 最前列	5	1	4	2	4	1	5	2	4	2	4	1	4	1	5	1	2	2	5	2	4
10	2chスピーカ	4	4	3	4	2	4	2	4	4	4	2	4	2	4	2	4	4	4	2	4	5
10	2chHead-2	2	5	2	5	1	4	2	4	4	4	1	5	1	5	2	5	5	5	1	5	3

所の良さのせいなのか、いずれにしても他の音源と純粋な比較を行えないため、良く評価された原因を特定することはできない。

また、試聴1と試聴6は全く同条件であり、両者の評価が極端に異なっている場合は試聴によって被験者の評価が変化しやすい事を表している。この差を表13-15に示す。80%の被験者でその差は2以内であり、全ての被験者でその差は最大3以下であった。すなわち、試聴による評価基準の違いは良い・中間程度の差であったことが確認され、一定の信頼性があるものと考えられる。

13-4-2-2 質問紙による感性評価の結果及び解釈

22のSD対による評価を表13-16に示す。各対ごとに一要因6水準(各試行で用いた音源の種類)の分散分析によって音源の種類による評価の差を検討した結果を表13-17に示す。表13-17によれば、多くのSD対において被験者間の差は認められず条件間での差が認められた。

しかしながら、かたい・やわらかのように、被験者間でのばらつきもあり、かつ条件間での差もさほど認められないものもあった。この結果は、項目自体の判断基準が被験者間でのみならず一人の被験者のなかでもうまく掴めていないのではないかと推測される。

また、ごたごたした・スムーズな項目は、被験者間の差は認められないものの、条件間での差も認められない。すなわち立体音響の評価に対して全く影響のない項目であったといえる。

同様に、好き・嫌いの項目も条件間での差が乏しい。しかし、被験者間での差も認められない。前項の順位判断の結果とこの項目に何らかの関連性があるという前提で考えると、好き嫌いの判断はある程度の個人差があるものの、明確にその差を指摘できるほどのものではなく、一方で6条件の一部に差があるにしても全体としては今回のテスト条件の好き嫌いは一概には言えないということである。同様に「おおざっぱな・繊細な」「こわばった・しなやかな」も条件間での差が少ない。

表13-17. SD法による感性評価結果の分散分析結果

p値が小さいことがそれぞれの条件においてSD評価の結果に有意差が認められる。被験者間の差においてp値<0.2、条件間の差においてp値>0.1の部分を色づけて示した。

	被験者間の差		条件間の差	
	F値	P値	F値	P値
軽薄な-重厚な	0.793	0.6240	5.731	0.0003
ぼやけた-鮮明な	0.655	0.7447	4.981	0.0008
弱-強い-力強い	0.985	0.4642	10.130	0.0000
大雑把な-繊細な	1.370	0.2267	1.440	0.2249
野暮な-洗練された	1.049	0.4157	4.583	0.0015
静的な-動的な	0.623	0.7715	4.073	0.0033
深みのない-深みのある	0.384	0.9376	3.291	0.0115
不活発な-活発な	1.180	0.3282	3.258	0.0121
かたい-やわらかな	1.537	0.1610	1.458	0.2187
平面的な-立体的な	0.602	0.7895	3.806	0.0050
鈍い-研ぎ澄まされた	1.176	0.3307	4.980	0.0080
貧弱な-豊かな	1.153	0.3449	2.505	0.0412
こわばった-しなやかな	1.801	0.9130	1.828	0.1228
低級な-高級な	2.378	0.0252	4.092	0.0032
おとなしい-迫力のある	1.015	0.4411	5.748	0.0003
一本調子な-複雑な	0.750	0.6617	3.682	0.0061
せせこましい-おおらかな	1.198	0.3174	2.160	0.0721
未成熟な-成熟した	2.050	0.0527	2.557	0.0379
濁った-透明感のある	2.133	0.0437	6.777	0.0000
沈んだ-勢いのある	1.671	0.1212	4.750	0.0010
ごたごたした-スムーズな	0.785	0.6307	0.395	0.8504
嫌い-好き	1.003	0.4503	2.653	0.3240

有意差を得られた対には、LSD 法による多重比較を行った。(表 13-18: 全音源について、表 13-19: 最前列の音源を除く) 22 対のうち、「大雑把な-繊細な」「かたい-やわらかな」「ごたごたした-スムーズな」を除く 19 対で有意な差もしくはその傾向が得られた。

全体的な傾向として、多 ch 客席と多 ch 最前列に対する SD 対での評価はポジティブな言葉に傾いていた。この 2 種類の音源は、「ごたごたした-スムーズな」を除く 21 の SD 対において、多くの場合は他の 4 種の音源よりもポジティブな評価を受けていた。必ずしも他の音源より有意に優れていると評価されていたわけではないが、おおまかには他の音源よりも高く評価される傾向があった。この 2 種の音源が他の音源よりも優れていることを示唆するものであろう。

そこで、多 ch 最前列を除く 5 種類について分散分析を行ってみた。その結果を表 13-19 に

表 13-18. LSD 法による多重比較 (全ての音源について)

* p<.05	軽薄な- 重厚な	ぼやけた -鮮明な	弱-しい- 力強い	大雑把な -繊細な	野暮な- 洗練され た	静的な- 動的な	深みのな い-深み のある	不活発な -活発な	かたい- やわらか な	平面的な -立体的 な	鈍い-研 ぎ澄まし れた
1-2	> *	n.s.	> *	n.s.	n.s.	n.s.	> *	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
1-3	n.s.	n.s.	< *	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	< *	n.s.
1-4	n.s.	< *	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	< *	< *
1-5	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	> *	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
1-6	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	> *	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	> *
2-3	< *	n.s.	< *	n.s.	n.s.	< *	< *	< *	n.s.	< *	n.s.
2-4	< *	n.s.	< *	n.s.	< *	< *	< *	< *	n.s.	n.s.	n.s.
2-5	< *	> *	< *	n.s.	n.s.	n.s.	< *	n.s.	n.s.	n.s.	> *
2-6	< *	> *	< *	n.s.	n.s.	n.s.	< *	n.s.	n.s.	n.s.	> *
3-4	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	< *
3-5	n.s.	> *	> *	n.s.	> *	n.s.	n.s.	> *	n.s.	> *	n.s.
3-6	> *	> *	> *	n.s.	> *	> *	n.s.	> *	n.s.	> *	> *
4-5	n.s.	> *	n.s.	n.s.	> *	n.s.	n.s.	> *	n.s.	> *	> *
4-6	n.s.	> *	n.s.	n.s.	> *	> *	n.s.	> *	n.s.	> *	> *
5-6	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
MSe=	0.8788	1.0978	0.5114		0.5381	1.0122	1.2922	0.8388		1.0800	0.7662
LSD=	0.8473	0.9470	0.6464		0.6630	0.9093	1.0275	0.8278		0.9393	0.7912

* p<.05	貧弱な- 豊かな	こぼれた- しなやか な	低級な- 高級な	おとなし い-迫力 のある	一本調子 な-複雑 な	せせこま しい-お おらかな	未成熟な -成熟し た	濁った- 透明感の ある	沈んだ- 勢いのあ る	ごたごた した-ス ムーズな	嫌い-好 き
1-2	> *	> *	n.s.	n.s.	n.s.	> *	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
1-3	n.s.	n.s.	< *	< *	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
1-4	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	< *	n.s.	n.s.	< *
1-5	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	> *	n.s.	n.s.
1-6	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	> *	n.s.	n.s.	n.s.	> *	n.s.	n.s.
2-3	< *	< *	< *	< *	n.s.	< *	< *	n.s.	< *	n.s.	n.s.
2-4	< *	n.s.	< *	< *	n.s.	n.s.	< *	< *	n.s.	n.s.	< *
2-5	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	< *	n.s.	> *	n.s.	n.s.	n.s.
2-6	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	> *	n.s.	n.s.	n.s.
3-4	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	< *	n.s.	n.s.	n.s.
3-5	n.s.	n.s.	> *	> *	> *	n.s.	n.s.	> *	> *	n.s.	n.s.
3-6	n.s.	n.s.	> *	> *	> *	n.s.	> *	> *	> *	n.s.	n.s.
4-5	n.s.	n.s.	> *	> *	> *	n.s.	n.s.	> *	> *	n.s.	> *
4-6	n.s.	n.s.	> *	> *	> *	n.s.	n.s.	> *	> *	n.s.	> *
5-6	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
MSe=	0.8670	1.0119	0.7066	0.8074	0.7825	0.9096	0.6340	0.7203	0.5825		1.1081
LSD=	0.8416	0.9092	0.7598	0.8121	0.7995	0.8620	0.7197	0.7671	0.6898		0.9514

示す。「大雑把な-繊細な」「ごたごたした-スムーズな」「嫌い-好き」を除く 19 対で有意な差もしくはその傾向が得られた。有意な差を得られた項目については、LSD 法による多重比較を行ったが他の音源と差がなかった「鈍い-研ぎ澄まされた」の項目を除く 18 項目では、おおまかにみて多 ch 客席が他の音源よりも良い評価を受けていた。

細かく見ると次の通りであった。多 ch 客席が他の 4 種の音源よりも高い評価を受けていたのが「弱々しい-力強い」「平面的な-立体的な」「低級な-高級な」「おとなしい-迫力のある」の 4 項目、多 ch->2ch・2ch スピーカ・2chHead-2 の 3 種の音源とでは「静的な-動的な」「不活発な-活発な」「沈んだ-勢いのある」の 3 項目、2chHead-1・多 ch->2ch・2chHead-2 の 3 種の音源では「軽薄な-重厚な」の 1 項目、2ch スピーカ・2chHead-2 の 2 種類の音源とでは「ぼやけた-鮮明な」「野暮な-洗練された」「一本調子な-複雑な」の 3 項目、多 ch->2ch との比較では「深みのない」「かたい-やわらかな」「貧弱な-豊かな」「こわばった-しなやかな」「せせこましい-おおらかな」の 5 項目、2ch スピーカとの比較では「濁った-透明感のある」の 1 項目において、それぞれ有意に高い評価を受けていた。また、多重比較の結果有意な差を得られなくてもおおむね他の音源よりも得点が高かった。

もちろん実際に 5 種類の音源だけを用いて実験を行ったわけではないので、厳密な結果とはいえないが、多重比較の結果を概観すると多 ch 客席は他の 4 種の音源よりも優れた評価を受けていたことが窺える。特に音の迫力に関わるような SD 対においては特に他の音源よりも良

表 13-19. LSD 法による多重比較（最前列を除いた場合）

* p<.05	軽薄な- 重厚な	ぼやけた- 鮮明な	弱-しい- 力強い	大雑把な- 繊細な	野暮な- 洗練され た	静的な- 動的な	深みのな い-深み のある	不活発な- 活発な	かたい- やわらか な	平面的な- 立体的 な	鈍い-研 ぎ澄まし れた
1-2	> *	n.s.	> *	n.s.	n.s.	n.s.	> *	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
1-3	n.s.	n.s.	< *	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	< *	n.s.
1-5	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	> *	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
1-6	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	> *	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	> *
2-3	< *	n.s.	< *	n.s.	n.s.	< *	< *	< *	< *	< *	n.s.
2-5	< *	> *	< *	n.s.	n.s.	n.s.	< *	n.s.	< *	n.s.	> *
2-6	< *	> *	< *	n.s.	n.s.	n.s.	< *	n.s.	< *	n.s.	> *
3-5	n.s.	> *	> *	n.s.	> *	> *	n.s.	> *	n.s.	> *	n.s.
3-6	> *	> *	> *	n.s.	> *	> *	n.s.	> *	n.s.	> *	n.s.
5-6	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
MSe=	0.6888	1.2867	0.4311		0.5555	0.9555	1.3189	0.8311	0.9055	0.9866	0.7855
LSD=	0.7580	1.0360	0.5996		0.6807	0.8928	1.0489	0.8326	0.8691	0.9072	0.8095

* p<.05	貧弱な- 豊かな	こわばっ た-しな やかな	低級な- 高級な	おとなし い-迫力 のある	一本調子 な-複雑 な	せせこま しい-お おらかな	未成熟な -成熟し た	濁った- 透明感の ある	沈んだ- 勢いのある	ごたごた した-ス ムーズな	嫌い-好 き
1-2	> *	> *	n.s.	n.s.	n.s.	> *	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
1-3	n.s.	n.s.	< *	< *	n.s.	n.s.	< *	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
1-5	n.s.	> *	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	> *	n.s.	n.s.
1-6	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	> *	n.s.	n.s.	n.s.	> *	n.s.	n.s.
2-3	< *	< *	< *	< *	n.s.	< *	< *	n.s.	< *	n.s.	n.s.
2-5	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	< *	n.s.	> *	n.s.	n.s.	n.s.
2-6	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	> *	n.s.	n.s.	n.s.
3-5	n.s.	n.s.	> *	> *	> *	n.s.	n.s.	> *	> *	n.s.	n.s.
3-6	n.s.	n.s.	> *	> *	> *	n.s.	> *	n.s.	> *	n.s.	n.s.
5-6	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
MSe=	0.7699	0.9033	0.5811	0.8333	0.6633	0.8477	0.5577	0.7722	0.5333		1.1081
LSD=	0.8014	0.8680	0.6962	0.8337	0.7438	0.8409	0.6821	0.8026	0.6670		0.9514

い評価を受けているように思える。

以下の考察では、「おおざっぱな-繊細な」「かたい-やわらかな」「こわばった-しなやかな」「ごたごた-スムーズ」「好き-嫌い」を除外して検討を進めることにする。

13-4-2-3 主成分分析による質問紙に

よる評価の総合的解釈

各音源について SD データの主成分分析を行った。分析は分散共分散行列について行った。いずれの音源についても第三主成分までで 70% 以上の累積説明率を得たことから全ての音源において 3 成分までを採用し、バリマックス回転を実施し解釈を行った。各音源の累積寄与率のスクリープロットの図を 13-11 ～ 13-16 に、また成分行列表およびバリマックス回転後の成分行列表を表 13-20 ～ 13-25 に示す。

以下ではまず各音源について個別に解釈を行い、その後に総合的な解釈を行う。

・ 2chHead-1 回目 (表 13-20, 図 13-11)

表 13-20. SD 評価結果の主成分分析結果

2ch Head (1 回目) バリマックス回転後 (調整済)

	成分		
	1	2	3
軽薄な-重厚な	0.240	0.387	0.822
ぼやけた-鮮明な	0.042	-0.064	0.658
弱々しい-力強い	0.798	-0.070	0.423
大雑把な-繊細な	-0.138	0.234	0.872
野暮な-洗練された	0.109	0.108	0.650
静的な-動的な	0.929	0.042	-0.012
深みのない-深みのある	0.583	0.382	0.018
不活発な-活発な	0.866	0.321	0.164
かたい-やわらかな	0.325	-0.118	0.011
平面的な-立体的な	0.614	0.658	0.144
鈍い-研ぎ澄まされた	0.129	0.371	0.453
貧弱な-豊かな	0.643	0.350	0.564
こわばった-しなやかな	0.428	0.840	0.076
低級な-高級な	0.698	-0.009	0.672
おとなしい-迫力のある	0.693	0.072	-0.048
一本調子な-複雑な	0.038	0.788	0.158
せせこましい-おおらかな	0.455	0.591	-0.053
未成熟な-成熟した	0.685	0.491	0.412
濁った-透明感のある	0.048	0.799	0.385
沈んだ-勢いのある	0.537	0.294	0.554
ごたごたした-スムーズな	-0.299	0.798	0.196
嫌い-好き	0.804	0.271	0.314

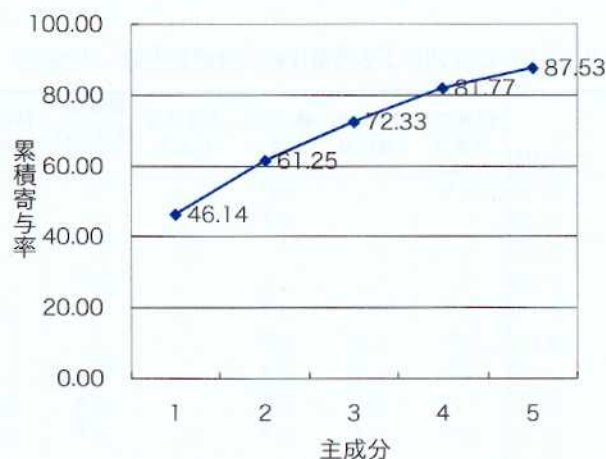


図 13-11. SD 評価主成分分析固有値のスクリープロット
2ch Head (1 回目)

[注] 主成分分析の計算には SPSS を使った。数値を標準化する必要がないので相関行列を使わず、分散共分散行列を使った。表「回転後の成分行列表」の「再調整後の主成分」から、数値が 0.4 以上のものを当該の SD 対に大きな影響を与える固有ベクトルと解釈した。スクリープロットの図からは音源によっては第 3 主成分と第 4 主成分の差が小さいものもあるが、解釈の基準を主成分で揃えるため第 3 主成分までを採用した。

解釈のしやすさから直交回転のバリマックス回転を使っているため二つ以上の「成分」で 0.4 以上の固有ベクトルがある場合は、解釈の際に無視したが、二つ以上の「成分」で 0.4 以上の固有ベクトルがあった場合でもその差が 0.25 以上ならば、大きい数字を出した方を主成分の解釈に使った。なお、バリマックス回転後の成分行列表のうち、絶対値の大きい固有ベクトルを持つものを当該の主成分を構成する要素として解釈した。表中では第一主成分を赤字で、第二主成分では青字で、第三主成分では緑の字でマークした。また、複数の主成分で 0.40 以上またはそれに近い固有ベクトル値をだしたものは解釈には使わないことにした (茶色の字)。

第一主成分は、「力強い」「動的な」「活発な」「迫力のある」といった形容詞で構成されていることから音から受ける「ダイナミックな印象」に関わる主成分と解釈した。第二主成分は「しなやかな」「複雑な」「透明感のある」「スムーズな」印象を与えることから、音の「流麗さ」に関わる主成分と思われる。第三主成分は「重厚な」「鮮明な」「繊細な」「洗練された」といった言葉であらわされることから音から受ける印象として「豊潤さ」に関わるものであろう。

・多 ch->2ch (表 13-21, 図 13-12)

第一主成分は、「深みのある」「やわらかな」「豊かな」「しなやかな」「スムーズな」という言葉で構成されている。そのことから音がつかえることなく滑らかに聞こえることに関わると解釈し、音の「安定性」と命名した。第二主成分は「重厚な」「鮮明な」「洗練された」「活発な」「成熟した」といった印象を持たれていることから音から受ける味わいの良さや聞こえ方の良さに関わると判断した。音の「快適さ」に関わる印象であろう。そこで第三主成分は、「動的な」「迫力のある」「複雑な」「透明感のある」「好き」で構成されていた。音のダイナミックさや音質のきれいに聞こえることに影響しているようである。音が澄んでいるためだろう。そこで「音質の澄み」と命名した。

・多 ch 客席 (表 13-22, 図 13-13)

第一主成分は、次のように解釈した。「繊細な」「洗練された」「高級な」「成熟した」「透明感のある」といった言葉から、音から受ける気品や安定性のようなものを、「立体的な」「研ぎ澄まされた」「迫力のある」「勢いのある」といった言葉からはシャープで活動的な印象を感じる。それらの異なる印象が統合された印象は音の奥行き感もしくは広がりのような音の臨場感に関

表 13-21. SD 評価結果の主成分分析結果 6ch ->2ch
バリマックス回転後 (調整済)

	成分		
	1	2	3
軽薄な-重厚な	0.143	0.750	0.487
ぼやけた-鮮明な	0.113	0.698	-0.233
弱々しい-力強い	0.331	0.607	0.431
大雑把な-繊細な	0.667	0.712	0.001
野暮な-洗練された	0.562	0.723	-0.017
静的な-動的な	-0.287	-0.272	0.711
深みのない-深みのある	0.791	0.458	0.248
不活発な-活発な	0.091	0.862	0.051
かたい-やわらかな	0.975	0.003	0.045
平面的な-立体的な	0.380	0.456	0.521
鈍い-研ぎ澄まされた	0.233	0.561	0.444
貧弱な-豊かな	0.826	0.366	0.322
こわばった-しなやかな	0.828	0.123	-0.112
低級な-高級な	0.541	0.582	0.166
おとなしい-迫力のある	-0.153	0.131	0.967
一本調子な-複雑な	0.394	-0.031	0.814
せせこましい-おおらかな	0.632	0.283	0.509
未成熟な-成熟した	-0.050	0.717	0.461
濁った-透明感のある	0.333	0.258	0.663
沈んだ-勢いのある	0.209	0.327	0.488
ごたごたした-スムーズな	0.811	0.114	0.373
嫌い-好き	0.482	0.200	0.791

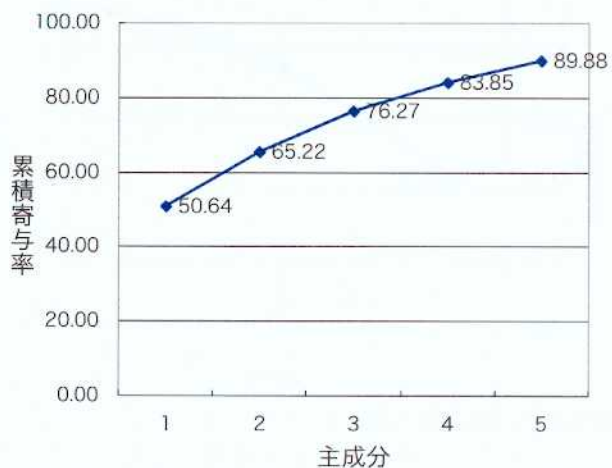


図 13-12. SD 評価主成分分析固有値のスクリープロット
6ch -> 2ch

表 13-22. SD 評価結果の主成分分析結果

多 ch 客席 バリマックス回転後 (調整済)

	成分		
	1	2	3
軽薄な—重厚な	0.038	0.359	0.763
ぼやけた—鮮明な	0.757	-0.588	-0.219
弱々しい—力強い	0.288	-0.357	0.749
大雑把な—繊細な	0.844	0.260	-0.022
野暮な—洗練された	0.788	-0.150	-0.082
静的な—動的な	0.419	-0.784	0.368
深みのない—深みのある	0.014	0.678	-0.002
不活発な—活発な	0.464	-0.275	-0.120
かたい—やわらかな	-0.371	0.252	0.800
平面的な—立体的な	0.580	0.228	-0.285
鈍い—研ぎ澄まされた	0.929	-0.234	-0.177
貧弱な—豊かな	0.063	0.687	0.532
こわばった—しなやかな	0.323	0.043	0.380
低級な—高級な	0.748	-0.039	0.329
おとなしい—迫力のある	0.729	-0.398	-0.107
一本調子な—複雑な	0.372	0.162	-0.734
せせこましい—おおらかな	-0.255	0.333	0.761
未成熟な—成熟した	0.672	0.395	0.096
濁った—透明感のある	0.937	-0.059	-0.200
沈んだ—勢いのある	0.652	-0.085	0.345
ごたごたした—スムーズな	-0.127	0.852	0.091
嫌い—好き	0.078	0.728	0.168

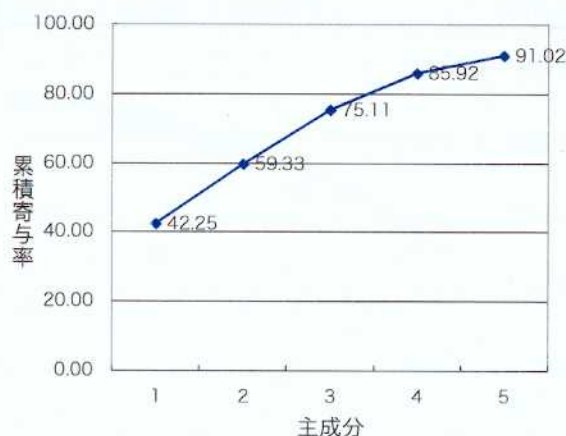


図 13-13. SD 評価主成分分析固有値のスクリープロット 多 ch 客席

表 13-23. SD 評価結果の主成分分析結果

多 ch 最前列バリマックス回転後 (調整済)

	成分		
	1	2	3
軽薄な—重厚な	0.504	0.783	-0.144
ぼやけた—鮮明な	0.458	0.510	0.225
弱々しい—力強い	0.902	-0.241	0.197
大雑把な—繊細な	-0.254	0.661	0.038
野暮な—洗練された	0.278	0.499	0.253
静的な—動的な	0.106	0.934	-0.152
深みのない—深みのある	0.782	0.433	0.071
不活発な—活発な	0.153	0.794	0.395
かたい—やわらかな	0.816	0.024	-0.507
平面的な—立体的な	0.581	0.611	-0.355
鈍い—研ぎ澄まされた	-0.090	0.022	0.745
貧弱な—豊かな	0.651	0.628	-0.243
こわばった—しなやかな	0.630	0.018	-0.614
低級な—高級な	0.600	0.059	0.414
おとなしい—迫力のある	0.793	0.350	-0.095
一本調子な—複雑な	-0.034	0.692	-0.280
せせこましい—おおらかな	0.670	0.221	0.284
未成熟な—成熟した	0.134	0.771	0.510
濁った—透明感のある	0.778	0.136	-0.170
沈んだ—勢いのある	0.146	-0.012	0.849
ごたごたした—スムーズな	0.732	-0.034	-0.031
嫌い—好き	0.729	0.599	0.270

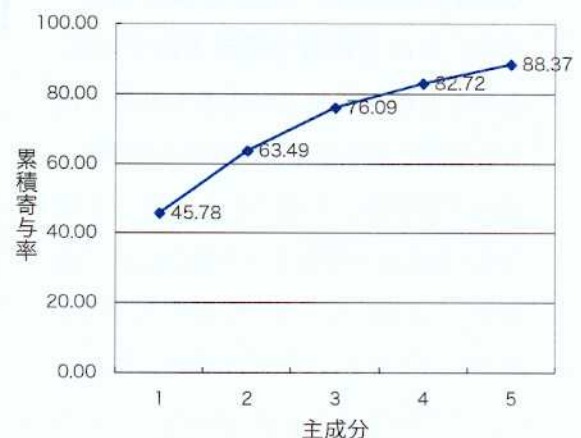


図 13-14. SD 評価主成分分析固有値のスクリープロット 多 ch 最前列

わるように思える。そこで「豊かな臨場感」と命名した。第二主成分は「静的な」「深みのある」「スムーズな」「好き」という言葉で構成されていたことから音が淀みなく流れるように聞こえる印象に関わると判断した。そこで「流暢さ」と命名した。第三主成分は、「重厚な」「力強い」「やわらかな」「一本調子な」「おおらかな」印象を持たれていた。「一本調子な」だけが尺度上、ネガティブな言葉として形容詞対に含めたものである。しかし、ここではネガティブな意味合いで解釈するのが妥当とは思えない。「一本調子な」以外の言葉からはどっしりとした安定感のような印象を窺える。また、「一本調子な」と対になる形容詞は「複雑な」であったことからそのような安定感と「複雑な」という組み合わせはどちらかといえば相反する性質を持つ印象に思える。安定した印象を与えるからこそ「一本調子な」感じがするのかもしれない。以上のことをふまえて第三主成分を聞いていて安定した雰囲気を持った音の印象ということで「落ち着き

感」と命名した。

・多ch 最前列 (表 13-23, 図 13-14)

第一主成分の解釈を次のように行った。「力強い」「迫力のある」という言葉から音のダイナミックな印象に関わる要素が、「深みのある」「やわらかな」「おおらかな」「透明感のある」「スムーズな」という言葉から伸びやかで混じり気のない上質な音と感じさせる要素があると判断した。それらの合わさった印象として、あたかも本当にコンサートホールで生の演奏の奏でる上質な音を聞いているような臨場感を感じる。いわばリアリティの高い音である。そこで「リアリティの高さ」と命名した。第二主成分も第一主成分同様、二つの異なる印象があるように思われる。「動的な」「活発な」は音から受ける躍動的な雰囲気、「重厚な」「繊細な」「洗練された」「複雑な」「成熟した」は品があって味わい深い印象。いわば熟成された印象にそれぞれ寄与しているようである。それらが合わさって形成される印象として熟練のプロが躍動的にすべきところは躍動的にしているが決して荒々しさがなく、品を損なわない趣のある演奏をしている姿が浮かんでくる。音の再現性の高さを示すものであろう。そのような音の味わい深さに関わる印象であるから「音の趣深さ」と命名した。第三主成分は、「研ぎ澄まされた」「勢いのある」で構成されていた。音の「シャープさ」に関わるものであろう。

・2ch スピーカ (表 13-24, 図 13-15)

第一主成分は、以下の成分から構成されていた。「重厚な」「力強い」「深みのある」「豊かな」「高級な」「成熟した」「透明感のある」「スムーズな」。これらは音を聴いた時に感じる音質の味わい深さ、つまり音の上質さについて言及しているようである。そこで「音の上質さ」と命名した。第二主成分は、「鮮明な」「やわらかな」「研ぎ澄まされた」「迫力のある」と評価されていた。シャープな輪郭を持つ音であるが、鋭すぎるわけではなく丸みのあるほどよい鋭さをあらわしているようである。料理にスパイスを施すように音の印象をきりつと引き締める役割をもっているようである。いわば音の輪郭を際立たせる効果を持っている。そこで「音の輪郭の強調」と命名した。第三主成分は、「繊細な」「活発な」「複雑な」「好き」と評価されていた。「繊細な」「複雑な」という静的なイメージを持つ語と「活発な」という動的なイメージを持つ語が出てきているため、一見矛盾した感じがある。しかし、これは刺激である「riris」の持ついきいきとした中に繊細な調べを持つという複雑な音色を持つことに関わりがあるように思える。それらのことをうまくあらわしているからそのような評価がでてきたと推測した。第一主成分と同様、音の上質さに関わる評価となるが主成分の順位から補助的なものである。「好き」という評価はそれらとは違い、純粋に音が好きか嫌いかの判断であろう。以上のことから、この第三主成分を第一主成分でいいあらわされていなかったことを表現した「補助的な音質の良さについての言及」と命名した。

・2chHead-2 (表 13-25, 図 13-16)

表 13-24. SD 評価結果の主成分分析結果

2ch Speaker パリマックス回転後(調整済)

	成分		
	1	2	3
軽薄な—重厚な	0.662	0.117	0.155
ぼやけた—鮮明な	0.179	0.940	-0.087
弱々しい—力強い	0.660	-0.047	0.365
大雑把な—繊細な	-0.021	0.277	0.616
野暮な—洗練された	0.479	0.436	0.661
静的な—動的な	0.256	0.698	0.562
深みのない—深みのある	0.740	0.233	0.217
不活発な—活発な	-0.061	0.170	0.843
かたい—やわらかな	0.276	-0.939	-0.019
平面的な—立体的な	0.423	0.120	0.507
鈍い—研ぎ澄まされた	0.253	0.769	0.145
貧弱な—豊かな	0.780	0.370	0.286
こわばった—しなやかな	0.104	-0.530	0.674
低級な—高級な	0.838	0.256	0.048
おとなしい—迫力のある	0.110	0.611	0.175
一本調子な—複雑な	0.278	-0.016	0.761
せせこましい—おおらかな	0.624	-0.472	0.346
未成熟な—成熟した	0.880	-0.192	-0.021
濁った—透明感のある	0.786	0.286	-0.067
沈んだ—勢いのある	0.281	0.474	0.406
ごたごたした—スムーズな	0.546	-0.268	0.328
嫌い—好き	0.286	-0.017	0.845

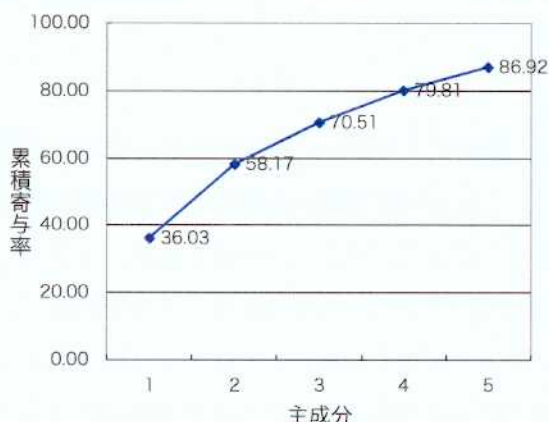


図 13-15. SD 評価主成分分析固有値のスクリープロット 2ch Speaker

表 13-25. SD 評価結果の主成分分析結果

2ch Head (2 回目) パリマックス回転後(調整済)

	成分		
	1	2	3
軽薄な—重厚な	0.164	0.966	0.047
ぼやけた—鮮明な	0.882	-0.086	0.181
弱々しい—力強い	0.749	0.563	0.104
大雑把な—繊細な	0.734	0.259	0.503
野暮な—洗練された	0.367	0.449	0.746
静的な—動的な	0.732	-0.041	0.090
深みのない—深みのある	0.068	0.898	0.250
不活発な—活発な	0.729	0.454	-0.177
かたい—やわらかな	-0.029	0.257	-0.874
平面的な—立体的な	0.728	0.530	-0.097
鈍い—研ぎ澄まされた	0.908	-0.025	0.106
貧弱な—豊かな	0.405	0.876	-0.087
こわばった—しなやかな	0.715	0.643	-0.162
低級な—高級な	0.690	0.475	0.400
おとなしい—迫力のある	0.046	0.444	0.493
一本調子な—複雑な	0.617	0.279	0.638
せせこましい—おおらかな	0.136	0.120	-0.796
未成熟な—成熟した	0.459	0.799	-0.183
濁った—透明感のある	0.919	0.092	-0.051
沈んだ—勢いのある	0.643	0.584	0.261
ごたごたした—スムーズな	0.672	0.403	-0.405
嫌い—好き	-0.247	0.727	-0.038

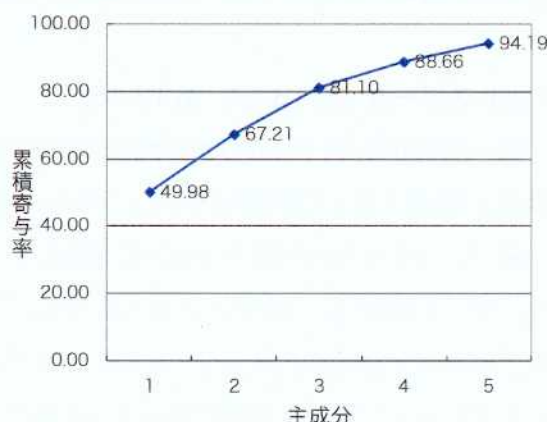


図 13-16. SD 評価主成分分析固有値のスクリープロット 2ch Head (2 回目)

第一主成分は、「鮮明な」「動的な」「活発な」「研ぎ澄まされた」「透明感のある」「スムーズな」といった評価を受けていた。音から受けるダイナミックかつクリアな印象に関わるように思える。音がはっきりと聞こえているということだろう。「音質のクリアさ」と命名した。第二主成分は、「重厚な」「深みのある」「豊かな」「成熟した」「好き」。これらの評価から音の熟成された雰囲気や豊穡さについて評価していることを連想させる。音から受けるそのような印象から「音の豊かさ」と命名した。第三主成分は「洗練された」「かたい」「せせこましい」。「かたい」「せせこましい」はネガティブな評価である。洗練されてはいるがかたさやせせこましさがあり、どこか余裕のない感じ、いい意味での遊びのなさを感じる。そこで「音の遊びのなさ」と命名した。

13-4-2-4 主成分分析の総合的解釈

主成分分析の結果から音源ごとに各主成分で高い固有ベクトル値を示す SD 対にある程度の違いがあることがわかった。ここでは第三主成分までを解釈の材料に使ったが、まず各成分のみでの比較を行う。

特に第一主成分の評価は重要である。当たり前のことだが、第一主成分には当該の対象に対する主たる評価を構成する成分が集まるからである。この6種の音源を例にとると第一主成分に音に対する第一印象となるものがあらわれていることになる。そこで最初に第一主成分だけで比較を行うことで大まかな音源による印象の違いを把握した後で、次の第二、三主成分の比較に移るとさらに解釈を深めることができるため、まず第一主成分のみでの比較を行った後、補足的に第二、第三主成分についても比較を行い、最後に音源間の総括的な比較を行う。

・第一主成分

第一主成分での評価は二つの傾向を持っている。音のダイナミックさ（迫力のこと）に関わる評価か(2chhead-1)、音の安定性や豊かさなど音の質の良さに関わる評価(多ch->2ch)のどちらか一方で評価されているのか、その両者があわさった評価を受けているか(多ch客席, 6h最前列, 2chスピーカ, 2chHead-2)である。後者の評価を受けた4種の音源についてみるとその中でも多chの2種は他の音源よりも一段階上の評価を受けているように思える。この二つの第一主成分は「豊かな臨場感」(多ch客席)「リアリティの高さ」(多ch最前列)と命名したが、これらは録音された音の再現性の良さをあらわしたものである。そのことからこれら2種の音源が他の音源よりも優位さを持っていることが窺える。また多ch客席でのみ「立体的な」という評価を得ていたことから多chにおける再現性の高さが支持される。

・第二主成分

第二主成分は第一主成分であらわされた印象と異なる印象、もしくはそれを補足する印象をつくっている。その中でも多ch最前列は第一主成分同様、音の再現性の良さをあらわしていた。

・第三主成分

第三主成分は累積寄与率から判断して(約11～15%)、音から受ける印象を形成する上であまり重要ではない。そこであらわされている印象も第一、第二主成分であらわされていない印象や他の主成分であらわされている内容を補足するものである。2ch-Head2でややネガティブな印象を受けているが他の音源ではそのようなことがなく、音源間の積極的な差異は見当たらない。

・第一～第三主成分

ごく一部の例外を除けば、主成分を構成する成分の評価はポジティブな方向に傾いていた、すなわち SD 対の評価においてポジティブな言葉に傾いていた。また一見するとネガティブな

方向に傾いていたものも他の成分と合わせて解釈を行うとネガティブな意味ではなかった。ネガティブな意味を表しているとは判断したのは 2chHead-2 の第三主成分であらわれた「かたい」「せせこましい」という評価のみであった。それらのことから判断するに 6 種の音源はそれぞれ「良い」と評価されていることがわかる。

2chHead-2 は第三主成分でややネガティブな評価を受けていたことから他の 5 種の音源よりもやや落ちるかもしれないが、その 5 種の音源にしても「良さ」に差がないかというそうではない。「良さ」を区別する根拠を第一主成分での評価に求めた。第一主成分は評価の中で主要な地位を占めることから音から受ける第一印象に相当する。他の第二、三主成分よりもウエートが大きいといえる。

そこで第一主成分において、そこであらわされた内容から他の音源よりも優れていると思われるものを取り上げると多 ch 客席・最前列がそれに該当する。既述のことであるがこの 2 種の音源には「豊かな臨場感」「リアリティの高さ」と命名した。音の再現性の高さを示すものだからである。多 ch 客席においては「立体的な」という評価も受けており、参考までに第二主成分までみてみると多 ch 最前列では別の表現で音の再現性の高さを評価されていた。

それらのことから再現性の高さという点において、多 ch 客席・最前列は他の音源よりも一段階上の評価を得ていると推測される。別に、SD データを分散分析で解析した結果では、項目間で有意な差がみられ多 ch 客席・最前列は他の音源よりも良い評価を受けていたことも主成分分析の結果と一致するものであった。多 ch 客席・最前列を他の 4 種の音源と区別するのは音の再現性の高さが考えられる。

13-4-3 脳波による左右脳の活動状況

脳波計によって記録された左右脳の活動を図 13-14-1 ～ 14-10 に示す。脳波グラフは、2 つの色分けされた時系列グラフが 1 セットで、左側が左脳、右側が右脳の活動状況を示している。横軸が周波数を示し、図 1 から図 5 と同様に 0-2Hz が眼球運動に追従した反応、3-7Hz が θ 波、8-12Hz が α 波（スペクトル頂部がグレー）、13-20Hz が β 低周波域、21-30Hz が β 高周波域となる。縦軸は周波数区分毎の強度を表し、奥行き軸が時間経過を表す。

図 13-14-1 ～ 14-10 では、これに加えて、被験者による順位評価（全条件を試聴した後の評価）を 1st ～ 6th の序数で表し、またそれぞれの条件において得られた感性評価（SD 法）の結果を折れ線グラフのパターンで示した。なお、この段階では表 6 に示した全ての評価を含み、左から右に評価項目の 1-22 が対応する。

そこで、個々の被験者内での条件間の差について検討すると、特に β 波領域の活性度、眼球運動の活性度、において何らかの違いが認められる。実験は、各試聴毎に約 90 秒であり、一部を除いて極端な乱れはない。被験者 1 の 3 番目、被験者 5 の 5 番目のデータの途中に β 波がやや強く現れている部分があるが、これは実験中に発生した僅かな物音によるものである。被験者 6 の 2 番目のデータでは、左脳だけに β 波が強く現れている。これは何か考え事をしていて等の理由によるものだと思われる。それだけ、音響効果が気持ちを引き寄せられていないこ

図13-17-1 周波数毎脳波強度の時間変化

<Panel 1>

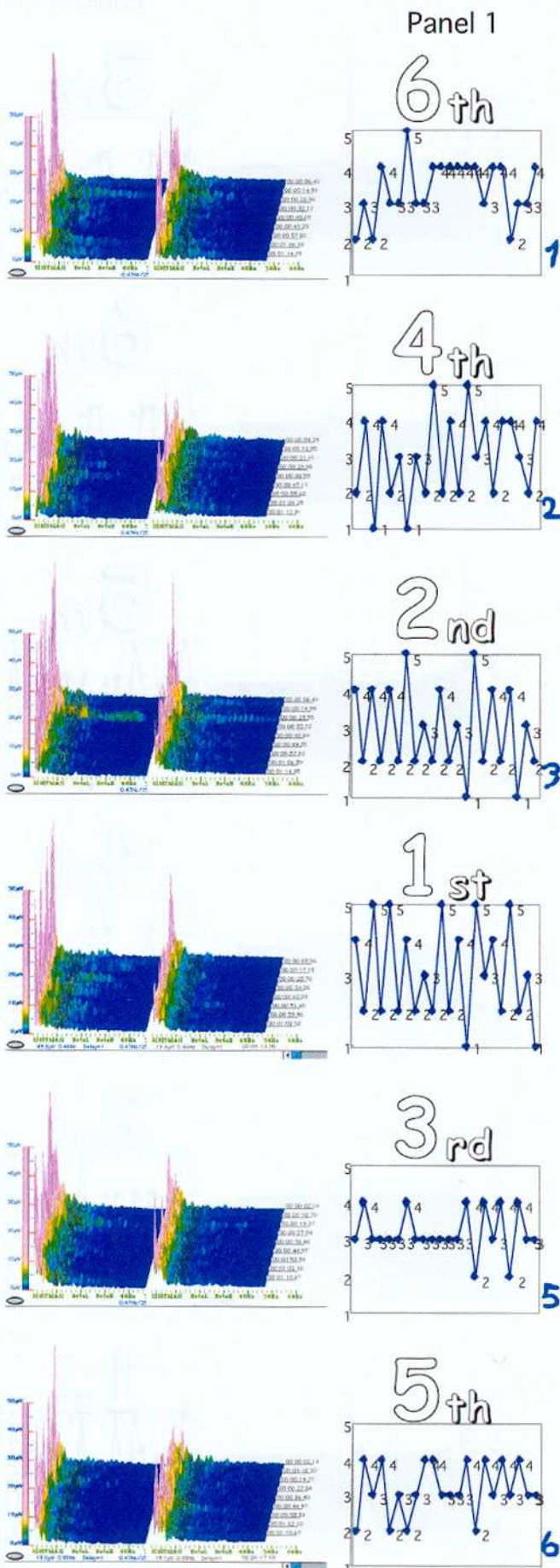


図13-17-2 周波数毎脳波強度の時間変化

<Panel 2>

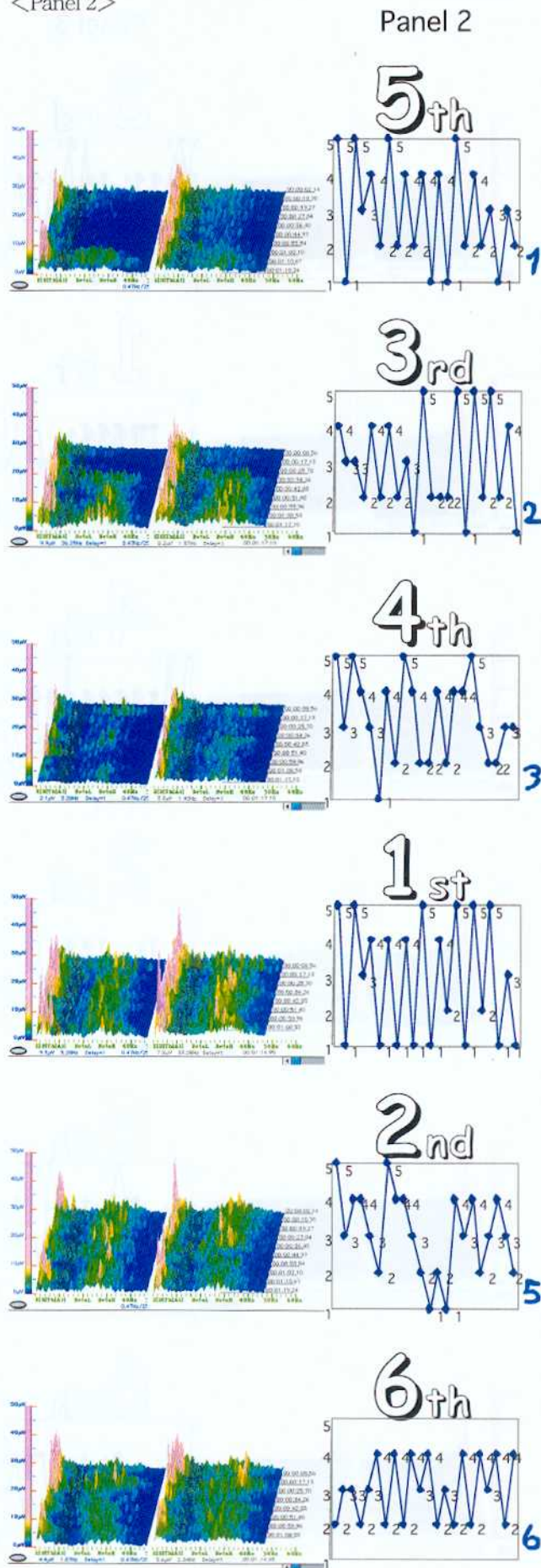


図13-17-3 周波数毎脳波強度の時間変化

<Panel 3>

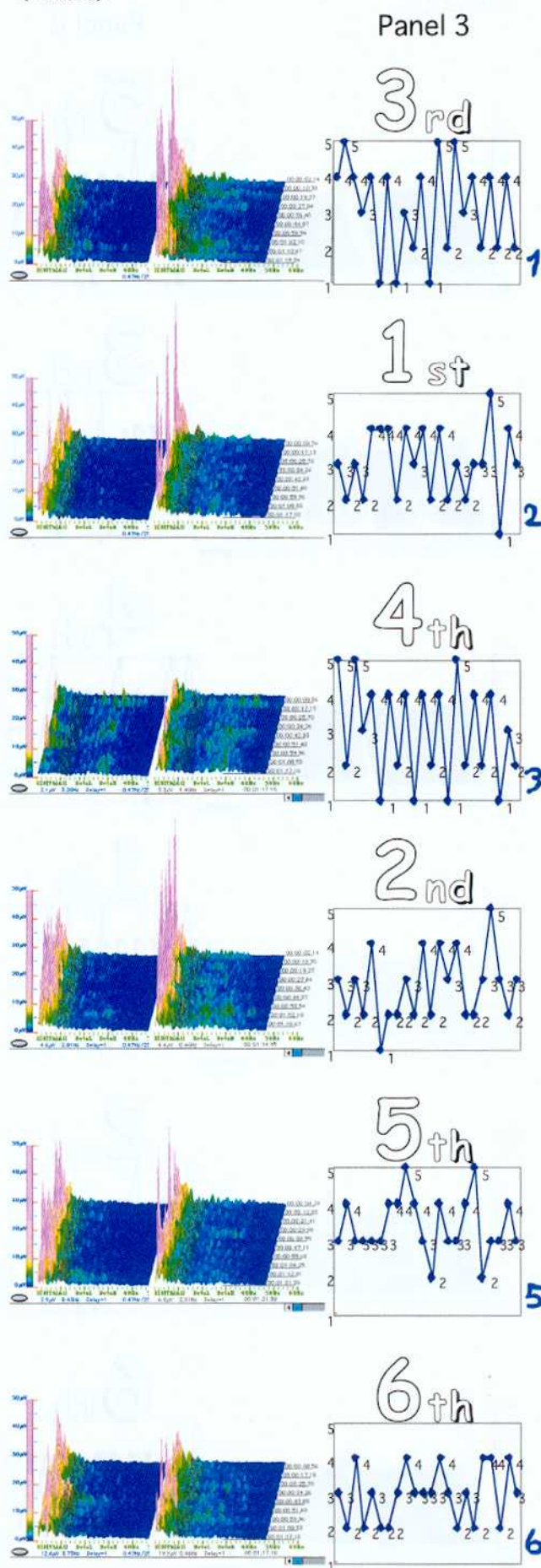


図13-17-4 周波数毎脳波強度の時間変化

<Panel 4>

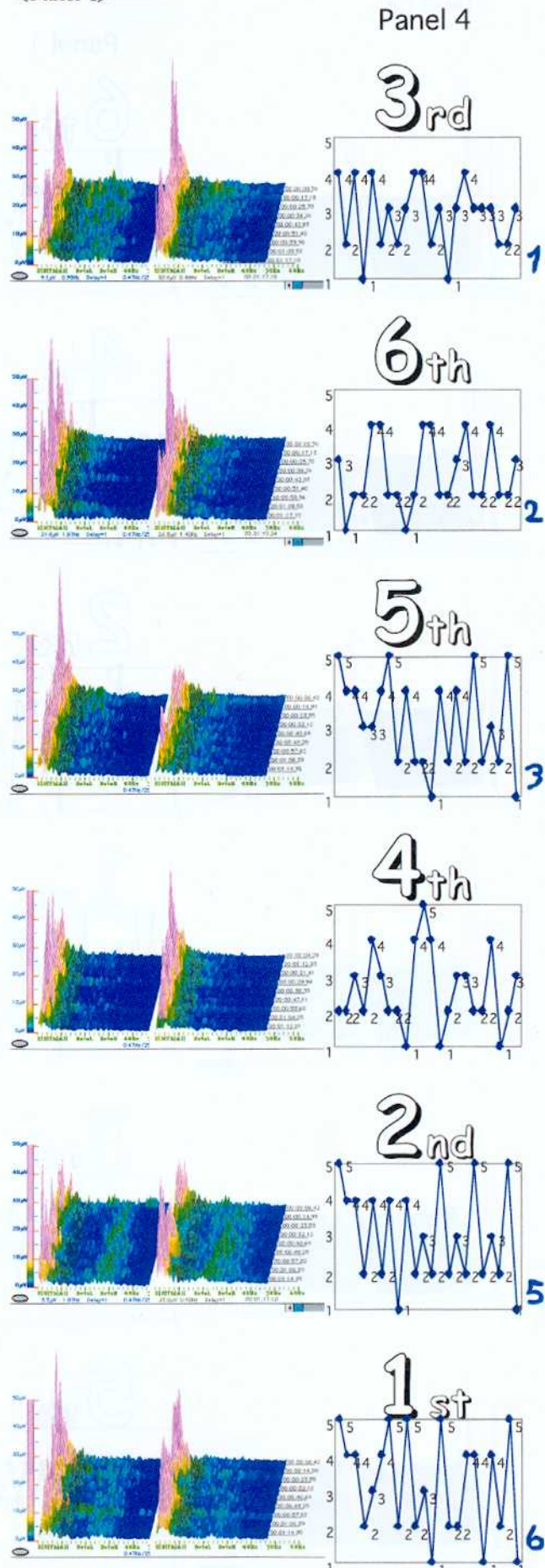


図13-17-5 周波数毎脳波強度の時間変化

<Panel 5>

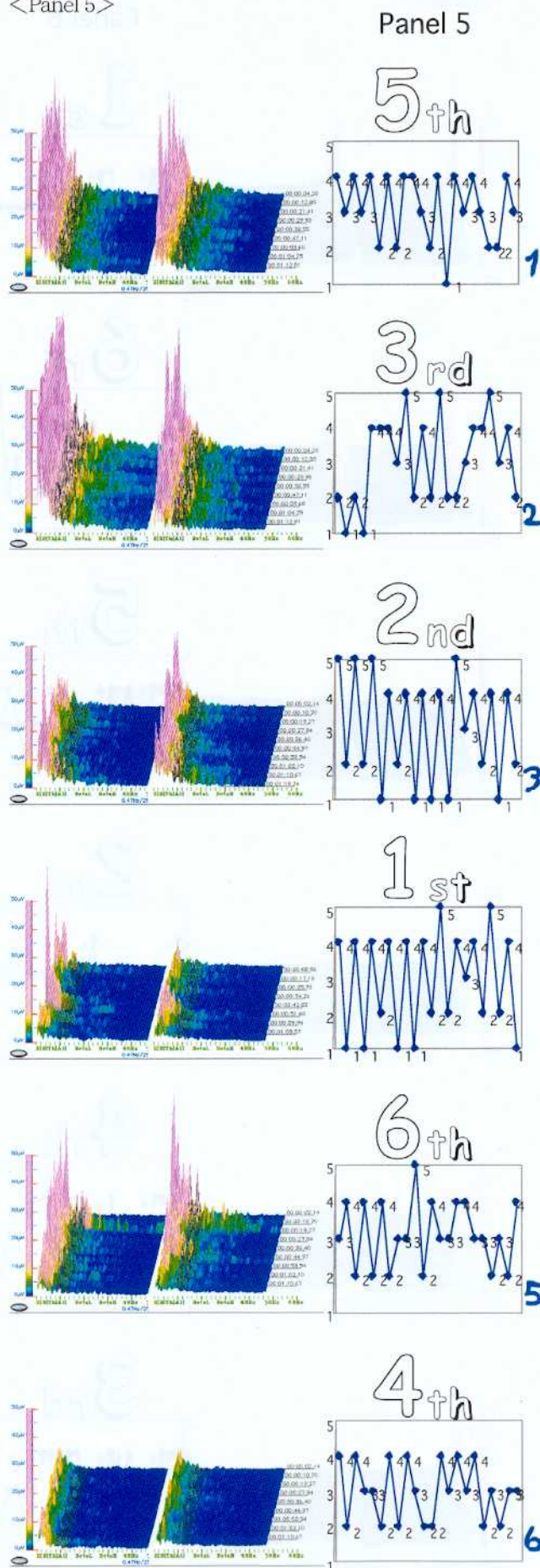


図13-17-6 周波数毎脳波強度の時間変化

<Panel 6>

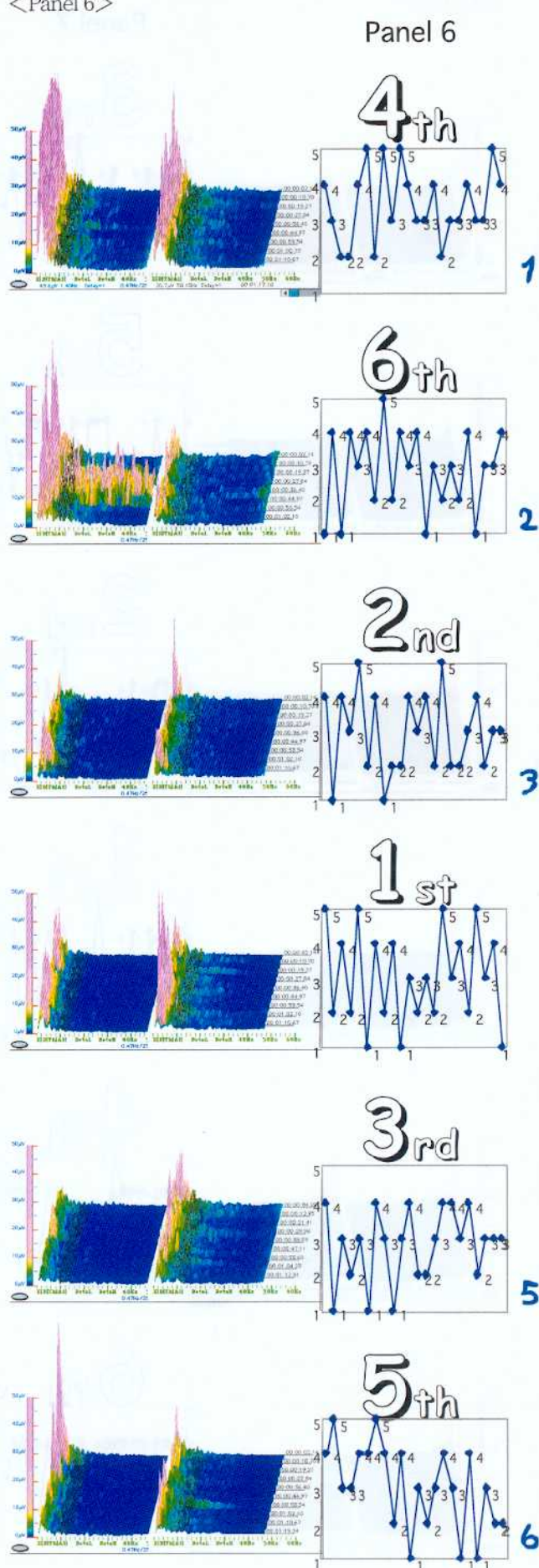


図13-17-7 周波数毎脳波強度の時間変化

<Panel 7>

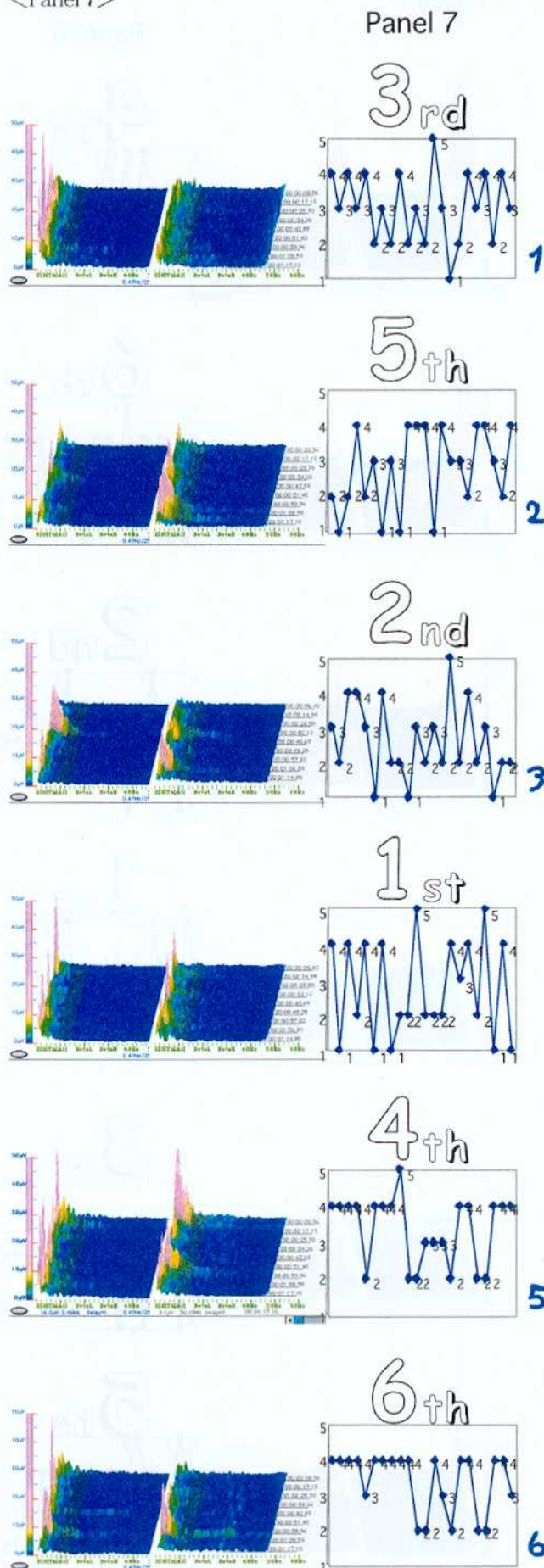


図13-17-8 周波数毎脳波強度の時間変化

<Panel 8>

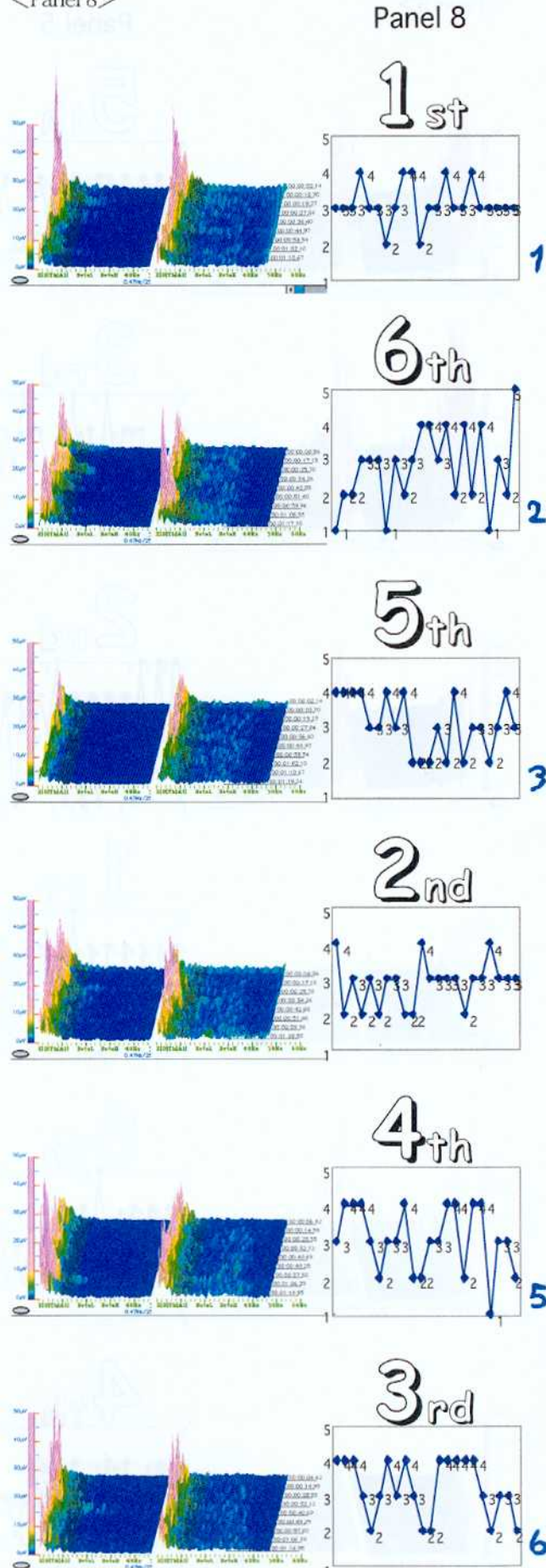


図13-17-9 周波数毎脳波強度の時間変化

<Panel 9>

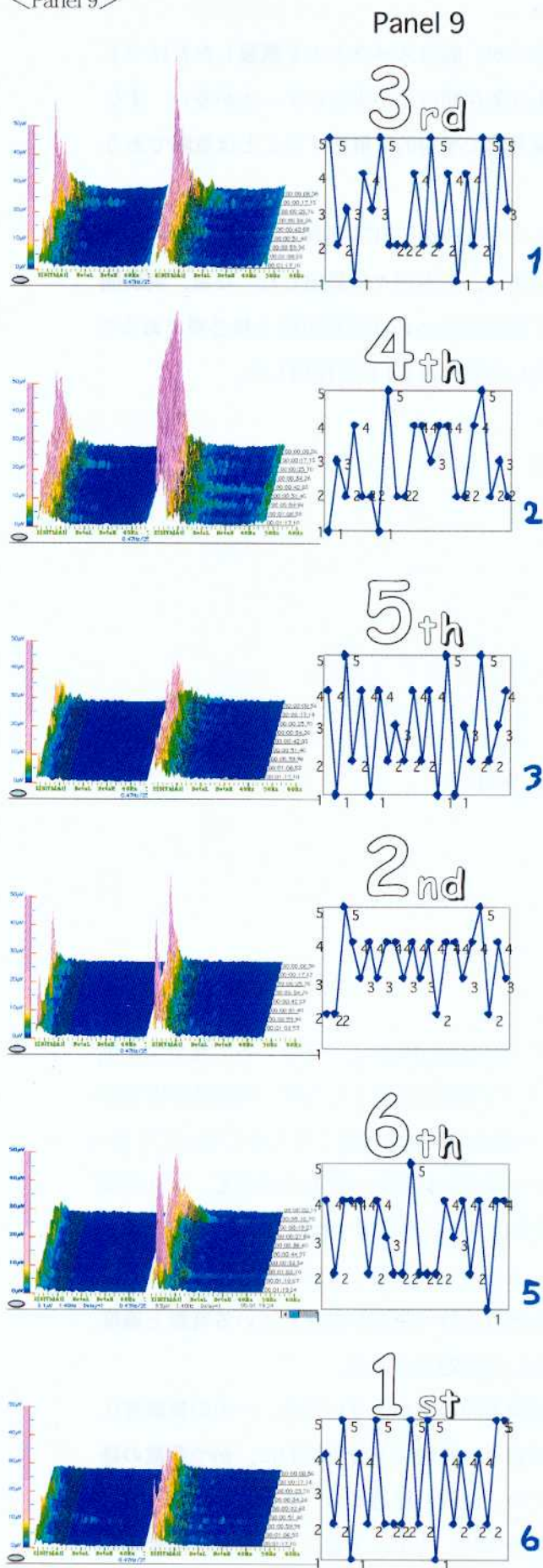
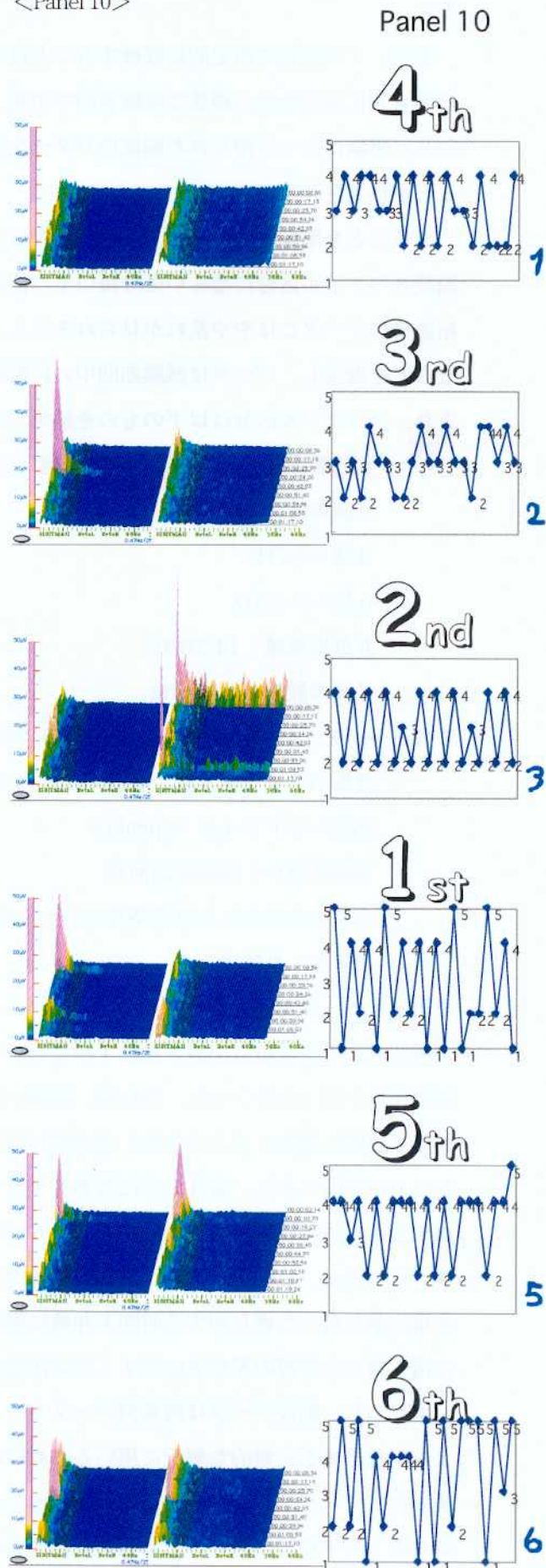


図13-17-10 周波数毎脳波強度の時間変化

<Panel 10>



とが明らかであり、順位評価の結果が低いことと何らかの関連があると考えても良いかも知れない。

また、この段階で断定的に評価することはできないが、脳波スペクトルを概観しただけでも被験者間における差が顕著で被験者内での差、つまり条件間の差が少ないケースが多い。すなわち、実験によって得られた脳波のパターンを被験者間で平均的に解釈することは危険であることが推測される。

このことを確認するために、試聴時間中に記録された脳波を、FFT 処理し、通常用いられる脳波スペクトル区分にならい区分毎の平均値を 1 秒単位、左右別々に算出した。なお、実験開始直後のデータにはやや乱れが見られること、FFT 処理のための区間幅が約 1 秒必要であることなどを勘案し、データは試験期間中の比較的安定した時間帯 64 秒を採用した。

また、スペクトル区分は以下のものを採用した。

δ 低周波域（眼球運動と強い関連）：0-2Hz

δ 高周波域：3-4Hz

θ 域：5-7Hz

α 域：8-13Hz

β 低周波域：14-20Hz

β 高周波域：21-34Hz

このデータを元に、従属変数（判別基準）として、

音源のチャンネル数：音源 CH または 2ch/ 多 ch

試聴ヘッドフォン：speaker

音源の違い：客席 / 最前列

これらを総合した試聴条件の違い：音源

被験者：被験者

を想定して、重判別分析を行った。

最初に、周波数毎に記録された 1 秒ごとの変動データを説明変数としたところ、十分な正準相関係数が得られなかった。これは、脳波の時系列的な関係を見逃したため、実験条件内での変動（視聴時間内に生じる変動）が、被験者間および試聴条件間の差よりも大きくなってしまったことが原因となり、条件の差に対する十分な寄与が観測されなかったものである。これを解決するためには採用した試聴時間である 64 秒の区間の平均値を採用すればよいように思われる。ところが、これを行うと、実験の時間内に起こる心理反応の揺らぎが無視され、たとえば、非常に落ち着いた感じがする時間と非常に興奮した感覚を持つ時間が混在している音源と適度に落ち着いた音源の差を見いだすことが出来ないという問題点がある。

すなわち、脳波データは時系列データであり、被験者間の差が大きいため、一人の被験者による実験結果を定量的な解釈に用いるためには、被験者の経験を十分平均的に、かつ多数の経験としてデータ化する必要があるのである。そのため、時間の経過に沿って異なる反応をする脳波を十分平均的に、しかも時間の経過による変動を加味したデータとして取り扱う必要があ

る。

そこで、脳波スペクトルデータを、区間を時系列に沿って移動平均を採用してみる。移動平均はあまり短い時間では効果がないため、ここでは、採用データ時間の約 1/6 である 10 秒を用いた。

重判別分析の結果から、判別の精度を表す正準相関係数（正準 R）、判別結果の信頼性を表す wilks λ と p 値を従属変数ごとにまとめたものを表 13-26(1) に示す。

この結果を見る限り、音源の ch 数、スピーカー、客席 / 最前列、音源のいずれの区分に対しても、脳波データは有意な判別をおこなうことができない。唯一、被験者の区分に対して非常に有意な判別を行いうることが読みとれる。

このことは、脳波データは個人差が非常に大きいのか、あるいは特殊な被験者が混在している可能性を示唆するものである。そこで、被験者の傾向を確認するために、得られた判別基準に従っ

従属変数→		2ch/ 多ch	Speaker	客席/ 最前	音源					
被験者 根		1	1	1	1	2	3	4	5	
全体	正準 R	0.214	0.143	0.231	0.403	0.267	0.234	0.174	0.106	
	Wilksλ	0.954	0.980	0.947	0.705	0.842	0.907	0.959	0.989	
	p値	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
従属変数→		被験者								
被験者 根		1	2	3	4	5	6	7	8	9
全体	正準 R	0.848	0.761	0.674	0.575	0.505	0.466	0.348	0.229	0.132
	Wilksλ	0.021	0.073	0.174	0.319	0.477	0.641	0.818	0.931	0.982
	p値	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

表13-26(1). 脳波による条件判別の可能性（全データ）

従属変数→		2ch/ 多ch	Speaker	客席/ 最前	音源				
被験者	根	1	1	1	1	2	3	4	5
全体	正準 R	0.271	0.211	0.259	0.420	0.311	0.261	0.171	0.136
	Wilks λ	0.927	0.956	0.933	0.661	0.802	0.888	0.953	0.981
	p 値	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

表13-26(2). 脳波による条件判別の可能性（被験者2を除外、個人差は省略）

[注] 表 13-26 では試聴時間内に記録された脳波スペクトルを周波数区分毎に 10 秒ごとの移動平均値を独立変数として用いた重判別分析の結果を正準相関係数と、Wilks λ および χ^2 二乗検定結果の p 値をまとめたものが上記である。従属変数として、音源のチャンネル数、試聴ヘッドフォン（スピーカー）の違い、音源の違い（リス 客席 / 最前列）と、これらを総合した試聴条件の違いを用いた。[根] は、解析によって得られる判別基準であり、通常判別カテゴリーの数より 1 少ない数が得られる。複数得られる場合は、その正準相関係数の大きさにより番号を付ける。

表では、正準相関係数によって色づけして表示した。白色の柵は 正準相関係数 ≥ 0.700 で、判別がかなりよく行えていると言える。黄色柵は 正準相関係数 > 0.500 で、ある程度の傾向があるものである。グレー柵は結果の信頼性はあるものの判別が困難なものである。

た被験者毎の平均値（解析結果が示す被験者の代表値）を散布図で確認してみることとする。この際、図 13-18 に正準相関係数と判別基準の関係を示すが、正準相関係数は比例的に減少しているため、便宜的に 0.6 以下である第 4 正準根以下は用いない。表 13-27 に、被験者判別基準と被験者得点の平均値、および脳波スペクトルの因子負荷量を示す。これをもとに、第 1 判別基準と第 2 判別基準による散布図を図 13-19 に、第 1 判別基準と第 3 判別基準による散布図を図 13-20 に示す。ここから明らかに読みとれることは、被験者 2 がや

図 13-18. 重判別分析の結果から、正準相関係数（正準 R），wilks λ と p 値

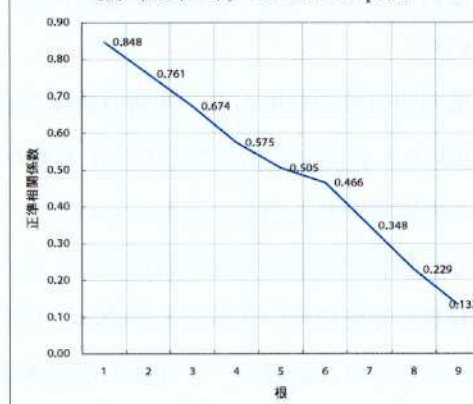


図 13-19. 第 1 判別基準と第 2 判別基準による被験者の散布図

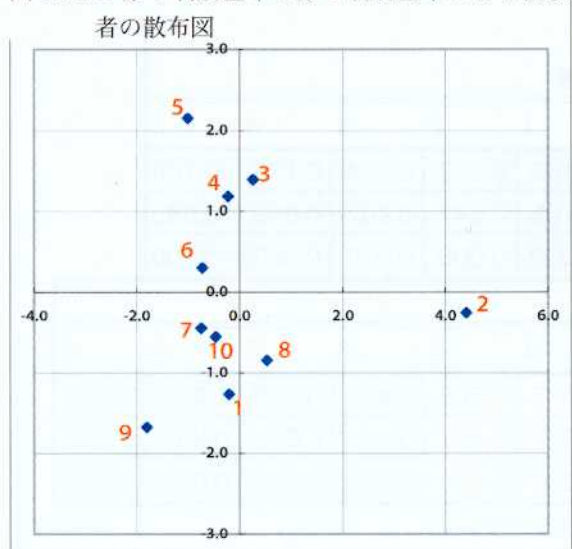
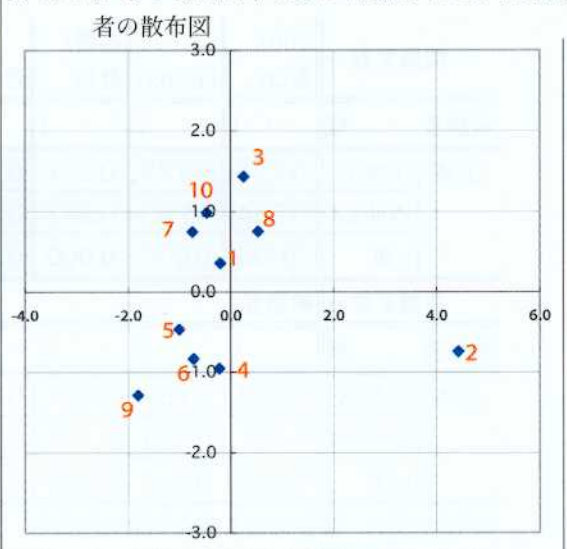


図 13-20. 第 1 判別基準と第 3 判別基準による被験者の散布図



第1判別基準（正準R=0.848）

第2判別基準（正準R=0.761）

第3判別基準（正準R=0.674）

脳波	因子負荷	被験者	因子負荷	脳波	因子負荷	被験者	因子負荷	脳波	因子負荷	被験者	因子負荷
δ _LO L	-0.138	1	-0.212	δ _LO L	0.345	1	-1.262	δ _LO L	-0.227	1	0.356
δ _HI L	-0.129	2	4.413	δ _HI L	0.479	2	-0.257	δ _HI L	-0.271	2	-0.742
θ L	-0.102	3	0.254	θ L	0.527	3	1.392	θ L	-0.247	3	1.433
α L	-0.044	4	-0.226	α L	0.541	4	1.185	α L	-0.251	4	-0.952
β _LO L	0.190	5	-1.005	β _LO L	0.427	5	2.152	β _LO L	-0.436	5	-0.463
β _HI L	0.466	6	-0.730	β _HI L	0.302	6	0.300	β _HI L	-0.538	6	-0.831
δ _LO R	-0.141	7	-0.749	δ _LO R	-0.002	7	-0.443	δ _LO R	-0.369	7	0.749
δ _HI R	-0.124	8	0.529	δ _HI R	0.015	8	-0.843	δ _HI R	-0.552	8	0.751
θ R	-0.100	9	-1.806	θ R	0.213	9	-1.671	θ R	-0.505	9	-1.285
α R	-0.068	10	-0.468	α R	-0.366	10	-0.554	α R	-0.443	10	0.986
β _LO R	0.282			β _LO R	0.468			β _LO R	-0.420		
β _HI R	0.742			β _HI R	0.205			β _HI R	-0.342		

表 13-27. 被験者判別と脳波スペクトルの関係

負荷量最大

負荷量大

負荷量小

負荷量最小

図 13-21. 脳波スペクトル散布図 (第 1 判別基準と第 2 判別基準)

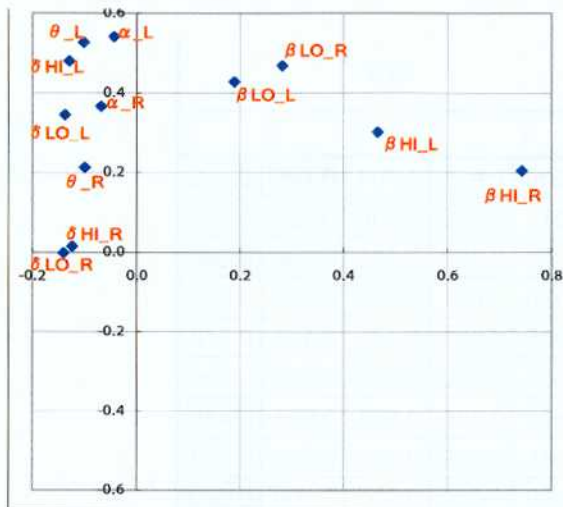
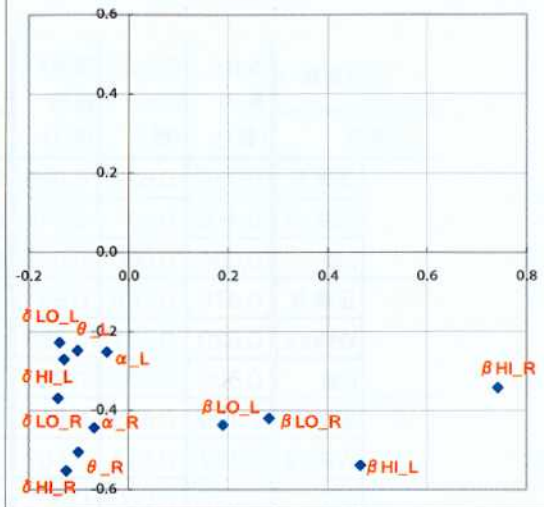


図 13-22. 脳波スペクトル散布図 (第 1 判別基準と第 3 判別基準)



や特殊な傾向を持っているということである。なお、同時に脳波スペクトル毎の因子負荷量についても同様に図 13-21, 13-22 に示した。

そこで、被験者グループから被験者 2 を除外して重判別分析を行ってみるとその結果は表 13-26(2) のようにまとめられる。すなわち、被験者 2 を除くことによって、幾分かの重相関係数は向上するものの、大きな変化は生じないと言うものである。すなわち、個人差の構造は、さらに深く、単に外れ値の問題ではないということが明らかになった。すなわち、脳波の検討は個人毎に行なわざるを得ないということである。

なお、図 13-21, 13-22 から、被験者の判別に寄与する脳波スペクトルとしては、 β 域の特性が効果が高く、ついで左右差が関連付いているように見える。

そこで、被験者毎に条件毎の判別可能性について、再度重判別分析を行った結果を 表 13-28 に示す。

ここでは、10 名の被験者を合わせて解析した場合とは異なり、全ての被験者において全ての従属変数に関して少なくとも 0.500 以上の正準相関係数が得られた。なかでも、被験者 4 においては、音源 ch, スピーカ、客席 / 最前列の全ての条件において、正準相関係数が 0.7 以上となり、脳波に特徴的な差が見られるという結果が得られた。このことは、被験者の脳波スペクトルパターンは、音源の ch 数、スピーカ種別、客席 / 最前列 (音そのものが違う)、そしてこれらを総合した音源の種類に関して、ある傾向を有しているということである。特に、音源の違いは確実に脳波のパターンに現れ、その中でも今回の実験の特徴であるチャンネル数および、ヘッドフォンの違いが脳波スペクトルに反映されると予想される。

そこで次に説明変数である脳波スペクトル毎の影響力を考えるため、それぞれの因子負荷量を検討する必要がある。表 13-29 は、従属変数および被験者毎にまとめたものである。因子負荷量であるので、絶対値が大きいものが当該従属変数への寄与が大きいと考えられる。そのため、表 13-29 では絶対値の大きいものを太字で示した。被験者によって寄与の強いスペクトル成分

従属変数→		2ch/ 多ch	Speakers	客席/ 最前	音源				
↓被験者		(根1)	(根1)	(根1)	1	2	3	4	5
1	正準 R	0.736	0.639	0.810	0.905	0.828	0.704	0.486	0.455
	Wilks λ	0.458	0.591	0.344	0.017	0.096	0.306	0.606	0.793
	p値	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2	正準 R	0.616	0.706	0.801	0.926	0.871	0.826	0.609	0.531
	Wilks λ	0.620	0.501	0.358	0.005	0.035	0.143	0.452	0.718
	p値	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
3	正準 R	0.709	0.695	0.658	0.832	0.759	0.603	0.588	0.420
	Wilks λ	0.497	0.517	0.567	0.045	0.145	0.343	0.539	0.823
	p値	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
4	正準 R	0.723	0.945	0.792	0.984	0.928	0.766	0.713	0.423
	Wilks λ	0.477	0.106	0.373	0.001	0.023	0.167	0.404	0.821
	p値	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
5	正準 R	0.539	0.639	0.518	0.994	0.741	0.612	0.402	0.267
	Wilks λ	0.709	0.591	0.731	0.003	0.219	0.487	0.779	0.929
	p値	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.003
6	正準 R	0.699	0.711	0.735	0.975	0.929	0.752	0.675	0.248
	Wilks λ	0.511	0.495	0.459	0.002	0.030	0.222	0.511	0.939
	p値	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.009
7	正準 R	0.565	0.746	0.507	0.930	0.805	0.751	0.550	0.463
	Wilks λ	0.681	0.443	0.742	0.011	0.084	0.239	0.549	0.786
	p値	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
8	正準 R	0.651	0.707	0.721	0.901	0.737	0.696	0.631	0.286
	Wilks λ	0.576	0.500	0.480	0.024	0.130	0.285	0.552	0.918
	p値	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
9	正準 R	0.600	0.630	0.611	0.996	0.935	0.591	0.409	0.189
	Wilks λ	0.640	0.603	0.626	0.001	0.065	0.522	0.803	0.964
	p値	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.168
10	正準 R	0.636	0.637	0.701	0.832	0.756	0.651	0.583	0.402
	Wilks λ	0.595	0.594	0.508	0.042	0.136	0.319	0.553	0.839
	p値	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

表13-28.被験者毎の脳波による条件判別の可能性

正準相関係数（正準R）の大きさ并表示

□ ≥ 0.700

□ < 0.700

□ < 0.500

[注] 表 13-26 と同様、表 13-28 では試験時間内に記録された脳波スペクトルを周波数区分毎に 10 秒ごとの移動平均値を独立変数として用いた。従属変数として、音源のチャンネル数、試験ヘッドフォン（スピーカー）の違い、音源の違い（リス客席 / 最前列）と、これらを総合した試験条件の違いを用い、重判別分析の結果は、正準相関係数と、Wilks λ および χ^2 乗検定結果の p 値 によってあらわした。

表では、正準相関係数によって色づけして表示した。白色の柁は正準相関係数 ≥ 0.700 で、判別がかなりよく行えていると言える。黄色柁は正準相関係数 > 0.500 で、ある程度の傾向があるものである。グレー柁は結果の信頼性はあるものの判別が困難なものである。この結果では、ほとんどの被験者で、音源の特性による差が脳波に現れていると言える。

被験者	1			2			3			4			5		
脳波区分 (左右)	2ch/ 多ch	Speak ers	客席/ 最前	2ch/ 多ch	Speak ers	客席/ 最前	2ch/ 多ch	Speak ers	客席/ 最前	2ch/ 多ch	Speak ers	客席/ 最前	2ch/ 多ch	Speak ers	客席/ 最前
正準R	0.74	0.64	0.81	0.62	0.71	0.80	0.71	0.70	0.66	0.72	0.95	0.79	0.54	0.64	0.52
δ _LO L	0.32	0.40	-0.11	0.18	0.19	0.34	-0.14	-0.22	-0.19	0.08	0.12	0.04	0.88	0.40	-0.64
δ _HI L	0.45	0.31	-0.15	0.23	0.23	0.44	-0.15	-0.15	-0.19	-0.03	0.07	0.24	0.84	0.31	-0.68
θ _L	0.56	0.35	-0.21	0.27	0.35	0.53	-0.13	-0.12	-0.25	0.01	0.08	0.26	0.70	0.35	-0.67
α _L	0.60	0.45	-0.28	0.20	0.23	0.36	-0.09	-0.24	-0.19	-0.23	0.01	0.33	0.81	0.45	-0.63
β _LO L	0.71	0.48	-0.39	-0.01	-0.16	0.19	0.14	-0.06	-0.35	-0.46	-0.14	0.44	0.74	0.48	-0.62
β _HI L	0.61	0.42	-0.31	0.12	0.02	0.34	0.33	0.18	-0.63	-0.73	-0.86	0.36	0.52	0.42	-0.46
δ _LO R	0.22	0.22	-0.17	-0.11	0.12	0.28	0.36	0.15	-0.55	-0.13	0.01	0.07	0.62	0.22	-0.78
δ _HI R	-0.23	-0.10	0.08	-0.08	0.17	0.30	-0.01	-0.14	-0.10	-0.09	0.06	0.14	0.57	-0.10	-0.70
θ _R	-0.04	0.35	0.07	-0.03	0.26	0.32	0.05	-0.20	-0.18	-0.13	0.10	0.25	0.56	0.35	-0.67
α _R	0.25	0.52	0.07	-0.20	0.14	0.21	-0.07	-0.29	-0.20	-0.01	0.13	0.24	0.72	0.52	-0.66
β _LO R	0.37	0.54	0.09	-0.15	-0.22	0.25	0.17	0.03	-0.45	-0.30	-0.04	0.51	0.66	0.54	-0.64
β _HI R	0.33	0.38	0.08	0.19	0.07	0.53	0.28	0.20	-0.60	-0.55	-0.30	0.40	0.54	0.38	-0.58
ave 1	-0.77	-0.83	0.62	-0.55	-0.99	-0.60	-0.71	-0.96	0.39	-0.74	-2.89	0.58	0.45	-0.83	-0.27
2	1.53	0.83	-3.08	1.10	0.99	2.98	1.42	0.96	-1.95	1.48	2.89	-2.89	-0.90	0.83	1.35
被験者	6			7			8			9			10		
脳波区分 (左右)	2ch/ 多ch	Speak ers	客席/ 最前	2ch/ 多ch	Speak ers	客席/ 最前	2ch/ 多ch	Speak ers	客席/ 最前	2ch/ 多ch	Speak ers	客席/ 最前	2ch/ 多ch	Speak ers	客席/ 最前
正準R	0.70	0.71	0.74	0.56	0.75	0.51	0.65	0.71	0.72	0.60	0.63	0.61	0.64	0.64	0.70
δ _LO L	0.36	0.27	0.13	0.10	0.31	-0.15	0.02	0.17	0.37	-0.50	0.32	-0.27	0.29	-0.02	-0.49
δ _HI L	0.37	0.24	0.14	-0.14	0.12	-0.15	-0.05	0.13	0.26	-0.58	0.37	-0.36	0.46	-0.05	-0.39
θ _L	0.45	0.01	0.22	-0.11	0.21	-0.06	0.02	0.06	0.35	-0.61	0.31	-0.36	0.53	-0.07	-0.37
α _L	0.48	-0.04	0.28	-0.13	0.24	-0.21	-0.02	0.02	0.19	-0.57	0.20	-0.36	0.50	0.00	-0.52
β _LO L	0.36	-0.18	0.24	0.10	0.31	0.15	-0.08	0.07	0.09	-0.56	0.06	-0.37	0.46	-0.06	-0.29
β _HI L	0.28	-0.24	0.20	0.29	0.57	0.13	0.01	-0.05	0.02	-0.48	0.01	-0.19	0.18	0.11	-0.50
δ _LO R	-0.06	0.09	-0.33	0.09	0.07	-0.28	-0.20	0.11	0.03	-0.54	0.47	-0.34	0.21	-0.19	-0.53
δ _HI R	0.06	0.21	-0.19	0.02	0.05	-0.17	0.10	-0.28	-0.20	-0.69	0.32	-0.44	0.29	-0.33	-0.35
θ _R	0.02	0.24	-0.23	-0.07	0.12	-0.38	0.27	-0.60	-0.04	-0.72	-0.01	-0.44	0.24	-0.12	-0.28
α _R	0.12	0.34	-0.12	0.12	0.17	-0.28	0.24	-0.58	-0.12	-0.72	0.17	-0.43	-0.01	0.08	-0.24
β _LO R	-0.01	0.19	-0.29	0.03	0.20	-0.29	0.07	-0.40	-0.18	-0.68	0.10	-0.39	0.03	-0.07	-0.18
β _HI R	0.04	0.20	-0.18	0.47	0.59	-0.05	0.28	-0.33	-0.07	-0.67	0.10	-0.35	0.07	-0.23	-0.26
ave 1	0.69	1.01	0.48	0.48	1.12	0.26	-0.60	1.00	-0.46	-0.53	-0.81	-0.34	0.58	-0.82	-0.44
2	-1.38	-1.01	-2.42	-0.97	-1.12	-1.31	1.21	-1.00	2.32	1.06	0.81	1.72	-1.16	0.82	2.19

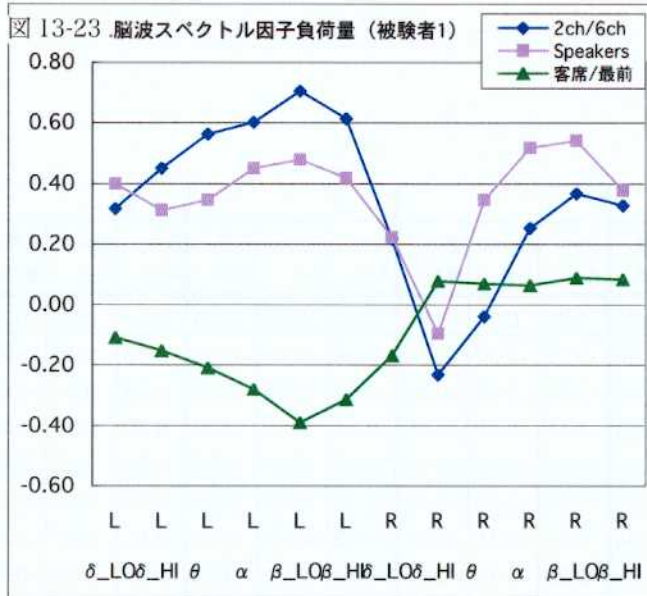
表13-29. 判別基準別にみた脳波スペクトルの因子負荷量分布（被験者別）

太字は絶対値が最大またはそれに準じるもので、それぞれの判別に対して寄与の大きい脳波スペクトルである。

正準相関係数が0.700以下となる場合は、 で示した。（被験者6の2ch/多chは、正準R=0.699）

ave は、解析結果により予測される値の平均値で、以下のカテゴリーを表す。平均値の差の大きさと正準相関係数大きさは必ずしも関連性がないが、平均値の差が多いほどはっきり区別されている可能性が高い

	2ch/多ch	Speakers	客席/最前
1	2ch	2ch	客席
2	多ch	多ch	最前列



が異なっていることがよく分かる。
次に、この因子負荷量と脳波スペクトルの関係を被験者毎にグラフ化して検討する。

被験者 1 (図 13-23)

2ch/ 多 ch の違いはよく判別されており、多 ch の音に対して左脳の β 低周波域を中心とした影響が強く β 高周波域の影響が小さい。

ヘッドフォンの違いはやや不明瞭だが、多 ch ヘッドフォンと右脳 $\alpha \sim \beta$ 低周波域の関連が強く、やはり β 高周波域の影響が小さい。

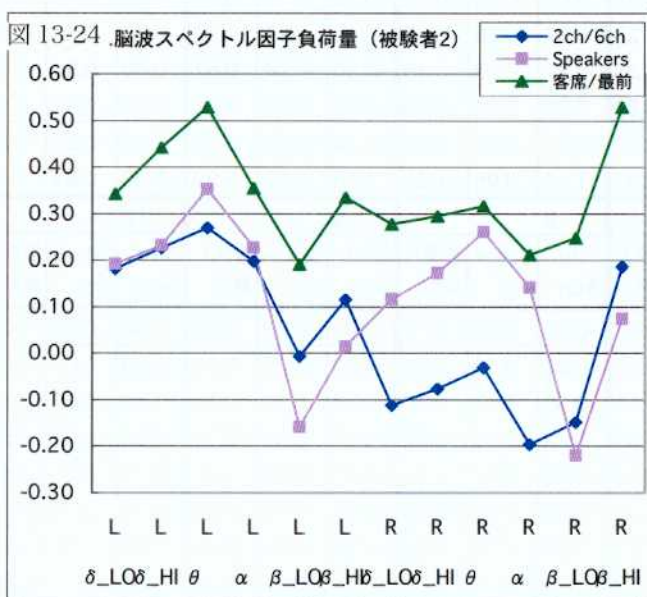
客席 / 最前列はよく判別されており、最前列音は左脳の $\alpha \sim \beta$ 波の活性度が関連している。

被験者 2 (図 13-24)

2ch/ 多 ch の違いはやや不明瞭だが、多 ch 音に対する左脳 $\theta \sim \alpha$ 波域の影響が認められる。

ヘッドフォンの違いは明確で多 ch ヘッドフォンの効果は左右脳の $\theta \sim \beta$ 波域に表れている

客席 / 最前列もよく判別されており、最前列音は左右脳の θ 波域の影響が認められる。



被験者 3 (図 13-25)

2ch/ 多 ch の違いはある程度明確であり、多 ch の音に対して左右脳の β 高周波域および右の眼球運動の影響が強い。一方、2ch の音は左右脳の α 波以下の低周波域に特徴が現れていると言える。

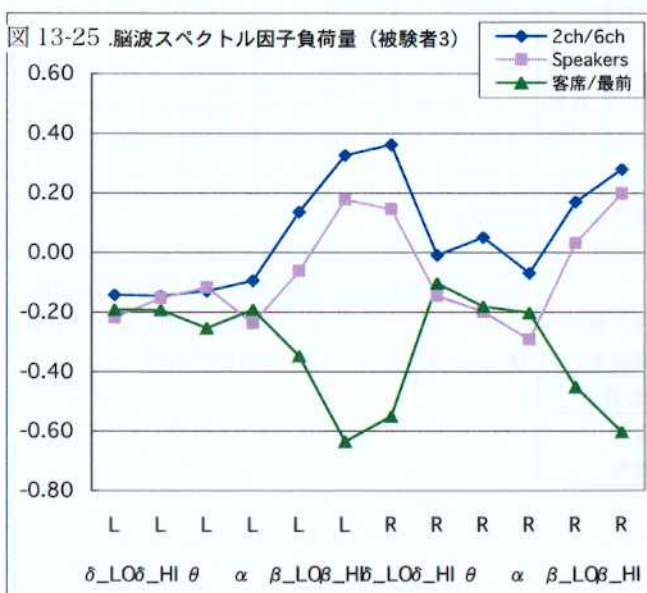
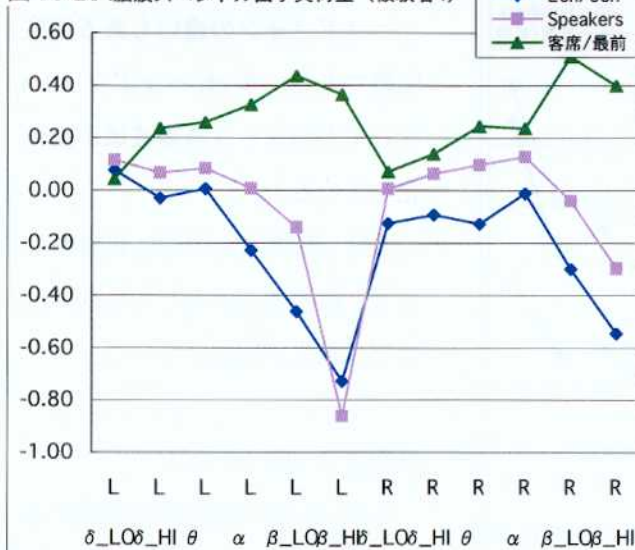


図 13-26 脳波スペクトル因子負荷量 (被験者4)



ヘッドフォンの違いもある程度明確であり、反応パターンは2ch/多chと全く同様である。

客席/最前列もある程度判別されており、見かけは正負が逆転しているが実は反応パターンは前二者と同様であり、最前列音に対して左右脳のβ高周波域および右の眼球運動の影響が強い。

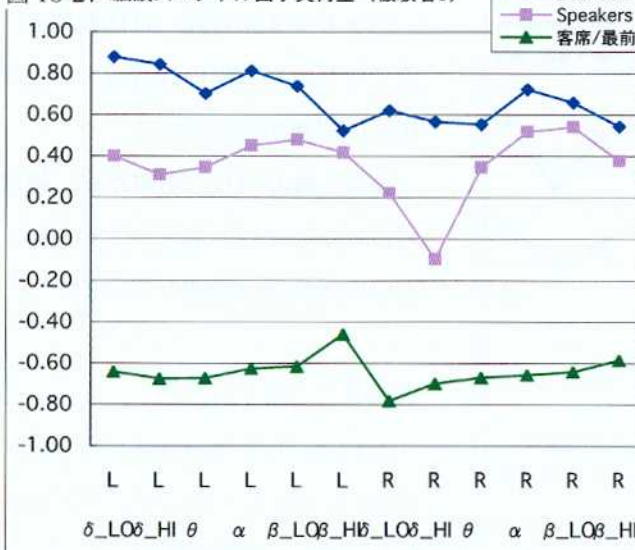
被験者 4 (図 13-26)

2ch/多chの違いはよく判別されており、多chの音に対して左右脳のβ高周波域が明瞭に反応している。

ヘッドフォンの違いは非常に明確に判断されており、反応パターンは2ch/多chと全く同様である。

客席/最前列もよく判別されているが周波数帯による影響の差は少ない。最前列音の場合は脳波全域にわたって不活性になっている。

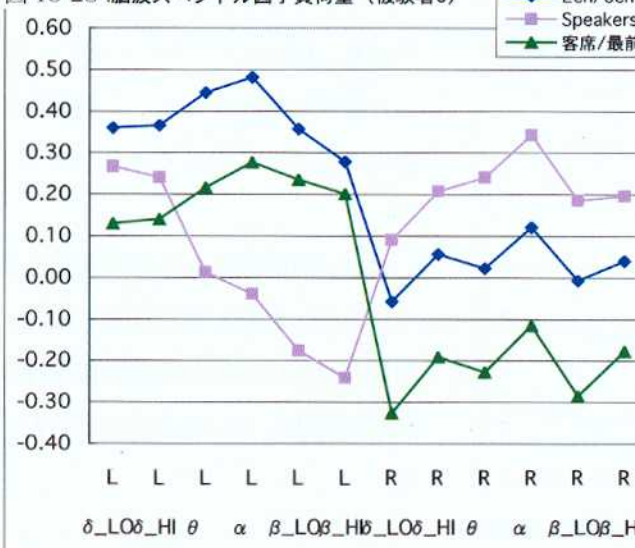
図 13-27 脳波スペクトル因子負荷量 (被験者5)



被験者 5 (図 13-27)

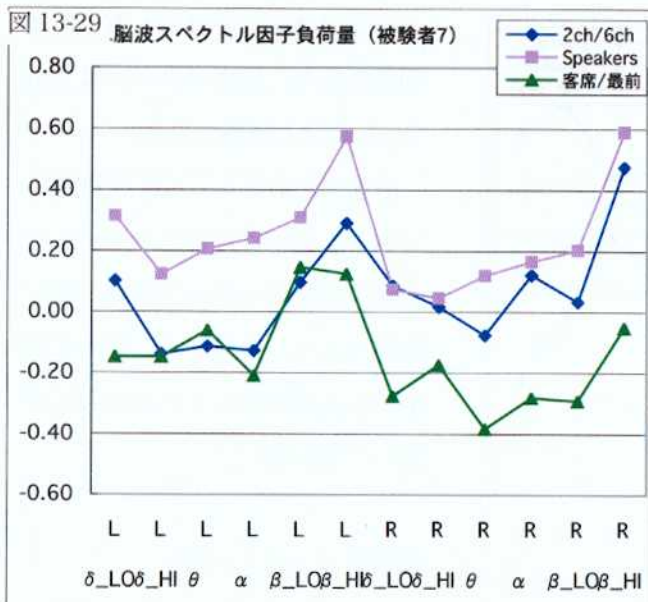
2ch/多ch, ヘッドフォン, 客席/最前列ともにやや判別が不明瞭で、脳波スペクトルの特徴も見いだせない。多ch音源の場合は全体に脳波が落ち着いていることがわかり、多chヘッドフォンの場合はやや活性化していることになるが、これは相矛盾している。

図 13-28 脳波スペクトル因子負荷量 (被験者6)



被験者 6 (図 13-28)

2ch/多chの違いはある程度明確であり、多chの音に対して左脳θ



～α波域の沈静化が関連している。

ヘッドフォンの違いもある程度明確であり、多chヘッドフォンに対して左脳α～β高周波域が活性化している

客席/最前列も明確に判別されており、最前列音に対して右脳の全般的な活性化が関連している。

被験者7 (図 13-29)

2ch/多chの違いは不明瞭であり、多chの音に対して左脳の比較的低周波の影響が認められる。

ヘッドフォンの違いは比較的確であり、左右脳のβ波域の不活性化との関連が考えられる。

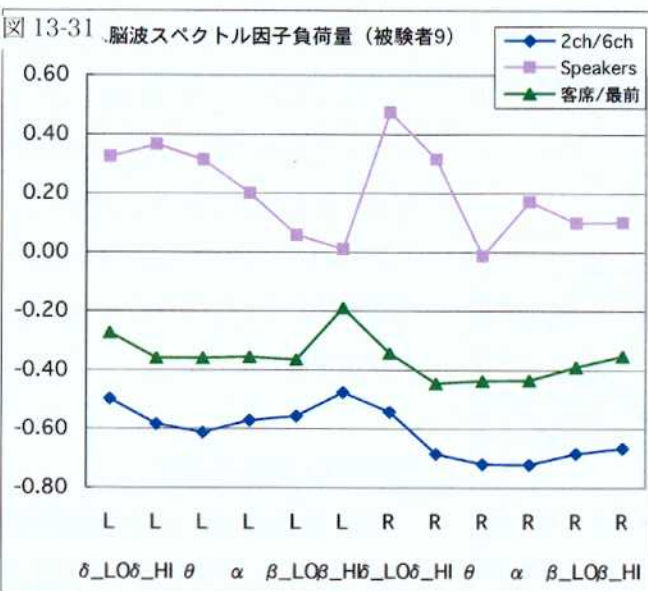
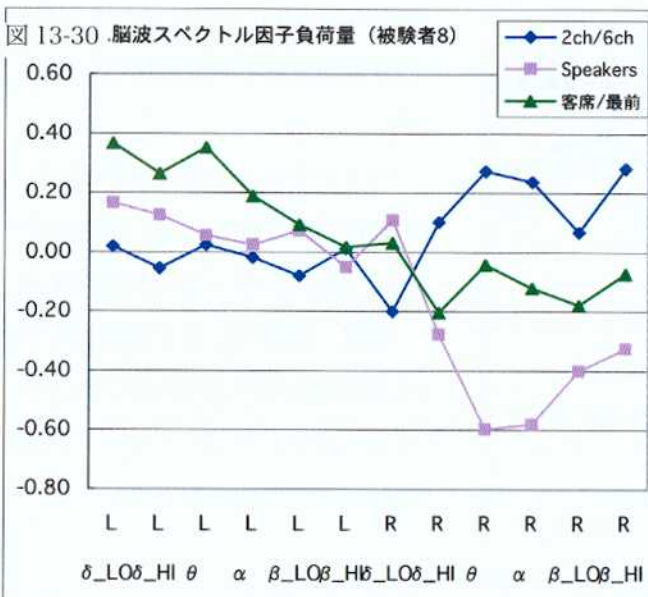
客席/最前列も不明瞭だが、最前列音についてはどちらかといえば、右脳の活性度が関連している。

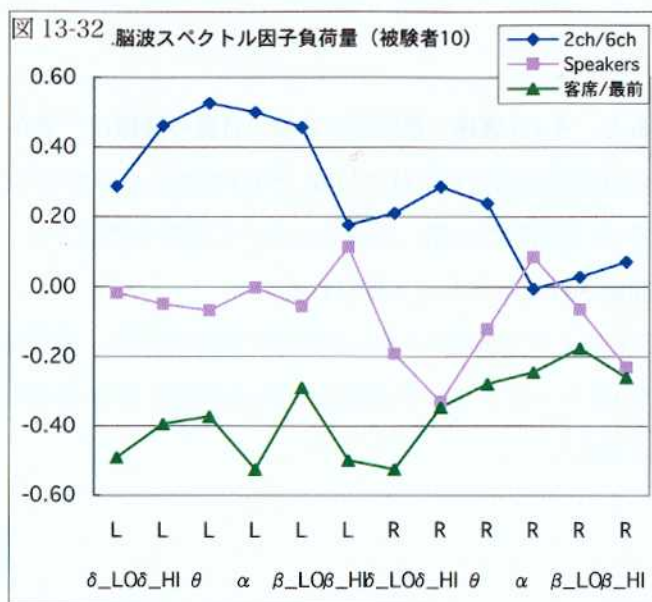
被験者8 (図 13-30)

2ch/多chの違いはさほど明瞭ではない。多chの音に対して右脳のθ～α波域とβ高周波域の影響が強い。

ヘッドフォンの違いはやや明瞭であり、6hヘッドフォンは右脳θ～α波域の影響が強く、左脳が比較的不活性化になっていることが窺える。

客席/最前列もある程度判別されているが、左脳の特に低周波域との関連が見える。特に左脳の眼球運動域が活性化しているように思われる。





いるのであろう。

被験者 10 (図 13-32)

2ch/ 多 ch の違いはさほど明瞭ではない。多 ch の音は左脳の活性度が低くなっていると考えられる。

ヘッドフォンの違いもさほど明瞭ではない。多 ch ヘッドフォンの場合、右脳 δ 波域と β 波域の反応が低下しているはずである。

客席 / 最前列はある程度判別されており、最前列音の場合脳波が全体に活性化しているものと思われる。

13-4-4 考察

(1) 順位評価について

順位評価の結果は、被験者間での順位は必ずしも一致していないものの、少なくとも、指揮者直後、すなわち、周囲から音が回り込んでくる状況で録音された音源は好感を持たれるが、そのほかの条件については評価に個人差が強く現れることが確認された。このことは、音の評価そのものに対して個人の音に対する感性の違いを抜きにしては評価結果を語るができないことを意味している。

一方で、最前列で録音された音は楽曲の開始部分自体が異なるため音自体が被験者にとって新規性があったことなど、評価を向上させる普遍的な要因が強く働いていることが窺える。いずれにしても、順位評価を行うことによって画一的な印象の良し悪しを定義することの困難さが判明した。

(2) 音の評価構造について

今回の音源は、

被験者 9 (図 13-31)

2ch/ 多 ch, ヘッドフォン, 客席 / 最前列 ともにやや判別が不明瞭である。

2ch/ 多 ch の違いについて、多 ch の音に対して右脳の眼球運動域の関連が考えられる。

ヘッドフォンの違いでは、多 ch ヘッドフォンの場合に脳波が落ち着いているのであろう。

客席 / 最前列についても、最前列の場合に全般に脳波が落ち着いて

[迫力感, 安定感]

[再現性]

にまとめられた。その評価の内容をみると、多ch客席・最前列の2種の音源の特徴は「豊かな臨場感」「リアリティの高さ」であり、音の再現性の高さが現れている。多ch客席においては「立体的な」という評価も強く現れている。多ch最前列では第二主成分において品格を感じさせる評価が強く現れ、音の再現性の高さが評価されていたものと思われる。

順位評価の結果と合わせると、多chヘッドフォンで試聴した多ch音源/指揮者直後=最前列の音は高く評価される要素が多く、また多chヘッドフォンで試聴した多ch音源/客席の音も臨場感、リアリティの高さが感じられたと言える。

(3) 脳波スペクトルとの関連

順位評価と同様に脳波スペクトルも個人差が強く、脳波スペクトルパターンと被験者の意識との関連を普遍的に定義することは困難であった。しかし、時系列データの圧縮方法として移動平均法を用いることにより、時系列的な意味をある程度保ったままデータを平均化することができ、これによってそれぞれの脳波スペクトルの持つ特徴把握に貢献することができた。

(4) 多ch音源/ヘッドフォンの効果と最前列音の特徴

表13-30に、音源チャンネル数、ヘッドフォンの効果、客席/最前列の効果のそれぞれの要因に対する脳波スペクトルによる影響力をまとめた。

ここからは被験者に共通する傾向は読みとることができないが、表13-29にまとめたそれ

		被験者1	被験者2	被験者3	被験者4	被験者5	被験者6	被験者7	被験者8	被験者9	被験者10
チャンネル数	判別性	○	△	○	○	×	△	×	△	×	△
	多ch音源の特徴	左脳α～β低周波域	左脳θ～α、右脳β	左右脳のβ高周波域、右の眼球運動	左右脳のβ高周波域	全般的な不活性化	左脳θ～α波域の沈静化	左脳の比較的低下周波	右脳のθ～α波域とβ高周波域	右脳の眼球運動域	左脳の活性化度が低下
	順位	1.5	2.5	3	4.5	1.5	1.5	1.5	3.5	3.5	1.5
ヘッドフォン効果	判別性	△	○	△	◎	×	○	○	○	×	△
	多chヘッドフォンの特徴	右脳α～β波域	左右脳のθ～β波域に表れている	左右脳のβ高周波域+右の眼球運動の影響	左右脳のβ高周波域	全体に脳波が活性化	左脳α～β高周波域が活性化	左右脳のβ波域の不活性化との関連が考えられる	右脳α波域の影響が強く、左脳が比較的不活性化	全般的な不活性化	右脳δ波域とβ波域の反応が低下
	順位	2.3	2.7	2.3	5.0	2.0	3.0	2.7	4.3	3.7	2.0
(客席/最前列)	判別性	○	○	△	○	×	○	×	○	×	○
	最前列音の特徴	左脳α～βおよび全般	左右脳のθ波域	左右脳のβ高周波域+右の眼球運動	脳波全域にわたって不活性化	全般的な不活性化	右脳の影響が強い	右脳の活性化度	左脳低周波域、左脳の眼球運動域	全般的な不活性化	脳波が全体に活性化
	順位	1	1	2	4	1	1	1	2	2	1

表13-30. 音源チャンネル数、ヘッドフォンの効果、客席/最前列の効果について、6chの効果と最前列の特性に対する脳波スペクトルによる影響力および、当該サンプルに対する順位評価の平均値

ぞれの判別構造に関する被験者毎の脳波スペクトルの因子負荷量の構造を主成分分析によって吟味すると表 13-31 ~ 13-33, 図 13-33 ~ 13-35 が得られる。

まず、音源チャンネル数の違いに関する第 1 主成分の結果が、表 13-31 および図 13-33 である。この結果から、被験者は 1, 4, 5, 10 らのグループと、9, 4 のグループ間で違いが大きいことがわかる。順位評価で見ると、これは、比較的好感を持ったグループと好感を持てなかったグループに相当する。第 2 主成分からは、あまり明瞭なグループは見いだせない。

一方、第 1 主成分に寄与する脳波スペクトルの成分は僅かの差ながら、左脳 (β 高周波域を除く) と右脳の $\alpha \sim \beta$ 低周波域の影響が + に、左右の β 波高周波域の影響が - に働くことがわかる。たとえ僅かな差であっても、その結果サンプルスコアが大きな差となって現れる以上この違い

表 13-31 音源チャンネル数の判別構造における因子負荷量の個人差に関する主成分分析表

		主成分			
		1	2	3	4
固有値		9.563	0.994	0.806	0.270
寄与率(%)		79.696	8.282	6.721	2.252
累積寄与率(%)		79.696	87.977	94.698	96.950
δ_LO	L	0.299	-0.307	-0.021	-0.047
δ_HI	L	0.298	-0.328	-0.213	0.024
θ	L	0.292	-0.320	-0.277	-0.115
α	L	0.300	-0.192	-0.344	-0.080
β_LO	L	0.300	0.143	-0.349	0.113
β_HI	L	0.261	0.503	-0.317	-0.150
δ_LO	R	0.282	0.189	0.132	0.825
δ_HI	R	0.276	-0.175	0.476	-0.027
θ	R	0.289	-0.090	0.420	-0.185
α	R	0.292	-0.047	0.300	-0.130
β_LO	R	0.307	0.221	0.093	0.159
β_HI	R	0.263	0.509	0.134	-0.429
被験者	1	2.165	0.596	-1.614	0.091
	2	-0.425	-0.236	-0.468	-0.520
	3	-0.254	1.596	0.586	0.770
	4	-2.583	-1.714	0.901	0.479
	5	5.444	-0.475	0.539	0.352
	6	0.980	-0.644	-0.777	-0.399
	7	-0.271	1.323	0.590	-0.221
	8	-0.277	0.241	1.212	-0.957
	9	-6.408	0.081	-0.706	0.186
	10	1.630	-0.769	-0.263	0.217

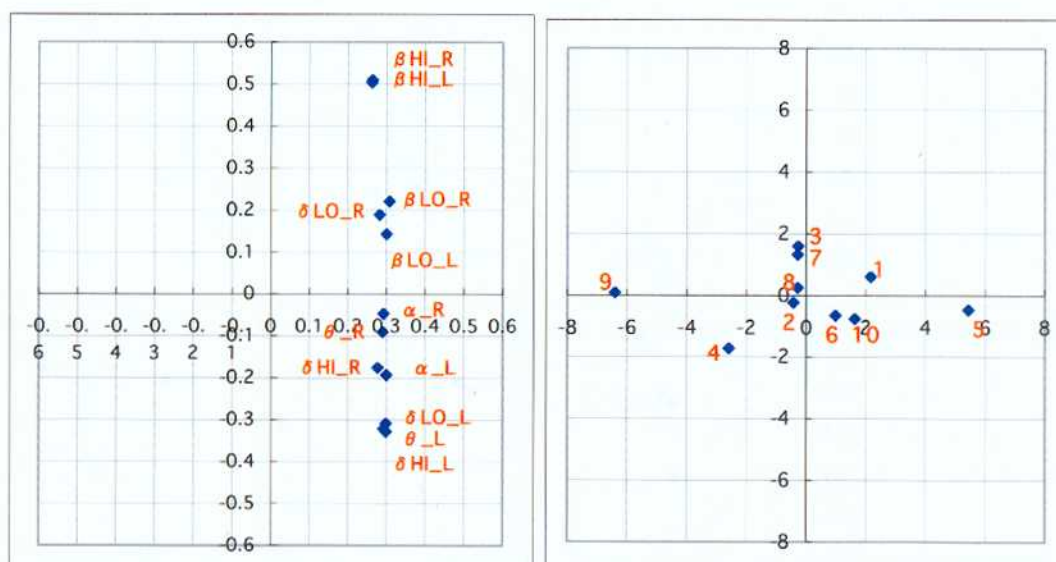


図 13-33 音源チャンネル数の判別構造の特徴：脳波スペクトル因子負荷量 (左) / 被験者 (右)

は無視しがたい。

表 13-30 では、まさに β 波高周波域の影響が認められる被験者 4, 5 は、否定的な順位付けを行っており、一方、肯定的な評価をしているグループでは β 高周波の影響が比較的小さくなっている。もちろん、判別性の低い被験者 5, 7, 9 ではこのような傾向は確認できない。すなわち、全被験者に共通する指標ではないにせよ、得られた解析結果との関連が窺える。 β 波は、思考中に顕著に現れるとされているため、このことを素直に解釈すれば、多 ch 音源に対して否定的な評価をした被験者は、激しく思考している、あるいは落ち着きが得られなかったのだろうということになる。一方で、 α 波から β 低周波の反応が強く現れるものは、ポジティブな感覚を持ちやすいのではないかと推測される。

表 13-32 及び図 13-34 は、ヘッドフォンの違いによる効果である。第 1 主成分には、被験者のグループと多 ch ヘッドフォンの順位評価の間には

表 13-32 ヘッドフォンの違いの判別構造における因子負荷量の個人差に関する主成分分析表

		主成分			
		1	2	3	4
固有値		6.749	2.069	1.359	0.965
寄与率(%)		56.245	17.243	11.329	8.039
累積寄与率(%)		56.245	73.487	84.816	92.855
δ_LO	L	0.337	0.124	0.167	-0.256
δ_HI	L	0.320	0.280	0.233	-0.145
θ	L	0.333	0.143	0.242	-0.158
α	L	0.348	-0.077	0.154	-0.339
β_LO	L	0.280	-0.408	0.205	-0.114
β_HI	L	0.191	-0.504	0.160	0.275
δ_LO	R	0.222	0.210	0.425	0.481
δ_HI	R	0.163	0.548	-0.097	0.393
θ	R	0.296	0.113	-0.502	-0.051
α	R	0.313	0.061	-0.450	-0.163
β_LO	R	0.307	-0.211	-0.309	0.108
β_HI	R	0.285	-0.231	-0.167	0.509
被験者	1	3.553	-1.089	-0.044	-0.509
	2	0.393	1.482	0.057	-0.190
	3	-3.163	-1.297	-0.385	1.938
	4	-1.843	1.738	-0.994	-1.010
	5	3.553	-1.089	-0.044	-0.509
	6	0.046	1.428	-1.420	0.484
	7	1.561	-1.296	-0.129	0.668
	8	-2.936	-0.376	2.520	-0.732
	9	1.677	1.887	1.362	0.961
	10	-2.841	-1.389	-0.924	-1.102

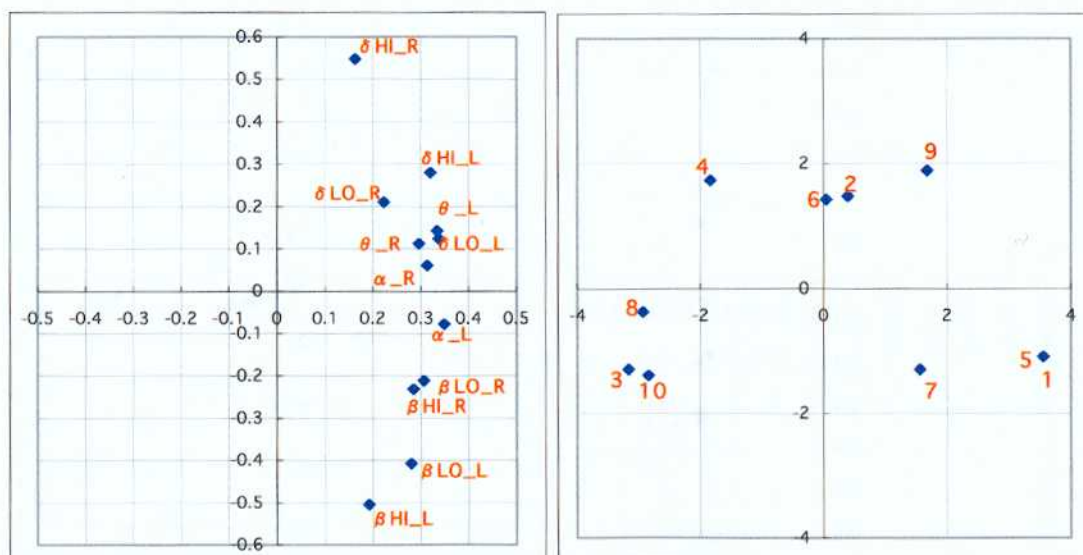


図 13-34 ヘッドフォンの違いの判別構造の特徴：脳波スペクトル因子負荷量（左）／被験者（右）

明確な関連性は見えない。第2主成分では、順位評価で否定的な被験者が総じて+のスコアを持ち、比較的好意的な評価の被験者が-のスコアを持っている。しかしながら、第2主成分の寄与率は第1主成分の僅か1/3であり、ヘッドフォンの違いを脳波の判別パターンと関連づけることは困難である。

とは言え、一応第2主成分スコアから関連する脳波スペクトルを読みとると、左脳 β 波の影響があるように見える。このことは、表13-30のまとめとある程度整合性がある。

表13-33及び図13-35は、客席で録音されたものと最前列で録音されたものの違いによる効果である。順位評価で最前列の音を低く評価した被験者は4だけであったが、4だけに特徴的な脳波スペクトルのパターンは見いだせない。

強いて言うならば、左右脳に現れる β 波の影響が低く、 δ 波の影響度合いが顕著である。 δ 波に眼球運動が含まれているとすれば、最前列の音によって眼球運動が活性化したかのようにも読めるが、そのためには眼球運動を独立して測定する必要がある。

表13-33 音源の種類(客席/最前列)の判別構造における因子負荷量の個人差に関する主成分分析表

		主成分		
		1	2	3
固有値		9.845	1.132	0.570
寄与率(%)		82.045	9.429	4.751
累積寄与率(%)		82.045	91.475	96.226
δ_LO	L	0.285	-0.260	-0.411
δ_HI	L	0.308	-0.162	-0.238
θ	L	0.303	-0.243	-0.161
α	L	0.294	-0.276	-0.175
β_LO	L	0.274	-0.334	0.291
β_HI	L	0.265	-0.355	0.510
δ_LO	R	0.303	0.035	0.033
δ_HI	R	0.282	0.333	-0.197
θ	R	0.290	0.351	-0.206
α	R	0.294	0.319	-0.100
β_LO	R	0.272	0.397	0.340
β_HI	R	0.290	0.194	0.406
被験者	1	0.392	1.940	-0.269
	2	4.817	0.324	-0.135
	3	-1.894	0.445	-1.504
	4	4.076	0.565	0.988
	5	-5.343	-0.282	0.493
	6	1.132	-1.611	-0.189
	7	-0.259	-0.837	0.807
	8	1.893	-1.157	-0.820
	9	-2.395	-0.363	0.282
	10	-2.419	0.976	0.347

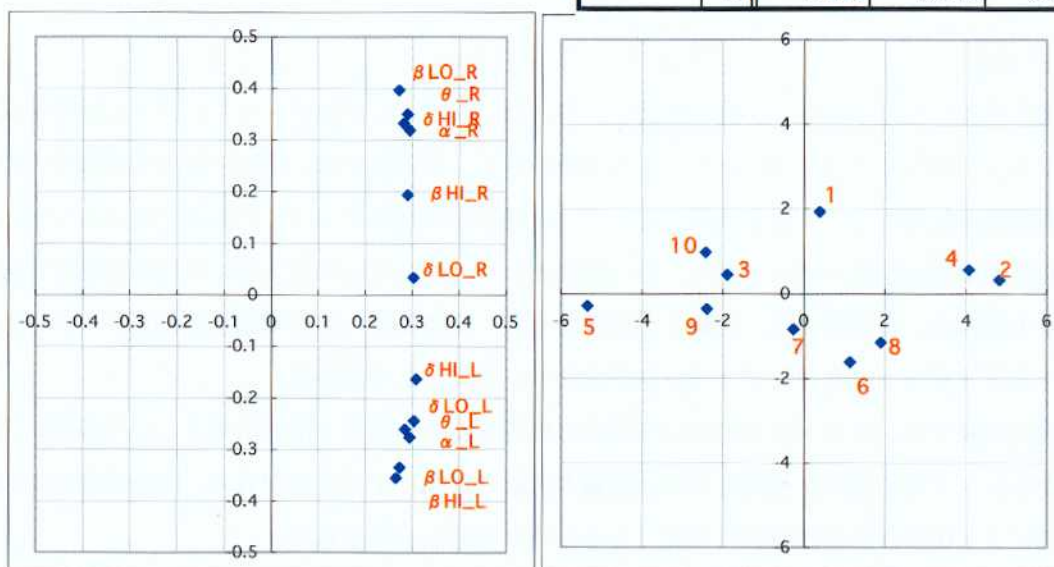


図13-33 音源の種類(客席/最前列)の判別構造の特徴:脳波スペクトル因子負荷量(左) / 被験者(右)

13-5 まとめ

本章の実験において以下の点が明らかになった。

- 1) 音の評価は個人差が非常に大きい。特に、総合評価は好みが生じるため、これを補正する指標を導入することが不可欠であった。
- 2) 質問紙を用いた回答では、ある程度まとまった傾向が得られ、多ch音源のクオリティの高さについて好印象が含まれていることが分かった。
- 3) 指揮者直後という、非常に臨場感の得られやすい録音条件のサンプルは他との違いが明確であり、順位評価、質問紙評価において正の評価を受けた。多ch音響システムの効果は不明確であるが、少なくとも多ch音源/ヘッドフォンにおいて、録音条件を考慮することが好印象につながりやすいということが確認されたと言える。
- 4) 脳波による印象の評価は困難を極める。特に、個人差が被験者間の差をしのぐ構造があるため、普遍的な見解を得るためにはさらに検討が必要である。
- 5) 脳波データは時系列データであるため、ある程度時系列の意味を持った指標を得ることが必要である。すなわち一人の被験者の経験を充分平均的に、かつ多数の経験としてデータ化する必要がある。そこで、時間の経過に沿って異なる反応をする脳波を充分平均的に、しかも時間の経過による変動を加味したデータとして取り扱うため、時間経過に沿った移動平均を用い、時間変化と変動の平滑化の効果を加味した解析を目指した。結果は、被験者個人の評価についてよく特徴を表現しており、この方法の有効性が窺える。しかし、実際に有効性があるかどうかについては、さらに検討を続ける必要があると思われる。
- 6) 脳波スペクトルによるヘッドフォンシステムの違い、音源チャンネルの違いについては、必ずしも明確な結論は得られなかったが、多ch音源の効果について、ネガティブな評価を行いやすいケースに β 波の影響が認められることから、楽曲の場合、立体音響が落ち着きのなさにつながる、あるいは思考を繰り返すことになるような録音条件などを避けることが効果の高い利用方法につながるのではないかと考えられる。

13-6 結言

前章において乗り心地の評価を検討したが、検討対象としたベビーカーの乗り心地を感覚評価によって得ることは非常に難しいことがわかった。本実験では、感性の働きを評価するための客観的な指標として脳波を検討した。感性の働きを最終的に司っていると考えられている大脳左右前頭葉の脳波パターンから、音の評価という、理屈で説明出来ない対象の印象を評価しようと試みた。本実験では、試聴した印象として、非常にその差が明確な多chオーディオシステムと2チャンネルオーディオシステムをサンプルとして用いた。

先行実験では、リラックス感という特定の感覚を α 波の強度で推定出来るという仮定の下に本物とレプリカの違いを検討した所、被験者実験の結果はまとまりが良く、この条件において脳波による印象評価が部分的に可能であるという見通しが得られた。

そして、立体音響に関する予備実験の結果、以下の点が明らかになった。

- ・眼球運動が立体感の指標としての可能性を持っている
- ・音源の種類によって、質問紙による感性評価の結果は異なる
- ・音刺激に対して右脳の反応が明確である。特に、 β 波領域（思考、評価などの働き）について、右脳の働きが顕著である
- ・多chの効果は、 α 波の増大よりも β 波の不活性化（落ち着く）に効果がありそうだが、音源そのものの持っている特徴をよりの確に伝えるため、伝わる感情や脳波の変化は音源の特性に依存する。
- ・脳波は個人差が大きい

この結果は、何らかの形で脳波の計測から客観的な評価基準と関連性のある生理的指標が得られる可能性を得た。

そこで、できるだけ評価の違いが明確になるように実験の条件を可能な限り整理して本実験を行った。しかしながら、ここで評価の対象としておいている「印象」は、単なる立体音の判別ではなく、立体的な音楽の評価である。そのため、本実験のサンプルや条件は現実的な条件を含んだまま、サンプルの属性や測定項目を簡略化することで対応した。

本実験の結果として得られた事柄は、

- 1) 音の評価は個人差が非常に大きい。特に、総合評価は好み³が介在する。
- 2) 質問紙を用いた回答は精度が高く、多ch音源の好印象が含まれている。
- 3) 指揮者直後という、非常に臨場感の得られやすい録音条件のサンプルは他との違いが明確だった。録音条件を考慮することが好印象につながりやすいということが確認された。
- 4) 脳波による印象の評価は、個人差がサンプル刺激の差をしのぐ構造がある。
- 5) 脳波データは、一人の被験者の経験を十分平均的に、かつ多数の経験としてデータ化する必要がある。そこで、時間経過に沿った移動平均を適用した。結果は、被験者個人の評価についてよく特徴を表現しており、この方法の有性が窺えた。
- 6) 印象評価には、必ずしも明確な結論は得られなかったが、多ch音源の効果について、ネガティブな評価を行いやすいケースに β 波の影響が認められる。

本章では、まず主観評価と脳波の関係をつかむための方法について見通しが得られた。しかし、脳波は被験者によるパターンの違いが大きく現れるため被験者間の比較が難しいこともまた明らかになった。また、一方、サンプルとして使用した音源に録音条件の差を盛り込みすぎたため、解析の精度の低下を招いた。一方で、脳波のフーリエ解析をして得られる成分について、移動平均を用いて過敏な変動をなだらかにするとかえって特徴が明らかになり、個人差と客観評価の中間的な評価が得られることがわかった。このことは、今後の脳波を用いた研究の一助になると考えている。

本実験の結果を考慮して、立体音響に対してより特徴を活かすことのできる音源を使用して検討すること、また、被験者の感性的特性および脳波特性を考慮したグルーピングを行った上で、十分な被験者数を確保することにより、さらに精度の高い検討結果が得られるものと期待する。

また、脳波を周波数区分毎に移動平均法で統制値を抽出する方法の可能性が高いことを示すことができた。

感性にかかわる生理指標を捉えようと言う試みはこれからも続けて行かなくてはならないが、特に人間の反応を定量化することがそのプロセスの中心課題となる。そこで、今回用いた移動平均によるデータの特徴化によって、個人の経験が加味された実験データの解釈に新たな可能性を付け加えることができたものとする。

註及び参考文献

- 1) 吉田倫幸；脳波リズムによる快適性計測法；製科研ニュース；21 巻 6 号；1989
- 2) 荒賀裕，武者利光；脳波による新たな感性解析法—ESA-16,Emotion Expert を用いた感性解析の手法と応用—，第 5 回脳機能研究所ゼミナール (1999)
- 3) Nakagawa M. , Ichikawa G. ,Tokumaru R. , Koyama Y. ,Tsai H. , He B. , Musha T.; Quantitative Analysis for ERD During Odorous sensation -Functional Neuroscience: Evoked Potentials and Magnetic Fields (EEG Suppl.49); 1999
- 4) 清水裕子，他；脳波の解析による衣服の着心地の評価；宇都宮大学教育学部紀要 第 49 号 第 2 部；1999 年 3 月
- 5) HSK 中枢リズムモニタシステム；ひとセンシング社；2000
- 6) 中沢，山中；“RED&BLUE” のイスとそのレプリカについてのリラックス度；第 42 回デザイン学会秋季大会；1995 年 10 月
- 7) IBVA マニュアル；IBVA；2001
- 8) 音成竜司，辻貞俊；よくわかる脳波判読；金原出版；1997
- 9) 井上勝雄，杉山和雄；エクセルによる調査分析入門；海文堂出版；1996
- 10) Stat View マニュアル；SAS Institute；1998
- 11) SPSS マニュアル；SPSS Japan
- 12) Statistica マニュアル (日本語版)；スリースカンパニー
- 13) 岩下豊彦；SD 法によるイメージの測定；川島書店
- 14) 船瀬新王，他；視覚・聴覚刺激へ向けて眼球運動を行なう際の脳波；名古屋大学工学研究科
- 15) 八木昭宏，他；脳電位による視覚環境評価技術の開発
- 16) 千葉大学人間生活工学分野；脳波；http://ergo1.ti.chiba-u.ac.jp/Simple_J/Mensuration/EEG.html
- 17) 桑原，他；パーソナルコンピュータを使った睡眠自動解析システム開発の試み；<http://www.sleep-ukiha.syslabo.co.jp/cont071.html>